المكثفات

1- تعريف الكثفة

المكثفة عنصر كهربائي مكون من ناقلين يفصل بينهما مادة عازلة وتفيد في تخزين الطاقة الكهربائية والشحنة الكهربائية.

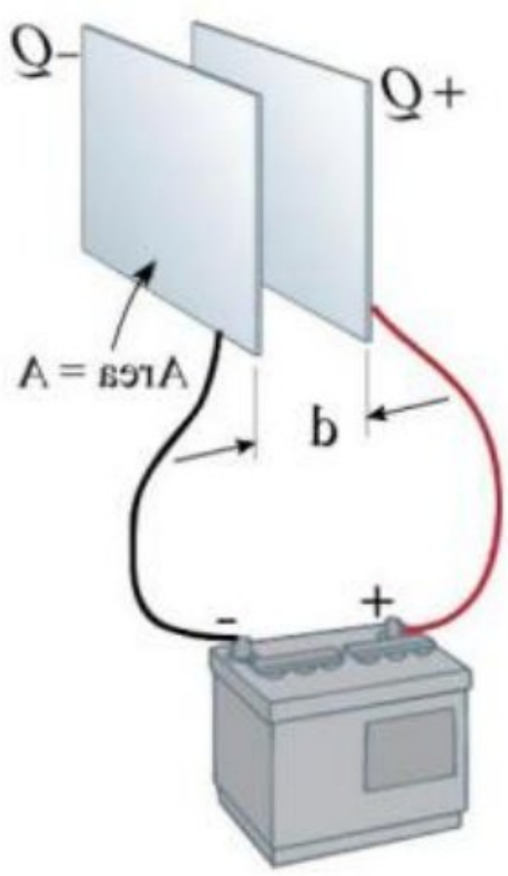
نرمز للمكثفة في الدارات الكهربائية بالرمز ⊣⊢ أو ⊣(

يدعى كل ناقل لبوس المكثفة وبالتالي للمكثفة لبوسين.

تطبيقات استخدام المكثفات:

- في الفلاش (ضوء الكاميرة) تستعمل لتخزين طاقة كهربائية ثم تحرر الطاقة دفعة واحدة في مدة قصيرة لتوليد الضوء اللازم لإضاءة المنطقة المراد تصويرها.
- تستعمل المكثفات في أجهزة الراديو أيضاً لاختيار تردد محدد.

2- سعة المكثفة



عندما نصل لبوسي مكثفة ببطارية، تنتقل إلكترونات من أحد اللبوسين، (فيشحن هذا اللبوس بشحنة $+Q$) إلى اللبوس الآخر فيشحن بشحنة $-Q$، يتناسب الحقل الكهربائي وفرق الكمون V_{ab} بين طرفي المكثفة طرداً مع الشحنة Q .

تعريف سعة المكثفة: هي النسبة بين شحنة المكثفة وفرق الكمون بين طرفيها.

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

تقاس سعة المكثفة بالفاراد ويرمز لها بـ F، حيث $1F = \frac{1C}{1V}$

تتراوح سعات المكثفات المستعملة في الدارات الكهربائية بين بضعة عشرات من البيكو فاراد $(1pF = 10^{-12}F)$ إلى بضعة ميكروفاراد $(1\mu F = 10^{-6}F)$.

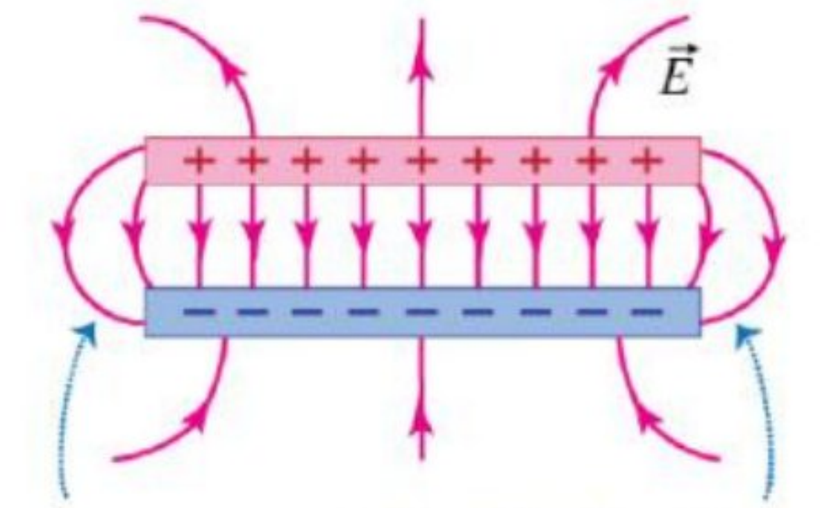
مثال:

عندما توصل مكثفة سعتها $4.70\mu F$ ببطارية فرق الكمون بين طرفيها $12.0V$ تشحن المكثفة بشحنة مقدارها Q. احسب Q.

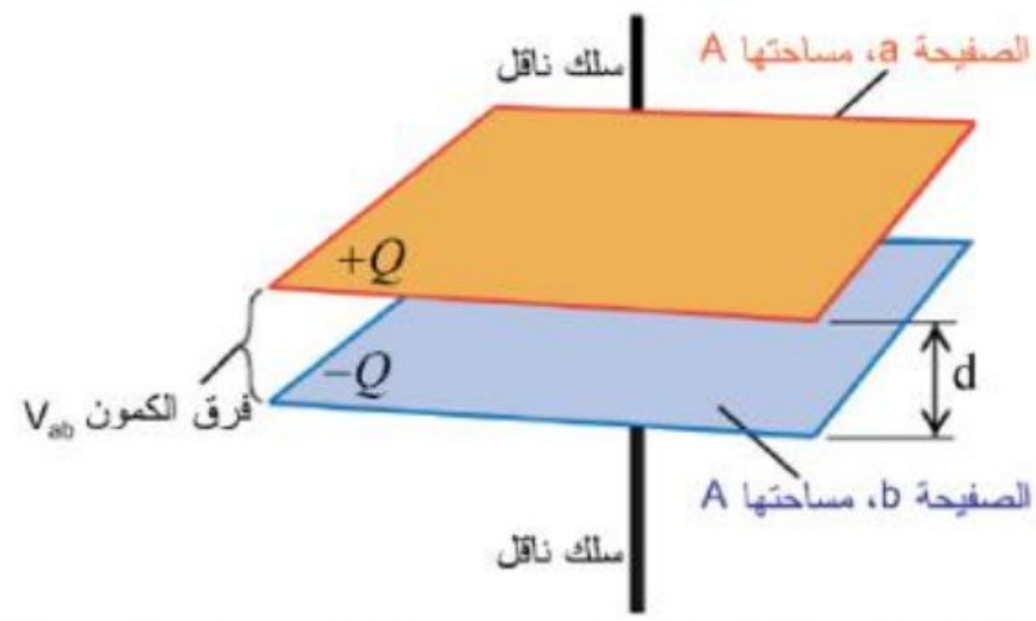
$$Q = C.V = 4.70 \times 10^{-6} \times 12.0 = 56.4 \times 10^{-6}C = 56.4\mu C$$

3- المكثفة المستوية

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



عندما تكون المسافة بين الصفحتين صغيرة
يكون تسرب الحقل الكهربائي عند الجانبين ضعيفاً



تتكون المكثفة المستوية من صفيحتين ناقلتين مستويتين (نفترض أنهما لا نهائيتان)، الكثافة السطحية للشحنة الموزعة عليهما هي $\sigma = \frac{Q}{A}$.

الحقل الكهربائي بين المستويين: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{A.\varepsilon_0}$

فرق الكمون بين الصفيحتين: $V_{ab} = E \times d = \frac{Q.d}{A.\varepsilon_0}$

تتناسب السعة طرداً مع مساحة الصفيحة وعكساً مع المسافة بين الصفيحتين.

عند وضع مادة عازلة بين الصفيحتين تتغير السعة حسب المادة العازلة.

يمكن من علاقة السعة استنتاج واحدة سماحية الخلاء. $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$

4- تمرين: 1F سعة كبيرة جداً جداً

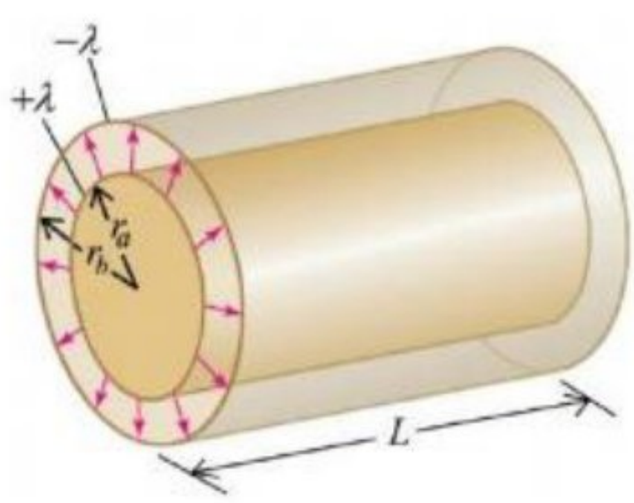
نريد تصنيع مكثفة مستوية من صفيحتين مستويتين مساحة كل منهما A المسافة بينهما $1.0mm$. ما قيمة A حتى تكون سعة المكثفة $1.0F$؟

الحل:

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow A = \frac{C.d}{\varepsilon_0} = \frac{1.0 \times 1.0 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12}} = 1.1 \times 10^8 m^2$$

وهذه المساحة تساوي مساحة صفيحة مربعة طول ضلعها تقريباً $10000m = 10km$ وهذا مستحيل. لذلك تعتبر القيمة $1F$ قيمة كبيرة جداً كقيمة لسعة مكثفة.

5- المكثفة الأسطوانية



المكثفة الأسطوانية مكونة من ناقلين أسطوانيين طويلين، كل منهما مشحون بكثافة خطية λ في واحدة الطول، لنحسب سعة واحدة الطول من هذه المكثفة (أي سعة مكثفة بطول 1m من هذه المكثفة).

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الكمون الكهربائي الناجم عن الناقل الداخلي في أي نقطة بين الناقلين هو كمون شبيه بالكمون الكهربائي الناجم عن سلك لا نهائي الطول مشحون بكثافة خطية λ يعطى هذا الكمون بالعلاقة

$$V = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} ln\frac{r_0}{r}$$

r_0 بعد نقطة ما عن محور الناقل، نفترض فيها الكمون معدوم $V = 0$ نختار هذه القيمة $r_b = r_0$ حيث $V_b = 0$

الحقل الكهربائي الناجم عن الناقل الخارجي في أي نقطة بين الناقلين معدوم (لأن الناقل متوازن) لذا لن يتأثر الكمون الكهربائي بين الناقلين بالناقل الخارجي.

$$V_{ab} = V_a - V_b = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} ln\frac{r_b}{r_a} - 0$$

سعة المكثفة الأسطوانية:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \frac{\lambda L}{\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} ln\frac{r_b}{r_a}} = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{ln\frac{r_b}{r_a}}$$

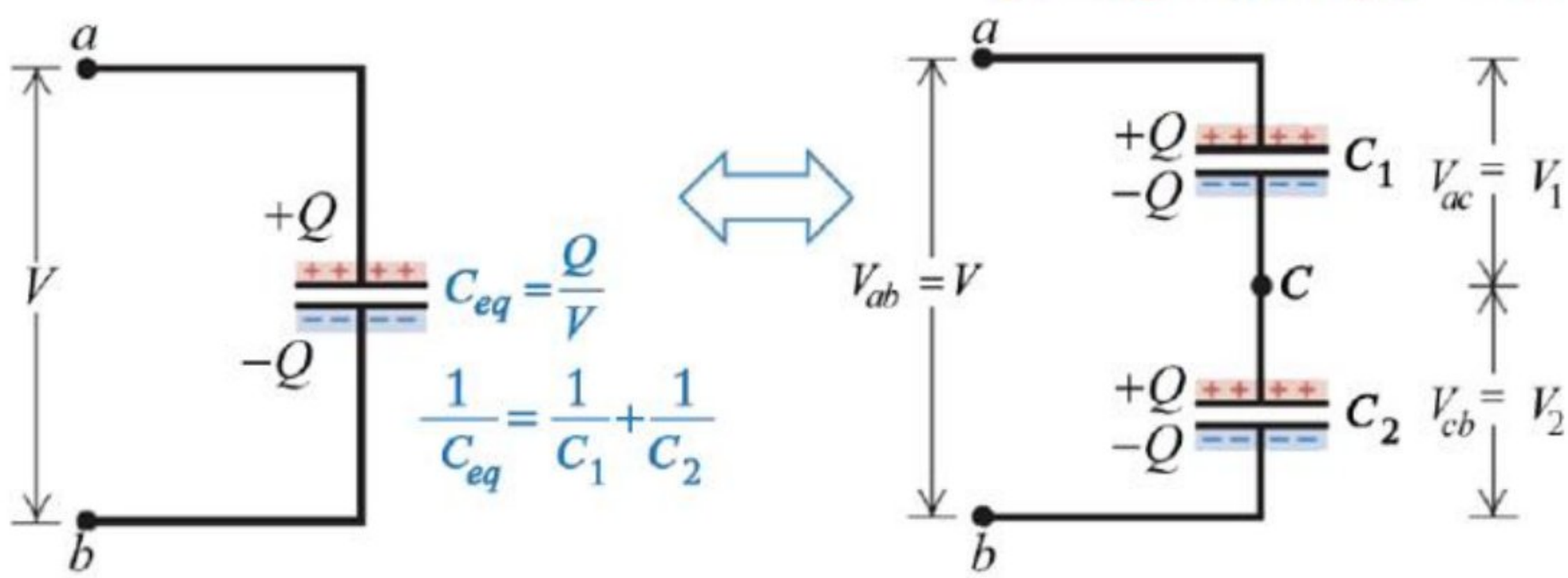
سعة واحدة الطول من المكثفة الأسطوانية:

$$\frac{C}{L} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{ln\frac{r_b}{r_a}}$$

تتعلق سعة المكثفة بشكلها (أي بنصفي قطريها الداخلي والخارجي).

سعة السلك المحوري المستعمل لوصل التلفاز مع مخرج الهوائي تقريباً $69\ pF/m$.

6- وصل المكثفات على التسلسل



توصل المكثفتان على التسلسل بحيث يمر فيهما التيار نفسه

$$V_{ab} = V_{ac} + V_{cb}$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \leftrightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C_{eq} = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$$

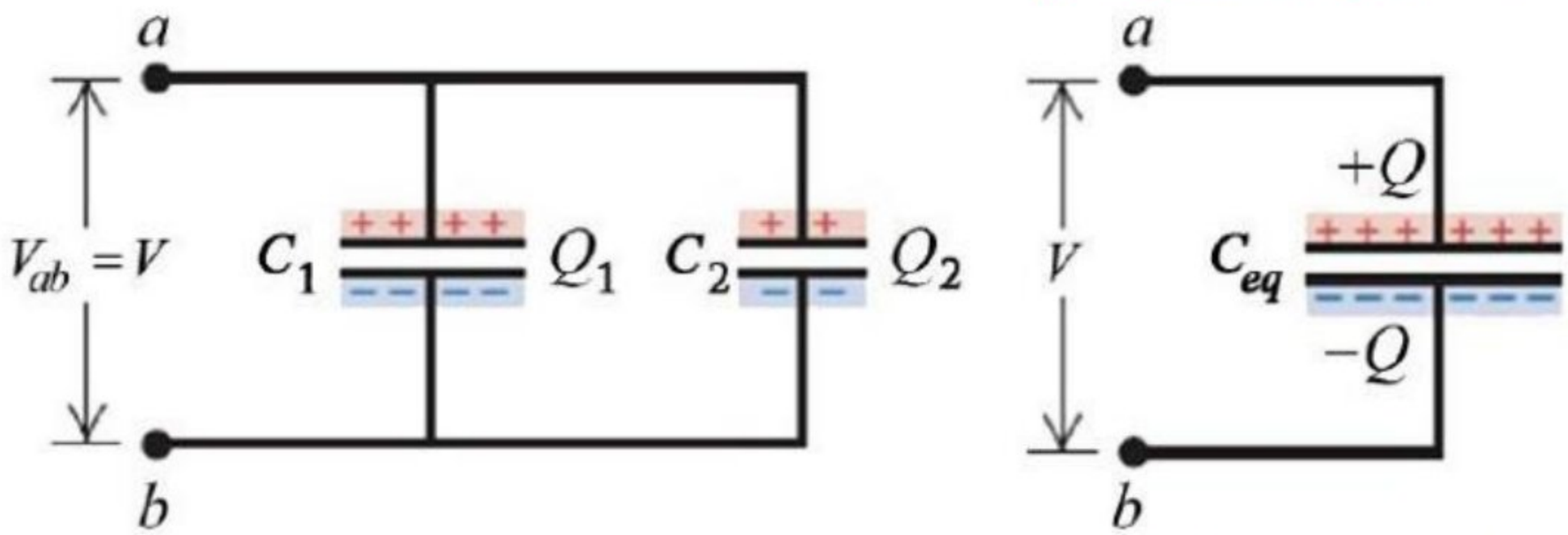
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

المكثفات الموصولة على التسلسل تكافئ مكثفة واحدة سعتها تحقق:

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

سعة المكثفة المكافئة أصغر من سعة كل مكثفة من المكثفات الموصولة على التسلسل.

7- وصل المكثفات على التفرع



توصل المكثفتان على التفرع بحيث يكون فرقا الكمون بين طرفيهما متساويين.

$$V_{ab} = V_1 + V_2 \rightarrow Q_1 = C_1.V_{ab}, Q_2 = C_2.V_{ab}$$
$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)V_{ab} = C_{eq}.V_{ab} \leftrightarrow$$
$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

تكافئ المكثفتان الموصولتان على التفرع مكثفة واحدة تحقق سعتها العلاقة $C_{eq} = C_1 + C_2$.

في الوصل على التفرع تكون سعة المكثفة المكافئة أكبر من سعة كل المكثفات الموصولة على التفرع.

8- وصل مكثفتين على التسلسل أو على التفرع

لنفترض مكثفتين سعتاهما $C_1 = 6.0\mu F$ و $C_2 = 3.0\mu F$ احسب سعة المكثفة المكافئة وشحنة كل مكثفة وفرق الكمون بين طرفي كل مكثفة في حالة:

- الوصل على التسلسل.
- الوصل على التفرع. علماً أن فرق الكمون المطبق $V_{ab} = 18\ V$.

الحل:

- في حالة الوصل على التسلسل:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{6.0} + \frac{1}{3.0} = \frac{3.0 + 6.0}{18} = \frac{9.0}{18} = \frac{1}{2} \rightarrow C_{eq} = 2.0\mu F$$
$$Q_1 = Q_2 = Q = C_{eq}.V_{ab} = 2.0 \times 18 = 36\mu C$$
$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{36}{6.0} = 6.0V$$

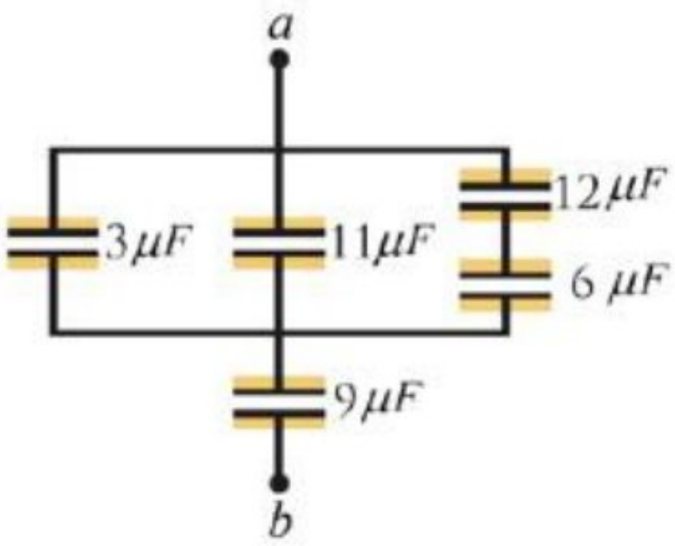
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{36}{3.0} = 12.0V$$

- في حالة الوصل على التفرع:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 = 6.0 + 3.0 = 9.0\mu F$$
$$V_1 = V_2 = V = 18V$$
$$Q_1 = C_1.V_1 = 6.0 \times 18 = 108\mu C$$
$$Q_2 = C_2.V_2 = 3.0 \times 18 = 54\mu C$$

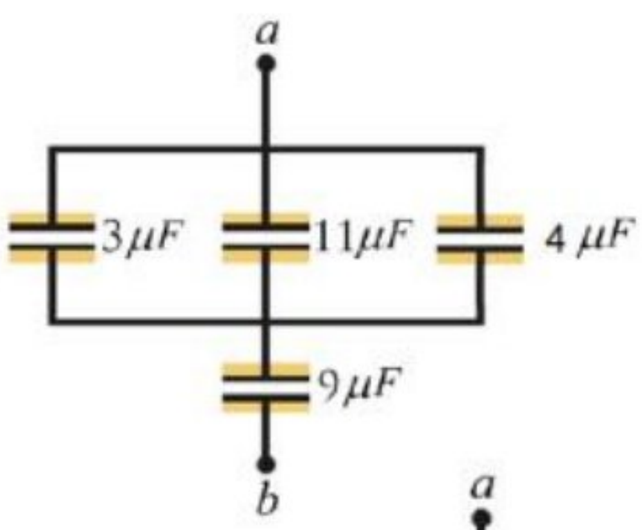
تمرين: احسب سعة المكثفة المكافئة بين a و b في الشكل الآتي:



- نحسب المكثفة المكافئة لمكثفتين الموصولتين على التسلسل

$12\mu F, 6\mu F$

$$\frac{1}{C_{eq1}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6.0} = \frac{1.0 + 2.0}{12} = \frac{3.0}{12} = \frac{1}{4}$$
$$\rightarrow C_{eq1} = 4.0\mu F$$



- نحسب المكثفة المكافئة للمكثفات الموصولة على التفرع

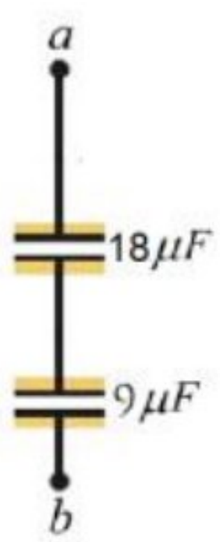
$3\mu F, 11\mu F$ و $4\mu F$

$$C_{eq2} = C_1 + C_2 + C_3 = 3.0 + 11 + 4.0 = 18\mu F$$

- نحسب المكثفة المكافئة لمكثفتين الموصولتين على التسلسل

$18\mu F, 9.0\mu F$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{18} + \frac{1}{9.0} = \frac{1.0 + 2.0}{18} = \frac{3.0}{18} = \frac{1}{6}$$
$$\rightarrow C_{eq} = 6.0\mu F$$



9- الطاقة المختزنة في المكثفة

تختزن المكثفة طاقة كهربائية وتساوي العمل الواجب بذله لشحن المكثفة

$$E = \frac{1}{2}Q.V = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

10- العوازل

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

مكثفة مشحونة سلفاً بشحنة Q_0 عندما نضع بين لبوسي هذه المكثفة مادة عازلة (بلاستيك، شمع...) ينخفض فرق الكمون بين طرفيها $(C = \frac{Q}{V})$ ولكن Q_0 لا تتغير عند وضع المادة العازلة فهذا يعني أن السعة تزداد عند وضع المادة العازلة بين اللبوسين.

$$C = k.C_0$$

حيث k ثابت العزل للمادة العازلة وهو يختلف من مادة إلى أخرى.

تصبح سعة المكثفة المستوية التي يوضع بين لبوسيها مادة عازلة كما يلي:

$$C = k\varepsilon_0.\frac{A}{d}$$

أمثلة عن بعض ثوابت العزل لبعض المواد:

ماء	ورق	تفلون	زجاج بيركس	بيكاليت	هواء	خلاء	المادة
80	3.7	2.1	5.6	4.9	1.00059	1	ثابت العزل k

نهاية المحاضرة الثامنة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner