Chapitre III : ELECTROCINETIQUE

1. INTRODUCTION

L'électrocinétique est l'étude du mouvement d'ensemble des charges dans un circuit que l'on appelle courant électrique. Les charges se déplacent dans des milieux matériels appelés conducteurs, sous l'effet d'un champ électrique extérieur créé par une différence du potentiel. Autrement dit, c'est l'étude des circuits électriques assez simple composé de sources, résistance, bobine, condensateur, etc.

2. CONDUCTEUR ELECTRIQUE

En électricité, un conducteur est un matériau qui contient des porteurs de charge électrique pouvant se déplacer facilement. Lorsque ce conducteur est soumis à un champ électrique le mouvement de porteurs de charge devient globalement ordonné, ce qui fait qu'on observe un courant électrique.

Par extension, un conducteur est un composant électrique ou électronique de faible résistance, servant à véhiculer le courant d'un point à un autre.

Parmi les matériaux conducteurs, on peut citer les métaux, les électrolytes (ou solution ioniques) et les plasmas.

Les conducteurs parfait n'existant pas, on utilise des conducteurs ohmiques, dont les meilleurs sont l'argent, l'or et l'aluminium.

3. COURANT ELECTRIQUE

3.1 Définition :

Le courant électrique est un déplacement collectif et organisé des porteurs de charges (électrons ou ions). Cet écoulement de charges peut se produire dans le vide (faisceau d'électrons dans les tubes cathodiques..), ou dans la matière conductrice (les électrons dans les métaux, ou les ions dans les électrolytes).Un courant électrique apparait dans un conducteur quand une différence de potentiel est établie entre les bornes de ce dernier.

3.2 Intensité du courant électrique :

L'intensité du courant électrique est un nombre décrivant le débit de charge électrique à travers une surface donnée, notamment la section d'un fil électrique.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

L'unité du courant électrique à l'échelle international est l'Ampère de symbole A.
Dans le système international, l'Ampère est l'une des quatre unités fondamentales de telle sorte que : 1 C =1 A.s (Ampère fois seconde).

3.3 La densité de courant électrique

Le vecteur densité de courant $\vec{J}$caractérise le mouvement d'ensemble des porteurs de charges dans un circuit électrique:

$$\vec{J} = \mu \cdot \vec{v}$$

$\vec{J}$: densité de courant $(A \cdot m^{-2})$

μ: densité volumique de charges mobiles $(C \cdot m^{-3})$

$\vec{v}$: vitesse moyenne des porteurs $(m \cdot s^{-1})$

Si n est le nombre d'électrons mobiles par unité de volume : $\mu = -ne$, donc :

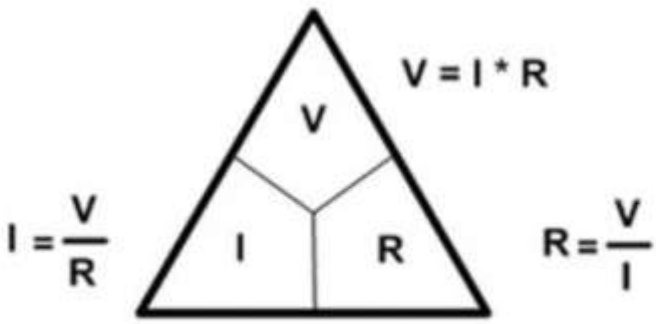
$$\vec{J} = -ne \cdot \vec{v}$$

On peut écrire aussi :

$$I = \vec{J} \cdot \overrightarrow{dS}$$

3.4 La loi d'ohm:

Le rapport entre la tension (V) aux bornes de la résistance ***R*** métallique (conducteur) et le courant qui le traverse (I), est constant (la température de la salle est maintenue constante). La constante *R* est, par définition, la résistance électrique du conducteur, elle est exprimée en ohms Ω.



Triangle représentant la loi d'Ohm

$$R = \frac{u(t)}{i(t)}$$

C'est la Loi d'Ohm à l'échelle macroscopique.

À **l'échelle microscopique:**

En tout point M d'un conducteur de conductivité σ, il existe un champ $\vec{E}$ qui entraîne l'apparition d'une densité de courant J :

$$\vec{J} = \sigma \, \vec{E}$$

Cette expression est générale, elle constitue la forme locale de la loi d'Ohm.

La constante σ, dépend de la nature du matériau.

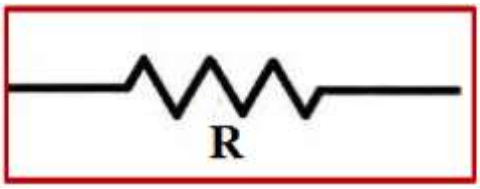
Pour un conducteur de longueur L, de section constante S, on définit la résistance R par :

$$R = \rho \, J \, S.$$

Si VA−VB désignent les potentiels entre deux points A et B distant de L dans le conducteur, la norme du champ électrique est égale aussi à :

$$VA - VB = \int E \, dl,$$

Ainsi, La loi d'Ohm traduit l'**effet** du déplacement des charges au champ électrique auquel correspond une différence de potentiel en fonction du matériau caractérisé par sa résistance.



Représentation d'une résistance

3.5 Résistance d'un fil conducteur cylindrique

On considérons un conducteur cylindrique, de longueur L et de section S , est parcourue par un courant I . S'il existe un courant, cela signifie qu'il y a différence de potentiel et soumis à une tension électrique U.

$$dV = \vec{E} \cdot \vec{dl}$$

$$\int_{V_1}^{V_2} dV = -\int_0^l \vec{E} \cdot \vec{dl} = -E \int_0^l dl$$

$$\Rightarrow U = V_2 - V_1 = E \cdot l$$

On définit alors la résistance de cette conducteur par:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{E \cdot l}{J \cdot S} = \frac{E \cdot l}{\sigma \cdot E \cdot S} \Rightarrow \boxed{R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S}} \Rightarrow \boxed{\sigma = \frac{l}{R \cdot S}}$$

σ est la conductivité du conducteur. Elle ne dépend que de la nature du matériau, elle est exprimée en ($\Omega^{-1}.m^{-1}$).

L'inverse de la conductivité appelé résistivité électrique:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{R \cdot S}{l}$$

Ainsi, peut être écrit la résistance d'un conducteur sous la forme :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

3.6 Effet de Joule.

L'énergie dissipée pendant un temps t est :

$$W = U.I.t = R.I^2.t \qquad \begin{cases} R \text{ en } \Omega \\ I \text{ en } A \\ t \text{ en } s \\ W \text{ en } J \end{cases}$$

Pour trouver la puissance dissipée par effet Joule il suffit de diviser l'énergie par le temps :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{R.I^2.t}{t} = R.I^2$$

Une puissance s'exprime généralement en watts, ou en joules par seconde.

3.7 Dipôle

On appelle dipôle électrocinétique tout système relié à l'extérieur par deux conducteurs uniquement.

a- Dipôle passif

Un dipôle récepteur passif est un dipôle qui convertit toute l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie thermique (conducteur ohmique, diode, ...). Sa caractéristique passera forcément par l'origine.

b- Dipôle actif

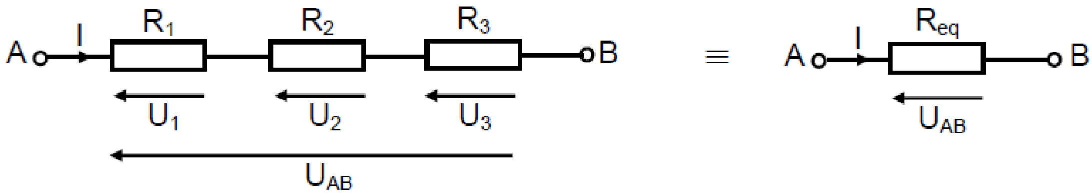
Un dipôle actif fournit à l'extérieur de l'énergie électrique et une autre forme d'énergie (générateur).

3.8 ASSOCIATION DES RECEPTEURS

3.8.1 Groupement (Association) de résistances.

a) Association en série :

Chaque résistance est traversée par la même intensité et la tension aux bornes de la résistance équivalente est égale à la somme des tensions partielles

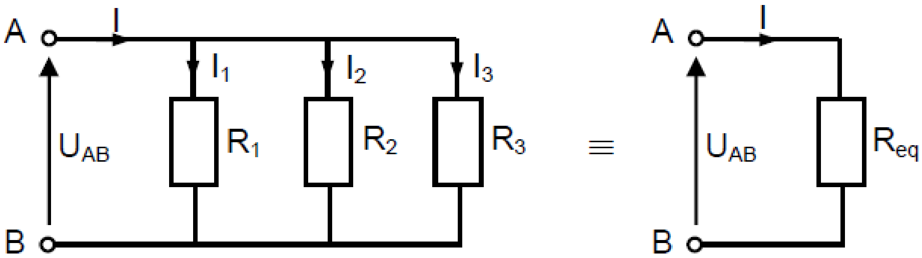


$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3 = R_1.I + R_2.I + R_3.I = I.(R_1 + R_2 + R_3) = I.R_{eq}$$

$$\boxed{R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots\dots\dots + R_n}$$

b) Association en parallèle :

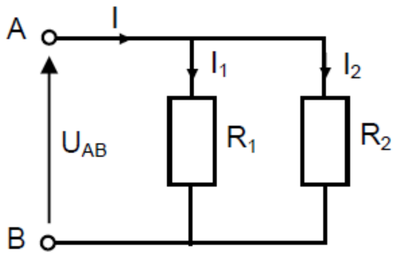
Les résistances sont soumises à la même tension. Le courant total qui traverse l'ensemble des résistances est égal à la somme des courants individuels



$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{U_{AB}}{R_3} \Rightarrow U_{AB} = I\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = I.R_{eq}$$

$$\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots\dots\dots + \frac{1}{R_n}}$$

<u>Pont diviseur de courant</u>



D'après la loi d'OHM on peut écrire :

$$\begin{cases} U_{AB} = R_1.I_1 \\ U_{AB} = R_2.I_2 \\ U_{AB} = R_{eq}.I \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_{eq} = R_1.I_1 \\ \\ R_{eq} = R_2.I_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = \dfrac{R_{eq}}{R_1} I \\ \\ I_2 = \dfrac{R_{eq}}{R_2} I \end{cases}$$

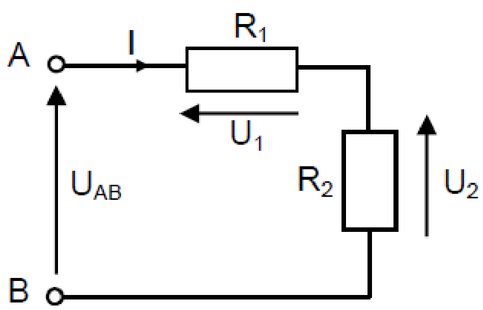
On sait que :

$$R_{eq} = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2}$$

Donc on a :

$$\boxed{I_1 = I.\frac{R_2}{R_1 + R_2}} \quad \boxed{I_2 = I.\frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

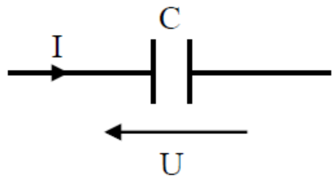
<u>Pont diviseur de tension</u>



$$\bullet U_2 = R_2.I = R_2 \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2}$$

$$\bullet U_1 = R_1.I = R_1 \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2}$$

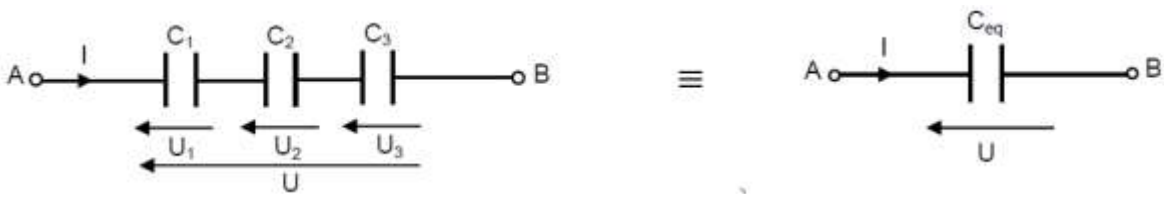
3.8.2 Groupement (Association) de condensateurs.



$$\bullet\; C = \frac{Q}{U} = \frac{I.t}{U}$$

$$\bullet\; W = \frac{1}{2}C.U^2 = \frac{1}{2}Q.U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

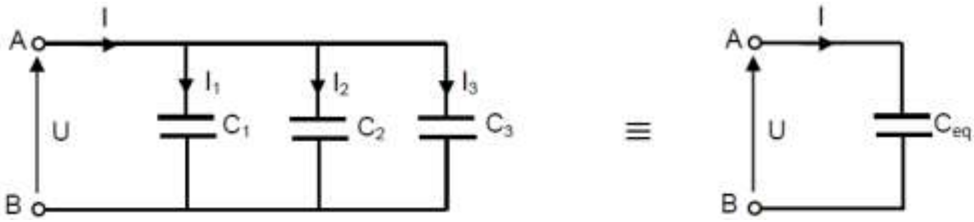
a) Association en série :



- $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$ (le courant est commun)
- $Q = U_1.C_1 = U_2.C_2 = U_3.C_3 \Rightarrow U_1 = \dfrac{Q}{C_1}\ ;\ U_2 = \dfrac{Q}{C_2}\ ;\ U_3 = \dfrac{Q}{C_3}$
- $U = U_1 = U_2 = U_3 = \dfrac{Q}{C_1} + \dfrac{Q}{C2} + \dfrac{Q}{C_3} = Q.(\dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3}) = Q.\dfrac{1}{C_{eq}}$

$$\boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{C_n}}$$

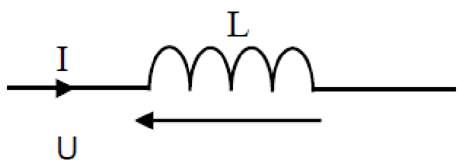
b) Association en parallèle :



- $I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$
- $Q_1 = U.C_1\ ;\ Q_2 = U.C_2\ ;\ Q_3 = U.C_3$
- $Q = U.C_1 + U.C_2 + U.C_3 \Rightarrow Q = (C_1 + C_2 + C_3).U = C_{eq}.U$

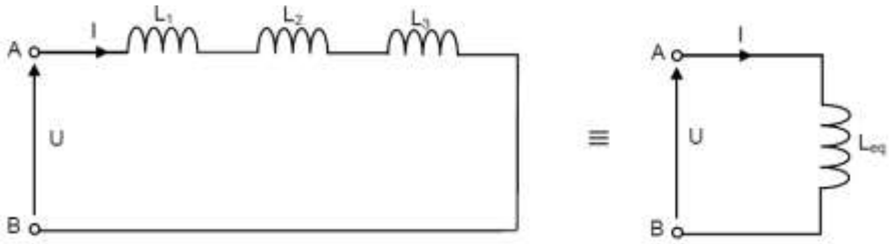
$$\boxed{C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots\ldots + C_n}$$

3.8.2 Groupement (Association) des bobines



- $u = L.\dfrac{di}{dt}$
- $i = \dfrac{1}{L}\int u\,dt$

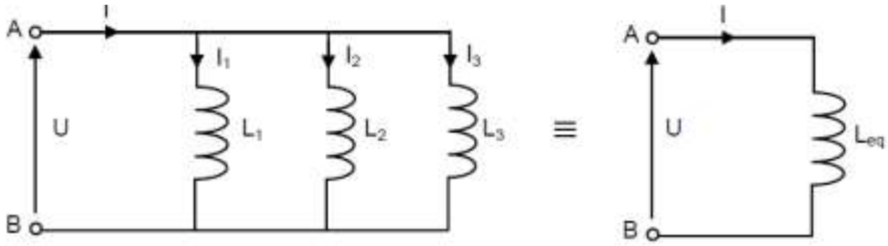
a) Association en série :



$$U = L_{eq}.\frac{di}{dt} = L_1.\frac{di}{dt} + L_2.\frac{di}{dt} + L_3.\frac{di}{dt}$$

$$\boxed{L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots\ldots + L_n}$$

b) Association en parallèle :



$$i = i1 + i2 + i3 \;\Rightarrow\; \frac{1}{L_{eq}}\int u\,dt = \frac{1}{L_1}\int u\,dt + \frac{1}{L2}\int u\,dt + \frac{1}{L3}\int u\,dt$$

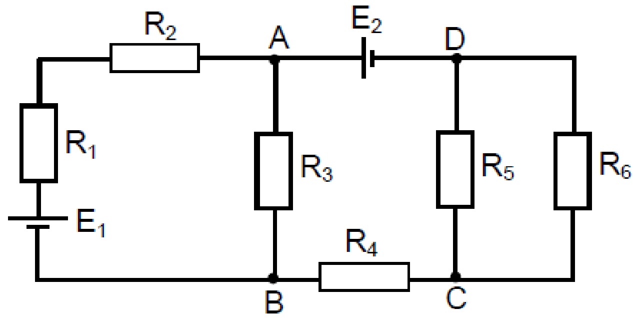
$$\boxed{\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots\ldots + \frac{1}{L_n}}$$

3.9 Les Circuits électriques.

3.9.1 Définitions

On appelle réseau électrique, tout circuit électrique complexe constitué d'éléments passifs et d'éléments actifs,

Exemple du réseau électrique :



3.9.2 Nœuds - Branches - Mailles

- Nœud

On appelle nœud tout point du réseau où aboutissent au moins trois fils,

Exemple : Nœuds : A, B, C, D.

- Branches

On appelle branche d'un réseau électrique, une partie du circuit électrique comprise entre deux Nœuds,

Exemple : Branches : $AR_2R_1E_1B$; $AE_2DR_5CR_4B$; DR_6CR_5

- Maille

On appelle maille tout ensemble de branches qui forment une boucle fermée (circuit),

Exemple : Maille 1 - $AR_2R_1E_1BR_3CR_6DE_2A$; Maille 2 - $AE_2DR_5CR_4BR_3A$.

3.9.3 Résolution d'un réseau électrique

Résoudre un réseau électrique consiste à déterminer les intensités de courant dans les différentes branches lorsque toutes les f.e.m, f.c.e.m et résistances sont connues,

On peut résoudre un réseau électrique par l'une des méthodes suivantes :

- Méthode de Kirchhoff,
- Méthode de superposition,
- Méthode de Thévenin,

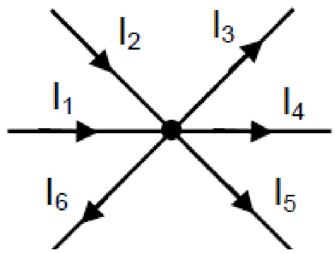
- Méthode de Norton,
- Méthode de Millmann,

3.9.4 Lois de Kirchhoff

a) La loi des Nœuds (Première loi de Kirchhoff)

La somme des courants qui rentrent à un noeud est égale à la somme des courants qui sortent,

Exemple :



$$\boxed{I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6}$$

Si on affecte du signe + l'intensité d'un courant qui traverse se dirige vers un nœud, du singe -l'intensité d'un courant qui s'en éloigne, nous pourrons dire que : en un nœud de courant, la somme algébrique des courants est nulle,

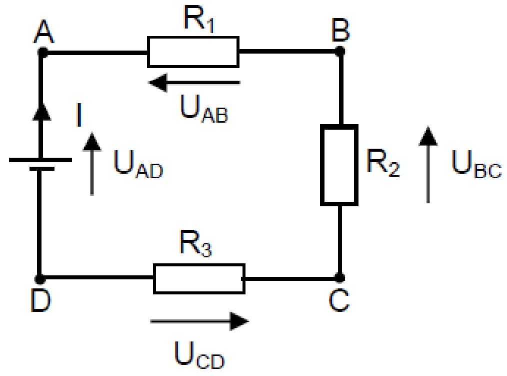
- Dans ces conditions, nous pourrons écrire : $I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$
- En généralisant, et pour un nombre quelconque de conducteurs, la 1^er^ loi de Kirchhoff s'énoncera :

Dans un nœud la somme algébrique des courants est nulle, soit

$$\Sigma I = 0$$

b) **La loi des mailles (Deuxième loi de Kirchhoff)**

Soit le circuit suivant :



Pour calculer l'une des tensions, tout d'abord, nous choisissons un sens arbitraire de circulation et ensuite nous effectuons le bilan des différences de potentiels que nous recentrons en tenant compte des signes

La 2ème loi de Kirchhoff s'énonce ainsi : Dans une maille, la somme des différences de potentiels doit être nulle, soit :

$$\Sigma U_i = 0$$