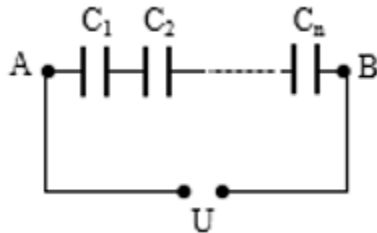


## Ghép tụ điện nối tiếp, song song

### A. Phương pháp & Ví dụ

- Vận dụng các công thức tìm điện dung C, điện tích Q, hiệu điện thế U của tụ điện trong các cách mắc song song, nối tiếp:

Ghép nối tiếp

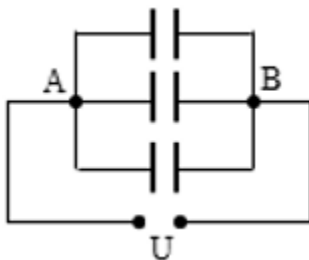


$$\frac{1}{C_b} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

$$U_b = U_1 + U_2 + U_3$$

$$Q_b = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

Ghép song song



$$C_b = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

$$U_b = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

$$Q_b = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

- Nếu trong bài toán có nhiều tụ được mắc hỗn hợp, ta cần tìm ra được cách mắc tụ điện của mạch đó rồi mới tính toán.

- Khi tụ điện bị đánh thủng, nó trở thành vật dẫn (dây dẫn).

- Sau khi ngắt tụ điện khỏi nguồn và vẫn giữ tụ điện đó cô lập thì điện tích Q của tụ đó vẫn không thay đổi.

► Đối với bài toán ghép tụ cần lưu ý hai trường hợp:

+ Nếu ban đầu các tụ chưa tích điện, khi ghép nối tiếp thì các tụ điện có cùng điện tích và khi ghép song song các tụ điện có cùng một hiệu điện thế.

+ Nếu ban đầu tụ điện (một hoặc một số tụ điện trong bộ) đã được tích điện cần áp dụng định luật bảo toàn điện tích (tổng đại số các điện tích của hai bản nối với nhau bằng dây dẫn được bảo toàn, nghĩa là tổng điện tích của hai bản đó trước khi nối với nhau bằng tổng điện tích của chúng sau khi nối).

**Ví dụ 1:** Một bộ gồm ba tụ ghép song song  $C_1 = C_2 = C_3/2$ . Khi được tích điện bằng nguồn có hiệu điện thế 45 V thì điện tích của bộ tụ điện bằng  $18 \cdot 10^{-4}$  C. Tính điện dung của các tụ điện.

**Hướng dẫn:**

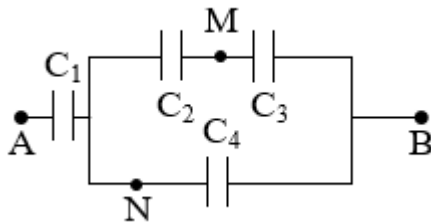
Ta có:

$$C_b = \frac{Q_b}{U} = \frac{18 \cdot 10^{-4}}{45} = 4 \cdot 10^{-5} F = 40 \mu F$$

$$\Rightarrow C_3 = \frac{C_b}{2} = 20 \mu F$$

Các tụ được ghép song song nên  $C_b = C_1 + C_2 + C_3 = 2C_3 \rightarrow C_1 = C_2 = 10 \mu F$ .

**Ví dụ 2:** Cho mạch điện như hình vẽ  $C_1 = 6 \mu F$ ,  $C_2 = 3 \mu F$ ,  $C_3 = 6 \mu F$ ,  $C_4 = 1 \mu F$ ,  $U_{AB} = 60 V$ .  
Tính:



- Điện dung của bộ tụ.
- Điện tích và hiệu điện thế của mỗi tụ.
- Hiệu điện thế  $U_{MN}$ .

**Hướng dẫn:**

- Từ mạch điện suy ra:  $[(C_2 \text{ nt } C_3) // C_4] \text{ nt } C_1$

+ Ta có:

$$C_{23} = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = 2 (\mu F) \Rightarrow C_{23-4} = C_{23} + C_4 = 3 (\mu F)$$

$$\Rightarrow C_b = \frac{C_1 C_{23-4}}{C_1 + C_{23-4}} = 2 \mu F$$

- Ta có:  $Q = Q_1 = Q_{234} = 1,2 \cdot 10^{-4} C$

$$\Rightarrow U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 20 V \Rightarrow U_{234} = U - U_1 = 40 V$$

Suy ra:  $U_4 = U_{24} = U_{234} = 40 V$ + Lại có:  $Q_4 = C_4 U_4 = 4 \cdot 10^{-5} C$ ;  $Q_{23} = C_{23} U_{23} = 8 \cdot 10^{-5} C = Q_2 = Q_3$ 

+ Do đó:

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{80}{3} V; U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{40}{3} V$$

- Bản A tích điện dương, bản B tích điện âm. Đi từ M đến N qua  $C_2$  theo chiều từ bản âm sang bản dương nên:

$$U_{MN} = -U_2 = -\frac{80}{3} \text{ V}.$$

**Ví dụ 3:** Tích điện cho tụ điện có điện dung  $C_1 = 20 \mu\text{F}$ , dưới hiệu điện thế  $200 \text{ V}$ . Sau đó nối tụ điện  $C_1$  với tụ điện  $C_2$  có điện dung  $10 \mu\text{F}$ , chưa tích điện. Sử dụng định luật bảo toàn điện tích, hãy tính điện tích của mỗi tụ điện sau khi nối chúng song song với nhau.

**Hướng dẫn:**

Đặt  $U = 200 \text{ V}$ ,  $C_1 = 20 \mu\text{F}$ ,  $Q$  là điện tích của tụ lúc đầu :  $Q = C_1 U = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ .

Sau khi ghép 2 tụ song song với nhau gọi  $Q_1, Q_2$  là điện tích của mỗi tụ,  $U'$  là hiệu điện thế giữa hai bản tụ.

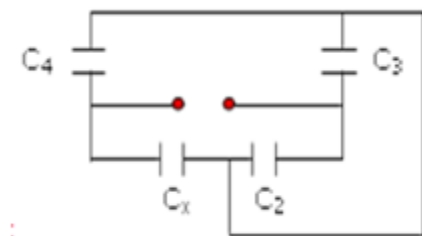
$$Q_1 = C_1 U'; Q_2 = C_2 U' \rightarrow Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2) U'$$

$$\Rightarrow U' = \frac{Q}{C_1 + C_2} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-6}} = 133 \text{ V}$$

$$\text{suy ra: } Q_1 = C_1 U' = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{400}{3} = 2,67 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$Q_2 = C_2 U' = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{400}{3} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

**Ví dụ 4:** Cho mạch điện như hình vẽ. Biết  $C_2 = 3 \mu\text{F}$ ;  $C_3 = 7 \mu\text{F}$ ;  $C_4 = 4 \mu\text{F}$ . Tính  $C_x$  để điện dung của bộ tụ là  $C = 5 \mu\text{F}$ .



- A.  $8 \mu\text{F}$ .
- B.  $12 \mu\text{F}$ .
- C.  $6 \mu\text{F}$ .
- D.  $4 \mu\text{F}$ .

**Hướng dẫn:**

Vẽ lại mạch điện ta được mạch  $(C_x // C_4)$  nt  $(C_2 // C_3)$

$$C_b = \frac{C_{23} \cdot C_{4x}}{C_{23} + C_{4x}}$$

Ta có  $C_{23} = C_2 + C_3 = 10 \mu\text{F}$ ;

Để điện dung của bộ tụ là  $C = 5 \mu\text{F}$  thì

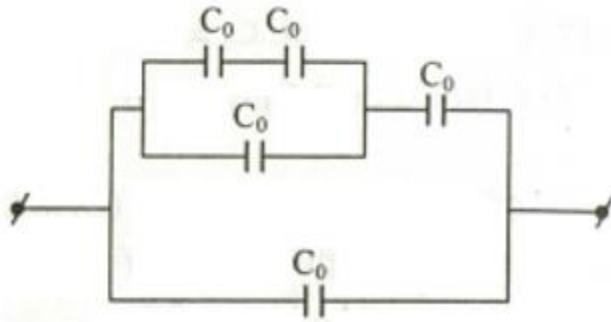
$$\frac{C_{23} \cdot C_{4x}}{C_{23} + C_{4x}} = 5 \mu F$$

$$\rightarrow C_{4x} = C_x + C_4 = 10 \mu F \rightarrow C_x = 6 \mu F.$$

**Ví dụ nâng cao:**

**Ví dụ 1:** một số tụ điện điện dung  $C_0 = 3 \mu F$ . Nêu cách mắc dùng ít tụ nhất để có điện dung  $5 \mu F$ . Vẽ sơ đồ cách mắc này.

**Hướng dẫn:**



Bộ tụ có điện dung  $5 \mu F > C_0 \rightarrow C_0$  mắc song song với  $C_1 \rightarrow C_1 = 5 - 3 = 2 \mu F$   
 $C_1 = 2 \mu F < C_0 \rightarrow C_1$  gồm  $C_0$  mắc nối tiếp với  $C_2$ :

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_0} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6} \rightarrow C_2 = 6 \mu F$$

Thấy  $C_2 = 6 \mu F = C_0 + C_0 \rightarrow C_2$  gồm  $C_0$  mắc song song với  $C_0$ .  
 Vậy phải dùng ít nhất 5 tụ  $C_0$  và mắc như hình vẽ.

**Ví dụ 2:** Hai tụ không khí phẳng  $C_1 = 0,2 \mu F$ ,  $C_2 = 0,4 \mu F$  mắc song song. Bộ tụ được tích điện đến hiệu điện thế  $U = 450 V$  rồi ngắt khỏi nguồn. Sau đó lấp đầy khoảng giữa 2 bản  $C_2$  bằng điện môi  $\epsilon = 2$ . Tính hiệu điện thế bộ tụ và điện tích mỗi tụ.

**Hướng dẫn:**

Điện dung của bộ tụ trước khi ngắt khỏi nguồn:  $C = C_1 + C_2 = 0,2 + 0,4 = 0,6 \mu F$

Điện tích của bộ tụ:  $Q = CU = 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 450 = 2,7 \cdot 10^{-4} C$ .

Điện dung của tụ  $C_2$  sau khi lấp đầy điện môi:  $C_2' = \frac{\epsilon S}{4\pi k d} = \epsilon C_2 = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \mu F$

Điện dung của bộ tụ sau khi lấp đầy  $C_2$  bằng điện môi:  $C' = C_1 + C_2' = 0,2 + 0,8 = 1 \mu F$

Ngắt tụ ra khỏi nguồn thì điện tích không đổi:  $Q' = Q = 2,7 \cdot 10^{-4} C$ .

$$U' = \frac{Q'}{C'} = \frac{2,7 \cdot 10^{-4}}{10^{-6}} = 270 V$$

Hiệu điện thế của bộ tụ sau khi ngắt khỏi nguồn:

2 tụ mắc // nên  $U_1' = U_2' = 270 V$

Điện tích của tụ  $C_1$ :  $Q_1' = C_1 U_1' = 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 270 = 5,4 \cdot 10^{-5} C$

Điện tích của tụ  $C_2$ :  $Q_2' = C_2' U_2' = 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 270 = 2,16 \cdot 10^{-5} C$ .

**Ví dụ 3:** Hai tụ không khí phẳng có  $C_1 = 2C_2$ , mắc nối tiếp vào nguồn  $U$  không đổi. Cường độ điện trường trong  $C_1$  thay đổi bao nhiêu lần nếu nhúng  $C_2$  vào chất điện môi  $\epsilon = 2$ ?

**Hướng dẫn:**

- Điện dung ban đầu của bộ tụ:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2C_2 C_2}{2C_2 + C_2} = \frac{2C_2}{3}$$

Điện tích ban đầu của bộ tụ:  $Q = CU = (2/3)C_2 U = Q_1 = Q_2$  (do 2 tụ mắc nối tiếp)

$$U_1 = Q_1 / C_1 = \frac{\frac{2}{3}C_2 U}{2C_2} = \frac{U}{3}$$

Hiệu điện thế của tụ  $C_1$ :

- Nếu nhúng  $C_2$  vào chất điện môi có  $\epsilon = 2 \rightarrow C_2' = 2C_2$

Điện dung sau khi nhúng của bộ tụ:

$$C' = \frac{C_1 C_2'}{C_1 + C_2'} = \frac{2C_2 \cdot 2C_2}{2C_2 + 2C_2} = C_2$$

Điện tích sau khi nhúng của bộ:  $Q' = C'U = C_2 U$  (do vẫn nối với nguồn khi nhúng nên  $U$  không đổi)

Hiệu điện thế của  $C_1$  sau khi nhúng:

$$U_1' = Q_1' / C_1 = \frac{C_2 U}{2C_2} = \frac{U}{2}$$

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Do đó:

$$\rightarrow \frac{U_1'}{U_1} = \frac{E_1'}{E_1} = 1,5$$

Mà  $E = U/d$  . Vậy cường độ điện trường trong  $C_1$  tăng 1,5 lần.

**Ví dụ 4:** Tụ điện phẳng không khí  $C = 2\text{pF}$ . Nhúng chìm một nửa tụ vào điện môi lỏng  $\epsilon = 3$ . Tìm điện dung nếu khi nhúng, các bản đặt:

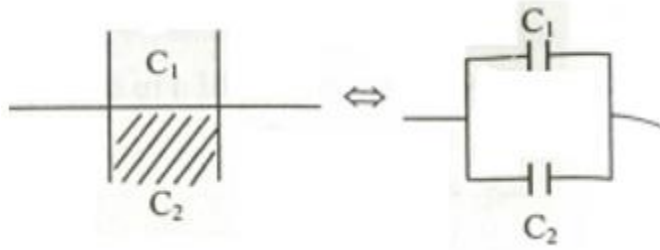
a) Thẳng đứng.                      b) Nằm ngang.

**Hướng dẫn:**

$$C = \frac{S}{4\pi k d} = 2\text{pF}$$

Điện dung ban đầu của tụ:

a) Khi các bản đặt thẳng đứng, hệ được xem gồm 2 tụ  $C_1$  và  $C_2$  mắc song song



$$C_1 = \frac{\frac{S}{2}}{4\pi k d} = \frac{C}{2}$$

Điện dung của tụ  $C_1$ :

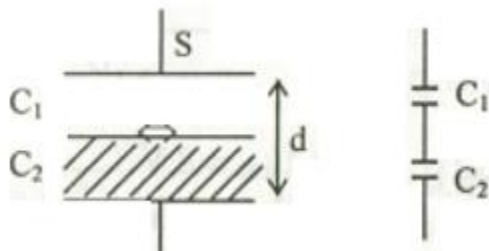
$$C_2 = \frac{\varepsilon \frac{S}{2}}{4\pi k d} = \frac{\varepsilon C}{2}$$

Điện dung của tụ  $C_2$ :

Điện dung của bộ tụ:

$$C_b = \frac{C}{2} + \frac{\varepsilon C}{2} = \left( \frac{1+\varepsilon}{2} \right) C = \left( \frac{1+3}{2} \right) 2 = 4 \text{ pF.}$$

b) Khi các bản đặt nằm ngang, hệ được xem gồm 2 tụ  $C_1$  và  $C_2$  mắc nối tiếp.



$$C_1 = \frac{S}{4\pi k \frac{d}{2}} = 2C$$

Điện dung của tụ  $C_1$ :

$$C_2 = \frac{\varepsilon S}{4\pi k \frac{d}{2}} = 2\varepsilon C$$

Điện dung của tụ  $C_2$ :

Điện dung của bộ tụ:

$$C_b = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2C \cdot 2\varepsilon C}{2C + 2\varepsilon C} = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon} C = \frac{2 \cdot 3}{1+3} \cdot 2 = 3 \text{ pF.}$$

**Ví dụ 5:** Tụ xoay gồm  $n$  tấm hình bán nguyệt đường kính  $D = 12 \text{ cm}$ , khoảng cách giữa 2 tấm liên tiếp  $d = 0,5 \text{ mm}$ . Phần đối diện giữa bản cố định và bản di chuyển có dạng hình quạt với góc ở tâm là  $\alpha$  ( $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ ).



- a) Biết điện dung cực đại của tụ là 1500 pF. Tính n.  
 b) Tụ được nối với hiệu điện thế  $U = 500 \text{ V}$  và ở vị trí  $\alpha = 120^\circ$ . Tính điện tích của tụ.  
 c) Sau đó ngắt tụ khỏi nguồn và thay đổi  $\alpha$ . Tính  $\alpha$  để có sự phóng điện giữa 2 bản. Biết điện trường giới hạn của không khí là  $3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ .

**Hướng dẫn:**

Diện tích phần đối diện mỗi bản:

$$S = \frac{1}{2} \pi R^2 \cdot \frac{\alpha}{180^\circ} \quad (\alpha \text{ tính bằng độ})$$

Hai bản đối diện tạo nên tụ điện có điện dung:

$$C_1 = \frac{S}{4\pi k d} = \frac{\frac{1}{2} \pi R^2 \frac{\alpha}{180^\circ}}{4\pi k d} = \frac{\alpha}{18} \cdot 10^{-11} \text{ F}, \text{ với } R = 0,06 \text{ m}; d = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Tụ gồm n bản tương đương  $(n - 1)$  tụ  $C_1$  ghép song song nên điện dung của tụ xoay là:

$$C = (n - 1)C_1 = (n - 1) \frac{\alpha}{18} \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

- a) Điện dung cực đại của tụ là 1500 pF khi  $\alpha = 180^\circ$

$$\rightarrow 1500 \cdot 10^{-12} = \frac{(n - 1) \cdot 180^\circ \cdot 10^{-11}}{18} \rightarrow n - 1 = 15 \rightarrow n = 16 \text{ tấm hình bán nguyệt.}$$

$$\rightarrow C = \frac{15 \cdot 120^\circ \cdot 10^{-11}}{18} = 10^{-9} \text{ F.}$$

- b) Khi  $\alpha = 120^\circ$

Điện tích của tụ:  $Q = CU = 10^{-9} \cdot 500 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ .

- c) Hiệu điện thế giới hạn của 2 bản tụ:  $U_{gh} = E_{gh} d = 3 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^2 = 15 \text{ V}$

Khi ngắt tụ khỏi nguồn thì  $Q = \text{const}$ . Điện tích của một tụ:

$$q = \frac{Q}{15} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{15} = \frac{10^{-7}}{3} C \rightarrow U = q/C_1 \leq U_{gh}$$

$$\rightarrow \frac{10^{-7}}{3 \frac{\alpha \cdot 10^{-11}}{18}} \leq 15 \rightarrow \alpha \geq 40^\circ.$$

**Ví dụ 6:** Ba tụ  $C_1 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ F}$ ,  $C_2 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ F}$ ,  $C_3 = 6 \cdot 10^{-9} \text{ F}$  mắc nối tiếp. Hiệu điện thế giới hạn của mỗi tụ là 500 V. Hỏi bộ tụ có chịu được hiệu điện thế 1100 V không?

**Hướng dẫn:**

Khi mắc nối tiếp  $Q_1 = Q_2 = Q_3 \rightarrow C_1 U_1 = C_2 U_2 = C_3 U_3$

Vì  $C_1 < C_2 < C_3 \rightarrow U_1 > U_2 > U_3$  nên:

$U_1 = U_{gh} = 500 \text{ V}$ ;

$$U_2 = \frac{C_1 U_1}{C_2} = \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 500}{4 \cdot 10^{-9}} = 250 \text{ V} ;$$

$$U_3 = \frac{C_1 U_1}{C_3} = \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 500}{6 \cdot 10^{-9}} = 166,67 \text{ V}$$

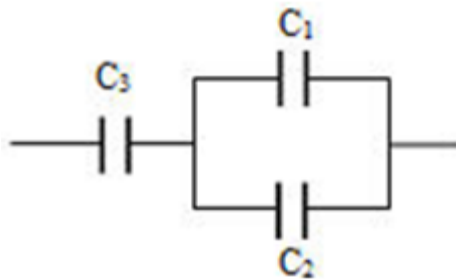
Hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ là:

$U = U_1 + U_2 + U_3 = 500 + 250 + 166,67 = 916,67 \text{ V} < 1100 \text{ V}$ .

Vậy bộ tụ không thể chịu được hiệu điện thế 1100 V.

## B. Bài tập

**Bài 1:** Có ba tụ điện  $C_1 = 3 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 2 \text{ nF}$ ,  $C_3 = 20 \text{ nF}$  được mắc như hình. Nối bộ tụ điện với hai cực một nguồn điện có hiệu điện thế 30 V. Tính hiệu điện thế của mỗi tụ.



**Lời giải:**



$$C_{12} = C_1 + C_2 = 5\text{nF}; C_b = \frac{C_{12} \cdot C_3}{C_{12} + C_3} = \frac{5 \cdot 20}{5 + 20} = 4\text{nF}$$

$$\Rightarrow Q_b = Q_3 = Q_{12} = 4 \cdot 30 = 120\text{nC}$$

$$\Rightarrow U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{120}{20} = 6\text{V}$$

$$U_1 = U_2 = \frac{Q_{12}}{C_{12}} = \frac{120}{5} = 24\text{V}$$

**Bài 2:** Hai tụ điện có điện dung  $C_1 = 2\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 3\mu\text{F}$  lần lượt được tích điện đến hiệu điện thế  $U_1 = 200\text{ V}$ ,  $U_2 = 400\text{ V}$ . Sau đó nối hai cặp bản tích điện cùng dấu của hai tụ điện với nhau. Hiệu điện thế của bộ tụ có giá trị nào sau đây ?

**Lời giải:**

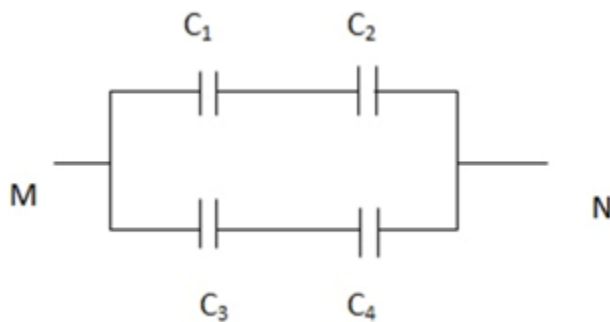
Vì hai cặp bản tích điện cùng dấu của hai tụ điện nối với nhau nên hai tụ này được ghép song song với nhau:  $C_b = C_1 + C_2 = 2 + 3 = 5\mu\text{F}$

Nối hai cặp bản tích điện cùng dấu thì điện tích của bộ tụ là:

$$Q_b = Q_1 + Q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2 = 2 \cdot 200 + 3 \cdot 400 = 1600\mu\text{C}$$

$$\Rightarrow U = \frac{Q_b}{C_b} = \frac{1600}{5} = 320\text{V}$$

**Bài 3:** Bốn tụ điện được mắc thành bộ theo sơ đồ dưới.  $C_1 = 1\mu\text{F}$ ;  $C_2 = 3\mu\text{F}$ ;  $C_3 = 3\mu\text{F}$ . Khi nối hai điểm M, N với nguồn điện thì tụ điện  $C_1$  có điện tích  $Q_1 = 6\mu\text{C}$  và cả bộ tụ điện có điện tích  $Q = 15,6\mu\text{C}$ . Tính hiệu điện thế đặt vào bộ tụ điện và điện dung của tụ điện  $C_4$  ?



**Lời giải:**

Vì hai tụ  $C_1, C_2$  ghép nối tiếp:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 0,75\mu\text{F}$$

$$Q_{12} = Q_1 = 6\mu\text{C}$$

Hiệu điện thế trên bộ tụ điện là

$$U = U_{12} = \frac{Q_{12}}{C_{12}} = \frac{6}{0,75} = 8V$$

$$Q = Q_{12} + Q_{34} \rightarrow Q_{34} = Q - Q_{12} = 9,6 \mu C$$

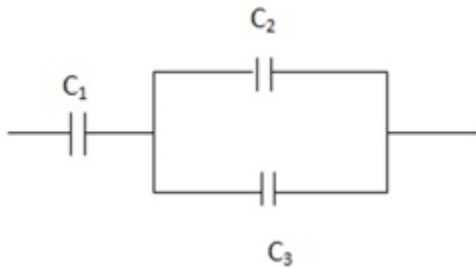
Do  $C_{12} // C_{34}$  nên:

$$\rightarrow C_{34} = \frac{Q_{34}}{U_{34}} = \frac{9,6}{8} = 1,2 \mu F$$

Vì  $C_3, C_4$  ghép nối tiếp:

$$\frac{1}{C_4} = \frac{1}{C_{34}} - \frac{1}{C_3} \rightarrow C_4 = \frac{C_{34} \cdot C_3}{C_3 - C_{34}} = 2 \mu F$$

**Bài 4:** Có 3 tụ điện  $C_1 = 2 \mu F$ ,  $C_2 = C_3 = 1 \mu F$  mắc như hình vẽ. Nối hai đầu của bộ tụ vào hai cực của nguồn điện có hiệu điện thế  $U = 4 V$ . Tính điện tích của các tụ điện.



**Lời giải:**

Ta có:  $C_{23} = C_2 + C_3 = 2 \mu F$ .

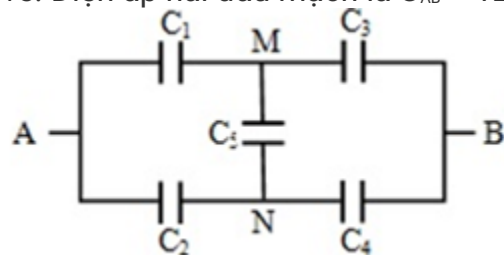
Điện dung của bộ tụ điện là:

$$C_b = \frac{C_1 \cdot C_{23}}{C_1 + C_{23}} = 1 \mu F$$

Điện tích của bộ tụ điện:  $Q = Q_1 = Q_{23} = C_b U = 4 \cdot 10^{-6} C$ .

$$Q_{23} = Q_2 + Q_3 = 4 \cdot 10^{-6} C \rightarrow Q_2 = Q_3 = \frac{Q}{2} = 2 \cdot 10^{-6} C \quad (U_2 = U_3 = 2 V)$$

**Bài 5:** Cho 5 tụ điện  $C_1 = 6 \mu F$ ,  $C_2 = 8 \mu F$ ,  $C_3 = 4 \mu F$ ,  $C_4 = 5 \mu F$ ,  $C_5 = 2 \mu F$  được mắc như hình vẽ. Điện áp hai đầu mạch là  $U_{AB} = 12 V$ . Giá trị  $U_{NM}$  là



**Lời giải:**

Xét mạch AMB có  $U_1 + U_3 = 12 V$  (1)

Xét mạch ANB có  $U_2 + U_4 = 12 V$  (2)

Xét mạch AMNB có  $U_1 + U_5 + U_4 = 12 \text{ V}$  (3)

Xét tại nút M có  $-6U_1 + 4U_3 + 2U_5 = 0$  (4)

Xét tại nút N có  $-8U_2 + 5U_4 - 2U_5 = 0$  (5)

Từ (1)(3)  $\rightarrow U_3 = U_4 + U_5$ ;  $U_1 = 12 - U_4 - U_5$

Từ (2)  $\rightarrow U_2 = 12 - U_4$

$\rightarrow$  hệ 2 phương trình:  $10U_4 + 12U_5 - 72 = 0$  và  $13U_4 - 2U_5 - 96 = 0$

$$\Rightarrow U_4 = \frac{81}{11} \text{ V}; U_5 = \frac{-3}{22} \text{ V} \Rightarrow U_{NM} = -U_5 = \frac{3}{22} \text{ V}$$