

CHƯƠNG VII

BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Biên soạn: Phạm Khánh Tùng

Bộ môn Kỹ thuật điện – Khoa Sư phạm kỹ thuật

hnue.edu.vn/directory/tungpk

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

1. Khái niệm và ý nghĩa nâng cao hệ số công suất

- Tận dụng hết các khả năng (công suất đặt) các nhà máy điện.
- Tiết kiệm, sử dụng hợp lý thiết bị điện, giảm tổn thất điện năng.
- Trong toàn bộ hệ thống có 10÷15% năng lượng điện bị tổn thất qua khâu truyền tải và phân phối, trong đó mạng xí nghiệp chiếm khoảng 60% lượng tổn thất đó.
- Sử dụng hợp lý và khai thác hiệu quả thiết bị điện có thể đem lại những lợi ích to lớn.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

1.1. Bản chất của hệ số công suất

+ Công suất tác dụng P: đặc trưng cho chuyển hoá năng lượng

Sinh ra công cho quá trình động lực (môment quay ở động cơ), bù vào các tổn hao do phát nóng dây dẫn, lõi thép...

Tại nguồn P trực tiếp liên quan đến tiêu hao năng lượng đầu vào.

Công suất tác dụng P.

+ Công suất phản kháng Q: đặc trưng cho tích phóng năng lượng giữa nguồn và tải,

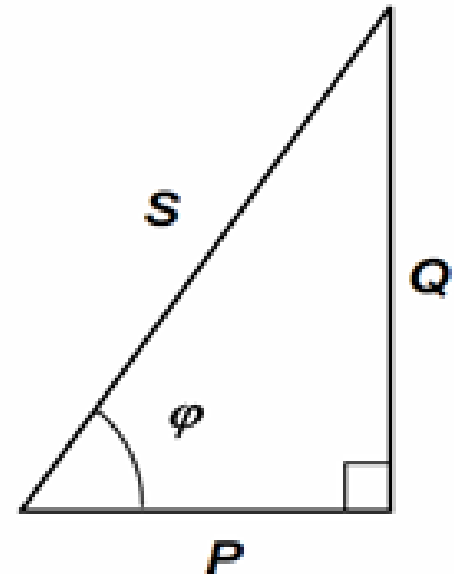
Từ hoá lõi thép máy biến áp, động cơ, gây biến đổi từ thông để tạo ra sđđ phía thứ cấp, tổn thất từ thông tản trong mạng.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Ở nguồn công suất Q liên quan đến sđđ của máy phát (dòng kích từ máy phát).

Giữa công suất P và công suất Q có liên hệ trực tiếp và đặc trưng cho mối quan hệ đó là hệ số công suất (pf – power factor, $\cos\varphi$).

Các đại lượng P ; Q ; S ; $\cos\varphi$ liên hệ với nhau bằng tam giác công suất.



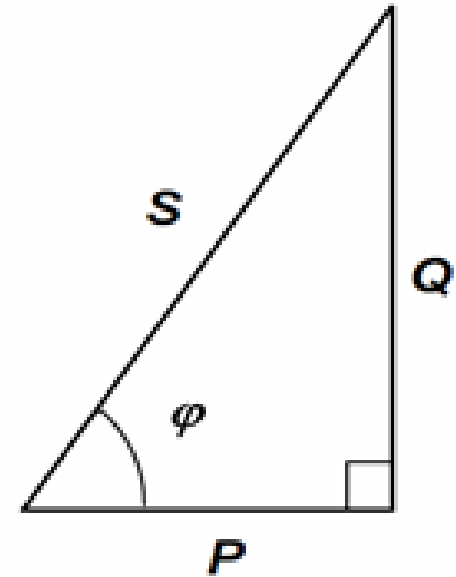
CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Công suất toàn phần S đặc trưng cho công suất thiết kế của thiết bị điện

Cùng một công suất S (cố định) nếu $\cos\varphi$ lớn (φ nhỏ) \rightarrow công suất P lớn \rightarrow thiết bị được khai thác tốt.

Nếu $\cos\varphi$ lớn \rightarrow công suất Q nhỏ.

Đứng về phương diện truyền tải nếu lượng Q (đòi hỏi từ nguồn) càng giảm thì sẽ giảm lượng tổn thất. Vì vậy thực chất của việc nâng cao hệ số $\cos\varphi$ cũng đồng nghĩa với việc giảm đòi hỏi về Q ở các hộ phụ tải.



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

1.2. Ý nghĩa của nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$

- Giảm tổn thất công suất và điện năng trên tất cả các phần tử (đường dây và máy biến áp)

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_{(P)} + \Delta P_{(Q)}$$

Nếu Q giảm $\rightarrow \Delta P_{(Q)}$ sẽ giảm $\rightarrow \Delta P$ cũng sẽ giảm $\rightarrow \Delta A$ giảm.

- Làm giảm tổn thất điện áp trong các phần tử của mạng:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_{(P)} + \Delta U_{(Q)}$$

- Tăng khả năng truyền tải của các phần tử:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}.U}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Quá trình trao đổi công suất Q giữa máy phát điện và hộ tiêu thụ là quá trình giao động. Mỗi chu kỳ $q(t)$ đổi chiều 4 lần, giá trị trung bình trong $1/2$ chu kỳ là bằng không).

Tương tự như khái niệm của công suất tác dụng, qui ước cho công suất phản kháng ý nghĩa tương tự và coi nó là công suất phát ra, tiêu thụ hoặc tuyền tải một đại lượng qui ước gọi là năng lượng phản kháng W_p (VAr.h) $\rightarrow Q = W_p / t$ (VAr).

Phụ tải cảm kháng với $Q > 0$ là phụ tải tiêu thụ Q

Phụ tải dung kháng với $Q < 0$ là nguồn phát ra công suất Q .

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Trong mạng xí nghiệp công suất phản kháng phân bổ như sau:

60 ÷ 65 % ở các động cơ không đồng bộ.

20 ÷ 25 % ở các máy biến áp.

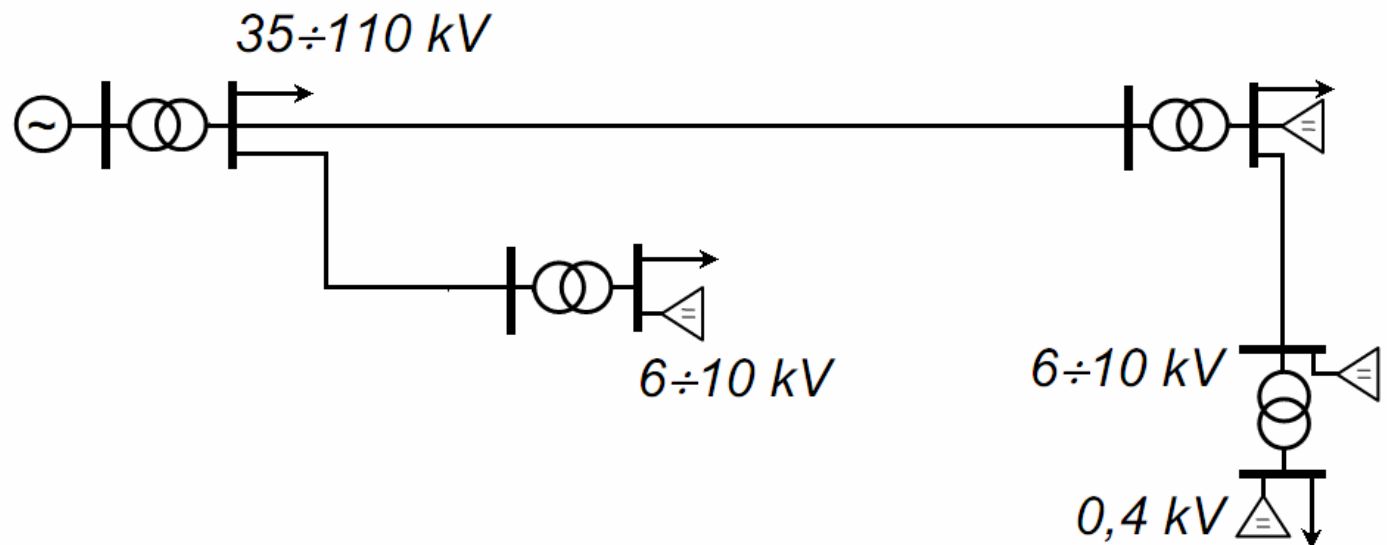
10 ÷ 20 % ở các thiết bị khác.

Phụ tải công nghiệp đều mang tính chất điện cảm (tức là tiêu thụ công suất phản kháng).

Có thể tạo ra công suất phản kháng trong mạng điện (phụ tải) mà không tiêu tốn năng lượng của động cơ sơ cấp, quay máy phát.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Tránh phải truyền tải một lượng Q khá lớn trên đường dây \rightarrow đặt gần các hộ tiêu thụ thiết bị sinh ra Q (tụ hoặc máy bù đồng bộ) hay bù công suất phản kháng, ví dụ sơ đồ cấp điện có đặt thiết bị bù:



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Phụ tải là các đại lượng biến đổi liên tục theo thời gian nên trị số của $\cos\varphi$ cũng biến động theo thời gian.

Trong tính toán thường dùng trị số trung bình của $\cos\varphi$

$$\cos \varphi_{tb} = \cos \left(\arctg \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} P(t) dt} \right) = \cos \left(\arctg \frac{Q_{tb}}{P_{tb}} \right)$$

Trong đó : Q_{tb} ; P_{tb} có thể xác định bằng đồng hồ đo điện năng.

$$P_{tb} = \frac{A}{t_2 - t_1} ; Q_{tb} = \frac{A_R}{t_2 - t_1}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

2. Các biện pháp nâng cao hệ số công suất:

Nâng cao hệ số công suất chính là giảm lượng công suất phản kháng phải truyền tải trên đường dây, và có 2 nhóm phương pháp.

+ Nâng cao hệ số $\cos\varphi$ tự nhiên: Vận hành hợp lý các thiết bị dùng điện nhằm giảm lượng Q đòi hỏi từ nguồn.

+ Nâng cao hệ số công suất bằng cách đặt thiết bị bù: Không giảm lượng Q đòi hỏi từ thiết bị dùng điện mà cung cấp công suất phản kháng Q tại các hộ dùng điện nhằm giảm lượng Q phải truyền tải trên đường dây.

Ưu tiên áp dụng nhóm phương pháp tự nhiên

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

2.1. Nhóm các phương pháp tự nhiên

- Thay những động cơ không đồng bộ làm việc non tải bằng những động cơ có công suất nhỏ hơn:

Khi làm việc bình thường động cơ tiêu thụ công suất phản kháng:

$$Q = Q_{kt} + \Delta Q_{đm} k_{pt}^2$$

Công suất phản kháng khi không tải (chiếm tỷ lệ 60 ÷ 70 % so với $Q_{đm}$) và có thể xác định theo công thức:

$$Q_{kt} \approx \sqrt{3} U_{đm} I_{kt}$$

I_{kt} - dòng điện không tải của động cơ.

k_{pt} - hệ số mang tải của động cơ $k_{pt} = \frac{P}{P_{đm}}$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

$\Delta Q_{đm}$ - lượng gia tăng công suất phản kháng khi động cơ mang tải định mức so với khi không tải.

$$\Delta Q_{đm} = Q_{đm} - Q_{kt} \approx \frac{P_{đm}}{\eta_{đm}} \operatorname{tg} \varphi_{đm} - \sqrt{3} U_{đm} I_{kt}$$

Với $\eta_{đm}$ - hiệu suất của động cơ khi mang tải định mức.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{kt} + \Delta Q_{đm} k_{pt}^2}{k_{pt} P_{đm}} \right)^2}}$$

Do đó ta thấy rằng k_{pt} giảm $\rightarrow \cos \varphi$ cũng giảm.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẦN KHÁNG

Ví dụ: Một động cơ: $\cos\phi = 0,8$ khi $k_{pt} = 1$; $\cos\phi = 0,65$ khi $k_{pt} = 0,5$;
 $\cos\phi = 0,51$ khi $k_{pt} = 0,3$

Khi có động cơ không đồng bộ làm việc non tải phải dựa vào mức độ tải để quyết định việc thay thế. Kinh nghiệm vận hành cho thấy rằng:

$k_{pt} < 0,45$ việc thay thế bao giờ cũng có lợi.

$k_{pt} > 0,7$ việc thay thế sẽ không có lợi.

$0,45 < k_{pt} < 0,7$ việc có tiến hành thay thế phải dựa trên việc so sánh kinh tế.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

- Giảm điện áp đặt vào động cơ thường xuyên làm việc non tải:

Thực hiện giảm áp khi không có điều kiện thay thế động cơ công suất nhỏ hơn. Công suất phản kháng cho động cơ KĐB :

$$Q = k \frac{U^2}{\mu} f \cdot V$$

Trong đó :

k - hằng số;

U - điện áp đặt vào động cơ;

μ - hệ số dẫn từ của mạch từ;

f - tần số dòng điện;

V - thể tích mạch từ

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Phương pháp giảm điện áp trong thực tế:

- + Đổi nối dây quấn stato từ đấu $\Delta \rightarrow Y$
- + Thay đổi cách phân nhóm dây cuộn stato.
- + Thay đổi đầu phân áp của máy biến áp hạ áp.

Chú ý: Các biện pháp này thực hiện tốt đối với các động cơ có điện áp $U < 1000 \text{ V}$ và $k_{pt} < 0,3 \div 0,4$.

Bên cạnh đó khi đổi nối $\Delta \rightarrow Y$, điện áp giảm 3 lần, dòng điện tăng 3 lần nhưng mômen sẽ giảm đi 3 lần, do đó phải kiểm tra điều kiện quá tải và khởi động sau đó.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

- Hạn chế động cơ không đồng bộ chạy không tải hoặc non tải

Các động cơ máy công cụ khi làm việc có thời gian chạy không tải xen lẫn thời gian mang tải (chiếm tới 50 - 60 %).

Nếu giảm thời gian không tải → tránh được tổn thất.

Quá trình đóng cắt động cơ cũng sinh ra tổn hao mở máy.

Thực tế vận hành thấy nếu t_0 (thời gian chạy không tải) của động cơ lớn hơn 10 giây thì việc cắt khởi mạng có lợi.

Biện pháp:

+ Thao tác hợp lý, hạn chế thời gian chạy không tải.

+ Đặt bộ hạn chế chạy không tải.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

- Dùng động cơ đồng bộ thay cho động cơ không đồng bộ:

Đối với máy có công suất lớn, không yêu cầu điều chỉnh tốc độ

+ Hệ số công suất cao, có thể làm việc ở chế độ quá kích từ → máy bù công suất phản kháng, góp phần sự ổn định của hệ thống.

+ Mômen quay tỷ lệ với bậc nhất của điện áp → ít ảnh hưởng đến dao động điện áp. Khi tần số nguồn thay đổi, tốc độ quay không phụ thuộc vào phụ tải nên năng suất làm việc cao.

+ Nhược điểm: cấu tạo phức tạp, giá thành cao, số lượng mới chỉ chiếm 20% tổng số động cơ.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

3. Bù công suất phản kháng

Bù công suất phản kháng Q chỉ được tiến hành sau khi thực hiện các biện pháp tự nhiên không đạt được yêu cầu.

3.1. Thiết bị bù

Sử dụng hai loại thiết bị bù chính là tụ điện tĩnh và máy bù đồng bộ.

Hai loại thiết bị này có những ưu nhược điểm gần như trái ngược nhau.

Tùy theo yêu cầu của phụ tải và mạng điện cung cấp có thể lựa chọn thiết bị bù phù hợp

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Máy bù đồng bộ: động cơ đồng bộ chạy không tải.

- Có khả năng phát và tiêu thụ được công suất phản kháng.
- Công suất phản kháng phát ra không phụ thuộc vào điện áp đặt, chủ yếu là phụ thuộc vào dòng kích từ (điều chỉnh được dễ dàng).
- Lắp đặt vận hành phức tạp, dễ gây sự cố (vì có bộ phận quay).
- Máy bù đồng bộ tiêu thụ công suất tác dụng khá lớn khoảng $0,015 \div 0,02$ kW/kVAr.
- Giá tiền đơn vị công suất phản kháng thay đổi theo dung lượng. Nếu dung lượng nhỏ thì sẽ đắt. Vì vậy chỉ được sản xuất ra với dung lượng lớn 5 MVar trở lên.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

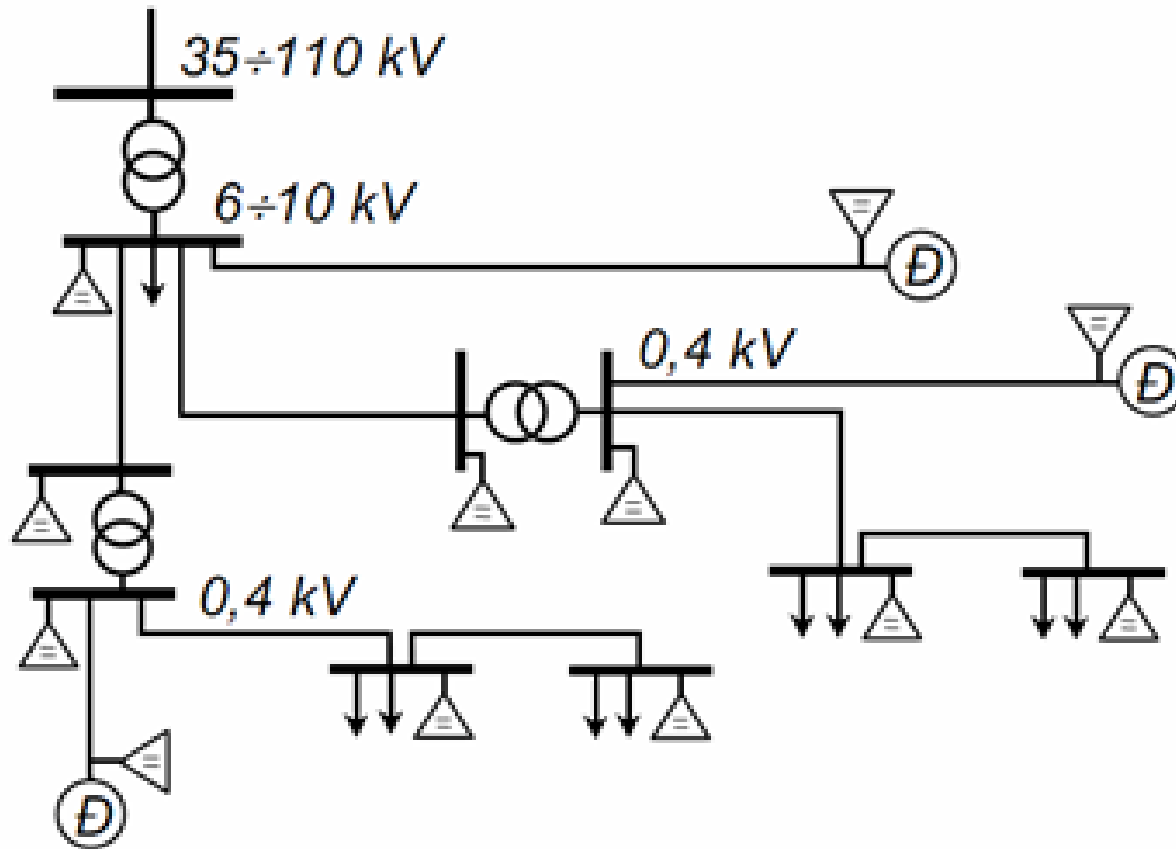
Tụ điện tĩnh:

- Giá tiền cho một đơn vị công suất phản kháng phát ra hầu như không thay đổi theo dung lượng → thuận tiện cho chia nhỏ ra nhiều nhóm nhỏ đặt sâu về phía phụ tải.
- Tiêu thụ rất ít công suất tác dụng khoảng 0,003 – 0,005 kW/kVAr.
- Vận hành lắp đặt đơn giản, ít gây ra sự cố.
- Công suất phản kháng phát ra phụ thuộc vào điện áp đặt vào tụ.
- Chỉ phát công suất phản kháng và không có khả năng điều chỉnh.

Mạng điện xí nghiệp chỉ nên sử dụng tụ điện tĩnh, còn máy bù đồng bộ chỉ được dùng ở phía hạ áp (6-10 kV) của các trạm trung gian

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

3.2. Vị trí đặt thiết bị bù:



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

+ Đặt tập trung: Tại thanh cái hạ áp trạm phân xưởng (0,4 kV) hoặc thanh cái trạm trung tâm (6-10 kV), ưu điểm dễ quản lý vận hành, giảm vốn đầu tư.

+ Đặt phân tán: thiết bị bù được phân nhỏ thành từng nhóm đặt tại các tủ động lực trong phân xưởng. Trường hợp động cơ công suất lớn, tiêu thụ nhiều Q có thể đặt ngay tại các động cơ đó.

Đặt thiết bị bù ở phía hạ áp không phải luôn có lợi, do giá tiền cho 1 kVAr tụ hạ áp đắt gấp đôi 1 kVAr tụ ở 6-10 kV. Phân nhỏ dung lượng bù để đặt theo nhóm riêng lẻ cũng không phải luôn có lợi, bởi do có giảm ΔA nhiều hơn, nhưng làm tăng chi phí lắp đặt, quản lý và vận hành.

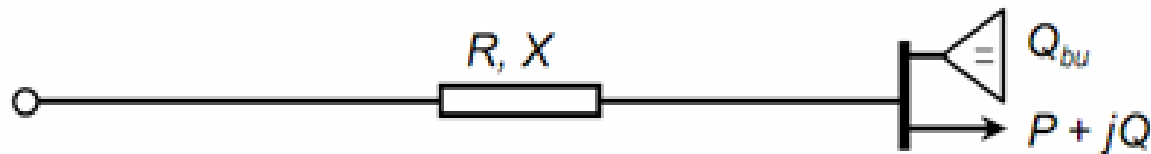
CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

4. Xác định dung lượng bù kinh tế tại các hộ tiêu thụ

Khi đặt thiết bị bù sẽ giảm được tổn thất điện năng ΔA , nhưng tiêu tốn vốn đầu tư, đồng thời thiết bị bù cũng gây nên tổn thất ΔP ngay trong ở thiết bị và cần chi phí vận hành.

Dung lượng bù nào hợp lý ?

Thiết lập quan hệ của $Q_{bù}$ với Z_{tt} từ đó tìm $Q_{bù}$ để Z_{tt} tối thiểu, ta gọi dung lượng đó là $Q_{bù}$ kinh tế hoặc tối ưu.



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Tổng chi phí vận hành gồm 3 thành phần cơ bản:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

Z_1 - thành phần chi phí liên quan đến vốn đầu tư

$$Z_1 = (a_{vh} + a_{tc})k_0 Q_{bù}$$

a_{vh} - hệ số vận hành (khấu hao)

a_{tc} - hệ số hiệu quả kinh tế của việc thu hồi vốn đầu tư

k_0 - giá tiền đơn vị công suất đặt thiết bị bù (đ/1kVAr)

$Q_{bù}$ - dung lượng bù (đang cần tìm) (kVAr)

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Z_2 - thành phần liên quan đến tổn thất điện năng do thiết bị bù

$$Z_2 = \Delta P_0 Q_{\text{bù}} T.C$$

ΔP_0 - suất tổn hao công suất trong thiết bị bù (kW/1kVAr)

T - thời gian làm việc của thiết bị bù (đóng tụ vào lưới)

C - giá tiền điện năng tổn thất (đ/kWh).

Z_3 - thành phần tổn thất điện năng trong hệ thống (sau bù)

$$Z_3 = \frac{(Q - Q_{\text{bù}})^2}{U^2} R.\tau.C$$

R - điện trở của mạng; U - điện áp của mạng; Q - công suất phản kháng yêu cầu của hộ tiêu thụ; τ - Thời gian tổn thất công suất cực đại.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Hàm chi phí theo dung lượng bù: $Z = f(Q_{bù})$

$$Z = (a_{vh} + a_{tc})k_0 Q_{bù} + \Delta P_0 Q_{bù} T.C + \frac{(Q - Q_{bù})^2}{U^2} R.\tau.C$$

Tối thiểu hóa hàm chi phí \rightarrow giá trị công suất phản kháng Q_{kt}

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bù}} = (a_{vh} + a_{tc})k_0 + \Delta P_0 T.C + 2 \frac{(Q - Q_{bù})}{U^2} R.\tau.C = 0$$

$$Q_{bù.kt} = Q + \frac{(a_{vh} + a_{tc})k_0 + \Delta P_0 T.C}{2R.\tau.C} U^2$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Hàm chi phí theo dung lượng bù: $Z = f(Q_{bù})$

$$Z = (a_{vh} + a_{tc})k_0 Q_{bù} + \Delta P_0 Q_{bù} T.C + \frac{(Q - Q_{bù})^2}{U^2} R.\tau.C$$

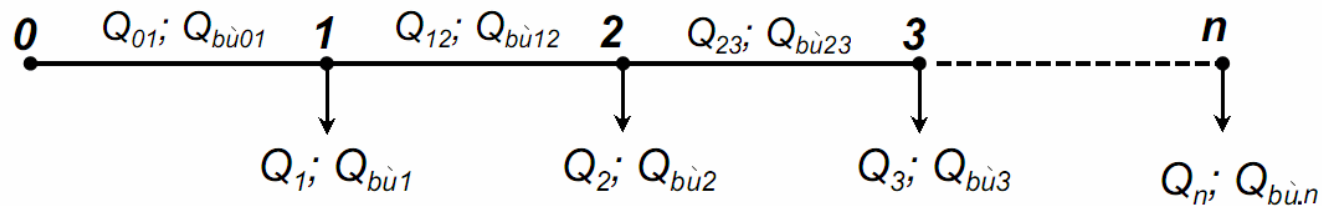
Tối thiểu hóa hàm chi phí \rightarrow giá trị công suất phản kháng Q_{kt}

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bù}} = (a_{vh} + a_{tc})k_0 + \Delta P_0 T.C + 2 \frac{(Q - Q_{bù})}{U^2} R.\tau.C = 0$$

$$Q_{bù.kt} = Q + \frac{(a_{vh} + a_{tc})k_0 + \Delta P_0 T.C}{2R.\tau.C} U^2$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Tương tự, hàm chi phí tính toán và tính dung lượng bù kinh tế cho mạng đường dây chính cung cấp cho một số phụ tải:



$$Z = (a_{vh} + a_{tc})k_0(Q_{bù.1} + Q_{bù.2} + \dots) + \Delta P_0(Q_{bù.1} + Q_{bù.2} + \dots)T.C + \frac{\tau.C}{U^2} \sum R_{ij} (Q_{ij} - Q_{bù.ij})^2$$

$$Z = f(Q_{bù.1}, Q_{bù.2}, \dots)$$

Tối thiểu hóa hàm chi phí \rightarrow giá trị công suất phản kháng Q_{kt}

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Hàm chi phí:

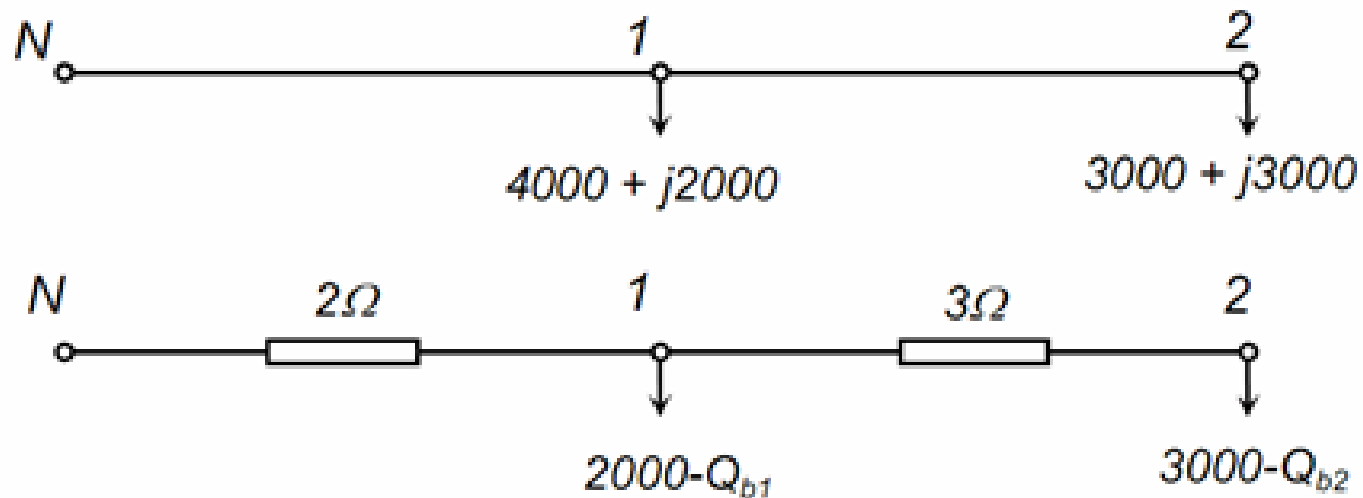
$$Z = f(Q_{bù.1}, Q_{bù.2}, \dots)$$

Để tìm được dung lượng bù kinh tế đặt tại từng hộ tiêu thụ ta lần lượt lấy đạo hàm riêng của chi phí tính toán theo $Q_{bù1}$; $Q_{bù2}$... và cho bằng không. Giải hệ phương trình đó ta tìm được dung lượng bù kinh tế đặt ở các điểm khác nhau.

Trị số $Q_{bù}$ tìm được có giá trị âm chứng tỏ việc đặt tụ điện bù tại hộ đó là không kinh tế, ta thay $Q_{bù} = 0$ ở những phương trình còn lại và giải hệ (n-1) phương trình đó một lần nữa.

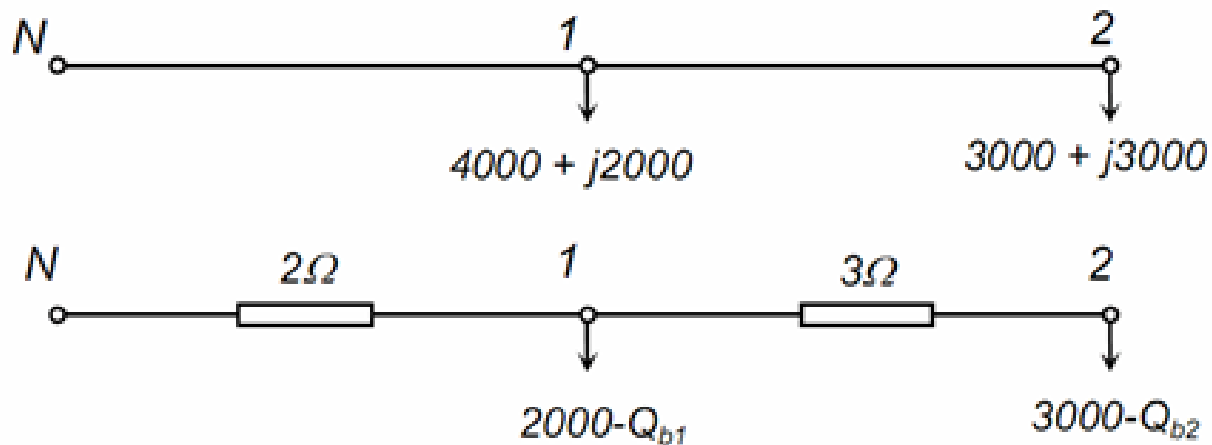
CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Ví dụ: Hai xí nghiệp 1 và 2 được cung cấp điện từ N. Giả sử đã tính được điện trở các đoạn đường dây 10 kV là 2 và 3 Ω. Hãy xác định dung lượng bù kinh tế tại thanh cái 10 kV của các xí nghiệp



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Tại mỗi xí nghiệp đặt Q_{b1} ; Q_{b2} , lập hàm chi phí tính toán



$$Z = (a_{vh} + a_{tc})k_0(Q_{b1} + Q_{b2}) + \Delta P_0(Q_{b1} + Q_{b2})T.C + \\ + \frac{\tau.C}{U^2}R_{12}(Q_2 - Q_{b2})^2 + \frac{\tau.C}{U^2}R_{N1}(Q_2 + Q_1 - Q_{b1} - Q_{b2})^2$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Đạo hàm Z theo Q_{b1} và Q_{b2} rồi cho bằng không.

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} = (a_{vh} + a_{tc})k_0 + \Delta P_0 T.C - 2 \frac{(Q_1 + Q_2 - Q_{b1} - Q_{b2})}{U^2} R_{N1} \cdot \tau.C = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} = & (a_{vh} + a_{tc})k_0 + \Delta P_0 T.C - 2 \frac{(Q_2 - Q_{b2})}{U^2} R_{12} \cdot \tau.C - \\ & - 2 \frac{(Q_1 + Q_2 - Q_{b1} - Q_{b2})}{U^2} R_{N1} \cdot \tau.C = 0 \end{aligned}$$

Nếu lấy $k_0 = 70$ đ/kVAr ; $\Delta P_0 = 0,005$ kW/kVAr ; $a_{vh} = 0,1$; $a_{tc} = 0,125$;
 $C = 0,1$ đ/kWh ; $\tau = 2500$ h.

Giải hệ phương trình trên được: $Q_{b1} = -200$ kVAr ; $Q_{b2} = 3000$ kVAr

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Giải hệ phương trình trên được:

$$Q_{b1} = - 200 \text{ kVAr} ;$$

$$Q_{b2} = 3000 \text{ kVAr}$$

Vì $Q_{b1} < 0 \rightarrow$ không nên đặt thiết bị bù tại xí nghiệp 1 thay $Q_{b1} = 0$ vào phương trình thứ hai, cuối cùng giải ra được $Q_{b2} = 2900 \text{ kVAr}$.

Vậy muốn mạng điện trên vận hành kinh tế chỉ nên đặt thiết bị bù tại xí nghiệp 2 với dung lượng 2900 kVAr.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

5. Phân phối thiết bị bù trong mạng điện xí nghiệp

Bù công suất phản kháng trong xí nghiệp thực hiện để nâng hệ số công suất từ một giá trị nào đó lên một mức theo yêu cầu.

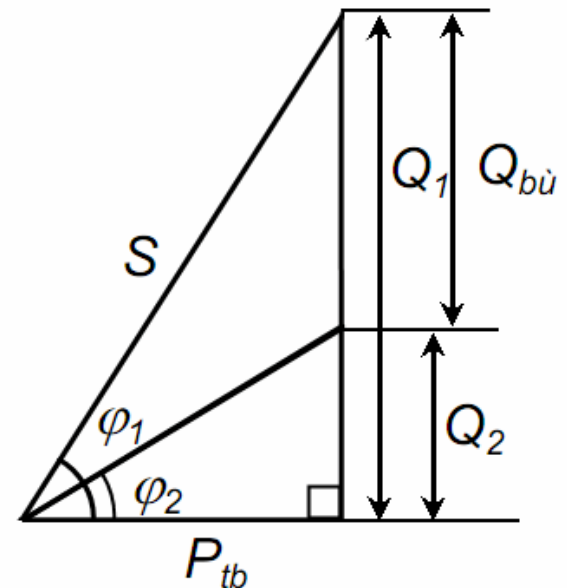
Từ đồ thị có thể xác định được $Q_{bù}$.

$$Q_{bù} = P_{tb} (tg \varphi_1 - tg \varphi_2)$$

P_{tb} - công suất trung bình.

$tg \varphi_1$ ($\cos \varphi_1$) : trước khi bù.

$tg \varphi_2$ ($\cos \varphi_2$) : sau khi bù, đối với các xí nghiệp cần phải bù để đạt được hệ số $\cos \varphi$ qui định (0,85 ÷ 0,9).



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Bù công suất phản kháng nguyên có thể đặt tại nhiều điểm (thanh cái hạ áp của trạm trung tâm, thanh cái cao áp và hạ áp của trạm phân xưởng, động cơ công suất lớn) rồi thiết lập $Z(Q_{b1}; Q_{b2}; \dots Q_{bn})$.

Tìm cực trị của hàm Z với ràng buộc:

$$\sum_{i=1}^n Q_{b.i} = Q_{bù}$$

Thực tế bài toán này có khối lượng lớn, vì trong xí nghiệp tồn tại nhiều cấp điện áp khác nhau với giá kVAr tụ bù ở các cấp điện dao động trong khoảng rộng.

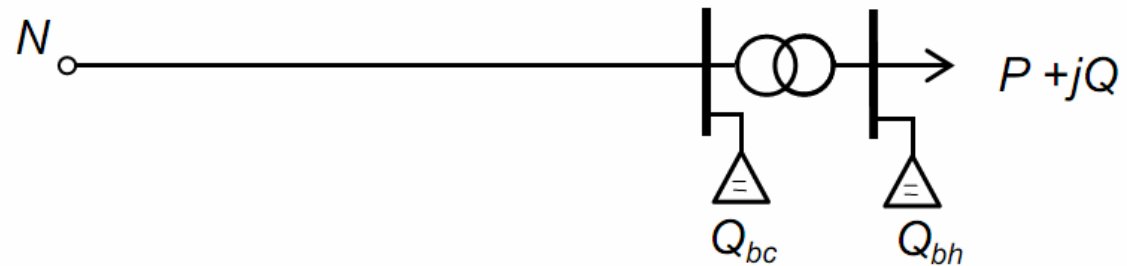
Bài toán thường được chia làm 2 bước:

- + Tìm dung lượng bù phía cao và hạ áp
- + Phân phối dung lượng bù tìm được cho mạng cao và hạ áp.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

5.1. Xác định dung lượng bù hợp lý ở phía cao áp - hạ áp

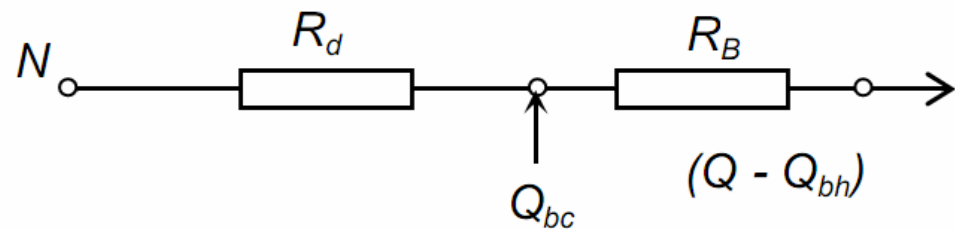
Xét mạng điện:



Q_{bc} ; Q_{bh} - dung lượng

bù đặt tại thanh cái

cao áp và hạ áp.



R_d ; R_{BA} - điện trở đường dây và biến áp qui về cùng cấp điện áp.

Thực tế giá 1 kVAr tụ bù ở phía hạ áp (0,4 kV) thường đắt hơn 1 kVAr tụ ở phía 6-10 kV từ 2 đến 2,5 lần

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Bài toán đặt ra: Với lượng $Q_{bù}$ biết trước \rightarrow phân bổ hợp lý về phía cao, hạ áp (tức xác định được dung lượng bù kinh tế). Như vậy ràng buộc của bài toán này:

$$Q_{bc} + Q_{bh} = Q_{bù}$$

Thiết lập hàm $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$ với các biến là Q_{bc} và Q_{bh} với ràng buộc, đồng thời đặc thù của bài toán này (chỉ phân phối 1 lượng $Q_{bù}$ cố định), nên có thể bỏ qua không xét đến thành phần Z_2 (thành phần liên quan đến tổn thất bên trong của tụ)

Nếu gọi k_c và k_h - giá tiền 1 kVAr tụ bù ở phía cao áp và hạ của trạm.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

$$Z = (a_{vh} + a_{tc})k_0(Q_{bc}k_c + Q_{bh}k_h) + \frac{R_{BA} \cdot T \cdot C}{U^2}(Q - Q_{bh})^2$$

$$Z = (a_{vh} + a_{tc})k_0((Q_{bù} - Q_{bh})k_c + Q_{bh}k_h) + \frac{R_{BA} \cdot T \cdot C}{U^2}(Q - Q_{bh})^2$$

Với: T - thời gian đóng điện cho tụ

Lấy đạo hàm Z theo Q_{bh} rồi cho bằng không:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{bh}} = (a_{vh} + a_{tc})(k_h - k_c) - 2 \frac{R_{BA} \cdot T \cdot C}{U^2}(Q - Q_{bh}) = 0$$

Từ đó ta tìm được:

$$Q_{bh.tu} = Q - \frac{(a_{vh} + a_{tc})(k_h - k_c)}{2R_{BA}TC} U^2$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Nếu ký hiệu $k = k_h - k_c$ (mức chênh giá 1 kVAr tụ) (đ/kVAr) và các giá trị Q , Q_{bh} (kVAr), U (kV)

Dung lượng bù tối ưu hạ áp:

$$Q_{bh.tu} = Q - \frac{(a_{vh} + a_{tc})k}{2R_{BA}TC} U^2 10^3$$

và cao áp:

$$Q_{bc.tu} = Q_{bù} - Q_{bh.tu}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

5.2. Phân phối dung lượng bù trong mạch cùng cấp điện áp

Khi tìm được dung lượng bù hợp lý cho cao, hạ áp \rightarrow cần phân phối dung lượng đó cho các địa điểm cần thiết trong mạng (cùng cấp điện áp).

Thiết lập hàm $Z(Q_{b1}; Q_{b2} \dots)$ với ràng buộc $Q_{bù} = \sum Q_{bi}$.

Bài toán phân phối có đặc điểm: thành phần Z_1 và Z_2 (chi phí liên quan đến vốn đầu tư và tổn thất bên trong các bộ tụ) có thể được bỏ qua vì chỉ phân phối với lượng Q tổng cố định.

Trong cùng một cấp điện áp nếu có xét đến Z_2 cũng sẽ không đổi trong mọi trường hợp.

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

a) Mạng hình tia

Xét mạng điện:

Giả thiết cần phân phối

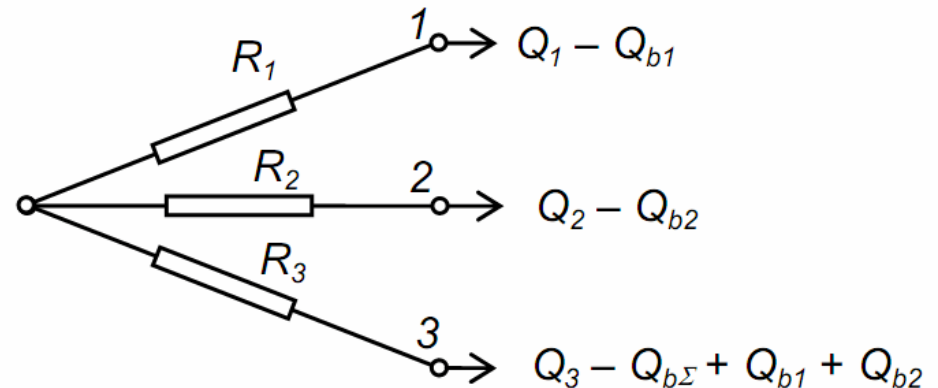
lượng $Q_{bù}$ về các hộ 1; 2 ; 3

biết trước kết cấu lưới (hình tia) cùng các phụ tải Q_1 ; Q_2 và Q_3 .

Hàm chi phí tính toán:

$$Z = \frac{CT}{U^2} \left((Q_1 - Q_{b1})^2 R_1 + (Q_2 - Q_{b2})^2 R_2 + (Q_3 - Q_{b\Sigma} + Q_{b1} + Q_{b2})^2 R_3 \right)$$

Ta lấy đạo hàm theo Q_{b1} và Q_{b2} rồi cho bằng không



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} = \frac{CT}{U^2} (2(Q_1 - Q_{b1})R_1 + 2(Q_3 - Q_{b\Sigma} + Q_{b1} + Q_{b2})R_3) = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} = \frac{CT}{U^2} (2(Q_2 - Q_{b2})R_2 + 2(Q_3 - Q_{b\Sigma} + Q_{b1} + Q_{b2})R_3) = 0$$

Từ hai phương trình:

$$(Q_1 - Q_{b1})R_1 = (Q_2 - Q_{b2})R_2 = (Q_3 - Q_{b3})R_3 = H = \text{const}$$

Dung lượng bù các hộ xác định theo:

$$Q_1 - Q_{b1} = \frac{H}{R_1}; Q_2 - Q_{b2} = \frac{H}{R_2}; Q_3 - Q_{b3} = \frac{H}{R_3}$$

$$Q_{b1} = Q_1 - \frac{H}{R_1}; Q_{b2} = Q_2 - \frac{H}{R_2}; Q_{b3} = Q_3 - \frac{H}{R_3}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} = \frac{CT}{U^2} (2(Q_1 - Q_{b1})R_1 + 2(Q_3 - Q_{b\Sigma} + Q_{b1} + Q_{b2})R_3) = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} = \frac{CT}{U^2} (2(Q_2 - Q_{b2})R_2 + 2(Q_3 - Q_{b\Sigma} + Q_{b1} + Q_{b2})R_3) = 0$$

Từ hai phương trình:

$$(Q_1 - Q_{b1})R_1 = (Q_2 - Q_{b2})R_2 = (Q_3 - Q_{b3})R_3 = H = \text{const}$$

Dung lượng bù các hộ xác định theo:

$$Q_1 - Q_{b1} = \frac{H}{R_1}; Q_2 - Q_{b2} = \frac{H}{R_2}; Q_3 - Q_{b3} = \frac{H}{R_3}$$

$$(Q_1 + Q_2 + Q_3) - (Q_{b3} + Q_{b2} + Q_{b1}) = H \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$(Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})R_{td} = H$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Dạng tổng quát:

$$(Q_i - Q_{b.i})R_i = (Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})R_{td}$$

Dung lượng bù từng nhánh của mạng tia

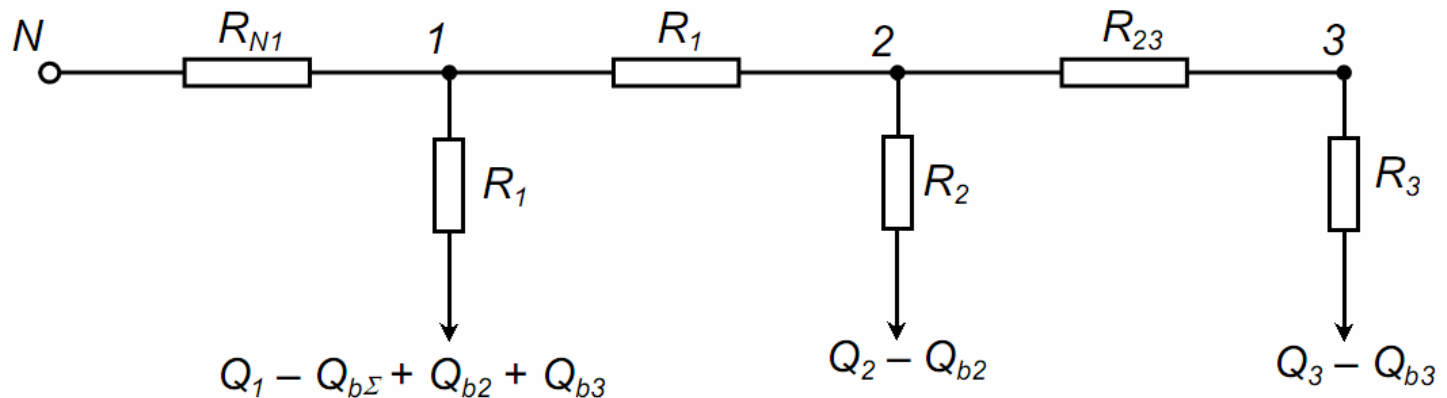
$$Q_{b.i} = Q_i - (Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})\frac{R_{td}}{R_i}$$

Dung lượng bù các hộ xác định theo:

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

b) Mạng liên thông

Xét mạng liên thông



Hàm chi phí:

$$Z = \frac{CT}{U^2} \left((Q_3 - Q_{b3})^2 (R_3 + R_{23}) + (Q_2 - Q_{b2})^2 R_2 + (Q_2 + Q_3 - Q_{b2} - Q_{b3})^2 R_{12} \right) + \\ + \frac{CT}{U^2} \left((Q_3 - Q_{b\Sigma} + Q_{b1} + Q_{b2})^2 R_1 + (Q_\Sigma - Q_{b\Sigma})^2 R_{N1} \right)$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Lần lượt lấy đạo hàm của Z theo Q_{bi} và cho bằng không, nhận được công thức tổng quát:

$$Q_{b.m} = Q_m - \left(\sum_{i=m}^n Q_i - \sum_{i=m}^n Q_{b.i} \right) \frac{R_{td.m}}{R_m}$$

Trong đó:

Q_{bm} - dung lượng bù đặt tại vị trí Q_m .

$\sum_{i=m}^n Q_i$ tổng công suất phản kháng kể từ phụ tải $Q_m \rightarrow Q_n$

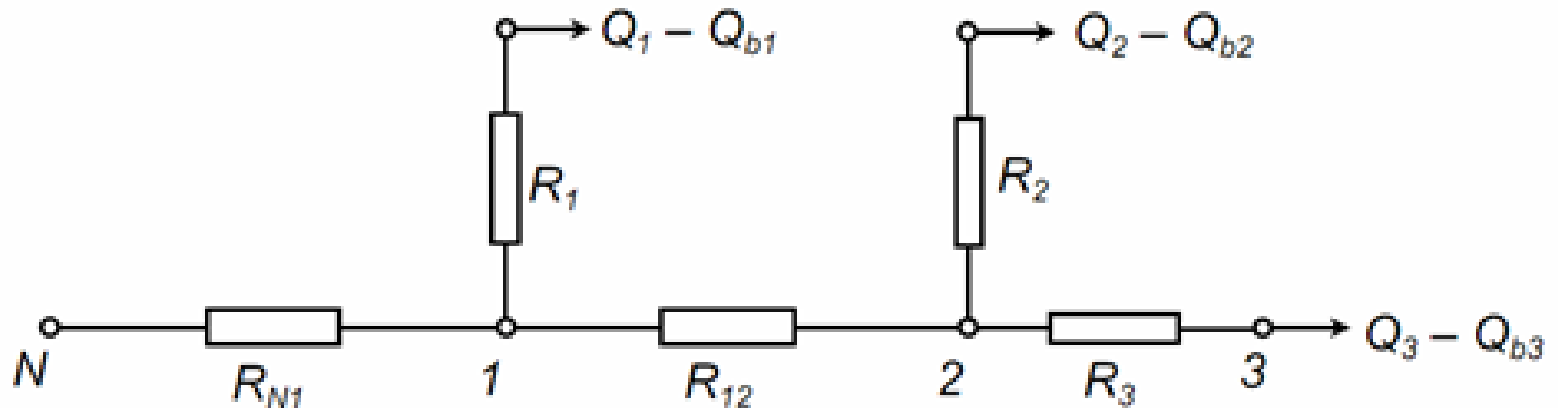
$\sum_{i=m}^n Q_{b.i}$ tổng dung lượng cần bù từ phụ tải $Q_m \rightarrow Q_n$

R_m - điện trở nhánh m.

R_{tdm} - điện trở tương đương giữa nhánh m và phần mạng còn lại (từ nút m đến n).

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

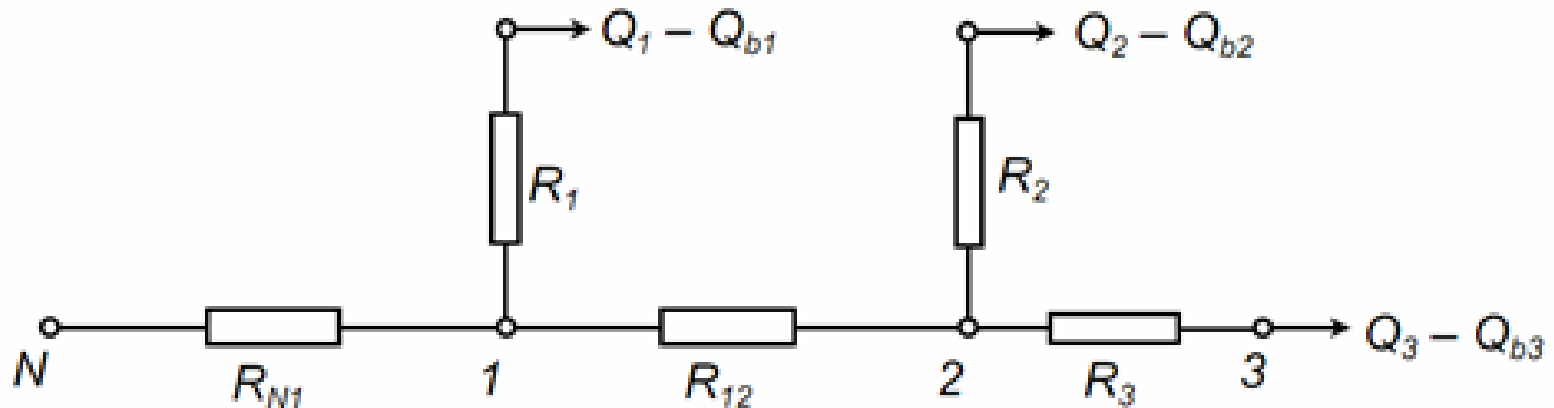
Ví dụ: Hãy phân phối dung lượng bù $Q_{b\Sigma} = 300$ kVAr cho mạng điện hạ áp với $R_1 = R_2 = 0,04 \Omega$; $R_{12} = 0,02 \Omega$; $Q_1 = 200$ kVAr; $Q_2 = 100$ kVAr; $Q_3 = 200$ kVAr.



Các điện trở tương đương:

$$R_{\text{td}2} = R_2 \text{ song song } R_3 \rightarrow R_{\text{td}2} = \frac{0,04 \cdot 0,04}{0,04 + 0,04} = 0,02$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

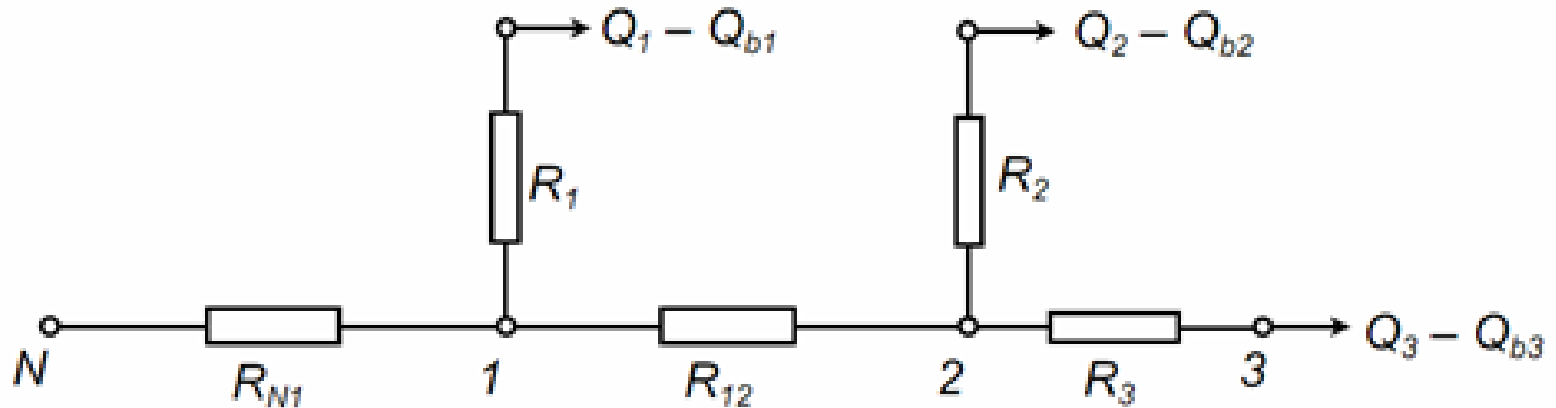


Các điện trở tương đương:

R_{td1} mạch giữa R_1 với $R_{12} + R_{td2} \rightarrow$

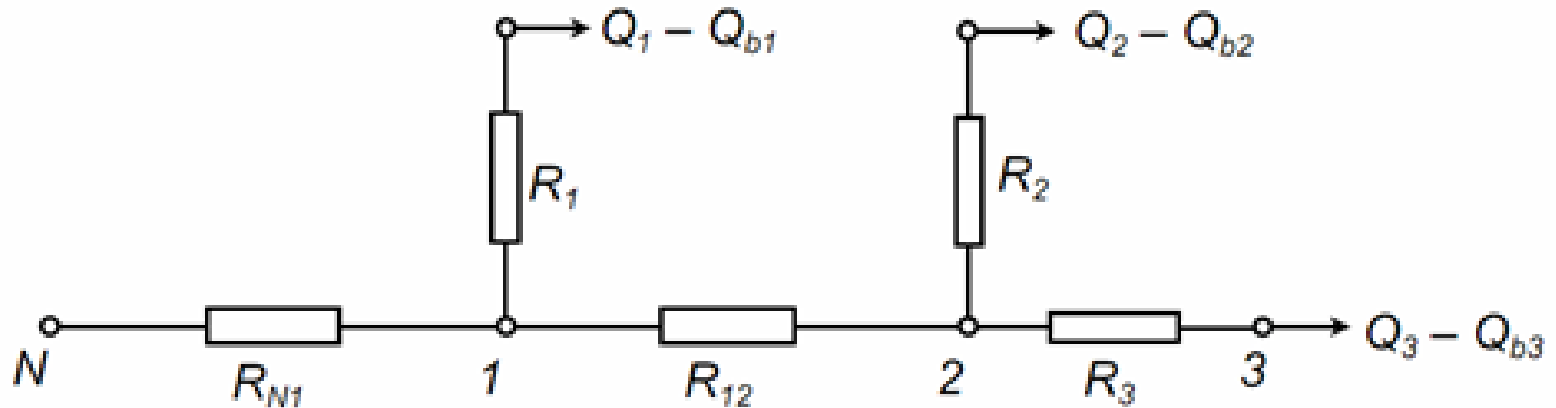
$$R_{td1} = \frac{R_1(R_{12} + R_{td2})}{R_1 + R_{12} + R_{td2}} = \frac{0,04(0,02 + 0,02)}{0,04 + 0,02 + 0,02} = 0,02$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG



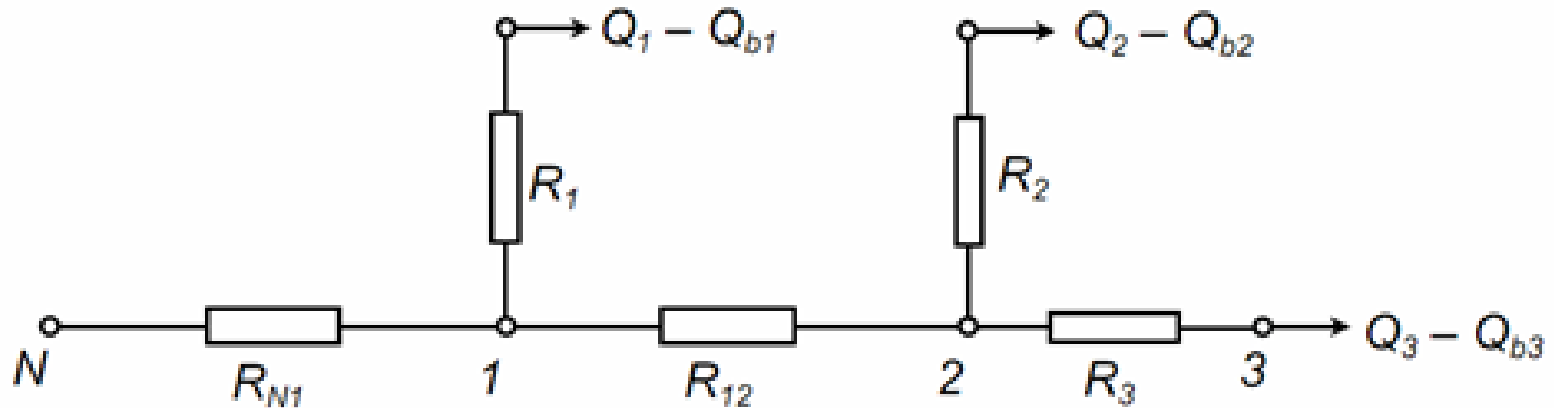
Áp dụng công thức:
$$Q_{b1} = Q_1 - ((Q_1 + Q_2 + Q_3) - Q_{b\Sigma}) \frac{R_{td1}}{R_1}$$
$$= 200 - (500 - 300) \frac{0,02}{0,04} = 100 \text{ (kVAr)}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG



Áp dụng công thức:
$$Q_{b2} = Q_2 - ((Q_2 + Q_3) - (Q_{b\Sigma} - Q_{b1})) \frac{R_{td2}}{R_2}$$
$$= 100 - (300 - (300 - 100)) \frac{0,02}{0,04} = 50 \text{ (kVAr)}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG



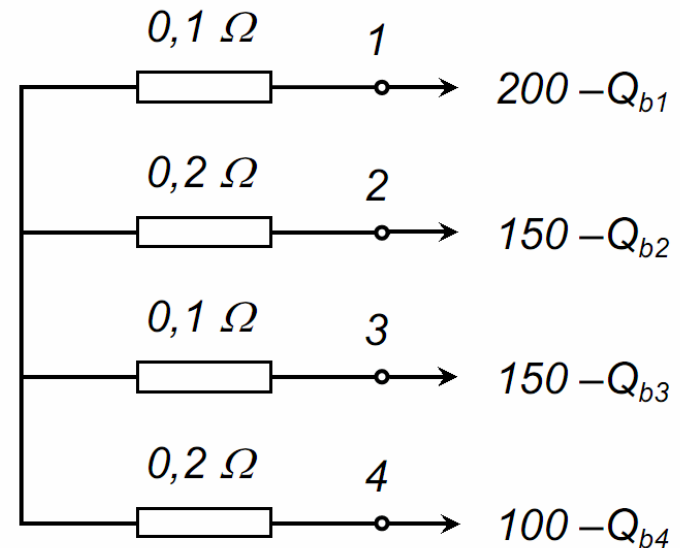
Áp dụng công thức:
$$Q_{b3} = Q_3 - \left((Q_2 + Q_3) - (Q_{b\Sigma} - Q_{b1}) \right) \frac{R_{td2}}{R_3}$$
$$= 200 - (300 - (300 - 100)) \frac{0,02}{0,04} = 150 \text{ (kVAr)}$$

$$Q_{b3} = Q_{b\Sigma} - (Q_{b1} + Q_{b2})$$

$$Q_{b3} = 300 - (100 + 50) = 150 \text{ kVAr}$$

CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Ví dụ: Hãy phân phối dung lượng bù $Q_{b\Sigma} = 300$ kVAr cho mạng điện hạ áp $U = 380$ V. Điện trở các nhánh cho trên hình, phụ tải các hộ cho bằng kVAr.



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Điện trở tương đương của 4 nhánh.

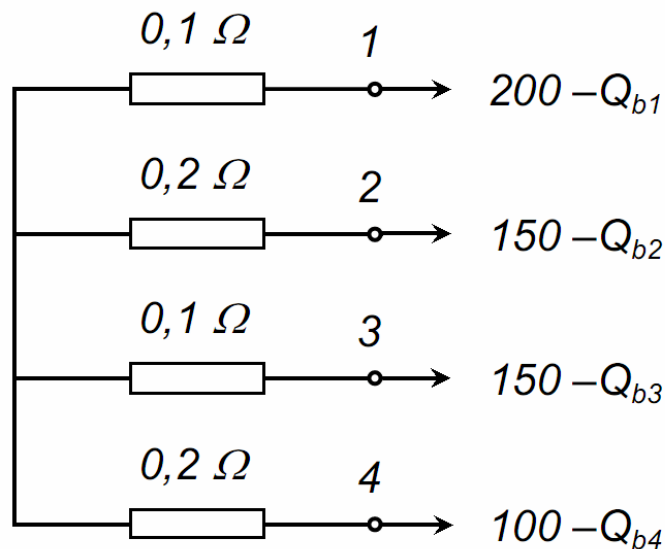
$$R_{tđ} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$R_{tđ} = \frac{1}{\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,1}} = \frac{1}{30}$$

$$Q_{\Sigma} = 200 + 150 + 150 + 100 = 600$$

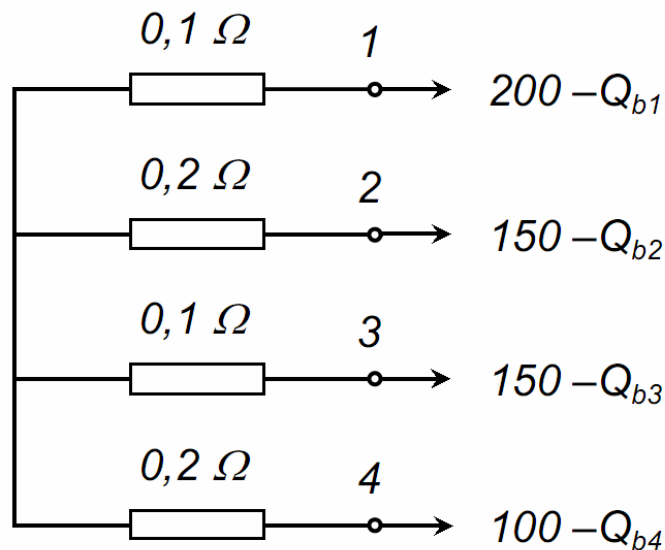
Áp dụng công thức cho mạng tia:

$$Q_{b1} = Q_1 - (Q_{\Sigma} - Q_{b\Sigma}) \frac{R_{tđ}}{R_1} = 200 - (600 - 300) \frac{1}{30 \cdot 0,1} = 100 \text{ kVAr}$$



CHƯƠNG VII : BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

Áp dụng công thức cho mạng tia:



$$Q_{b2} = Q_2 - (Q_{\Sigma} - Q_{b\Sigma}) \frac{R_{td}}{R_2} = 150 - (600 - 300) \frac{1}{30 \cdot 0,2} = 100 \text{ kVAr}$$

$$Q_{b3} = Q_3 - (Q_{\Sigma} - Q_{b\Sigma}) \frac{R_{td}}{R_3} = 150 - (600 - 300) \frac{1}{30 \cdot 0,1} = 50 \text{ kVAr}$$

$$Q_{b4} = Q_4 - (Q_{\Sigma} - Q_{b\Sigma}) \frac{R_{td}}{R_1} = 100 - (600 - 300) \frac{1}{30 \cdot 0,2} = 50 \text{ kVAr}$$