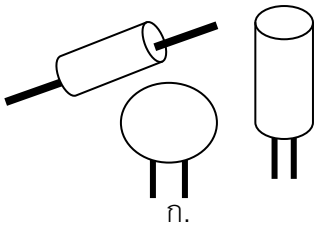
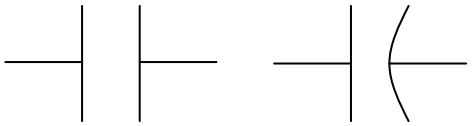
รายวิชา ฟิสิกส์ 4	ใบความรู้ 4	รหัสวิชา ว33201
ระดับชั้น ม. 6		ร.ร.เทศบาลวัดกลาง
ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า		

ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า (Capacitor and Capacitance)

ในวงจรไฟฟ้าบางวงจรจะมีการใช้ตัวนำทำหน้าที่ในการเก็บประจุ เรียกตัวนำที่ทำหน้าที่นี้ว่า ตัวเก็บประจุ (capacitor หรือ condenser) ซึ่งได้มีการออกแบบตัวเก็บประจุให้มีรูปทรงแตกต่างกันไป ทั้งยังมีความสามารถในการเก็บประจุมากน้อยต่างกันไปอีกด้วย ดังรูป 1 ก. และมีการกำหนด สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรไฟฟ้า ดังรูป 1 ข.



ก.



ข.

รูป 1 ตัวเก็บประจุและสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ

การเก็บประจุของตัวเก็บประจุขึ้นกับอะไร ในที่นี้จะพิจารณาดังนี้

พิจารณาตัวนำทรงกลมรัศมี a มีประจุที่ตัวนำนี้เก็บไว้เท่ากับ Q จะได้ว่าศักย์ไฟฟ้า V ที่ผิวและภายในตัวนำนี้มีค่าเป็น

$$V = \frac{KQ}{a}$$

แสดงว่าสำหรับตัวนำทรงกลมหนึ่งๆ ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวและภายในตัวนำมีค่าแปรผันตรงกับ ค่าประจุที่ตัวนำเก็บไว้

ตัวอย่าง ตัวนำทรงกลม A และ B มีรัศมี 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตรตามลำดับ เก็บประจุเท่ากัน ทรงกลมA จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกี่เท่าของทรงกลม B

วิธีทำ จาก $V = \frac{KQ}{a}$

จะได้ $V_A = \frac{KQ}{5x10^{-2}}$ .....(1)

และ $V_B = \frac{KQ}{10x10^{-2}}$ .....(2)

(1) / (2) $\frac{V_A}{V_B} = \frac{KQ}{5x10^{-2}} x \frac{10x10^{-2}}{KQ} = 2$

$V_A = 2V_B$

ตอบ ทรงกลม A จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของทรงกลม B (แสดงว่าทรงกลมขนาดเล็ก เมื่อรับประจุเท่ากัน จะมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่า ทรงกลมขนาดใหญ่กว่า)

ตัวอย่าง ตัวนำทรงกลม A และ B มีรัศมี 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตรตามลำดับ มีศักย์ไฟฟ้า เท่ากัน ทรงกลมA จะมีประจุไฟฟ้าเป็นกี่เท่าของทรงกลม B

วิธีทำ จาก $V = \frac{KQ}{a}$

หรือ $Q = \frac{aV}{K}$

จะได้ $Q_A = \frac{5\times10^{-2}(V)}{K}$ .....(1)

และ $Q_B = \frac{10\times10^{-2}(V)}{K}$ .....(2)

(1) / (2) $\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{5\times10^{-2}(V)}{K} \times \frac{K}{10\times10^{-2}(V)}$

$Q_A = \frac{1}{2}Q_B$

ตอบ ทรงกลม A จะมีประจุเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม B (แสดงว่า ทรงกลมขนาดเล็ก จะสามารถเก็บประจุได้น้อยกว่า ทรงกลมขนาดใหญ่)

เมื่อให้ประจุไฟฟ้าเท่ากันแก่ตัวนำทรงกลมขนาดต่างกัน ตัวนำทรงกลมขนาดเล็กจะมีศักย์ ไฟฟ้าสูงกว่า แต่ถ้าให้ตัวนำทรงกลมขนาดต่างกันมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน จำนวนประจุในทรงกลมขนาดใหญ่ จะมากกว่าจำนวนประจุในทรงกลมขนาดเล็ก ความสามารถในการเก็บประจุ ก็คือ ความจุของตัวนำนั่นเอง

ความสามรถในการเก็บประจุซึ่งเรียกว่าความจุ ดังกล่าว นอกจากพิจารณาจากรูปทรงของ ตัวนำแล้ว พิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนของประจุต่อศักย์ไฟฟ้า จึงมีการกำหนดให้ค่านี้เป็นค่าความจุ เมื่อให้ C เป็นสัญลักษณ์แทนความจุ จะเขียนได้ว่า

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

เมื่อ Q คือประจุซึ่งเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุ และ V คือศักย์ไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ในระบบหน่วยเอสไอ ความจุมีหน่วย คูลอมบ์/โวลต์ (C / V) หรือ ฟารัด (F) หน่วยนี้ในทางปฏิบัติเป็นหน่วยใหญ่มาก ตัวเก็บประจุจำนวนมากจะมีความจุน้อยกว่านี้มาก จึงใช้หน่วยเป็นไมโครฟารัด (μF) หรือพิโกฟารัด (pF) ค่าความจุของตัวเก็บประจุรูปทรงหนึ่งๆจะมีค่าคงตัวเช่นในกรณีตัวนำทรงกลมที่กล่าวมาแล้ว จะมีค่าความจุเป็น

$$C = \frac{a}{K}$$

ซึ่งกล่าวได้ว่า ความจุของตัวนำทรงกลมแปรผันตรงกับรัศมีของทรงกลม นั่นคือตัวนำทรงกลมใหญ่จะมีความจุมากกว่าตัวนำทรงกลมเล็ก เมื่อนำสมการนี้มาพิจารณาความจุไฟฟ้าของโลกโดยถือว่าโลกเป็นตัวนำทรงกลมขนาดใหญ่ จะได้ว่า โลกมีความจุมากมหาศาล เมื่อโลกให้รับประจุจากวัตถุอื่น ศักย์ไฟฟ้าของโลกจึงเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่าโลกยังคงเป็นกลางทางไฟฟ้า นั่นคือมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ การต่อสายดินจึงต่อกับโลกได้

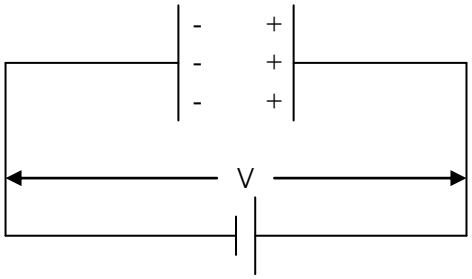
ตัวอย่าง ตัวนำทรงกลมมีศักย์ไฟฟ้า 500 โวลต์ เมื่อเก็บประจุ 25 ไมโครคูลอมบ์ จงหาค่าความจุของตัวนำนี้

วิธีทำ จาก $C = \frac{Q}{V}$

จะได้ $C = \frac{25 \times 10^{-6}}{500} = 5x10^{-8}$ F

ตอบ ความจุของตัวนำนี้มีค่าเท่ากับ $5x10^{-8}$ ฟารัด

นอกจากตัวนำทรงกลมที่พิจารณาข้างต้น ยังมีตัวนำแบบอื่นๆอีก ซึ่งในการใช้ไฟฟ้าต่างๆจะพบว่าตัวเก็บประจุส่วนมากประกอบด้วยแผ่นตัวนำขนานวางแยกกันมีฉนวนกั้นกลาง ทำหน้าที่เก็บประจุโดยตัวเก็บประจุต่ออยู่กับความต่างศักย์ ทำให้แผ่นตัวนำหนึ่งเก็บประจุบวกอีกแผ่นหนึ่งเก็บประจุลบ ดังรูป 2



รูป 2 ตัวเก็บประจุต่ออยู่กับความต่างศักย์

ค่าประจุที่เก็บแต่ละแผ่นยังคงเท่ากัน ค่านี้ (ไม่คิดเครื่องหมาย) เป็นค่าประจุในตัวเก็บประจุหาได้จาก

$Q = CV$

ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุ 40 ไมโครฟารัด ต่อกับความต่างศักย์ 9 โวลต์ จงหาประจุบนตัวเก็บประจุนี้

วิธีทำ จาก $Q = CV$

จะได้ $Q = 40x10^{-6} \times 9$

$= 360x10^{-6}$ C

ตอบ ประจุบนตัวเก็บนี้มีค่าเท่ากับ 360 ไมโครฟารัด

ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุหนึ่งมีอักษรเขียนไว้ 0.05 μF , 400 V จะสามารถเก็บประจุไว้ได้สูงสุดเท่าใด ถ้าเอาไปใช้งานที่ต้องการเก็บประจุ 15 ไมโครคูลอมบ์ ต้องต่อกับความต่างศักย์เท่าใด

วิธีทำ จาก $Q = CV$

จะได้ $Q = 0.05\times10^{-6} \times 400 = 20\times10^{-6}$ C

ดังนั้น ตัวเก็บประจุนี้สามารถเก็บประจุได้มากที่สุด 20 ไมโครคูลอมบ์

จาก $C = \frac{Q}{V}$

$V = \frac{Q}{C} = \frac{20\times10^{-6}}{0.05\times10^{-6}}$

$V = 300$ V

ตอบ ต้องต่อกับความต่างศักย์ 300 โวลต์

ตัวอย่าง แผ่นโลหะขนานห่างกัน 2 เซนติเมตร ใช้ทำเป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุ 50 พิโกฟารัด ถ้าสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่า 600 นิวตัน / คูลอมบ์ อยากทราบว่าตัวเก็บประจุนี้มีประจุเท่าใด

วิธีทำ จาก $E = \frac{V}{d}$

$V = Ed = 600\times2\times10^{-2}$

$V = 12$ V

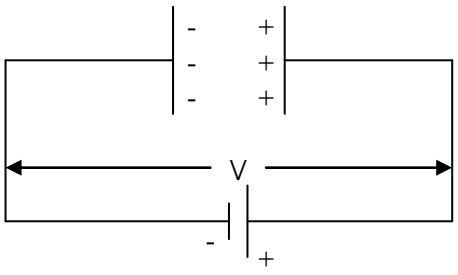
จาก $Q = CV$

จะได้ $Q = 50\times10^{-12} \times 12 = 6\times10^{-10}$ C

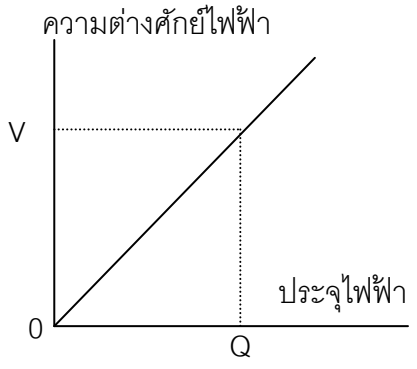
ตอบ ตัวเก็บประจุนี้สามารถเก็บประจุได้ 6×10^{-10} คูลอมบ์

พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

เมื่อต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับปลายทั้งสองของตัวเก็บประจุดังรูป 3 ก. พบว่าในตอนแรกตัวเก็บประจุยังไม่มีประจุ เมื่อตัวเก็บประจุมีประจุเพิ่มขึ้นจาก ศูนย์ถึง Q ความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองของตัวเก็บประจุจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึง V ดังกราฟรูป 3 ข.



รูป 3 ก. แสดงตัวเก็บประจุต่ออยู่กับความต่าง



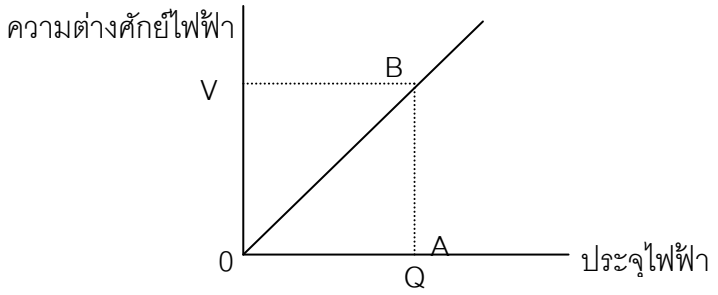
รูป 3 ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุ Q กับความต่างศักย์ V

จากงานในการเคลื่อนประจุผ่านจุด 2 จุดที่มีความต่างศักย์ V ให้แก่ตัวเก็บประจุ มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์ไฟฟ้าคูณประจุ ถ้าให้ W คืองานที่ทำ

ดังนั้น $W = \left(\frac{0 + V}{2}\right)Q$

$W = \frac{QV}{2} = \frac{1}{2}QV$

แสดงว่างานในการเคลื่อนประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ $\frac{1}{2}QV$ ค่านี้จะเท่ากับพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง V กับ Q ดังนี้



รูป 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุ Q กับความต่างศักย์ V

ให้ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ คือ U

จะได้ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ U = พื้นที่ใต้กราฟ OAB

$U = \frac{1}{2}(OA)(AB)$

$U = \frac{1}{2}VQ$

∴ งานในการเคลื่อนประจุให้แก่ตัวเก็บประจุ มีค่าเท่ากับ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

ได้ว่า $U = W$

$U = \frac{1}{2}QV$

หรือ $U = \frac{1}{2}CV^2$ เมื่อ $Q = CV$

หรือ $U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$ เมื่อ $V = \frac{Q}{C}$

ตัวอย่าง ถ้าใช้ตัวต้านทาน 10 โอห์ม ต่อคร่อมตัวเก็บประจุขนาด 2,000 ไมโครฟารัด เพื่อคายประจุจากค่าประจุเริ่มต้น 2 คูลอมบ์ จนไม่มีประจุเหลืออยู่เลย จะเกิดความร้อนบนตัวต้านทานกี่จูล

วิธีทำ จาก $U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}\left(\frac{2^2}{2{,}000\times10^{-6}}\right)$

$U = 1{,}000$ จูล

เมื่อต่อตัวเก็บประจุเข้ากับตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุจะถ่ายเทพลังงานให้กับตัวต้านทาน และจากหลักคงที่ของพลังงาน

$\therefore$ ความร้อนบนตัวต้านทาน $= 1{,}000$ จูล

ตอบ เกิดความร้อนบนตัวต้านทานเท่ากับ 1,000 จูล

ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุขนาด 25 ไมโครฟารัด เมื่อต่อกับความต่างศักย์ 100 โวลต์ จงหาพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

วิธีทำ จาก $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times25\times10^{-6}\times100^2 = 0.125$ J

ตอบ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุนี้มีค่าเท่ากับ 0.125 จูล

ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุหนึ่ง เมื่อต่อเข้ากับความต่างศักย์ 12 โวลต์ จะเกิดประจุบนตัวเก็บประจุขนาด 6×10^{-4} C ตัวเก็บประจุนี้จะมีพลังงานสะสมเท่าไร

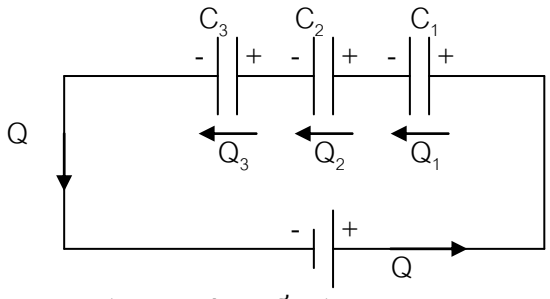
วิธีทำ จาก $U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}\times6\times10^{-4}\times12 = 3.6\times10^{-3}$ J

ตอบ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุนี้มีค่าเท่ากับ 3.6×10^{-3} จูล

การต่อตัวเก็บประจุ

ในการนำตัวเก็บประจุหลายๆตัว มาต่อกันเพื่อประโยชน์ในการใช้งาน มี 2 วิธีด้วยกันคือ

1. **การต่อแบบอนุกรม** คือการนำแผ่นบวกของตัวเก็บประจุของแผ่นหนึ่งมาต่อกับแผ่นลบของตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่ง เรียงกันเรื่อยๆไป ดังรูป 1.



รูป 1. การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

เมื่อต่อตัวเก็บประจุ (C) เข้ากับความต่างศักย์ (V) จะเกิดการไหลของประจุทันที และผลของการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมจะได้ว่า

- ประจุในตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากัน เท่ากับประจุของทั้งวงจร
- ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวเก็บประจุทุกตัว

เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{รวม} = V_1 + V_2 + V_3$$

จาก $C = \frac{Q}{V}$

หรือ $V = \frac{Q}{C}$

ดังนั้น $\frac{Q_{รวม}}{C_{รวม}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$

เมื่อ $Q_{รวม} = Q_1 = Q_2 = Q_3$

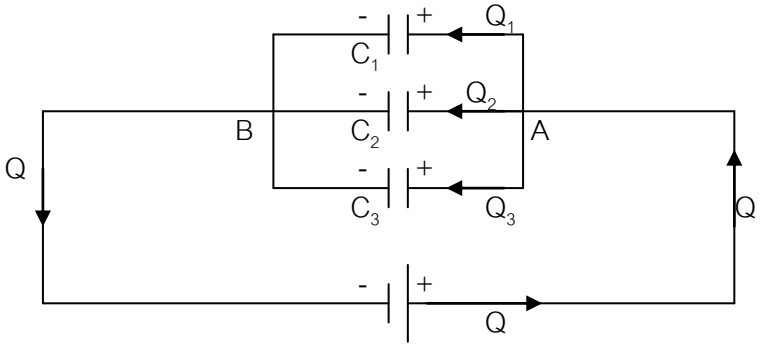
จะได้ว่า

$$\frac{1}{C_{รวม}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

ถ้ามีตัวเก็บประจุ n ตัวมีความจุตัวละ C เท่ากัน ต่ออนุกรมกัน หา C รวมได้จาก

$$C_{รวม} = \frac{C}{n}$$

2. **การต่อแบบขนาน** คือ การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันโดยให้ต่อแผ่นบวกรวมกันที่จุดหนึ่งและให้แผ่นลบรวมกันที่อีกจุดหนึ่ง ดังรูป 2.



รูป 2. การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

ผลของการต่อแบบขนานจะได้ว่า

- ความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะเท่ากันและเท่ากับความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม
- ประจุไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของประจุที่ผ่านตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เขียนสมการได้ดังนี้

$$Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

จาก $C = \frac{Q}{V}$

หรือ $Q = CV$

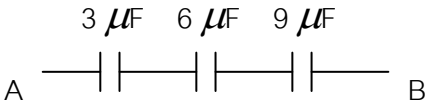
ดังนั้น $C_{รวม} V_{รวม} = C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3$

เมื่อ $V_{รวม} = V_1 = V_2 = V_3$

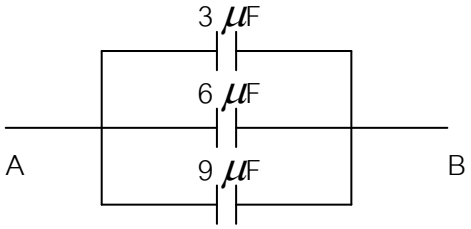
จะได้ว่า $\boxed{C_{รวม} = C_1 + C_2 + C_3}$

ตัวอย่าง จงหาความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง A กับ B จากรูป

ก.



ข.



วิธีทำ ก. ต่อแบบอนุกรม

จาก $\frac{1}{C_{รวม}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

$$\frac{1}{C_{รวม}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9} = \frac{6 + 3 + 2}{18} = \frac{11}{18}$$

$$C_{รวม} = \frac{18}{11} \ \mu F$$

ตอบ ความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง A กับ B เมื่อต่อแบบอนุกรมมีค่าเท่ากับ $\frac{18}{11}$ ไมโครฟารัด

ข. ต่อแบบขนาน

จาก $C_{รวม} = C_1 + C_2 + C_3$

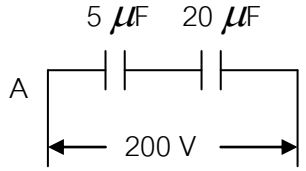
$$C_{รวม} = 3 + 6 + 9 = 18 \ \mu F$$

ตอบ ความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง A กับ B เมื่อต่อแบบขนานมีค่าเท่ากับ 18 ไมโครฟารัด

ตัวอย่าง เมื่อนำตัวเก็บประจุขนาด 5 ไมโครฟารัด และ 20 ไมโครฟารัด ไปต่อเข้ากับความต่างศักย์ 200 โวลต์ จะเกิดประจุและความต่างศักย์บนตัวเก็บประจุตัวละเท่าใด ถ้าตัวเก็บประจุทั้งสองนั้น ต่อกันแบบ

ก. อนุกรม ข. ขนาน

วิธีทำ ก. แบบอนุกรม



จาก $\frac{1}{C_{รวม}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

$$\frac{1}{C_{รวม}} = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} = \frac{4+1}{20} = \frac{5}{20}$$

$$C_{รวม} = 4 \ \mu F$$

หา $Q_{รวม}$; จาก $Q_{รวม} = (CV)_{รวม} = (4x10^{-6})(200) = 8x10^{-4}$ C

∴ ประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ $8x10^{-4}$ คูลอมบ์ เพราะแต่แบบอนุกรม

หาศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว

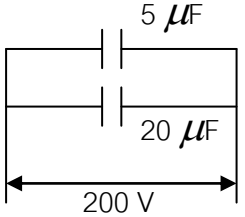
จาก $C = \frac{Q}{V}$

จะได้ $V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{8x10^{-4}}{5x10^{-6}} = 160$ V

$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{8x10^{-4}}{20x10^{-6}} = 40$ V

∴ ศักย์ไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ 5 ไมโครฟารัด และ 20 ไมโครฟารัด มีค่าเท่ากับ 160 โวลต์ และ 40 โวลต์ ตามลำดับ

ข. แบบขนาน



การต่อแบบขนานศักย์ไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะเท่ากัน และเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้ารวม

จะได้ $V_1 = V_2 = V_{รวม}$

∴ $V_1 = V_2 = 200$

∴ ศักย์ไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ 5 ไมโครฟารัด และ 20 ไมโครฟารัด มีค่าเท่ากับ 200 โวลต์

หาประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว

จาก $Q = CV$

จะได้ $Q_1 = C_1V_1 = (5x10^{-6})(200) = 1x10^{-3}$ C

$Q_2 = C_2V_2 = (20x10^{-6})(200) = 4x10^{-3}$ C

ประจุบนตัวเก็บประจุ 5 ไมโครฟารัด และ 20 ไมโครฟารัด มีค่าเท่ากับ $1x10^{-3}$ คูลอมบ์และ $4x10^{-3}$ คูลอมบ์ ตามลำดับ

ตัวอย่าง นำตัวเก็บประจุที่มีความจุ 2 ไมโครฟารัด มาอัดประจุโดยใช้ความต่างศักย์ 12 โวลต์ แล้วถอดออก และนำไปต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่มีความจุ 1 ไมโครฟารัดที่ยังไม่ได้อัดประจุ ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองจะมีค่ากี่โวลต์

วิธีทำ จาก $V_{รวม} = \frac{Q_{รวม}}{C_{รวม}}$

หา $C_{รวม}$ จาก $C_{รวม} = C_1 + C_2$,เมื่อต่อแบบขนาน

$C_{รวม} = (2x10^{-6}) + (1x10^{-6}) = 3x10^{-6}$ F

$Q_1 = CV = (2x10^{-6})(12) = 24x10^{-6}$ C

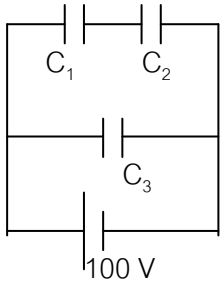
$Q_2 = 0$ (ศูนย์) , ยังไม่ได้อัดประจุ

$\therefore Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 = 24x10^{-6} + 0 = 24x10^{-6}$ C

$\therefore V_{รวม} = \frac{Q_{รวม}}{C_{รวม}} = \frac{24x10^{-6}}{3x10^{-6}} = 8$ V

ตอบ ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองจะมีค่าเท่ากับ 8 โวลต์

ตัวอย่าง จากวงจรและข้อมูลที่กำหนดให้ พลังงานสะสมในวงจรมีค่ากี่จูล



เมื่อ $C_1 = 4$ ไมโครฟารัด

$C_2 = 12$ ไมโครฟารัด

$C_3 = 9$ ไมโครฟารัด

วิธีทำ หา C_{12} , จาก $\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{12} = \frac{3+1}{12} = \frac{4}{12}$

$C_{12} = 3$ μF

$C_{รวม} = C_{12} + C_3 = 3 + 9 = 12$ μF

$\therefore$ จาก $U = \frac{1}{2}CV^2$

$= \frac{1}{2}x12x10^{-6}x100^2 = 0.06$ J

ตอบ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุนี้มีค่าเท่ากับ 0.06 จูล