

Concepts de base de l'électronique :

Définitions, lois fondamentales et théorèmes

A. Définitions

I. Circuit électrique : Définitions

Un circuit électrique est un ensemble de composants électriques interconnectés d'une manière quelconque par des conducteurs (fils).

Un composant électrique est un élément à 2 (on parle alors de dipôle. Exemples : résistance, condensateur, bobine) ou plusieurs bornes (3 dans le cas d'un transistor, par exemple, 4 dans le cas d'un quadripôle...). Un dipôle est généralement représenté sous la forme suivante :



Les bornes a et b servent à la connexion avec les autres composants.

Un conducteur est formé d'un matériau transportant bien le courant électrique (exemple : le Cuivre). Il s'agit le plus souvent d'un métal, mais, il est également possible d'utiliser un liquide conducteur. On parle alors d'électrolyte.

II. Courants, tension, puissance :

1. Courant

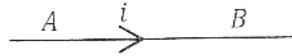
Un courant électrique est un déplacement ordonné de charges électriques dans un conducteur. On le caractérise par une grandeur, l'intensité, définie comme étant le débit de charges électriques dans le conducteur

Cette grandeur est souvent notée i . Quand, pendant un temps dt , il passe dq Coulombs, l'intensité vaut :

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

L'unité légale dans laquelle s'exprime l'intensité du courant électrique est l'ampère (symbole A). Une intensité de 1 A correspond à un débit de 1 coulomb par seconde.

Le courant dans le schéma d'un circuit électrique est représenté par une flèche sur un conducteur (le courant circule dans un composant), indiquant le sens positif de l'intensité (sens conventionnel du courant).



Le courant noté I est fléché dans un sens arbitraire. Cela ne veut pas dire que le courant i circule de A vers B mais que, si le résultat du calcul donne une valeur numérique positive, le courant circule bien de A vers B, sinon il circule en sens inverse.

Il est à noter que du fait de la définition de l'intensité ($i(t) = \frac{dq}{dt}$) et de la charge de l'électron (charge négative), le sens de déplacement effectif des électrons est l'opposé du sens positif conventionnel du courant. Cette petite incohérence a des origines historiques, l'électron ayant été découvert après la mise en évidence et la formalisation du phénomène électrique.

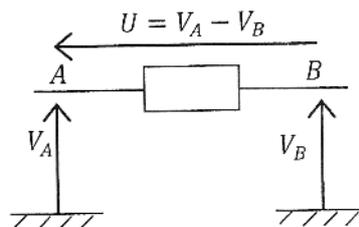
2. Différence de potentiel : la tension

Au repos, les charges électriques d'un conducteur sont en mouvement continu sous l'effet de l'agitation thermique :

Cependant, ce mouvement, à une vitesse non nulle, ne se traduit pas par un déplacement global susceptible de se traduire en courant électrique. Pour mettre en mouvement ces charges dans une direction donnée, il est nécessaire d'appliquer un champ électrique \vec{E} aux bornes du conducteur. En appliquant le potentiel électrique V_1 et le potentiel V_2 à ces deux bornes, on crée une différence de potentiel qui met les électrons en un mouvement orienté et ordonné, car ils sont alors soumis à la force de électrique $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

La valeur de la différence de potentiel est appelée la tension, et son unité est le Volt (symbole V). Le Volt est défini de telle manière qu'une charge d'un Coulomb accélérée sous une tension de 1V acquiert une énergie de 1J : $1V = 1J/C$.

On représente une différence de potentiel par une flèche à côté du composant (la tension est une différence de potentiel entre les 2 bornes du composant), comme sur le schéma suivant :



Par convention, la tension notée U représente la différence de potentiel $V_A - V_B$ (pointe de la flèche – arrière de la flèche). Donc, si, après application numérique, la tension U est positive,

cela veut dire que le potentiel du point A est supérieur à celui du point B , et si U est négative cela veut dire que le potentiel du point A est inférieur à celui du point B .

Dans le bas de ce schéma, les symboles rayés indiquent la référence de potentiel qu'on choisit nulle, appelée la masse, par rapport à laquelle sont définis les potentiels V_1 et V_2 . On parle alors parfois de la tension en un point.

ATTENTION à ne pas confondre masse et terre : la terre est LE point de potentiel nul, alors que la masse est un point qu'on prend comme référence.

III. Dipôles et conventions de signes

1. Définitions

Un dipôle est un élément possédant 2 bornes (ou pôles) : le courant sortant par un pôle est bien sur le même que celui qui entre par l'autre. Chacun de ces 2 pôles est soumis à un certain potentiel électrique et la différence de potentiel entre eux (souvent abrégée en "ddp") est appelée tension.

Un dipôle peut être linéaire ou non-linéaire, passif ou actif, récepteur ou générateur.

Définissons ces différents termes.

- Un dipôle est **linéaire** si la fonction f telle que $U = f(I)$ reliant la tension entre ses bornes au courant qui le traverse, est une fonction différentielle à coefficient constant. On peut aussi dire qu'un dipôle est linéaire s'il présente une impédance indépendante du courant qui le traverse (l'impédance est le rapport tension/courant en régime continu comme en régime sinusoïdal). Les résistances, les condensateurs et les bobines sont des dipôles linéaires. Les diodes, les transistors et en général les composants à base de semi-conducteurs n'en sont pas.
- Un dipôle est **passif** si sa caractéristique tension/courant passe par l'origine (si $U = 0$, $I = 0$ et réciproquement). Il ne peut que consommer de l'énergie électrique, et cette énergie est dissipée par effet Joule.

Un dipôle est **actif** si sa caractéristique ne passe pas par l'origine et une partie de l'énergie qu'il met en jeu ne correspond pas à de l'effet Joule.

- Un dipôle fonctionne en **récepteur** s'il **consomme** (ou pas) de l'énergie électrique active (des joules) mais **n'en génère** pas en moyenne.

Un dipôle fonctionne en **générateur** s'il fournit de l'énergie électrique active.

Ex : les composants passifs (résistances, condensateurs et bobines) sont forcément des récepteurs.

Par contre la batterie de votre portable est un dipôle actif mais elle peut fonctionner en générateur quand elle fournit du courant ou en récepteur quand vous la rechargez.

Un moteur électrique est un récepteur actif : il consomme de la puissance électrique et fournit de la puissance mécanique ... quand il tourne.

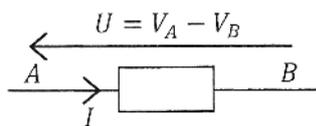
Un dipôle récepteur se représente par un simple rectangle qui peut correspondre soit à une résistance pure soit à un ensemble de composants, les condensateurs et bobines étant représentés par des symboles spécifiques que nous verrons plus tard.

2. Conventions de signe

Avant de calculer la tension aux bornes d'un dipôle quelconque ou le courant qui le traverse, il faut se mettre d'accord sur la façon de définir le sens dans lequel on va les calculer.

a. Convention récepteur

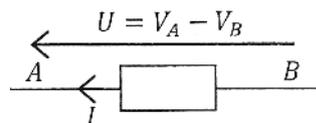
Elle consiste à flécher la tension en sens inverse du courant quel que soit le dipôle.



Conséquence : si, après application numérique, la tension et le courant sont DE MEME SIGNE, cela prouve que le dipôle est récepteur. En effet, dans un récepteur, le courant circule du point de potentiel le plus élevé vers le point de potentiel le plus bas, de même que l'eau coule du haut vers le bas (si, si ...) ! Sinon, cela prouve que le dipôle est un générateur.

b. Convention générateur

Elle consiste à flécher la tension et le courant dans le même sens quel que soit le dipôle.

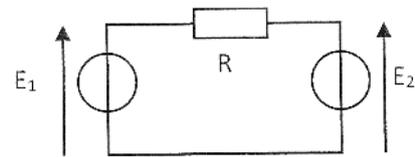


Conséquence : si, après application numérique, la tension et le courant sont DE MEME SIGNE, cela prouve que le dipôle est générateur. En effet, dans un générateur, le courant circule du point de potentiel le plus bas vers le point de potentiel le plus élevé, de même qu'un système de pompe dans un tuyau (équivalent du générateur) peut faire remonter l'eau du bas vers le haut. Sinon cela prouve que le dipôle est un récepteur.

Remarques :

- si on sait qu'un dipôle est générateur, on a intérêt à appliquer la convention générateur entre le courant qui le traverse et la tension à ses bornes. Cela permettra d'obtenir un courant de même signe que la tension.
- Si un circuit ne comporte qu'un seul générateur, respecter la convention générateur pour ce générateur (et la convention récepteur pour les résistances) donnera forcément des courants de même signe que la tension du générateur.

Attention : dans le schéma ci-contre, on ne peut pas respecter la convention générateur en même temps pour E_1 et pour E_2 : il faut donc choisir au hasard un sens du courant pour faire les calculs et, si le résultat numérique est positif, cela prouvera que le courant circule bien dans le sens choisi mais un résultat négatif n'est pas faux pour autant. Il prouverait seulement que le courant circule en sens inverse ! (ex : une batterie que l'on recharge "voit" le courant entrer par sa borne +).



IV. Dipôles récepteurs : Cas de la résistance

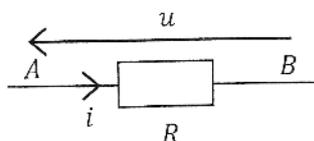
1. Effet résistif

Soit un conducteur, aux bornes duquel on impose une tension. On sait qu'alors, ce conducteur sera parcouru par un courant. Cependant, tous les matériaux ne "conduisent" pas l'électricité aussi facilement : certains offrent plus ou moins de résistance au passage des électrons. Ce phénomène est ce qu'on appelle l'effet résistif.

2. Loi d'ohm

Une résistance est un dipôle récepteur passif qui, quand on applique une tension entre ses bornes, est parcourue par un courant d'intensité proportionnelle à cette tension (réponse linéaire). Le facteur de proportionnalité s'appelle la résistance et s'exprime en ohms (symbole : Ω)

Symbole :



C'est un dipôle récepteur. On utilise donc la convention récepteur pour le fléchage des grandeurs.

On a alors la relation de proportionnalité suivante :

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

C'est la loi d'Ohm bien connue.

Rq1 : elle ne s'applique que si la convention récepteur est utilisée ; sinon, il faut rajouter un signe "-".

Rq2 : L'inverse de la résistance est la conductance, souvent notée G . Elle s'exprime en Siemens (S) : $G = 1/R$.

B. Lois fondamentales

I. Définitions

Pour pouvoir travailler sur les circuits électriques, il est utile de définir un certain nombre de termes et de notions. Ainsi, on appelle :

- ✓ Un nœud, un point de convergence de plusieurs conducteurs, c'est-à-dire l'interconnexion d'au moins 3 fils.
- ✓ Une branche, une portion de circuit située entre deux nœuds consécutifs.
- ✓ Une maille, un ensemble de branches formant un contour fermé que l'on peut parcourir en ne passant qu'une fois par chaque nœud intermédiaire.

De plus, on dit que :

- ✓ des dipôles sont en série s'ils sont parcourus par le même courant.
Des dipôles en série forment une branche (qui peut ne comporter qu'un seul dipôle).
- ✓ Des dipôles sont en parallèle s'ils sont soumis à la même tension (c'est à dire si leurs extrémités sont reliées).

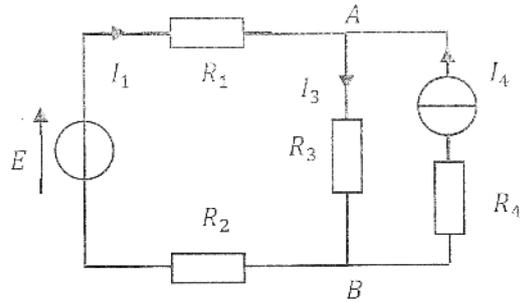
Rq : des branches peuvent aussi être en parallèle

ATTENTION : DES DIPOLES NE SONT PAS FORCEMENT SOIT EN SERIE SOIT EN PARALLELE.

Le SEUL critère pour savoir si des dipôles sont en série ou en parallèle, c'est l'application STRICTE des définitions ci-dessus.

Exemple : le circuit ci-contre comporte :

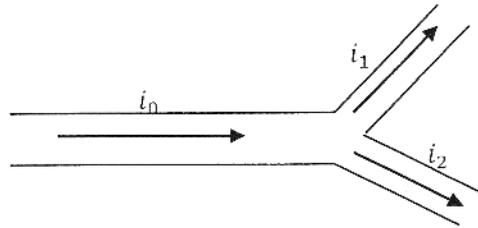
- ✓ 3 branches : (E, R_1, R_2) , (R_3) et (I_4, R_4)
- ✓ 2 nœuds : A et B
- ✓ 3 mailles (E, R_1, R_3, R_2) , (I_4, R_3, R_4) et (E, R_1, I_4, R_4, R_2)
- ✓ R_1 et R_2 sont en série mais R_3 n'est ni en série ni en parallèle avec R_1 pas plus qu'avec R_2 ou R_4 .



II. Lois fondamentales de l'électronique : les lois de Kirchhoff

1. Loi des nœuds

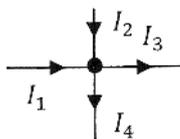
Cette loi se déduit facilement de la notion de courant électrique. Supposons que l'on ait un flux $i_0 = \frac{dq}{dt}$ d'électrons dans un conducteur arrivant à un nœud d'un circuit électrique (voir définition plus haut) :



Les électrons venant "de la gauche" partiront soit dans la première, soit dans la deuxième branche. Mais, le nombre total d'électrons par second restera le même que celui qui arrive en permanence par la gauche. On a donc : $i_0 = i_1 + i_2$ (avec les sens des courants définis sur la figure ci-dessus)

On peut alors généraliser cette relation pour un nœud où arriveraient n conducteurs. On obtient alors la loi des nœuds, qui stipule que la somme algébrique des courants relatifs à un nœud est nulle. On compte positivement les intensités des courants qui arrivent sur le nœud, et négativement celles des courants qui en repartent.

Ex : La loi des nœuds appliquée ici donne :



$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

2. Loi des mailles

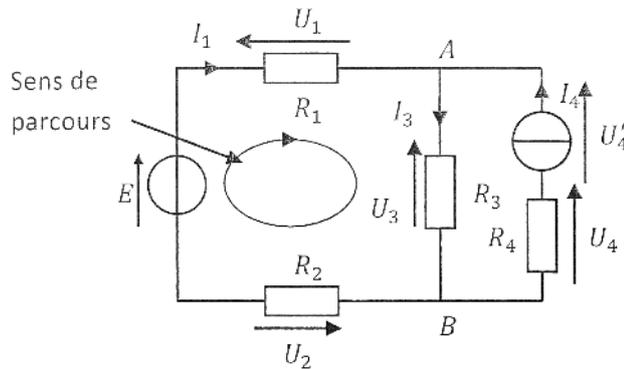
Cette loi découle de la remarque selon laquelle entre deux points quelconques, la différence de potentiel est bien définie. Considérons par exemple 3 points A, B et C. Entre A et B, on mesure la tension $U_{AB} = V_A - V_B$, entre A et C, on mesure la tension $U_{AC} = V_A - V_C$, et, entre C et B, on mesure la tension $U_{CB} = V_C - V_B$. On remarque alors que, telle une relation vectorielle, on a : $U_{AB} = V_A - V_C + V_C - V_B = U_{AC} + U_{CB}$.

En généralisant, on obtient la loi des mailles qui stipule que la somme algébrique des tensions le long d'un parcours fermé est nulle.

Pour appliquer la loi des mailles, on définit un sens de parcours arbitraire de la maille qui sera le sens positif. Ainsi, une tension fléchée dans le sens du parcours sera précédée du signe "+" et une tension fléchée dans le sens inverse du parcours sera précédée du signe "-".

Ex :

- $E - U_1 - U_3 - U_2 = 0$
- $E - U_1 - U'_4 - U_4 - U_2 = 0$
- $U_3 - U'_4 - U_4 = 0$



(Pour les équations précédentes, le sens choisi est toujours le même)

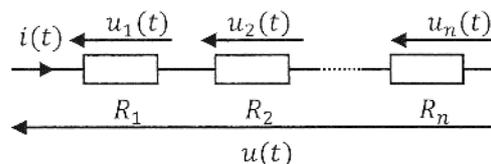
III. Associations de composants

1. Association de résistances en série

La loi d'Ohm permet d'écrire : $u_k(t) = R_k \cdot i(t)$

La loi des mailles permet d'écrire :

$$u(t) = \sum_{k=1}^n u_k(t) = \sum_{k=1}^n R_k \cdot i(t) = i(t) \cdot \sum_{k=1}^n R_k$$



puisque le courant est le même dans toutes les résistances.

Or, par définition, la résistance équivalente R_{eq} est telle que : $u(t) = R_{eq} \cdot i(t)$

En comparant les 2 dernières formules, on obtient :

$$R_{eq} = \sum_{k=1}^n R_k$$

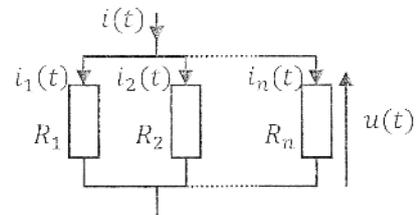
CI : La résistance équivalente à n résistances en série est égale à leur somme.

2. Association de résistances en parallèle

La loi d'Ohm permet d'écrire : $i_k(t) = \frac{u(t)}{R_k}$

La loi des nœuds permet d'écrire :

$$i(t) = \sum_{k=1}^n i_k(t) = \sum_{k=1}^n \frac{u(t)}{R_k} = u(t) \cdot \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$



car la tension est la même aux bornes de chaque résistance

Or, par définition, la résistance équivalente R_{eq} est telle que : $i(t) = \frac{u(t)}{R_{eq}}$

En comparant les 2 dernières formules, on obtient :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

CI : L'inverse de la résistance équivalente à n résistances en parallèle est égal à la somme de leurs inverses.

Remarques :

- ✓ Si l'on utilise la conductance $G (= \frac{1}{R})$, on obtient : $G_{eq} = \sum G_i$
- ✓ Pour 2 résistances en parallèle, il est plus simple d'utiliser la formule suivante :

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