

Phương pháp mô phỏng và thực nghiệm trong nghiên cứu giải pháp hạn chế quá điện áp do đóng tụ điện

Hồ Hữu Phước*, Nguyễn Minh Thu**, Nguyễn Văn Minh**

*Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vinh

**Th.S. Khoa Điện- Điện tử, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vinh

Received: 20/6/2024; Accepted: 25/6/2024; Published: 02/7/2024

Abstract: Capacitive compensation has been widely used in power systems at different voltage levels. To ensure safe and successful operations of the devices, unfavorable transient issues associated with capacitor switching must be thoroughly evaluated. This paper presents a simulation method based on EMTP software to analyze overvoltage due to capacitor switching and propose a mitigation solution. The author also presents experimental results confirming the effectiveness of the solution.

Keywords: Experimental methods, overvoltage, simulation.

1. Đặt vấn đề

Tiêu thụ điện năng trong công nghiệp chiếm một phần đáng kể trong tổng năng lượng sử dụng của thế giới. Việc triển khai các thiết bị và quy trình sử dụng nhiều năng lượng dẫn đến lãng phí năng lượng đáng kể, có thể làm tăng đáng kể chi phí vận hành và tác động tiêu cực đến môi trường. Các thiết bị điện tử khi làm việc sẽ tiêu thụ từ lưới một dòng điện bao gồm các thành phần: phụ tải, tổn thất, dòng điện tản (dòng rò) và dòng từ hoá. Tức là cùng với việc tiêu thụ một lượng công suất tác dụng để sinh công, các thiết bị điện còn tiêu thụ một lượng công suất phản kháng. Lượng công suất phản kháng mà các thiết bị điện tiêu thụ phụ thuộc vào đặc tính của chúng, các động cơ không đồng bộ, máy biến áp vv... là những thiết bị tiêu thụ nhiều công suất phản kháng. Theo số liệu thống kê, thì lượng công suất phản kháng do động cơ không đồng bộ tiêu thụ chiếm tỷ trọng lớn nhất (khoảng 65 - 75%), tiếp theo là máy biến áp khoảng 15 - 20% và các đường dây 5 - 8% [1]. Tuy nhiên điều này dẫn đến hệ số công suất giảm, tổn hao công suất, tổn hao điện năng trong quá trình truyền tải. Do đó, một giải pháp tiết kiệm điện năng trong công nghiệp là nâng cao hệ số công suất bằng lắp đặt tụ bù.

Với các động cơ công suất lớn, tụ được lắp đặt tại vị trí từ điều khiển động cơ. Một vấn đề phát sinh là khi đóng tụ bù sẽ gây nên quá điện áp nội bộ, có thể ảnh hưởng đến tuổi thọ cũng như sự vận hành của thiết bị [1, 2]. Do đó cần khảo sát tình trạng quá độ và nghiên cứu giải pháp hạn chế hiện tượng quá điện áp. Các trường đại học kỹ thuật, nơi đào tạo kỹ sư, chuyên viên kỹ thuật cần giảng dạy không chỉ cơ sở lý thuyết mà còn bao gồm cả cách thức lập luận để

xây dựng giải pháp. Bài viết này giới thiệu phương pháp mô phỏng và phương pháp thực nghiệm trong nghiên cứu giải pháp hạn chế quá điện áp nội bộ do đóng tụ điện.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Tính dung lượng bù

Ta biết rằng công suất phụ tải gồm hai thành phần: Công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q, hệ số công suất ban đầu ứng với góc φ . Yêu cầu bù dung lượng Q_b bằng cách mắc tụ song song với phụ tải để nâng hệ số công suất lên $\cos\varphi_2$ tương ứng với góc pha φ' .

Công suất phản kháng sau khi bù:

$$Q' = Q - Q_b \quad (1)$$

$$\text{hay } Q_b = Q - Q' \quad (2)$$

$$\text{Mà } Q = \tan\varphi \text{ và } Q_2 = \tan\varphi'$$

Nên:

$$Q_b = P(\tan\varphi - \tan\varphi') \quad (3)$$

Xét bài toán sau:

Động cơ không đồng bộ một pha công suất 3000 W sử dụng điện áp 220 V có hệ số công suất là 0,75; cần bù để hệ số công suất lên 0,94.

Từ $\cos\varphi = 0,75$; $\cos\varphi' = 0,94$ tính được $\tan\varphi = 0,882$ và $\tan\varphi' = 0,363$

Tính dung lượng bù:

$$Q_b = P(\tan\varphi - \tan\varphi') = 3000 \cdot (0,882 - 0,363) = 1557 \text{ (VAR)}$$

Chọn tụ bù 1500 VAR.

Để phân tích quá trình quá độ khi đóng tụ bù, phương pháp mô phỏng được lựa chọn sử dụng.

2.2. Phương pháp mô phỏng khảo sát quá trình quá độ khi đóng tụ bù

Trong các phần mềm mô phỏng sử dụng trong

ngành điện như Matlab/Simulink, EMTP, ETAP, Power World Simulator, PSS (Power System Simulations)... thì phần mềm EMTP có ưu thế về phân tích quá trình quá độ. Phần mềm EMTP (Electro-Magnetic Transients Program) là một chương trình máy tính dùng cho việc mô phỏng các quá trình quá độ điện từ, điện cơ và hệ thống điều khiển trong hệ thống điện nhiều pha. EMTP đang được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới trong các lĩnh vực tính toán thiết kế cũng như vận hành cho các loại thiết bị khác trong hệ thống điện.

Thay thế bằng sơ đồ mạch trong phần mềm:

Để mô phỏng ta thay thế động cơ bằng phần tử R mắc nối tiếp với L.

$$Z = \frac{U^2}{P / \cos \varphi} = \frac{220^2}{3000 / 0,75} = 12,1(\Omega)$$

$$R = Z \cdot \cos \varphi = 9,075(\Omega)$$

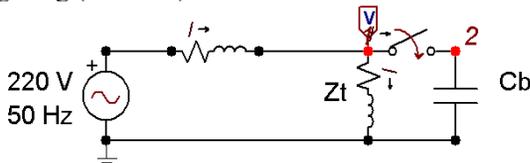
$$X = R \cdot \tan \varphi = 8(\Omega)$$

$$\Rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f} = \frac{8}{314} = 0,025(H)$$

Tụ bù được thay thế bằng:

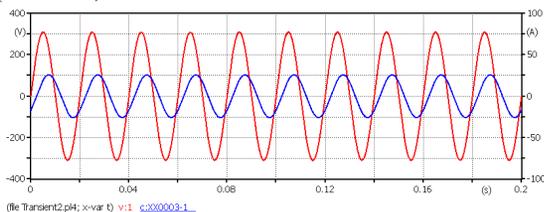
$$C_b = \frac{Q_b}{U^2 \cdot 2\pi \cdot f} = \frac{1500}{220^2 \cdot 314} = 98(\mu F)$$

Sơ đồ mô phỏng bao gồm: Nguồn xoay chiều 220 V, động cơ được thay thế bởi mạch R_L và tụ bù mắc song song (hình 2.1).



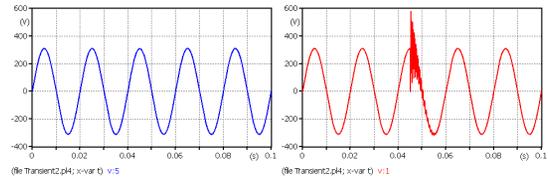
Hình 2.1. Sơ đồ mô phỏng trên EMTP.

Kết quả mô phỏng dòng điện, điện áp động cơ khi làm việc bình thường (chưa bù): $U_t = 220 V$, $I_d = 18,2 A$ (hình 2.2).

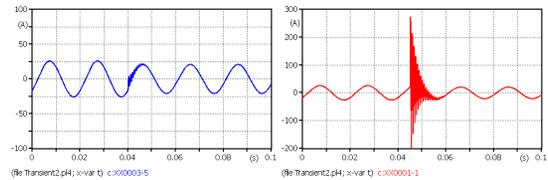


Hình 2.2. Kết quả mô phỏng dòng điện và điện áp chế độ xác lập.

Khi đóng tụ bù, lựa chọn mô phỏng tại hai thời điểm: $t = 0,04$ giây (khi điện áp về 0) và $t = 0,045$ giây (khi điện áp đạt đỉnh). Kết quả thể hiện trên hình 2.3 và 2.4.



Hình 2.3. Điện áp trên tải khi đóng tụ điện tại thời điểm: bên trái- đóng tụ tại: $t = 0,04$ giây (khi điện áp về 0) và bên phải $t = 0,045$ giây (khi điện áp đạt đỉnh).



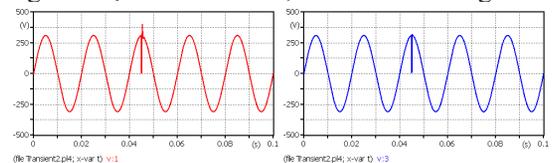
Hình 2.4. Dòng điện trên dây dẫn khi đóng tụ điện tại thời điểm khác nhau: bên trái- đóng tụ tại: $t = 0,04$ giây (khi điện áp về 0) và bên phải $t = 0,045$ giây (khi điện áp đạt đỉnh).

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng thời điểm đóng tụ có ảnh hưởng lớn đến quá trình quá độ. Khi điện áp đạt đỉnh, hiện tượng quá điện áp trên tụ nguy hiểm nhất, khi điện áp về 0, ảnh hưởng không đáng kể.

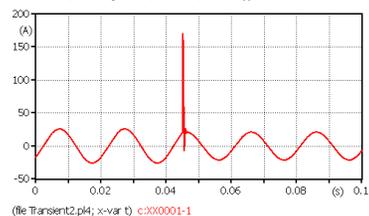
2.3. Giải pháp hạn chế quá điện áp do đóng tụ

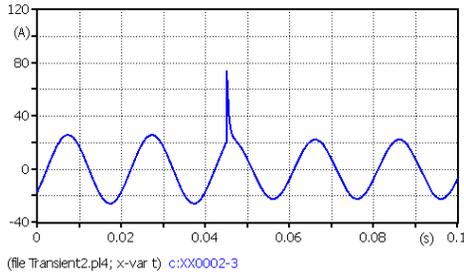
2.3.1. Phương pháp mô phỏng

Xét trường hợp nặng nề nhất, tụ đóng lại tại $t = 0,045$ giây, khi đó điện áp đỉnh lên đến 580 V (tăng 1,86 lần so với $U_m = 220\sqrt{2} = 311(V)$), dòng điện đỉnh đạt 271 A (tăng 10,5 lần định mức $I_m = 18,2\sqrt{2} = 25,7(A)$). Giải pháp chèn điện trở trước tụ với lựa chọn R phụ thuộc vào C. Trường hợp này, so sánh quá độ với $R = 1 \Omega$ và $R = 5\Omega$. Kết quả mô phỏng thể hiện trên hình 2.5, hình 2.6 và bảng 2.1.



Hình 2.5. Điện áp phụ tải khi đóng tụ điện với điện trở chèn: a) $R = 1 \Omega$, điện áp cực đại $U_d = 412 V$ và b) $R = 5 \Omega$, điện áp cực đại $U_A = 346 V$





Hình 2.6. Dòng điện trên dây dẫn khi đóng tụ điện với điện trở chèn: hình trái) $R = 1 \Omega$, dòng điện cực đại $I_d = 170 A$ và hình phải) $R = 5 \Omega$, dòng điện cực đại $I_d = 74 A$.

Bảng 2.1. Tổng hợp kết quả mô phỏng.

	Điện áp đỉnh (V)	Dòng điện đỉnh (A)
Chế độ vận hành	311	25,7
Đóng tụ tự nhiên	580	271
Chèn điện trở 1Ω	412	170
Chèn điện trở 5Ω	346	74

Kết quả mô phỏng cho thấy khi chèn điện trở thì điện áp đỉnh giảm rõ rệt, với điện trở 1Ω , điện áp đỉnh giảm từ 1,86 về 1,3 lần định mức; dòng điện đỉnh giảm từ 10,5 lần về 6,6 lần; với điện trở 5Ω , điện áp đỉnh chỉ còn 1,1 lần; dòng điện đỉnh giảm còn 3 lần định mức.

2.3.2. Phương pháp thực nghiệm

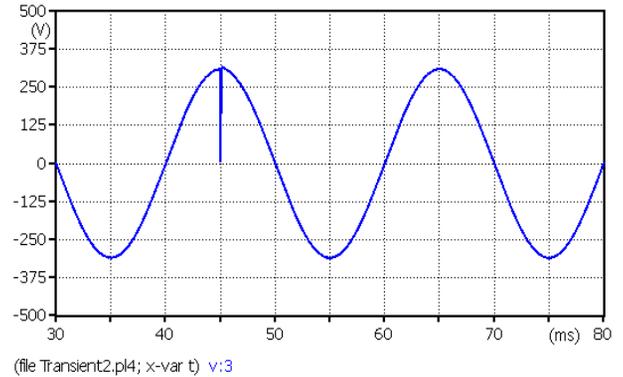
Kết quả mô phỏng trông khá ổn tuy nhiên cần tiến hành thực nghiệm để xác nhận lại sự hiệu quả của giải pháp. Thí nghiệm được thực hiện tại phòng Thực hành cung cấp điện Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật Vinh.



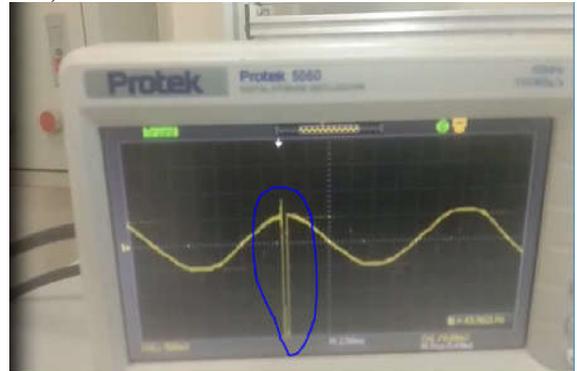
Hình 2.7. Động cơ thực nghiệm.

Với điện trở chèn vào là 5Ω , kết quả thực nghiệm trên màn hình oscilloscope (máy hiện sóng) thể hiện trên hình 2.8a, so sánh với kết quả mô phỏng (hình

2.8b- phóng to của hình 2.5) ta thấy có sự tương đồng. Như vậy, kết quả mô phỏng có thể tin cậy được, giải pháp chèn điện trở có thể ứng dụng trong thực tế.



a)



b)

Hình 2.8. So sánh: a) kết quả mô phỏng và b) kết quả thực nghiệm.

3. Kết luận

Bài viết giới thiệu phương pháp mô phỏng và thực nghiệm để phân tích tình trạng quá điện áp do đóng tụ điện. Đồng thời tác giả cũng đề xuất giải pháp để hạn chế hiện tượng này và kiểm tra tính đúng đắn qua kết quả mô phỏng trên phần mềm EMTP. Giải pháp cũng được tiến hành kiểm nghiệm trong môi trường thực nghiệm, kết quả cho thấy sự hiệu quả của giải pháp cũng như tính ứng dụng trong thực tiễn.

Tài liệu tham khảo

[1] Wang, P., Muthumuni, D., Zhou, Z., Alonso, J. C., Wilson, P., Wachal, R., & Waddell, J. (2007, June). *Transient analysis of capacitor bank installation at distribution stations with PSCAD/EMTDC*. In Proc. International Conf. on Power Systems Transients.

[2] Ninh Văn Nam, Nguyễn Mạnh Quân (2021), *Nghiên cứu quá điện áp trong đóng cắt trên lưới điện hạ áp tại Việt Nam và đề xuất giải pháp hạn chế*. Tạp chí khoa học và công nghệ, tr. 16-21, Vol.57.