

# Thiết kế và mô phỏng Bù công suất phản kháng trong giảng dạy Học phần Cung cấp điện

Nguyễn Văn Nhân\*

\*Khoa Điện, Trường Cao đẳng Việt - Đức Nghệ An

Received: 14/12/2023; Accepted: 20/12/2023; Published: 27/12/2023

**Abstract:** Low power factor results in considerable power loss. Therefore, a simple solution to reduce losses and save energy is to improve the power factor by using reactive power compensation. This is an important content in the electricity supply subject for electrical engineering students. This article presents the design of reactive power compensation to improve the power factor and reduce power loss in distribution systems. The design process is simulated in EMTP software to check the accuracy of the proposed method.

**Keywords:** Design, EMTP software, power factor, reactive power compensation.

## 1. Đặt vấn đề

Cung cấp điện là một trong những học phần quan trọng nhất trong chương trình đào tạo ngành điện. Môn học này giúp sinh viên (SV) hiểu được những vấn đề cơ bản về hệ thống cung cấp điện trong lưới điện phân phối. Qua đó, SV biết tính toán, thiết kế và vận hành hệ thống cung cấp điện điện áp dưới 35 kV đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện với tính kinh tế kỹ thuật hợp lý.

Một nội dung quan trọng của học phần là bù công suất phản kháng để tiết kiệm điện. Thực tế vận hành ở Việt Nam, tổn thất trên lưới phân phối nhiều nhất, chiếm 74,3% [1, 2]. Do vậy cần có các giải pháp có hiệu quả để giảm tổn thất. Có nhiều giải pháp, chẳng hạn nâng cao chất lượng vệ sinh, bảo dưỡng máy biến áp, đường dây để duy trì hiệu suất làm việc. Tối ưu hóa vận hành, tải cấu trúc lưới, đồng bộ hóa các cấp điện áp... có thể giảm tổn thất nhưng đòi hỏi chi phí cao. Do đó, cần tính toán đến chi phí thực hiện giải pháp và hiệu quả mà nó mang lại. Trong số các giải pháp kỹ thuật để tiết kiệm điện năng thì nâng cao hệ số  $\cos\varphi$  bằng cách bù công suất phản kháng là giải pháp dễ thực hiện và đem lại lợi ích kinh tế. Bù công suất phản kháng đem lại 4 lợi ích [1-5]: giảm tổn thất điện áp, giảm tổn thất công suất, từ đó làm giảm tổn thất điện năng, nâng cao khả năng tải của máy biến áp và đường dây. Trong thực tế, bên cung cấp điện là Điện lực địa phương cũng yêu cầu các hộ phụ tải phải bù công suất phản kháng để đảm bảo hệ số công suất đạt 0,9 trở lên. Do đó, bù công suất phản kháng là yêu cầu bắt buộc đối với các nhà máy, xí nghiệp.

Yêu cầu của SV kỹ thuật là tiếp thu kiến thức cần đi kèm với khả năng ứng dụng. SV không chỉ hiểu

rõ ý nghĩa của việc bù công suất phản kháng mà còn phải có kiến thức và kỹ năng thiết kế tụ bù phù hợp. Khi được học phần thiết kế tụ bù, hẳn SV sẽ thắc mắc là nếu áp dụng công thức lý thuyết có đúng với thực tế không, lấy gì để kiểm chứng là quá trình thiết kế cho kết quả đúng. Rất nhiều GV sẽ lúng túng với câu hỏi đó. Thực tế không phải trường nào cũng có đủ phòng thực hành hay phòng thí nghiệm để thực hiện kiểm chứng kết quả lý thuyết. Vì vậy trong bài viết này tác giả trình bày quá trình tính toán, thiết kế tụ bù để nâng cao hệ số công suất, giảm tổn thất điện năng và cách thức mô phỏng, kiểm chứng kết quả trên phần mềm EMTP.

## 2. Nội dung nghiên cứu

### 2.1. Tính dung lượng bù

Kiến thức về tính toán dung lượng bù rất rõ ràng và đơn giản. GV trình bày chi tiết nội dung và cơ sở toán học. 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  $\varphi_1$ . 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  $\varphi_2$  (hình 2.1).

Công suất phản kháng sau khi bù:

$$Q_2 = Q - Q_b \quad (1)$$

$$\text{hay } Q_b = Q - Q_2 \quad (2)$$

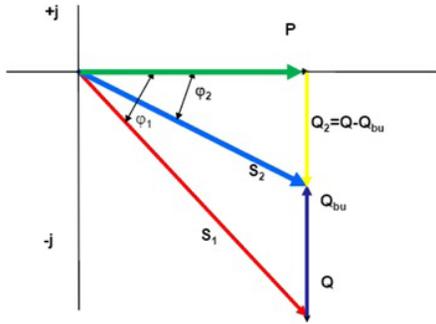
$$\text{Mà } Q = \tan\varphi_1 \text{ và } Q_2 = \tan\varphi_2$$

Nên:

$$Q_b = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (3)$$

Như vậy, dung lượng bù được tính chính xác theo công thức (3), tuy nhiên trong thực tế không phải lúc nào cũng có sẵn các tụ bù có dung lượng như vậy nên cần hướng dẫn SV cách lựa chọn tụ thích hợp. Hai ví

dự được trình bày nhằm minh họa cách bù công suất phản kháng cho một thiết bị cụ thể (động cơ điện một pha) và phụ tải ba pha.



Hình 2.1. Tam giác công suất tính dung lượng bù.

**2.2. Nâng cao hệ số công suất cho động cơ**

*Vi dụ 1:* Động cơ một pha công suất 2500 W sử dụng điện áp 220 V có hệ số công suất là 0,75; cần bù để hệ số công suất lên 0,92. Tính dung lượng bù và mô phỏng trên phần mềm EMTP.

Từ  $\cos\varphi_1 = 0,75$ ;  $\cos\varphi_2 = 0,92$  tính được  $\tan\varphi_1 = 0,882$  và  $\tan\varphi_2 = 0,426$

Tính dung lượng bù theo (3):

$$Q_b = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 2500 \cdot (0,882 - 0,426) = 1140 \text{ (Var)}$$

(Var)

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

$$Z = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{2500}{220 \cdot 0,75} = 15,15 (\Omega)$$

$$R = Z \cdot \cos\varphi = 11,36 (\Omega)$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = 10 (\Omega)$$

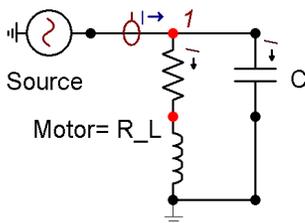
$$\Rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f} = \frac{10}{314} = 0,0318 (\text{H})$$

Tụ bù được thay thế bằng:

$$C = \frac{Q_b}{U^2 \cdot 2\pi \cdot f} = \frac{1140}{220^2 \cdot 314} = 75 (\mu\text{F})$$

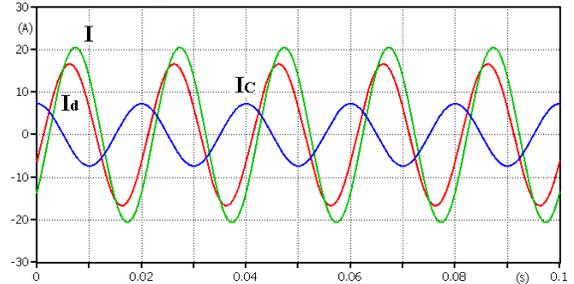
Sơ đồ mô phỏng bao gồm: Nguồn xoay chiều 220 V, động cơ được thay thế bởi mạch R\_L và tụ bù mắc song song (hình 2.2).

**Reactive Power Compensation simulation**



Hình 2.2. Sơ đồ mô phỏng bù công suất phản kháng bằng phần mềm EMTP.

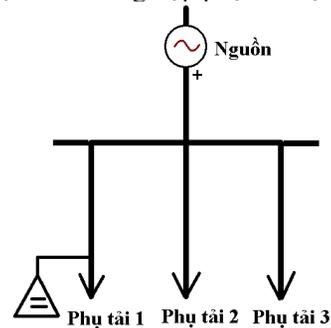
Biến thiên dòng điện thể hiện qua kết quả mô phỏng thể hiện trên hình 2.3. Với I là dòng điện qua động cơ,  $I_c$  là dòng điện qua tụ và  $I_d$  là dòng điện trên dây dẫn. Kết quả mô phỏng xác nhận rằng: Dòng điện vào động cơ là 14,53 A; khi sử dụng tụ bù, dòng điện trên dây dẫn giảm xuống còn 11,78 (A), kéo theo tổn thất giảm.



Hình 2.3. Biểu đồ biến thiên dòng điện qua động cơ I, qua tụ  $I_c$  và trên dây dẫn  $I_d$

**2.3. Thiết kế bù công suất phản kháng cho lưới điện phân phối**

Đối với lưới điện phân phối, sơ đồ phức tạp hơn với đường dây và nhiều phụ tải. Tuy nhiên, cách làm cũng tương tự như trường hợp phụ tải một pha.



Hình 2.4. Lưới phân phối với ba phụ tải.

*Vi dụ 2:*

Xét lưới điện phân phối (hình 2.4) với dữ liệu như sau:

Nguồn: 22,5 kV, tần số:  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Dây AC70 có  $Z_0 = 0,46 + j0,4 \Omega/\text{km}$ .

Phụ tải 1:

Đường dây dài 10 km,  $S_1 = 1200 + j1200 \text{ kVA}$

Phụ tải 2:

Đường dây dài 6 km,  $S_2 = 1200 + j800 \text{ kVA}$

Phụ tải 3:

Đường dây dài 8 km,  $S_3 = 1000 + j700 \text{ kVA}$

a. Tính điện áp tại phụ tải 1 và tổn thất công suất trên đường dây 1.

b. Thiết kế bù công suất phản kháng tại phụ tải 1 để nâng hệ số công suất lên 0,95. Tính điện áp cuối phụ tải 1 và tổn thất công suất trên đường dây 1.

**Giải:**

a. Tổng trở đường dây 1:

$$Z_1 = Z_0 \cdot L_1 = (0,46 + j0,4) \cdot 10 = 4,6 + j4 (\Omega)$$

Tổn thất điện áp trên đường dây 1:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U} = \frac{1200 \cdot 4,6 + 1200 \cdot 4}{22,5} = 460(\text{V})$$

Điện áp tại phụ tải 1:

$$U_1 = U_N - \Delta U = 22,5 - 0,46 = 22,04 (\text{kV})$$

Tổn thất công suất:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = 26170(\text{W}) = 26,17(\text{kW})$$

Trên nhánh thứ nhất, tổn hao công suất chiếm 2,18%.

b.  $\cos \varphi_2 = 0,95$  nên  $\tan \varphi_2 = 0,329$

Dung lượng bù tính theo (4):

$$Q_b = 1200 \cdot (1 - 0,329) = 805 (\text{kVAr})$$

Thực tế không có hãng nào sản xuất tụ với dung lượng lẻ, vì vậy chọn  $Q_b = 800 \text{ kVAr}$  từ 4 tụ dung lượng 200 kVAr.

Tính tương tự như trên, khi có tụ bù,

$$\Delta U' = \frac{P \cdot R + (Q - Q_b) \cdot X}{U} = \frac{1200 \cdot 4,6 + 400 \cdot 4}{22,5} = 330(\text{V})$$

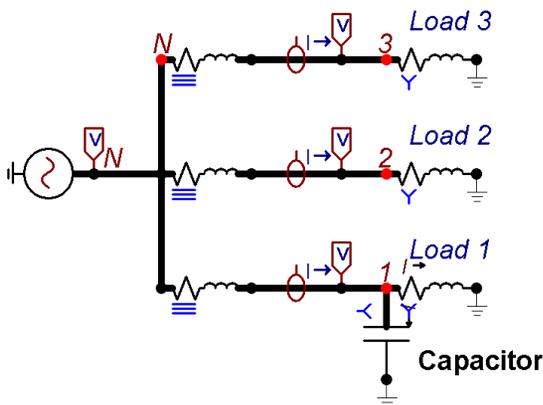
$$U'_1 = U_N - \Delta U' = 22,5 - 0,33 = 22,17 (\text{kV})$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_b)^2}{U^2} \cdot R = 14540(\text{W}) = 14,54(\text{kW})$$

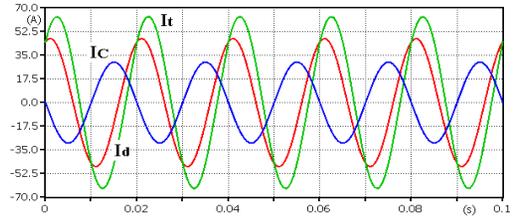
Điện áp là 22,17 kV và tổn thất công suất là 14,54 kW. Như vậy, khi sử dụng tụ bù, điện áp cuối đường dây sẽ tăng lên 0,13 kV (0,6%), đồng thời giảm được tổn thất công suất (tiết kiệm được 11,63 kW, từ 2,18% xuống còn 1,21%, giảm được 0,97%)

Mô phỏng sơ đồ lưới điện bằng phần mềm EMTP (hình 2.5) với tụ bù được tính như sau:

$$Q = \frac{U^2}{X_b} = U^2 \omega C \Rightarrow C = \frac{Q}{U^2 \omega} = \frac{800000}{22000^2 \cdot 314} = 5,26(\mu\text{F})$$

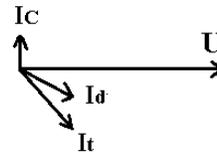


Hình 2.5. Sơ đồ mô phỏng bù công suất phản kháng trên lưới phân phối bằng phần mềm EMTP.



Hình 2.6. Dòng điện dây, phụ tải và dòng điện qua tụ trong chế độ xác lập.

Kết quả mô phỏng thể hiện trên hình 2.6. Nếu không có tụ bù thì dòng điện dây chính là dòng điện qua phụ tải (44,8 A). Khi có bù, dòng điện dây giảm, chỉ còn 33,4 A; điều đó được giải thích bằng sơ đồ vec tơ trên hình 2.7. Dòng điện đường dây giảm nên tổn thất công suất trên đường dây giảm.



Hình 2.7. Đồ thị vec tơ biểu diễn dòng điện dây, phụ tải và dòng điện qua tụ trong chế độ xác lập.

Như vậy, kiểm nghiệm từ kết quả mô phỏng cho thấy, quá trình thiết kế tụ bù đáp ứng được bù công suất phản kháng, nâng cao hệ số công suất, giảm tổn thất điện năng.

**3. Kết luận**

Bài viết đã thảo luận về bù công suất phản kháng để nâng cao hệ số công suất, giảm tổn thất điện năng trong học phần cung cấp điện cho SV ngành điện. Tác giả trình bày trường hợp nghiên cứu tính toán và thiết kế dung lượng bù cho thiết bị điện dân dụng cũng như ứng dụng trong lưới điện phân phối phức tạp. Để kiểm tra độ tin cậy của kết quả tính toán tác giả trình bày việc mô phỏng trên phần mềm EMTP. Kết quả mô phỏng cho thấy thiết kế đáp ứng được các điều kiện về hệ số công suất cũng như giảm tổn thất điện năng.

**Tài liệu tham khảo**

1. Nguyễn Xuân Phú, Nguyễn Công Hiền, Nguyễn Bội Khuê (2016), *Cung cấp điện*. NXB Khoa học và kỹ thuật.
2. Trần Quang Khánh CB (2012), *Giáo trình Cung cấp điện*. NXB Giáo dục Việt Nam, Hà Nội.
3. D. P. Kothari, and I. J. Nagrath, *Modern Power System Analysis*. Tata McGraw-Hill, 5th ed., 2019.
4. DAS, J. C. *Power system harmonics and passive filter designs*. John Wiley & Sons, 2015.
5. DAS, J. C. *Transients in electrical systems*. McGraw-Hill Professional Publishing, 2010.