الفصل الثاني

النواقل المتزنة

1.تعريف النواقل المتزنة

الناقل الكهربائي هو كل جسم يمكن لحاملات الشحنة أن تنتقل بداخله بحرية. و نقول عن ناقل أنه في حالة توازن كهروساكن إذا كانت كل الشحنات المتواجدة بداخله ساكنة (محصلة القوى الكهروساكنة المطبقة على كل شحنة q هي معدومة)

2. خواص النواقل المتزن

إذا كان الناقل في حالة توازن إذن

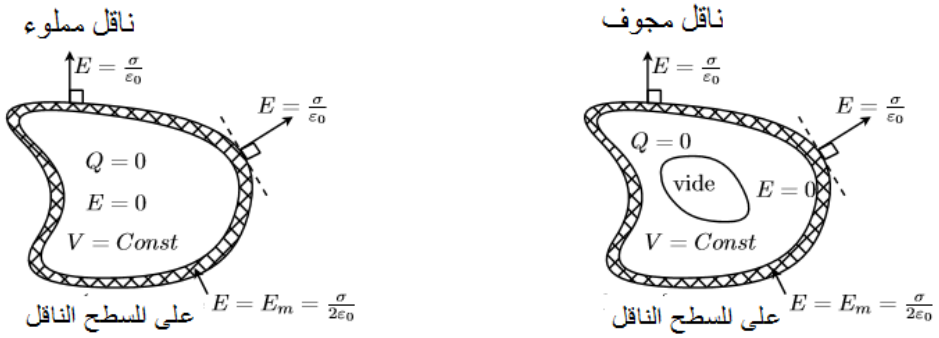
- ***داخل الناقل المتزن***

بما أن الشحنات داخل الناقل المتزن ساكنة فهي لا تخضع لأية قوة و هذا يعني أن الحقل الكهروساكن داخل الناقل المتزن معدومة $\vec{F} = Q\vec{E} = \vec{0} \Rightarrow \vec{E} = \vec{0}$

الشحنة Q_{int} داخل الناقل المتزن معدومة و الكمون ثابت في كل نقطة

$$\vec{E} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} V = -\int \vec{E}\,\overrightarrow{dl} = C \\ \dfrac{Q_{int}}{\varepsilon_0} = \displaystyle\int_{S_G} \vec{E}\,\overrightarrow{ds} = \vec{0} \end{cases}$$

حيث S_G يمكن أن يكون أي سطح داخل الناقل



- ***على سطح الناقل المتزن***

يتم توزيع شحنة الناقل Q على السطح لأنه لا يمكن أن تكون في الداخل. الشحنات الكهربائية المتحركة تتراكم على السطح حتى يصبح الحقل الذي تنتجه مساويا للحقل الخارجي المطبق على هذا السطح مما يؤدي إلى حالة توازن.

يشكل الناقل حجما لتساوي الكمون و السطح الخارجي للناقل هو سطح تساوي الكمون . يتعامد شعاع الحقل الكهربائي مع سطح الناقل المتوازن.

ملاحظة:

الخواص السابقة للناقل تبقى صحيحة من أجل ناقل مجوف. الحقل معدوم في الناقل و في التجويف الذي يشكل حجم تساوي الكمون. و يتم توزيع شحنة الناقل Q على السطح

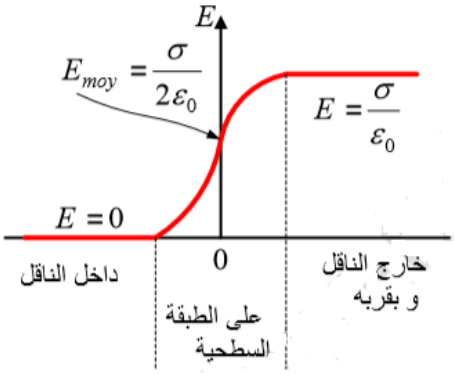
3. نظرية كولوم

بجوار ناقل متوازن، الحقل عمودي على سطح الناقل و عبارة شدته هي

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

حيث σ تمثل الكثافة السطحية للناقل

تعطي هذه العبارة قيمة الحقل الكهربائي في نقطة مجاورة للسطح و بخارج الناقل ،بينما الحقل في الداخل معدوم أما على السطح فإن الحقل يأخذ قيمة متوسطة E_{moy}



الشكل: تغير الحقل الكهربائي عند عبور سطح الناقل

4. الضغط الكهروساكن

الشحنات الموجودة على سطح الناقل تكون خاضعة لقوى التنافر الشحنات الأخرى.

لنحسب القوة المطبقة في وحدة السطح، و هو ما يسمى بالضغط الكهروساكن. بما أن الضغط يتم في الطبقة السطحية لذلك نستعمل الحقل المتوسط

$$P = \frac{dF}{ds} = \frac{\sigma ds E_{moy}}{ds} = \sigma E_{moy} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}(Pa)$$

5. السعة الذاتية لناقل معزول

الشحنة للناقل المعزول في حالة اتزان كهروساكن متناسبة مع كمونه V أي:

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

الثابت C: يدعى سعة الناقل. وحدة السعة في النظام الدولي هي الفاراد يرمز لها ب F

مثال: حساب السعة الذاتية لكرة ناقلة و معزولة

لتكن كرة ناقلة نصف قطرها R مشحونة بشحنة q أي

$$V = \frac{Kq}{R} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{q}{V} = 4\pi\varepsilon_0 R$$

نلاحظ أن سعة الناقل C لا تعتمد على الخصائص الهندسية للناقل وهي قيمة موجبة دائما

6. الطاقة الداخلية لناقل مشحون و معزول

لتكن q شحنة الناقل و V كمونه و C سعته في حالة الاتزان

يمكن تعريف الطاقة الداخلية لناقل مشحون و معزول ب:

- تساوي العمل اللازم بذله لشحن الناقل،
- تساوي عمل القوى الكهروساكنة أثناء تفريغ الناقل
- أو، يمثل مجموع الفرق في الطاقة الكامنة E_P التي تخضع لها جميع الشحنات خلال شحن الناقل

لدينا ابتداء من الطاقة الكامنة العنصرية:

$$\left.\begin{array}{l} dE_P = V dq \\ q = C\,V; \end{array}\right. \quad \Rightarrow \left.\begin{array}{r} E_P = \int_0^Q V\, dq \\ V = \frac{q}{C} \end{array}\right\} \Rightarrow \quad E_P = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

وبالتالي يتبع ذلك

$$E_P = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}qV \quad \text{(هذه الطاقة موجبة دائما)}$$

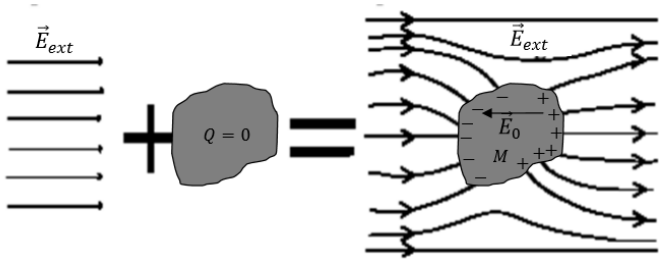
ملاحظات

- عند شحن ناقل بواسطة مولد قوته المحركة الكهربائية V ثابتة فان المولد يعطي طاقة مقدارها $W = \int_0^Q V dq = qV$ من اجل شحنة q. نصف هذه الطاقة تعطى للناقل لشحنه و النصف المتبقي تحول الى طاقة حرارية اثناء عملية نقل الشحنات من المولد الى الناقل (فعل جول)
- عند تفريغ ناقل مشحون بوصله بالأرض بواسطة خيط ناقل فان هذه الطاقة الداخلية (الطاقة الكامنة E_P) تظهر على شكل طاقة حرارية (فعل جول)

7. ظاهرة التأثير بين النواقل

ما الذي يحدث عندما نضع ناقلا معتدلا كهربائيا في حقل كهروساكن منتظم؟

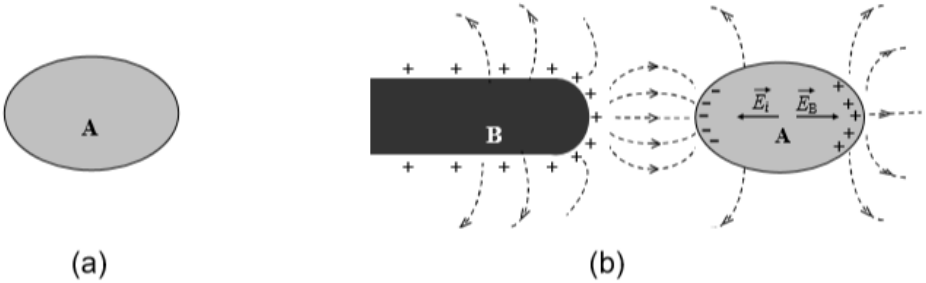
بما ان الشحنات حرة في حركتها ستشهد انتقالا للشحنات الموجبة في جهة $\vec{E}$, و الشحنات السالبة في الجهة المعاكسة. يحدث استقطاب للناقل (اي ظهور قطب موجب, و قطب سالب). ويتزايد نقل الالكترونات حتى يصل الى حالة التوازن وهو في حالة استقطاب, اي الحقل الداخلي في النقطة M معدوم.



1.7.التأثير الجزئي

نعتبر ناقلا A معتدلا كهربائيا (غير مشحون, أنظر الشكل a). نضع A بجوار ناقل مشحون B بشحنة موجبة. الناقل B يولد في كل نقطة من الفضاء المحيط به, و خاصة داخل الناقل A حقلا كهربائيا $\vec{E}_B$.

يجبر الحقل $\vec{E}_{\mathrm{B}}$ الإلكترونات الحرة للناقل A من الانتقال نحو الوجه الموالي لناقل B فتشحن هذه المنطقة سلبا $-Q_{\mathrm{A}}$. بسبب هجرة الإلكترونات للوجه المعاكس يشحن هذا الأخير إيجابا $+Q_{\mathrm{A}}$ (أنظر الشكل b).

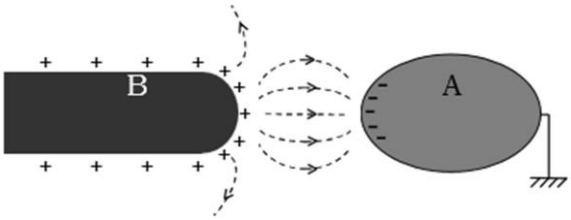


الشحنات $-Q_{\mathrm{A}}$ و $+Q_{\mathrm{A}}$ تنتج بدورها حقلا معاكسا $\vec{E}_i$ للحقل $\vec{E}_B$. تتوقف هجرة الإلكترونات عندما يصبح:$\vec{E}_B + \vec{E}_i = \vec{0}$ فتصبح للناقل A كل خصائص الناقل المتزن حيث:

- الحقل داخل الناقل معدوما
- سطحه متساوي الكمون
- الشحنات متوزعة على سطح الناقل و حصل هنا تكهرب بالتأثير. الشحنة الكلية للناقل A تبقى معدومة, كلما هناك أننا فرقنا بين الشحنتين المتساويتين و المتعاكستين في الاشارة $-Q_{\mathrm{A}}$ و $+Q_{\mathrm{A}}$.
- $|Q_B| > |Q_A|$: هذا يعني أن كل خطوط الحقل المنبعثة من الناقل B لا تصل إلى الناقل A و هذا ما يميز الـتأثير الجزئي.

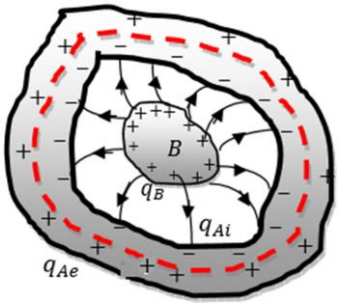
ملاحظة

إذا تم وصل الناقل A السابق بالأرض (كمون يساوي الصفر) ، حيث تصبح الأرض و الناقل جسما واحدا فتتسرب الشحنات الموجبة إلى الأرض, و يبقى كمون الناقل معدوم ولا يخرج منه أي خط أما الشحنات السالبة فتبقى مكانها لا تتسرب إلى الأرض بفعل التأثير من طرف الناقل B .



2.7.التأثير الكلي

الناقلان A و B في حالة تأثير كلي عندما يحيط الناقل A المتأثر كليا بالناقل B المشحون بQ_B (المؤثر). كل خطوط الحقل التي تخرج من B تصل إلى A . يتبين لنا أنه داخل الناقل A الحقل $E = 0$و أن السطح الداخلي لA يحمل شحنة كهربائية تساوي و تعاكس في الإشارة الشحنة.



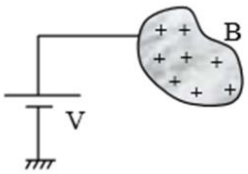
$$Q_B = -Q_A$$

- إذا كان A معزولا و متعادلا من البداية, فإنه حسب مبدأ انحفاظ الشحنة للناقل A فإنه : $Q_{Ai} + Q_{Ae} = 0$
يستوجب على السطح الخارجي لA أن يحمل شحنة:
$Q_{Ae} = -Q_{Ai} = Q_B$
- إذا كان A معزولا و مشحونا بQ_0 من البداية, فإنه حسب مبدأ إنحفاظ الشحنة للناقل A فإنه : $Q_{Ae} + Q_{Ai} = Q_0 \quad \Rightarrow Q_{Ae} = Q_0 + Q_B$

8. المكثفات

يستخدم الانسان اجهزة مختلفة لتخزين الطاقة الكهربائية لاستخدامها لاحقا (للأجهزة الكهربائية و الالكترونية). و من أشهر أجهزة التخزين الكهربائي المكثفة

1.8. تعريف مكثفة

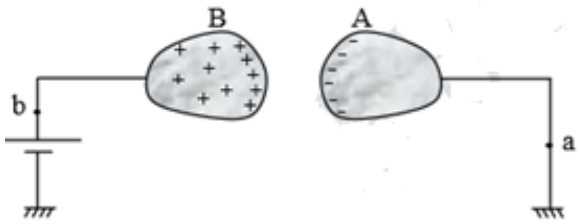


ليكن الناقل B سعته C و ذي الكمون ثابت ($V > 0$ مثلا). يحمل شحنة مقدارها:

$$Q = C\,V$$

دعنا نقرب من B ناقل A ذي كمون ثابت (صفر على سبيل المثال).

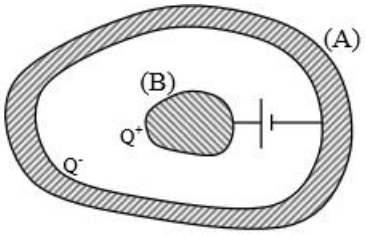
B يؤثر على A الذي سيشهد ظهور الشحنات السالبة عليه. هذه الشحنات السالبة بدورها تؤثر على الناقل B الذي سوف يحمل شحنات أكثر مما لو كان منفردا. و منه يمكننا القول أنه قد حصل تكثيف للناقل و ازدادت سعته (لم يكن هناك ، بشكل صحيح إنشاء شحنات على B ، فقد كان المولد هو الذي كفل بنقلها.)



تشكل المجموعة المكونة من الناقلين A و B ما يسمى بالمكثفة و يرمز لها ب:

يمكن تحقيق مثل هذا التكثيف باستخدام ناقلين A و B في حالة تأثيرمتبادل كلي، حيث Q_A و Q_B متساويان في القيمة و مختلفان في الإشارة.

$|Q_A| = |Q_B| = Q$ هي شحنة المكثفة



إذا كان V فرق الكمون بين الناقلين $V = V_B - V_A$ يمكن أن نثبت :

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

C :هي سعة المكثفة و تعتمد على الخصائص الهندسية للناقلين و طبيعة الوسط الموجود بينهما و تزداد كلما إقترب الناقلان من بعضهما

2.8. كيفية حساب سعة المكثفة

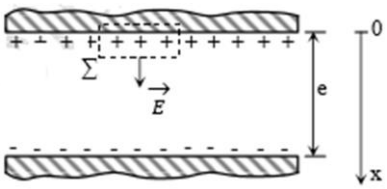
طريقة

1. حساب الحقل الكهربائي في كل نقطة داخل المكثفة (نستعمل نظرية غوص مثلا)
2. استنتاج فرق الكمون بين الناقلين (نستعمل $\vec{E} = -\overrightarrow{grad}V$)
3. إيجاد النسبة: $C = \frac{Q}{V}$

أمثلة

❖ **المكثفة المستوية**

تتشكل من مستويين ناقلين يفصل بينهما عازل



$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = cste$ (نظرية غوص)

$$dV = -\vec{E}\,\overrightarrow{dl} = -Edx \Rightarrow V = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}e \quad \left(\sigma = \frac{Q}{S}\right)$$

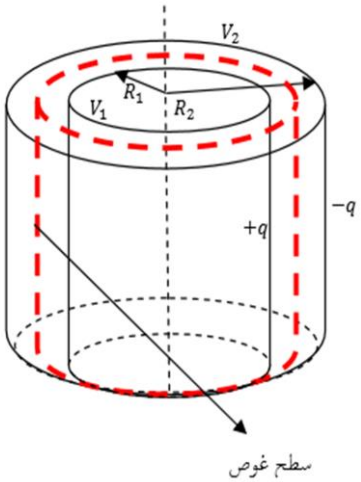
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 S}{e}$$

حيث: S سطح المكثفة المستوية و e البعد بين السطحين

❖ المكثفة الأسطوانية

تتشكل المكثفة الأسطوانية من أسطوانتين ناقلين لهما نفس المحور يفصل بينهما عازل و ذات أنصاف أقطار على التوالي R_1 و R_2 و h ارتفاعها.

نحسب الحقل الكهربائي بين لبوسي المكثفة بتطبيق نظرية غوص في المنطقة حيث $R_1 < r < R_2$, نختار سطح غوص أسطوانة نصف قطرها r:



$$\int_s \vec{E}.\overrightarrow{ds} = E2\pi rh = \frac{q}{\varepsilon_0} \Rightarrow E = \frac{q}{\varepsilon_0 2\pi rh}\frac{1}{r}$$

الحقل الكهربائي يتعلق بـr , وله مركبة على $\vec{u}_r$, و منه فرق الكمون بين طرفي المكثفة:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}V \Rightarrow \; E = -\frac{\partial V}{\partial r} = -\frac{dV}{dr} \Rightarrow dV = -Edr$$

$$\int_{V_1}^{V_2} dV = -\int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{\varepsilon_0 2\pi h}\frac{1}{r}dr$$

$$V_2 - V_1 = -\frac{q}{\varepsilon_0 2\pi h}\ln\frac{R_2}{R_1}$$

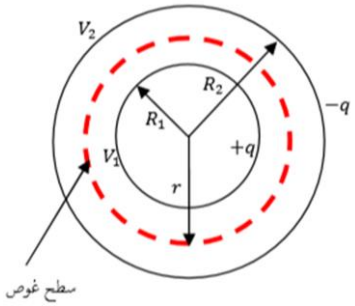
$$V = V_1 - V_2 = \frac{q}{\varepsilon_0 \pi h}\ln\frac{R_2}{R_1}$$

و منه السعة:

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 2\pi h}{\ln\frac{R_2}{R_1}}$$

❖ المكثفة الكروية

تتكون المكثفة الكروية من كرتين لهما نفس المركز يفصل بينهما عازل, و ذات أنصاف أقطار على التوالي R_1 و R_2.



نحسب الحقل الكهربائي بين لبوسي المكثفة بتطبيق نظرية غوص في المنطقة حيث $R_1 < r < R_2$, نختار سطح غوص كرة نصف قطرها r:

$$\int_s \vec{E}.\overrightarrow{ds} = E4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \Rightarrow \; E = \frac{q}{\varepsilon_0 4\pi}\frac{1}{r^2}$$

الحقل الكهربائي يتعلق بـr , وله مركبة على $\vec{u}_r$, و منه فرق الكمون بين طرفي المكثفة:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}V \Rightarrow \; E = -\frac{\partial V}{\partial r} = -\frac{dV}{dr} \Rightarrow dV = -Edr$$

$$\int_{V_1}^{V_2} dV = -\int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{\varepsilon_0 4\pi}\frac{1}{r^2}dr$$

$$V_2 - V_1 = -\frac{q}{\varepsilon_0 4\pi}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$$

$$V = V_1 - V_2 = \frac{q}{\varepsilon_0 \pi 4}\left(\frac{R_2 - R_1}{R_2 R_1}\right)$$

و منه السعة: $C = \frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 4\pi R_2 R_1}{R_2 - R_1}$

ملاحظات

- سعة المكثفة بكل أنواعها تتعلق فقط بالشكل الهندسي للبوسين و الوسط, الذي يعتبر في حالتنا الفراغ المعطى بε_0 .

- للحصول على مكثفة ذات سعة كبيرة فإن المعاملات الهندسية التي نهتم بها هي سطح اللبوسين الذي يجب أن يكون كبيرا كفاية, و المسافة بين اللبوسين يجب أن تكون صغيرة جدا بالنسبة لأبعاد السطح.

- في الحقيقة, بالنسبة للمكثفة المستوية الناقلان ليسا في تأثير كلي, و بما أن المسافة الفاصلة بين لبوسي المكثفة صغيرة مقارنة بسطح اللبوسين, في هذه الحالة يمكن اعتبار أن التأثير كلي.

3.8. جمع المكثفات

جمع المكثفات على التفرع

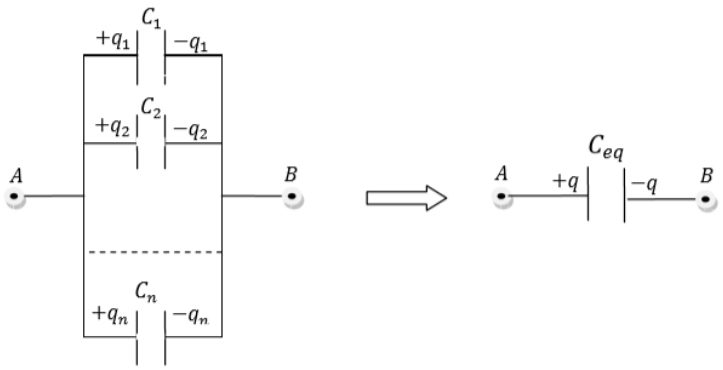
كل المكثفات تخضع لنفس فرق الكمون V. وتحمل كل مكثفة سعتها C_i شحنة q_i .

المكثفة المكافئة تحمل شحنة:

$$q = q_1 + q_2 + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots . q_n$$
$$q = C_1 V + C_2 V + \cdots \ldots \ldots \ldots \ldots . C_n V$$
$$q = V\sum_{i=1}^{n} C_i = V C_{éq}$$

السعة المكافئة للمكثفة المكافئة: $C_{éq} = \sum_{i=1}^{n} C_i$

فائدة الربط على التوازي هو الحصول على مكثفة ذات سعة كبيرة جدا



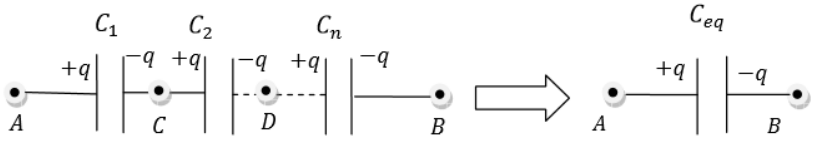
جمع المكثفات على التسلسل

كل المكثفات لها نفس الشحنة q. فرق الكمون بين طرفي كل المجموعة يساوي مجموع فروق الكمونات.

$$V_A - V_B = (V_A - V_C) + (V_C - V_D) \dots\dots\dots\dots = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \cdots \dots\dots\dots \frac{q}{C_n} = \frac{q}{C_{éq}}$$

السعة المكافئة للمكثفة المكافئة: $\frac{1}{C_{éq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$

فائدة الربط على التسلسل: يستعمل هذا التركيب عندما يكون فرق الكمون كبيرا جدا و لا يمكن لمكثفة واحدة تحمله.



4.8.الطاقة الكهربائية للمكثفة

يتم حساب الطاقة الكهربائية للمكثفة بنفس الطريقة كما في حالة النواقل إذن:

$$W = E_P = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}qV$$

V:التوتر المطبق بين لبوسي المكثفة