Chapitre II : Conducteurs en équilibre électrostatique et condensateurs

Partie I : Conducteurs en équilibre électrostatique

1. Généralités sur les conducteurs

1.1. Définition d'un conducteur :

Un conducteur est un corps qui possède des particules chargées libres pouvant se déplacer librement sous l'action d'un champ électrostatique.

Exemples : Les métaux comme le cuivre, le fer…

1.2. Influence électrostatique dans un conducteur placé dans un champ électrique :

Lorsqu'on place un conducteur dans un champ électrique extérieur $\vec{E}_{ext}$:

- Le champ exerce une force sur les électrons libres.
- Les électrons se déplacent dans le sens opposé au champ extérieur
- Ce déplacement provoque une redistribution de charges sur la surface du conducteur (ce phénomène est appelé influence électrostatique)
- Cette redistribution crée un champ électrique induit $\vec{E}_{ind}$ opposé au champ extérieur $\vec{E}_{ext}$ à l'intérieur du conducteur.
- A l'équilibre les deux champs se compensent à l'intérieur du conducteur.

$$\vec{E}_{ext} + \vec{E}_{ind} = \vec{0}$$

Donc :

$$\vec{E}_{int} = \vec{0}$$

1.3. Equilibre électrostatique :

Un conducteur est en équilibre électrostatique lorsque les charges électriques libres ne subissent plus de déplacent à l'intérieur du conducteur.

Cet équilibre est atteint lorsque le champ électrique résultant à l'intérieur du matériau conducteur devient nul.

Propriétés d'un conducteur en équilibre électrostatique :

1) Champ électrique nul à l'intérieur du matériau conducteur

$$\vec{E}_{int} = \vec{0}$$

W.KAZTANI

2) Le potentiel électrique est le même en tout point du conducteur. Le conducteur est donc équipotentiel)

$$V = constante$$

La différence de potentiel entre deux points A et B du conducteur est donc nulle :

$$V_A - V_B = 0$$

3) En équilibre électrostatique, toute charge excédentaire d'un conducteur se trouve sur sa surface extérieure.

4) Le champ électrique à l'extérieur d'un conducteur est perpendiculaire à sa surface. Ce champ est donné par la relation :

$$\vec{E}_{ext} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{n}$$

Où :

σ : densité surfacique de charge ;

ε_0 : permittivité électrique du vide ;

$\vec{n}$: vecteur unitaire normal à la surface et dirigé vers l'extérieur du conducteur.

2. Influence électrostatique

L'influence électrostatique est un phénomène qui se produit lorsqu'un conducteur chargé provoque une redistribution des charges électriques dans un autre conducteur, sans contact direct entre eux.

Lorsqu'on approche un conducteur chargé d'un conducteur neutre, les charges libres de ce dernier se déplacent sous l'action du champ électrique créé par le premier conducteur.

On distingue deux cas : l'influence totale et l'influence partielle.

2.1. Influence totale

L'influence électrostatique est dite totale lorsqu'un conducteur chargé (conducteur inducteur) est entièrement entouré par un autre conducteur creux (conducteur influencé).

Ce phénomène permet une redistribution complète de charges induites sur les surfaces du conducteur creux.

Considérons maintenant deux conducteurs :

C_1 : conducteur intérieur porte une charge $+Q$

C_2 : conducteur creux qui entoure complètement C_1.

W.KAZITANI

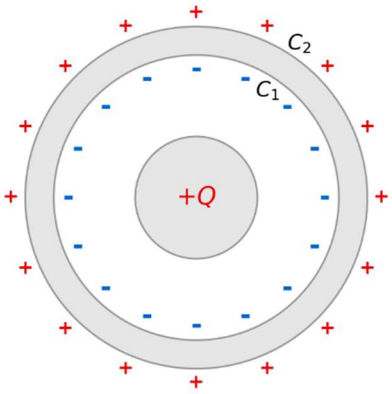
Pour que le champ électrique soit nul dans C_2, une charge opposée apparait sur la surface interne de C_2 ($Q_{int} = -Q$). La charge de la surface externe deC_2 dépend de son état, ainsi on distingue trois cas possibles :

Cas 1 : C_2 est isolé et initialement neutre

C_2 est initialement neutre, la surface interne porte la charge $-Q$. Pour conserver une charge totale nulle sur C_2, il apparait sur sa surface externe la charge $+Q$.

$$Q_{int} = -Q$$

$$Q_{ext} = +Q$$



Cas 2 : C_2 possède initialement une charge Q_0

La surface interne porte la charge $-Q$. Le conducteur C_2 isolé et porte initialement une charge Q_0, il apparait sur sa surface externe la charge $Q_{ext} = Q_0 + Q$.

$$Q_{int} = -Q$$

$$Q_{ext} = Q_0 + Q$$

Cas 3 : C_2 est relié à la terre

Lorsque C_2 est relié à la terre, sa surface extérieur ne porte aucune charge dans cette configuration.

On obtient :

$$Q_{int} = -Q$$

$$Q_{ext} = 0$$

2.2. Influence partielle

L'influence électrostatique est dite partielle lorsqu'un conducteur chargé est placé à proximité d'un autre conducteur. Dans ce cas, le champ électrique du conducteur chargé provoque une redistribution des charges libres dans le conducteur voisin.

- Cas de deux conducteurs proches l'un de l'autre :

Considérons deux conducteurs métalliques A et B, placés proximité l'un de l'autre. Le conducteur A porte une charge positive $+Q$, tandis que le conducteur B est initialement neutre.

Sous l'action du champ électrique de A, les électrons libres du conducteur B sont attirés vers la région la plus proche de A.

Il apparaît alors :

- Une accumulation de charges négatives du côté proche de A ;
- Une accumulation de charges positives du côté éloigné de A.

Le conducteur B reste globalement neutre s'il est initialement neutre, isolé et sans échange de charges avec l'extérieur.

Plus les conducteurs sont proches, plus l'influence électrostatique est généralement importante.

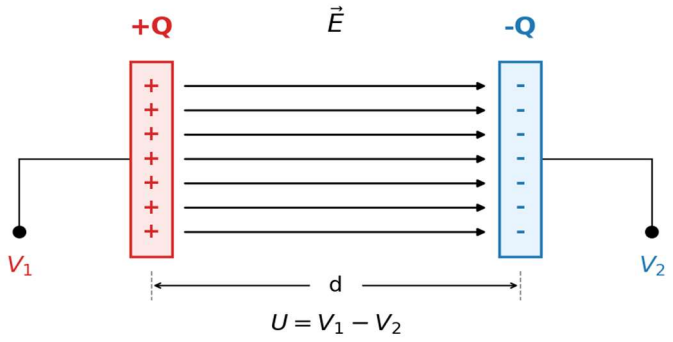
Partie II : Condensateurs

1. Définition d'un condensateur

Un condensateur est un composant électrique constitué de deux conducteurs appelés armatures, en influence électrostatique totale et séparés par un matériau isolant (air, vide ou diélectrique).

Lorsqu'un condensateur est chargé, il possède:

- Deux armatures portant des charges opposées ($+Q$ et $-Q$).
- Une différence de potentiel (tension) entre les armatures.
- Un champ électrique dans l'isolant.



WKAZI TANI

2. Capacité d'un condensateur

La capacité électrique caractérise l'aptitude d'un condensateur à stocker des charges électriques. Elle est définie par :

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

Avec :

C : capacité en Farads (F)

Q : La valeur absolue de la charge d'une armature (C)

U : la tension entre les armatures (V)

$$U = V_1 - V_2$$

V_1 : le potentiel de l'armature positive

V_2 : le potentiel de l'armature négative

Comme le champ électrique est dirigé du potentiel le plus élevé vers le potentiel le plus faible :

$$V_1 > V_2$$

Donc :

$$Q = C(V_1 - V_2)$$

La capacité électrique dépend de la géométrie du condensateur et de la nature du matériau isolant placé entre ces armatures.

3. Condensateur plan

3.1. Définition

Un condensateur plan est un dispositif constitué de deux plaques métalliques planes et parallèles, séparées par un isolant (air, vide ou diélectrique).

Lorsqu'on relie le condensateur à un générateur :

- Une armature acquiert une charge positive $+Q$
- L'autre armature acquiert une charge négative $-Q$

Les deux armatures portent des charges égales en valeur absolue et opposées en signe.

W.KAZITANI

3.2. Champ électrique entre les armatures

En négligeant les effets de bord, le champ électrique entre les deux armatures est uniforme.

Caractéristiques du champ

Direction : perpendiculaire aux armatures

Sens : de l'armature positive vers l'armature négative.

L'intensité du champ est donnée par :

$$E = \frac{U}{d} = \frac{V_1 - V_2}{d}$$

U : la différence de potentiel entre les armatures

V_1 : le potentiel de l'armature positive

V_2 : le potentiel de l'armature négative.

d : la distance entre les armatures

Relation avec la densité surfacique de charge

Pour deux armatures planes parallèles en influence totale, portant des charges opposées de densités surfaciques $+\sigma$ et $-\sigma$, le champ électrique entre les armatures est :

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

Cette relation résulte de la superposition des champs crées par les deux plans chargés :

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

3.3.Capacité d'un condensateur plan

Pour un condensateur plan, l'expression de la capacité est donnée par :

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

ε_0 : permittivité électrique du vide.

S : surface d'une armature (m^2)

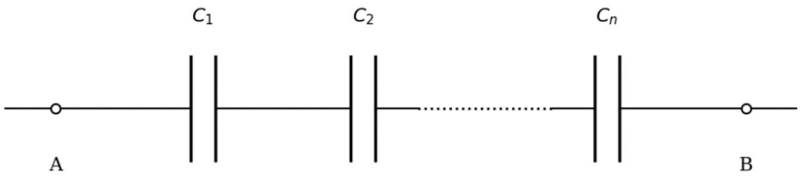
d : distance entre les armatures (m)

4. Associations de condensateurs

4.1. Condensateurs en série

On dit que des condensateurs sont en série lorsqu'ils sont branchés les uns à la suite des autres, sur le même chemin électrique.

W.KAZITANI



Dans ce cas, la même charge électrique se retrouve sur chaque condensateur :

$$Q = Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n$$

Par contre, la tension totale se répartit entre les différents condensateurs :

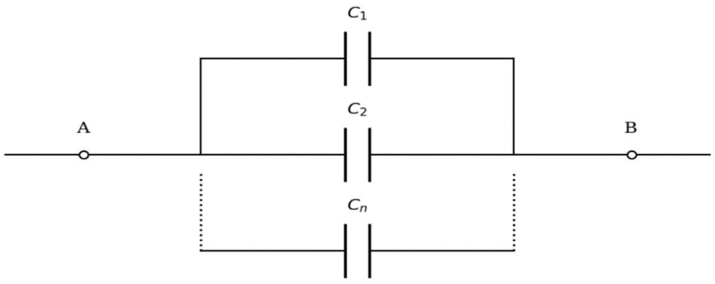
$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

La capacité équivalente ($C_{éq}$)

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

4.2. Condensateurs en parallèle

On dit que des condensateurs sont groupés en parallèle lorsqu'ils sont connectés aux mêmes deux nœuds du circuit.



Chaque condensateur est soumis à la même tension :

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$$

Par contre, la charge totale se répartit entre les différents condensateurs :

$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n$$

La capacité équivalente ($C_{éq}$)

$$C_{éq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n$$

5. Energie emmagasinée dans un condensateur

Pour un condensateur de capacité C, portant une charge Q et soumis à une tension U, l'énergie emmagasinée est :

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$

W.KAZI TANI