

Chapitre 2 : Composants électroniques

1. Dipôle électrique

1.1. Définitions

On appelle dipôle électrique un composant possédant deux bornes A et B par lesquelles il est relié au reste du circuit.

En régime stationnaire ou dans le cadre de l'ARQS, la conservation de la charge implique que l'intensité entrant dans le dipôle est égale à l'intensité sortante ($I_A = I_B = I$).

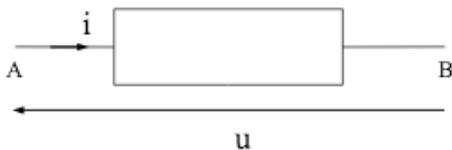
L'état d'un dipôle sera donc caractérisé par la donnée de la tension U_{AB} à ses bornes et l'intensité I du courant qui le traverse.

exemples : résistor, condensateur, bobine, diode...

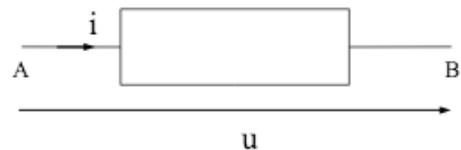
1.2. Conventions récepteur et générateur

Suivant l'orientation de la flèche de tension, on distingue deux représentations possibles :

- les flèches de tension et de sens positif du courant sont de même sens : on dit alors qu'on est en convention générateur
- les flèches de tension et de sens positif du courant sont de sens contraire : on dit alors qu'on est en convention récepteur



(a) Convention récepteur



(b) Convention générateur

1.3. Caractéristiques d'un dipôle

Afin de rendre compte des différents états possibles d'un dipôle, on trace la caractéristique de ce dernier, c'est-à-dire la représentation graphique intensité = f (tension).

On distingue ainsi deux caractéristiques :

- la caractéristique statique enregistrée en régime continu $I = f(U)$
- la caractéristique dynamique enregistrée en régime variable (le plus souvent en régime sinusoïdal ou harmonique) $i = f(u)$

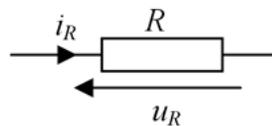
Pour certains dipôles, cette représentation graphique issue de l'expérience peut être modélisée par une relation mathématique ; cette relation est appelée loi courant-tension du dipôle et lie l'intensité du courant électrique traversant le dipôle et la tension à ses bornes.

exemple : dans le cas d'un résistor, on a loi d'Ohm $U = R \times I$ puisque la caractéristique est une droite passant par l'origine. La résistance R est ainsi définie comme l'inverse de la pente de la caractéristique.

1.4. Dipôles usuels

Parmi les dipôles usuels, on trouve :

- le résistor (ou résistance)

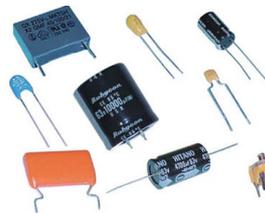
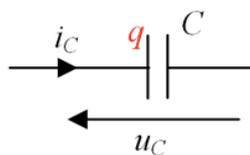


c'est le dipôle le plus simple pour lequel tension et intensité du courant électrique sont proportionnelles (en régime continu ou variable). La loi courant-tension s'écrit ainsi en convention récepteur :

$$u_R(t) = R \times i_R(t)$$

La constante de proportionnalité, appelée résistance, notée R , s'exprime en Ohm (Ω).
Ordre de grandeur de R : de quelques centaines de Ω à quelques dizaines de $k\Omega$

- le condensateur



La charge portée par les armatures du condensateur est proportionnelle à la tension à ses bornes

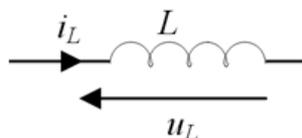
$$q(t) = C \times u_C(t)$$

La loi courant-tension s'écrit ainsi en convention récepteur :

$$i_C(t) = C \frac{du_C}{dt}$$

La constante de proportionnalité, appelée capacité, notée C , s'exprime en Farad (F).
Ordre de grandeur de C : de quelques nF à quelques μF

- la bobine

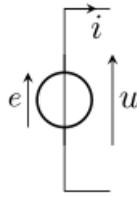


La loi courant-tension s'écrit ainsi en convention récepteur :

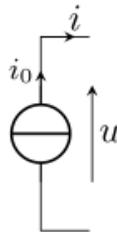
$$u_L(t) = L \frac{di_L}{dt}$$

La constante de proportionnalité, appelée inductance, notée L , s'exprime en Henry (H).
Ordre de grandeur de L : de quelques mH à quelques centaines de mH

- la source idéale de tension : c'est un générateur qui impose une tension $u = e$ à ses bornes appelée force électromotrice (f.e.m) quelque soit l'intensité i du courant qui le traverse.

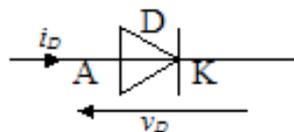


- la source idéale de courant : c'est un générateur qui impose une intensité $i = i_0$ au courant qui le traverse indépendamment de la tension à ses bornes u .



Remarque : lors de l'étude du fonctionnement d'un circuit comportant une source idéale de courant, il est important de se souvenir que seule l'intensité du courant débité par la source est connu, la tension u restant inconnue. Par conséquent, on n'applique jamais la loi des mailles à une maille comportant une source de courant.

- la diode : c'est un composant qui ne laisse passer un courant électrique que lorsque la tension à ses bornes excède une valeur seuil, généralement voisine de $0,7 V$.

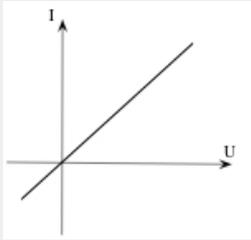
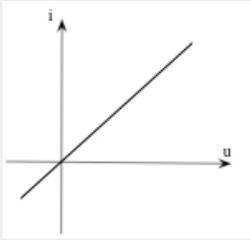
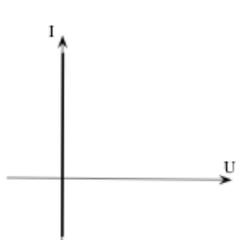
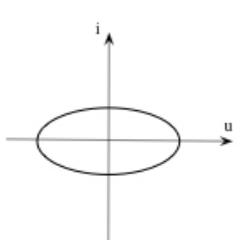
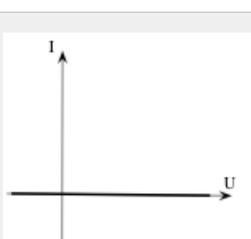
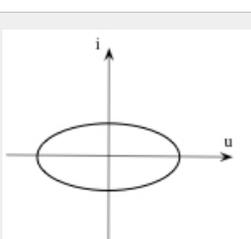
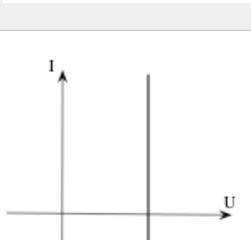
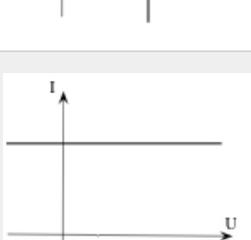
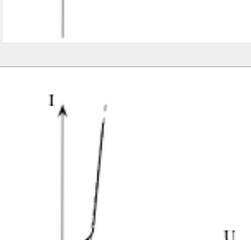


Pour les dipôles admettant une loi courant-tension, celle-ci s'écrit en convention générateur en étant précédée d'un signe « moins ».

2. Classification des dipôles

On peut classer les dipôles suivant plusieurs critères :

- dipôle actif ou passif : un dipôle est passif si et seulement si sa caractéristique statique passe par l'origine ; il sera dit actif dans le cas contraire.
- dipôle linéaire ou non linéaire : un dipôle est linéaire si et seulement si sa caractéristique statique est une droite ; il est non-linéaire dans le cas contraire
- dipôle symétrique ou polarisé : un dipôle est symétrique si et seulement s'il est possible d'invertir ses bornes sans modifier son fonctionnement ; il est dit polarisé dans le cas contraire.

Tableau récapitulatif des composants usuels					
Dipôle	Caractéristique Statique	Caractéristique Dynamique	Actif Passif	Symétrique Polarisé	Linéaire Non-linéaire
Résistance			Passif	Symétrique	Linéaire
Bobine			Passif	Symétrique	Linéaire
Condensateur			Passif	Symétrique	Linéaire
Source idéale de tension			Actif	Polarisé	Linéaire
Source idéale de courant			Actif	Polarisé	Linéaire
Diode			Passif	Polarisé	Non-linéaire

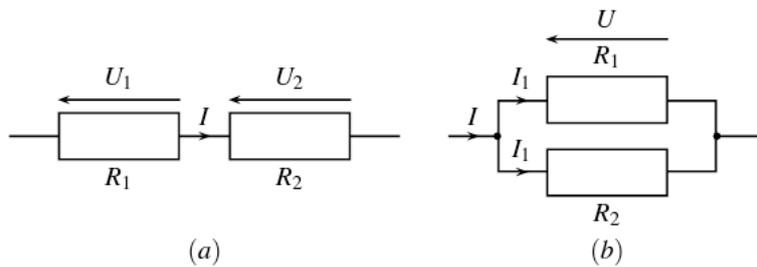
3. Association de dipôles

Il existe deux manières d'associer deux dipôles :

- association série : les deux dipôles ont une borne en commun et sont parcourus par un même courant
- association en dérivation : les deux dipôles ont leurs paires de bornes communes ; ils ont donc la même tension à leurs bornes

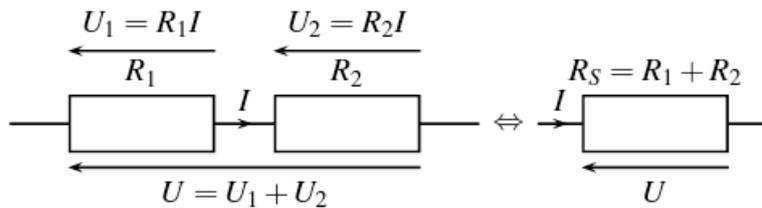
3.1. Associations de résistances

Considérons deux résistances R_1 et R_2 associées en série (a) ou en parallèle (b)



Une telle association peut être remplacée par une résistance équivalente notée R_s ou R_p

✓ cas de deux résistances en série



On a :

$$U_1 = R_1 I \text{ et } U_2 = R_2 I$$

La tension U aux bornes de l'association est :

$$U = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2) \times I$$

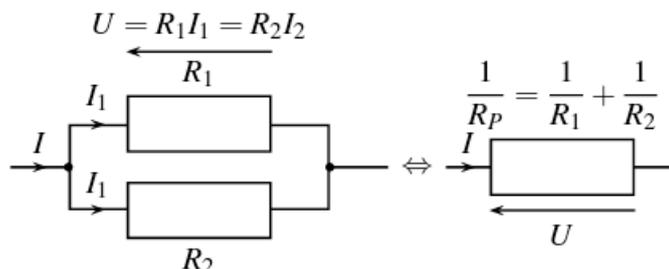
Comme on veut obtenir :

$$U = R_s \times I$$

on a par identification

$$R_s = R_1 + R_2$$

✓ cas de deux résistances en parallèle



On a :

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \text{ et } I_2 = \frac{U}{R_2}$$

L'intensité du courant arrivant sur l'association est :

$$I = I_1 + I_2 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \times U$$

Comme on veut obtenir :

$$I = \frac{1}{R_p} \times U$$

on a par identification

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

En utilisant la conductance G exprimée en Siemens ($S = \Omega^{-1}$) et définie par $G = \frac{1}{R}$, on obtient

$$G_p = G_1 + G_2$$

Les résultats précédents peuvent être généralisés à des associations de N résistances.

Nous retiendrons ainsi :

- pour une association série, on ajoute les résistances

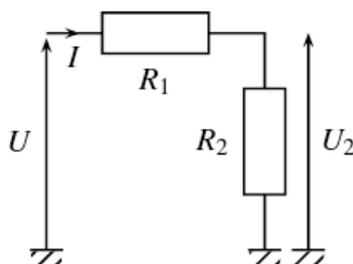
$$R_s = \sum_{i=1}^N R_i$$

- pour une association en parallèle, on ajoute les conductances

$$G_p = \sum_{i=1}^N G_i$$

3.2. Pont diviseur de tension

Un pont diviseur de tension correspond à une association série de résistances.



On a :

$$U_2 = R_2 \times I \text{ et } U = (R_1 + R_2) \times I$$

Soit :

$$I = \frac{U_2}{R_2} \text{ et } I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Donc

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times U$$

On peut montrer que l'on a de même :

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times U$$

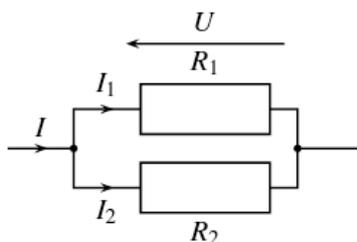
Le résultat précédent peut être généralisé à des ponts associant N résistances. Nous retiendrons la formule :

$$U_k = \frac{R_k}{R_{pont}} \times U$$

où $R_{pont} = \sum_{k=1}^N R_k$ est la résistance totale du pont.

3.3. Pont diviseur de courant

Un pont diviseur de courant correspond à une association parallèle de résistances.



On a :

$$U = R_2 \times I_2 = R_1 \times I_1 \text{ et } I = I_1 + I_2$$

Soit :

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = G_2 \times U ; I_1 = \frac{U}{R_1} = G_1 \times U ; I = (G_1 + G_2) \times U$$

Donc

$$I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} \times I$$

On peut montrer que l'on a de même :

$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \times I$$

Le résultat précédent peut être généralisé à des ponts associant N résistances. Nous retiendrons la formule :

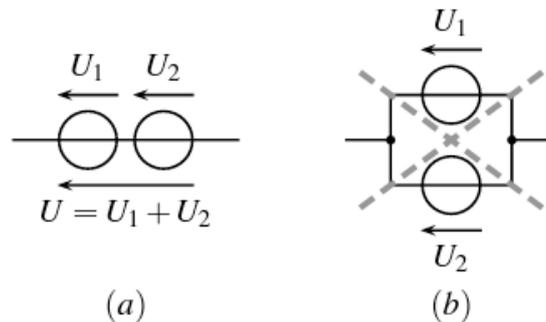
$$I_k = \frac{G_k}{G_{pont}} \times I$$

où $G_{pont} = \sum_{k=1}^N G_k$ est la conductance totale du pont.

3.4. Association de sources idéales de tension

Il est possible d'associer des sources sous certaines conditions.

- l'association série est toujours possible ; la tension aux bornes de l'ensemble sera alors la somme des tensions de chaque source

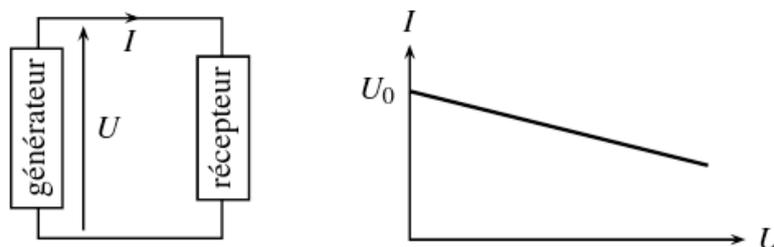


- l'association en parallèle n'est pas possible quand les sources ont des forces électromotrices différentes ; en revanche, on peut mettre en parallèle des sources identiques afin d'augmenter l'intensité du courant débité et donc la puissance de l'ensemble.

4. Générateur réel - Modélisations de Thévenin et de Norton

Les générateurs utilisés au laboratoire ne correspondent généralement pas à des sources idéales de tension ou de courant.

On définit un générateur comme un dipôle actif, polarisé et linéaire. Sa caractéristique correspond donc à une droite ne passant pas par l'origine.



Cette caractéristique peut être modélisée par l'équation :

$$U = E_{Th} - R_{Th} \times I$$

chaque terme ayant la signification suivante :

- $E_{Th} = U_0$ est la tension à vide du générateur (lorsqu'aucun courant ne le traverse $I = 0$)
- $R_{Th} = r$ est la résistance interne du générateur (il s'agit de la pente de la droite homogène ici à une résistance).

On reconnaît ici une loi des mailles (additivité des tensions). Le générateur peut être ainsi modélisé par une source idéale de tension associée en série avec une résistance ; c'est la modélisation de Thévenin.

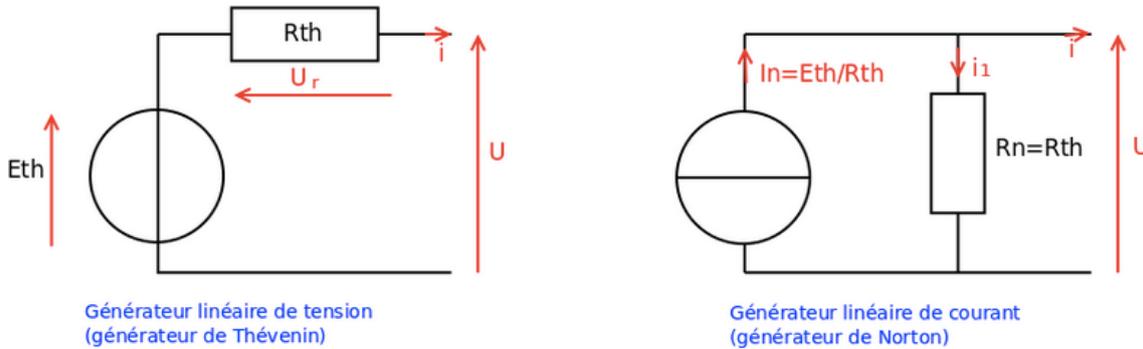
Hors programme mais à connaître : l'équation de la caractéristique peut également être écrite

$$I = \frac{U_0}{r} - \frac{U}{r}$$

En posant $I_N = \frac{U_0}{r}$ et $r = R_N$, on obtient alors

$$I = I_N - \frac{U}{R_N}$$

On reconnaît ici une loi des noeuds. Le générateur peut être ainsi modélisé par une source idéale de courant associée en série avec une résistance ; c'est la modélisation de Norton.



On passe de l'une à l'autre des deux représentations par les relations :

$$R_{Th} = R_N = R \quad \text{et} \quad E_{Th} = R \times I_N$$

5. Aspect énergétique

5.1. Définitions

Soit un dipôle traversé par un courant d'intensité $i(t)$, soumis à une tension $u(t)$ entre ses bornes.

En convention récepteur, on définit la puissance instantanée reçue $p(t)$ reçue par le dipôle par la relation :

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$

La puissance électrique s'exprime en Watt ($1 W = 1 J \cdot s^{-1}$).

Remarque : dans le cas d'un dipôle en convention générateur, $p(t)$ n'est plus la puissance reçue mais la puissance cédée.

On définit ainsi le caractère générateur ou récepteur d'un dipôle par le signe de $p(t)$.

	Convention récepteur	Convention générateur
Caractère récepteur	$p(t) > 0$	$p(t) < 0$
Caractère générateur	$p(t) < 0$	$p(t) > 0$

Remarque : un dipôle peut avoir un comportement récepteur à un instant et générateur à un autre.

La puissance est liée à l'énergie instantanée stockée par le dipôle par :

$$p(t) = \frac{dE_{elec}}{dt}$$

5.2. Puissance dissipée par une résistance

Une résistance dissipe l'énergie électrique reçue en énergie thermique (chaleur) ; c'est l'effet Joule.

La puissance électrique dissipée par une résistance parcourue par un courant d'intensité $i_R(t)$, soumise à une tension $u_R(t)$ entre ses bornes, est :

$$P_{\text{Joule}}(t) = u_R(t) \times i_R(t) = R i_R^2 = \frac{u_R^2}{R}$$

Remarque : la puissance électrique reçue par la résistance étant toujours positive, il s'ensuit qu'une résistance présente toujours un caractère récepteur.

5.3. Énergie stockée par un condensateur

Un condensateur ne consomme pas d'énergie ; il la stocke pour la restituer ultérieurement.

La puissance électrique reçue par un condensateur parcouru par un courant d'intensité $i_C(t)$, soumise à une tension $u_C(t)$ entre ses bornes, est :

$$p_C(t) = u_C(t) \times i_C(t) = u_C(t) \times C \frac{du_C}{dt} = \frac{1}{2} C \frac{d}{dt} [u_C^2]$$

Il s'ensuit que l'énergie stockée par le condensateur s'écrit :

$$E_C(t) = \frac{1}{2} C \times u_C^2$$

5.4. Énergie stockée par une bobine

Une bobine ne consomme pas d'énergie ; elle la stocke pour la restituer ultérieurement.

La puissance électrique reçue par une bobine parcourue par un courant d'intensité $i_L(t)$, soumise à une tension $u_L(t)$ entre ses bornes, est :

$$p_L(t) = u_L(t) \times i_L(t) = i_L(t) \times L \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{2} L \frac{d}{dt} [i_L^2]$$

Il s'ensuit que l'énergie stockée par la bobine s'écrit :

$$E_L(t) = \frac{1}{2} L \times i_L^2$$