

Chapitre 5 : Générateurs linéaires et circuits résistifs

1 Dipôles et lois d'évolution

1.1 Introduction

Le comportement électrique d'un dipôle est entièrement caractérisé par la relation entre la tension u à ses bornes et l'intensité i dans sa branche, appelée *loi d'évolution*, sous la forme $u = f(i)$ (ou bien $i = f(u)$). Chaque dipôle suit sa propre loi, dont on verra plusieurs exemples cette année (résistor, générateur linéaire, condensateur, bobine).

Remarque : Une loi d'évolution doit toujours être écrite **en précisant la convention (générateur ou récepteur)**.

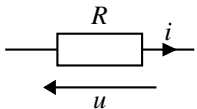
1.2 Résistor

Loi d'Ohm

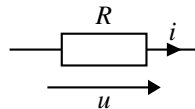
Un résistor est un composant qui, comme son nom l'indique, oppose une résistance à la circulation des charges. Il suit la **loi d'Ohm**, qui s'écrit sous la forme suivante :

$$u = \pm Ri$$

avec R la **résistance** (en Ω). On écrit un signe $+$ en convention récepteur et un signe $-$ en convention générateur (voir ci-dessous).



convention récepteur : $u = Ri$



convention générateur : $u = -Ri$

Les résistors sont généralement utilisés pour limiter l'intensité du courant dans une branche. On peut également s'en servir pour contrôler les tensions et les intensités à l'intérieur d'un circuit électrique, nous verrons comment dans les paragraphes suivants.

Remarque : On définit la **conductance** d'un résistor par $G = 1/R$. La conductance s'exprime en **siemens** ($1\text{ S} = 1\Omega^{-1}$). Ainsi la loi d'Ohm peut également s'écrire sous la forme : $i = \pm \frac{u}{R} = \pm Gu$.

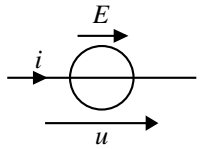
Remarque : La puissance électrique consommée par un résistor vaut $\mathcal{P}_r = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$, elle est toujours positive. On dit qu'un résistor est un **dipôle passif** car il ne peut pas servir de source d'énergie électrique en régime stationnaire. L'intégralité du travail électrique consommé par un résistor est dissipé sous forme d'énergie thermique : c'est l'**effet Joule**.

1.3 Générateur linéaire

1.3.1 Source idéale de tension

Une source idéale de tension est un composant idéalisé qui possède la propriété suivante : **la tension à ses bornes est indépendante de l'intensité dans sa branche**. Sa loi d'évolution s'écrit :

$$u = E \quad \forall i$$

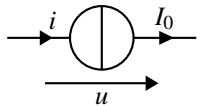


La tension E s'appelle la *force électromotrice* (ou f.e.m.).

1.3.2 Source idéale de courant

Une source idéale de courant est également un composant idéalisé, qui possède la propriété suivante : **l'intensité dans sa branche est indépendante de la tension à ses bornes**. Sa loi d'évolution s'écrit :

$$i = I_0 \quad \forall u$$



L'intensité I_0 s'appelle le *courant électromoteur*.

Remarque : Les sources idéales (de tension ou de courant) n'existent pas en pratique, même si certains générateurs s'en approchent. En revanche ce sont des composants qui peuvent servir à modéliser de façon simple le comportement de générateurs réels, comme on va le voir dans le prochain paragraphe.

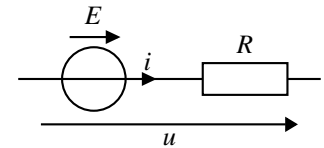
1.3.3 Générateur linéaire

Modèle de Thévenin

On dit qu'un générateur est linéaire si sa loi d'évolution est **affine** : $u = ai + b$ avec a et b des constantes. Il existe des générateurs réels de ce type : c'est par exemple le cas des piles ou bien des GBF (générateurs basses fréquences). Dans le schéma d'un circuit électrique on représente un générateur linéaire en utilisant le *modèle de Thévenin*, c'est-à-dire qu'on considère qu'il est **équivalent** à l'association en série d'une source idéale de tension et d'un résistor (voir ci-contre). Par exemple, dans la convention qui a été choisie sur cette figure, la loi d'évolution du générateur linéaire s'écrit :

$$u = E - Ri$$

avec E la *force électromotrice* du générateur et R sa *résistance interne*.



Remarque : On dit qu'un générateur linéaire est un **dipôle actif** car il peut servir de source d'énergie électrique en régime stationnaire.

Remarque : Les résistors et les générateurs linéaires sont les deux types de dipôles que l'on étudie dans ce chapitre. Dans la partie suivante on va montrer comment étudier mathématiquement un circuit électrique formé avec ces composants. On se placera toujours en régime stationnaire ou bien dans l'ARQS.

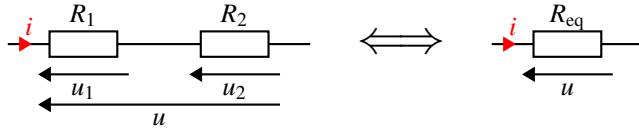
2 Association de dipôles

2.1 Association de résistances en série

2.1.1 Résistance équivalente

Association en série de résistors

D'un point de vue électrique l'association en série de deux résistances R_1 et R_2 est équivalente à une résistance unique R_{eq} telle que : $R_{eq} = R_1 + R_2$.

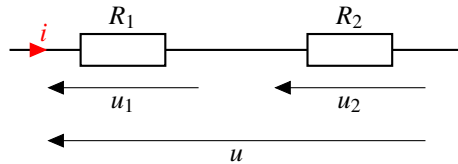


Cette propriété se généralise à un nombre quelconque de résistances en série : $R_{eq} = \sum_k R_k$.

2.1.2 Loi du pont diviseur de tension

Loi du pont diviseur de tension

On appelle diviseur de tension un montage constitué de plusieurs résistors en série, qui permet de réduire la valeur d'une tension. On l'illustre sur l'exemple de deux résistors en série :



Si u est la tension aux bornes de l'ensemble $\{R_1, R_2\}$ alors les tensions u_1 et u_2 aux bornes de chacun des résistors valent :

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u \quad \text{et} \quad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

Chacune de ces deux tensions est proportionnelle à u et inférieure à u (en valeur absolue, car u pourrait tout à fait être négatif). Il y a bien une réduction de la tension, avec un facteur qui dépend des résistances choisies.

Remarque : Cette propriété se généralise immédiatement à un nombre quelconque de résistors en série. Avec les mêmes conventions d'orientation des tensions que sur le schéma ci-dessus, la tension u_j aux

bornes d'une résistance R_j parmi un ensemble de résistances en série vaut : $u_j = \frac{R_j}{\sum_k R_k} u$.

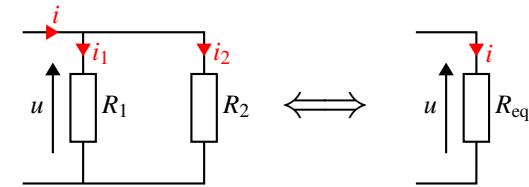
2.2 Association de résistances en parallèle

2.2.1 Résistance équivalente

Association en dérivation de résistors

D'un point de vue électrique l'association en dérivation de deux résistances R_1 et R_2 est équivalente à une résistance unique R_{eq} telle que :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \Leftrightarrow \quad R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



2.2.2 Loi du pont diviseur de courant

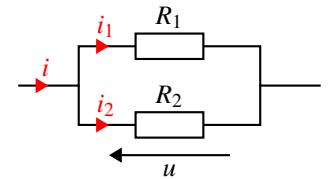
Loi du pont diviseur de courant

On appelle diviseur de courant un montage constitué de plusieurs résistors en dérivation, qui permet de réduire la valeur d'une intensité. On l'illustre ci-contre sur l'exemple de deux résistors en dérivation.

Si i est l'intensité dans l'ensemble des branches $\{R_1, R_2\}$ alors les intensités i_1 et i_2 dans les branches de chacun des résistors valent :

$$i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

Chacune de ces deux intensités est proportionnelle à i et inférieure à i (en valeur absolue). Il y a bien une réduction de l'intensité, avec un facteur qui dépend des résistances choisies.



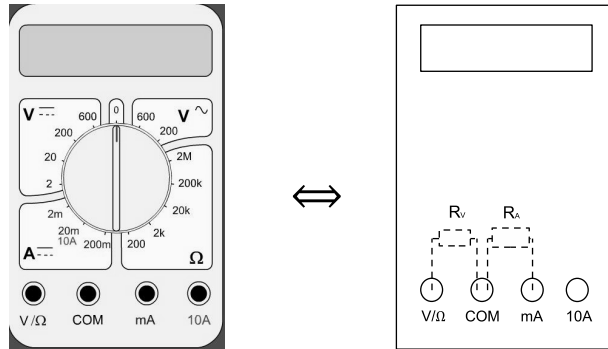
Remarque : Cette propriété se généralise immédiatement à un nombre quelconque de résistors en dérivation. Avec les mêmes conventions d'orientation des intensités que sur le schéma ci-dessus, l'intensité i_j aux bornes d'une résistance R_j parmi un ensemble de résistances en dérivation vaut :

$$i_j = \frac{1/R_j}{\sum_k 1/R_k} i$$

3 Résistance d'entrée et de sortie

3.1 Résistance d'entrée d'un appareil de mesure

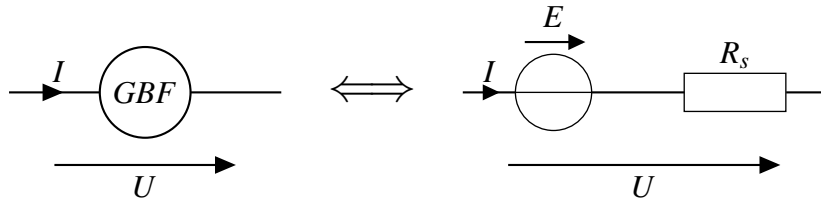
Un appareil de mesure (voltmètre, ampèremètre, oscilloscope,...) est un circuit passif à deux bornes d'entrée. Il est généralement constitué de nombreux composants électroniques. Cependant, vu depuis ses deux bornes d'entrée, tout se passe en régime stationnaire comme si l'appareil se comportait comme une résistance pure R_e , appelée **résistance d'entrée**.



La résistance d'entrée d'un voltmètre est grande (de l'ordre de $10\text{M}\Omega$ pour les multimètres de TP). La résistance d'entrée d'un ampèremètre est faible (elle dépend du calibre). Ces valeurs sont choisies de manière à ce que *l'appareil influe le moins possible sur le circuit lorsqu'il y est inséré pour effectuer le mesurage*.

3.2 Résistance de sortie d'un GBF

Un GBF est un circuit actif destiné à alimenter un circuit électrique par l'intermédiaire de ses deux bornes de sortie. Il se comporte, vu depuis ses bornes de sortie, comme un générateur linéaire de fem variable et de résistance interne non nulle, appelée aussi **résistance de sortie**. Pour la plupart des GBF, la résistance de sortie $R_s = 50\Omega$.



Remarque : Il existe des générateurs de tension continue, appelés générateurs de tension stabilisée, qui ont une résistance de sortie quasiment nulle. Ils se comportent comme des sources idéales de tension.

4 Caractéristique statique d'un dipôle

4.1 Définition

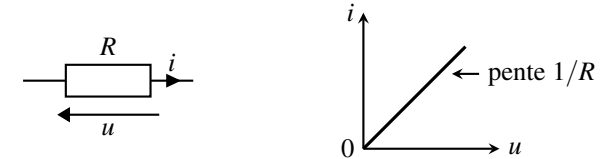
La caractéristique statique d'un dipôle est la représentation graphique de la relation entre la tension et le courant, mesurés **en régime stationnaire**. En pratique on distingue deux sortes de graphes :

- Le graphe de la fonction $u = f(i)$ est appelé caractéristique courant-tension (intensité en abscisses, tension en ordonnées) ;
- le graphe de la fonction $i = g(u)$ est appelé caractéristique tension-courant (tension en abscisses, intensité en ordonnées).

Une caractéristique doit être tracée **en précisant l'orientation de la tension et de l'intensité**.

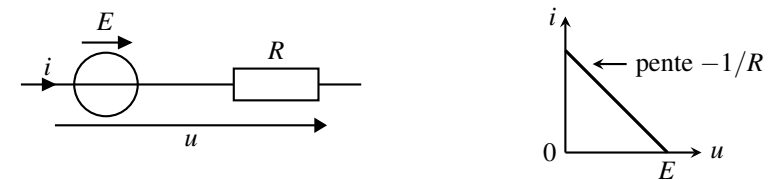
4.2 Résistor

En convention récepteur la caractéristique statique d'un résistor est une droite passant par l'origine, de pente positive.



4.3 Générateur linéaire

En convention générateur la caractéristique statique d'un générateur linéaire est une droite ne passant pas par l'origine, de pente négative.



4.4 Point de fonctionnement

Si l'on branche deux dipôles l'un sur l'autre, la tension et l'intensité doivent appartenir à la caractéristique statique de chacun des dipôles, autrement dit elle doit correspondre à **l'intersection des deux caractéristiques**. Ce point est appelé *point de fonctionnement du circuit*.

