

1. Tụ điện là gì?

1.1. Định nghĩa

Tụ điện là một hệ hai vật dẫn đặt gần nhau và ngăn cách nhau bằng một lớp điện môi. Mỗi vật dẫn được gọi là một bản tụ.

Chức năng chính của tụ điện là tích và phóng điện trong mạch điện. Nó có khả năng lưu trữ năng lượng dưới dạng năng lượng điện trường.

1.2. Cấu tạo

Một tụ điện cơ bản bao gồm:

- **Hai bản tụ:** Là hai vật dẫn, thường có dạng tấm kim loại phẳng, lá kim loại, hoặc màng kim loại.
- **Lớp điện môi:** Là lớp vật liệu cách điện nằm giữa hai bản tụ, có thể là không khí, giấy, gốm, mica, hoặc các loại polymer. Lớp điện môi này có tác dụng làm tăng điện dung của tụ điện và ngăn không cho các điện tích di chuyển trực tiếp giữa hai bản.

1.3. Ký hiệu của tụ điện trong sơ đồ mạch điện

Trong các sơ đồ mạch điện, tụ điện được ký hiệu bằng hai vạch thẳng song song và bằng nhau. Nếu là tụ hóa (tụ có phân cực), một bản sẽ được ký hiệu bằng dấu cộng (+).

Ký hiệu tụ điện

1.4. Tích điện cho tụ điện

Để tích điện cho tụ, người ta nối hai bản của tụ điện với hai cực của một nguồn điện (ví dụ: pin). Bản nối với cực dương sẽ tích điện dương (+Q), bản nối với cực âm sẽ tích điện âm (-Q). Độ lớn điện tích trên mỗi bản tụ là như nhau và được gọi là điện tích của tụ điện (Q).

Quá trình tích điện kết thúc khi hiệu điện thế giữa hai bản tụ bằng hiệu điện thế của nguồn. Sau khi được tích điện, giữa hai bản tụ tồn tại một điện trường.

2. Điện dung của tụ điện

2.1. Định nghĩa

Điện dung của tụ điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ điện ở một hiệu điện thế nhất định. Nó được xác định bằng thương số của điện tích của tụ điện và hiệu điện thế giữa hai bản của nó.

2.2. Công thức và Đơn vị

Công thức định nghĩa điện dung:

$$C = Q / U$$

Trong đó:

- **C:** là điện dung của tụ điện, đơn vị là Fara (F).
- **Q:** là độ lớn điện tích trên mỗi bản tụ, đơn vị là Coulomb (C).
- **U:** là hiệu điện thế giữa hai bản tụ, đơn vị là Vôn (V).

Đơn vị: Fara là một đơn vị rất lớn, nên trong thực tế người ta thường dùng các ước số của nó:

- 1 Micrôfara (μF) = 10^{-6} F
- 1 Nanôfara (nF) = 10^{-9} F
- 1 Picôfara (pF) = 10^{-12} F

Lưu ý: Điện dung C của một tụ điện chỉ phụ thuộc vào cấu tạo của tụ (hình dạng, kích thước, khoảng cách giữa hai bản) và bản chất của lớp điện môi, không phụ thuộc vào điện tích Q hay hiệu điện thế U.

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Một tụ điện được tích điện đến hiệu điện thế 12V thì nó tích được một điện lượng 36 μC . Tính điện dung của tụ điện.

Giải: Áp dụng công thức $C = Q / U$, ta có:

$$Q = 36 \mu\text{C} = 36 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$U = 12 \text{ V}$$

$$C = (36 \cdot 10^{-6}) / 12 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 3 \mu\text{F}.$$

2. **Ví dụ 2:** Một tụ điện có điện dung 2000 pF được mắc vào hiệu điện thế 50V. Tính điện tích mà tụ tích được.

Giải: Từ công thức $C = Q / U$, suy ra $Q = C \cdot U$.

$$C = 2000 \text{ pF} = 2000 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$U = 50 \text{ V}$$

$$Q = (2 \cdot 10^{-9}) \cdot 50 = 100 \cdot 10^{-9} \text{ C} = 100 \text{ nC}.$$

3. Điện dung của tụ điện phẳng

3.1. Định nghĩa tụ điện phẳng

Tụ điện phẳng là tụ điện có hai bản tụ là hai tấm kim loại phẳng, có kích thước giống nhau, đặt song song và đối diện nhau.

3.2. Công thức tính điện dung của tụ điện phẳng

Điện dung của tụ điện phẳng được tính bằng công thức:

$$C = (\epsilon * S) / (4 * \pi * k * d) = (\epsilon_0 * \epsilon * S) / d$$

Trong đó:

- **C:** Điện dung của tụ (F).
- **ϵ (epsilon):** Hằng số điện môi của lớp cách điện giữa hai bản tụ (không có đơn vị). Đối với chân không hoặc không khí, $\epsilon \approx 1$.
- **ϵ_0 :** Hằng số điện, $\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12}$ F/m.
- **S:** Diện tích phần đối diện của hai bản tụ (m²).
- **d:** Khoảng cách giữa hai bản tụ (m).
- **k:** Hằng số Coulomb, $k = 9.10^9$ N.m²/C².

Từ công thức trên, ta thấy điện dung C của tụ điện phẳng tỉ lệ thuận với diện tích S, tỉ lệ thuận với hằng số điện môi ϵ và tỉ lệ nghịch với khoảng cách d giữa hai bản.

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Một tụ điện phẳng có hai bản tụ hình vuông cạnh 20 cm, đặt cách nhau 1 mm trong không khí ($\epsilon \approx 1$). Tính điện dung của tụ.

Giải:

Đổi đơn vị: $a = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$; $d = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$.

Diện tích bản tụ: $S = a^2 = (0.2)^2 = 0.04 \text{ m}^2$.

Áp dụng công thức: $C = (\epsilon_0 * \epsilon * S) / d = (8.85 * 10^{-12} * 1 * 0.04) / 0.001 = 3.54 * 10^{-10} \text{ F} \approx 354 \text{ pF}$.

2. **Ví dụ 2:** Một tụ điện phẳng có điện dung C . Nếu tăng khoảng cách giữa hai bản tụ lên gấp đôi và đặt vào giữa một lớp điện môi có hằng số điện môi $\epsilon = 4$ thì điện dung mới C' bằng bao nhiêu lần C ?

Giải:

Ban đầu: $C = (\epsilon_0 * 1 * S) / d$.

Lúc sau: $d' = 2d$, $\epsilon' = 4$.

Điện dung mới: $C' = (\epsilon_0 * \epsilon' * S) / d' = (\epsilon_0 * 4 * S) / (2d) = 2 * (\epsilon_0 * S) / d = 2C$.

Vậy điện dung mới tăng lên gấp 2 lần.

4. Ghép tụ điện

Trong thực tế, để có được bộ tụ có điện dung hoặc hiệu điện thế mong muốn, người ta thường ghép các tụ điện lại với nhau. Có hai cách ghép cơ bản là ghép nối tiếp và ghép song song.

4.1. Ghép nối tiếp

Ghép nối tiếp là cách ghép bản âm của tụ điện trước nối với bản dương của tụ điện sau, tạo thành một dãy liên tiếp.

- **Điện tích:** Điện tích trên các tụ trong bộ ghép nối tiếp bằng nhau và bằng điện tích của cả bộ.

$$Q_b = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

- **Hiệu điện thế:** Hiệu điện thế của cả bộ bằng tổng các hiệu điện thế trên từng tụ.

$$U_b = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

- **Điện dung tương đương:** Nghịch đảo của điện dung tương đương bằng tổng các nghịch đảo điện dung của từng tụ.

$$1/C_b = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

Lưu ý: Khi ghép nối tiếp, điện dung tương đương của bộ tụ luôn nhỏ hơn điện dung của tụ nhỏ nhất trong bộ.

4.2. Ghép song song

Ghép song song là cách ghép các bản dương của các tụ nối chung vào một điểm, các bản âm nối chung vào một điểm khác.

- **Hiệu điện thế:** Hiệu điện thế trên các tụ trong bộ ghép song song bằng nhau và bằng hiệu điện thế của cả bộ.

$$U_b = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

- **Điện tích:** Điện tích của cả bộ bằng tổng điện tích trên từng tụ.

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

- **Điện dung tương đương:** Điện dung tương đương của bộ bằng tổng các điện dung của từng tụ.

C_b = C₁ + C₂ + ... + C_n

Lưu ý: Khi ghép song song, điện dung tương đương của bộ tụ luôn lớn hơn điện dung của tụ lớn nhất trong bộ.

4.3. Bảng so sánh ghép tụ điện

Đại lượng	Ghép Nối tiếp	Ghép Song song
Điện tích (Q)	$Q_b = Q_1 = Q_2$	$Q_b = Q_1 + Q_2$
Hiệu điện thế (U)	$U_b = U_1 + U_2$	$U_b = U_1 = U_2$
Điện dung (C)	$1/C_b = 1/C_1 + 1/C_2$	$C_b = C_1 + C_2$

5. Năng lượng của tụ điện

5.1. Năng lượng điện trường trong tụ điện

Khi tụ điện được tích điện, công của nguồn điện thực hiện để dịch chuyển các điện tích đến các bản tụ được tích lũy lại dưới dạng năng lượng. Năng lượng này được gọi là năng lượng điện trường, tồn tại trong không gian giữa hai bản tụ.

5.2. Công thức tính năng lượng

Năng lượng của tụ điện được tính bằng một trong các công thức sau:

$W = (Q * U) / 2 = (C * U^2) / 2 = Q^2 / (2 * C)$

Trong đó:

- **W:** là năng lượng của tụ điện, đơn vị là Jun (J).
- **Q:** là điện tích của tụ (C).
- **U:** là hiệu điện thế giữa hai bản tụ (V).
- **C:** là điện dung của tụ (F).

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Một tụ điện có điện dung $5 \mu\text{F}$ được tích điện đến hiệu điện thế 100V . Tính năng lượng tụ tích được.

Giải:

$$C = 5 \mu\text{F} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$U = 100 \text{ V}$$

Áp dụng công thức $W = (C \cdot U^2) / 2$:

$$W = (5 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2) / 2 = (5 \cdot 10^{-6} \cdot 10000) / 2 = 0.025 \text{ J}.$$

2. **Ví dụ 2:** Một tụ điện tích được điện lượng 2 mC , có năng lượng là 1 J . Tính điện dung của tụ điện.

Giải:

$$Q = 2 \text{ mC} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$W = 1 \text{ J}$$

Áp dụng công thức $W = Q^2 / (2 \cdot C)$, suy ra $C = Q^2 / (2 \cdot W)$:

$$C = (2 \cdot 10^{-3})^2 / (2 \cdot 1) = (4 \cdot 10^{-6}) / 2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 2 \mu\text{F}.$$