

เอกสารประกอบการบรรยาย: วิชา 2304102 ฟิสิกส์ทั่วไป 2
ครั้งที่ 4 ภาคการศึกษาปลาย พ.ศ. 2551
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

สารบัญ

1 ตัวเก็บประจุกับสารไดอิเล็กตริก

1

1 ตัวเก็บประจุกับสารไดอิเล็กตริก

ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ (capacitor) คือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะตัวนำที่มีประจุตัวนำสองแผ่นวางขนานกัน โดยมีฉนวนกั้นระหว่างแผ่นโลหะตัวนำทั้งสอง *ความจุ (capacitance, C)* เป็นค่าเฉพาะของตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad, F) ซึ่งหาจากอัตราส่วนระหว่างประจุที่สะสมในแผ่นโลหะตัวนำกับความต่างศักย์ของแผ่นตัวนำทั้งสอง

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

ถ้ากำหนดให้แผ่นตัวนำมีความหนาแน่นไฟฟ้าต่อพื้นที่เป็น $\sigma = Q/A$ เมื่อต้องการหาความจุไฟฟ้าของแผ่นตัวนำขนานที่มีระยะห่าง d ในสุญญากาศ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} E &= \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \\ \Delta V &= Ed = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \\ C &= \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Qd/\epsilon_0 A} \\ &= \frac{\epsilon_0 A}{d} \end{aligned}$$

ความจุขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นตัวนำและแปรผกผันกับระยะห่างของแผ่นทั้งสอง

ตัวอย่าง

จงหาความจุของตัวเก็บประจุแผ่นขนานที่อยู่ในอากาศ โดยที่แผ่นตัวนำมีพื้นที่ $2.00 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ และอยู่ห่างกัน 1.00 mm

พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ

เมื่อประจุมีการสะสมประจุเป็นจำนวน Q จากการหางานทางไฟฟ้า

$$\begin{aligned}dW &= \Delta V dq = \frac{q}{C} dq \\W &= \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq \\&= \frac{Q^2}{2C} \\U &= \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2\end{aligned}$$

ความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy Density, u_E) หมายถึง พลังงานต่อปริมาตร
กรณีของตัวเก็บประจุแผ่นขนาน เนื่องจาก $\Delta V = Ed$ และ $C = \epsilon_0 A/d$ ดังนั้นพลังงานศักย์จะหาได้
เป็น

$$\begin{aligned}U &= \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 A d E^2 \\u_E &= \frac{U}{Ad} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2\end{aligned}$$

การใช้พลังงานไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุ



ตัวเก็บประจุกับสารไดอิเล็กตริก

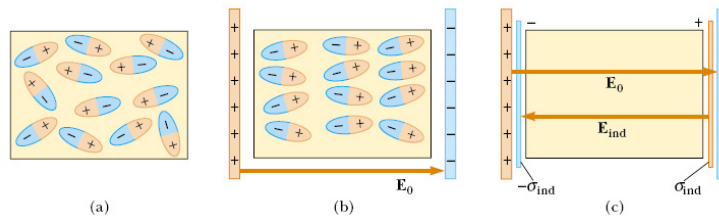
เมื่อมีการใส่สารไดอิเล็กตริกไว้ระหว่างแผ่นตัวนำ สารไดอิเล็กตริกจะทำให้สนามไฟฟ้าเปลี่ยน

ไป (ทำไม ?)

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$
$$\Delta V = Ed = \frac{\Delta V_0}{\kappa}$$
$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \kappa \frac{Q}{\Delta V_0} = \kappa C_0$$

κ = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

เหตุผลที่สารไดอิเล็กตริกทำให้นามไฟฟ้าลดลง



ตัวอย่าง

ตัวเก็บประจุขนาด 2×3 cm มีกระดาดหนา 1.0 mm ขวางอยู่จะมีความจุเท่าใด กำหนดให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกระดาดเป็น 3.7

ความทนได้ของสารไดอิเล็กตริก

ในกรณีที่มีสนามไฟฟ้าให้กับสารไดอิเล็กตริกสูงมากๆ จะทำให้ไฟฟ้าไหลผ่านสารไดอิเล็กตริกได้ ทำให้เกิด dielectric breakdown ซึ่งพิจารณาได้จากค่าความทนทานของไดอิเล็กตริก (Dielectric strength, E_{max}) มีหน่วยเป็น V/m

คำถาม จากตัวอย่างที่แล้ว ถ้าความทนทานของไดอิเล็กตริกของกระดาดเป็น 16×10^6 V/m จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุนี้ทนได้สูงสุด และประจุที่มากที่สุดที่ตัวเก็บประจุนี้เก็บได้เป็นเท่าไร

$$\Delta V_{max} = E_{max}d \text{ และ } Q_{max} = \Delta V_{max}C$$

พลังงานสะสมก่อนและหลังใส่สารไดอิเล็กตริก

$$U_0 = \frac{Q_0^2}{2C_0}$$
$$U = \frac{Q_0^2}{2C}$$
$$U = ?$$