MODULE ⇒ ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES 4

Leçon 12

LES GÉNÉRATEURS OU DIPÔLES ACTIFS

ACTIVITÉS

Activité

Observe attentivement l'image de droite.

Comment cet homme assis à l'aire libre pense-t-il faire fonctionner :

- Son écran ?
- Sa lampe de bureau ?

Identifie la source d'énergie.

Objectifs
➲ Définir : générateur
➲ Symboliser un générateur
➲ Ressortir le modèle de Thévenin d'un générateur
➲ Évaluer les caractéristiques d'un générateur
➲ Énoncer et appliquer la loi d'Ohm pour un générateur
➲ Effectuer des calculs sur les groupements des générateurs.

1. Définition et représentation

1.1. Définition

- Un **générateur** est un dipôle actif dissymétrique qui produit du courant électrique à un circuit extérieur.

Exemple

- Les piles, qui dans un circuit électrique, transforment l'énergie chimique en énergie électrique;
- Les photopiles qui convertissent l'énergie lumineuse reçue du soleil en énergie électrique ;
- Les thermocouples qui convertissent une partie de l'énergie d'agitation thermique en énergie électrique ;
- Les accumulateurs ;
- L'alimentation stabilisée
- Etc.

- Tout générateur possède deux bornes de branchement :
- Une **borne positive** (ou pôle positif) notée **P** de signe +
- Un **pôle négatif** (ou borne négative) noté(e) **N** de signe –

1.2. Représentations

1.2.1. Symboles normalisés

- On distingue :

- Les générateurs de courant continu, dont le symbole normalisé est :

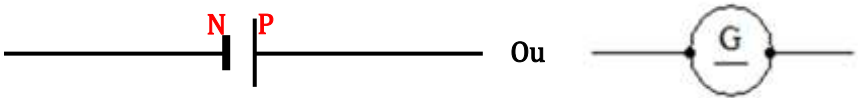


Figure 12.1 : Symboles normalisés d'un générateur de courant continu

- Les générateurs de courant alternatif dont le symbole normalisé est :

Figure 12.2 : Symboles normalisés d'un générateur de courant alternatif

- Comme nous l'avons défini plus haut, un générateur crée le courant électrique utilisable par tout autre dispositif d'un circuit électrique. Cela implique alors qu'aux bornes du générateur, ce qui crée une différence de potentiel (ddp) notée $V_P - V_N = U_{PN}$. On dit alors qu'en mode générateur, le courant et la tension ont même sens aux bornes du générateur, car, selon la convention d'ampère, le sens du courant est de P vers N.

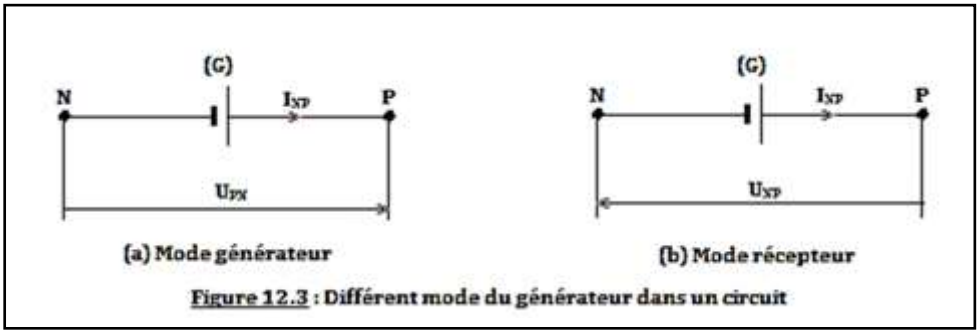


Figure 12.3 : Différent mode du générateur dans un circuit

1.2.2. Représentation en modèle de Thévenin

Le modèle de Thévenin pour un générateur linéaire, est le schéma équivalent du générateur linéaire. Il met en évidence les caractéristiques internes du générateur. Sa représentation est la suivante :

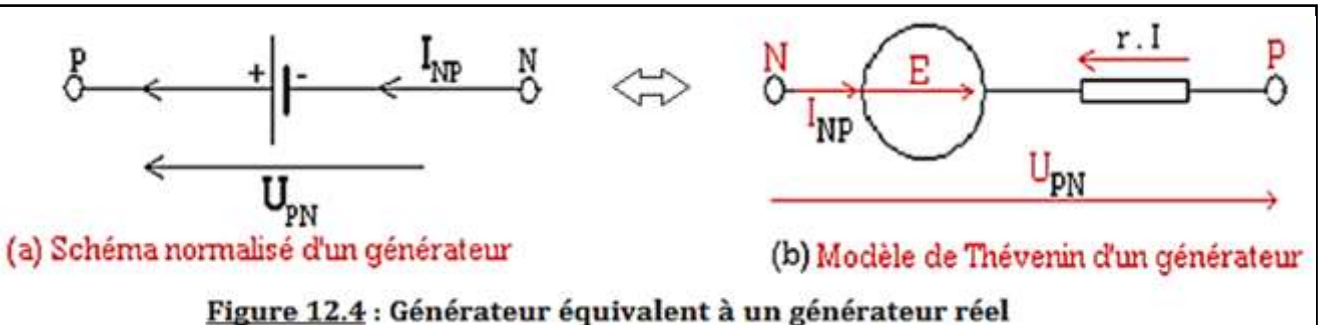


Figure 12.4 : Générateur équivalent à un générateur réel

1.3. Les caractéristiques d'un générateur

Un dipôle actif (générateur) est caractérisé par :

1.3.1. La force électromotrice

- Lorsque le générateur ne débite pas, on dit qu'il est « **à vide** » et la tension à ses bornes U_{PN} est appelée **tension à vide** ou **force électromotrice** notée **E** et abrégée **f.é.m.**

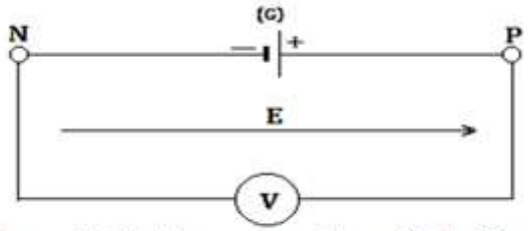


Figure 12.5 : Mesure pratique de la f.é.m. du générateur.

- La tension aux bornes d'un générateur en charge est appelée chute de tension et est obtenue par la relation $E - U_{PN} > 0$. Celle-ci croît lorsque le débit augmente.
- La f.é.m. E d'un générateur est le rapport de la puissance électrique fournie P_f, à l'intensité I du courant fourni par G :

$$E = \frac{P_f}{I} \qquad (12.1)$$

Unités : P_f (en Watts (W)) ; I (en ampères (A)) ; E (en volts (V))

1.3.2. La résistance interne

Le générateur consomme une partie de l'énergie électrique qu'il fournit par effet joule. Il comporte donc un résistor de résistance **r** dite **résistance interne** du générateur. La puissance dissipée par effet Joule dans le générateur est telle que :

$$P_j = r \times I^2 \qquad (12.2)$$

Unités : P_J (W) ; I (A) ; r (en ohms (Ω))

1.3.3. Caractéristique d'un générateur

- Un générateur est alors caractérisé par une f.é.m. E et une résistance interne. On adoptera alors l'écriture suivante : **G (E, r)**.
- La caractéristique d'un générateur est la représentation graphique de l'expression de la tension $U = U_{PN}$ à ses bornes lorsqu'il débite le courant d'intensité I :

$$U = E - r \times I \qquad (12.3)$$

La courbe $U = f(I)$ est la caractéristique courant-tension.

- Étudions alors la caractéristique $U = f(I)$
  - Dispositif expérimental

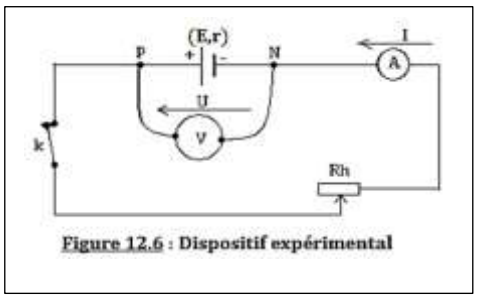


Figure 12.6 : Dispositif expérimental

Légende

- (k) : interrupteur
- (V) : voltmètre
- (Rh) : rhéostat
- (A) : ampèremètre

  - Relevé des mesures

U (V)	4.35	4.2	4.0	3.9	3.85	1V pour 1cm
I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1 A pour 1 cm

- Tracer de la caractéristique

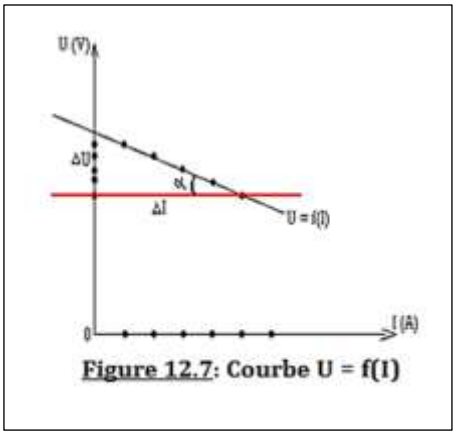


Figure 12.7: Courbe U = f(I)

Remarque

✍ $U_{PN} = V_P - V_N = E - r \times I$, donc, $- U_{NP} = U_{PN} \rightarrow U_{NP} = r \times I - E$. Dans les deux cas, la tension aux bornes d'un générateur est la somme de deux tensions : la f.é.m. **E** du générateur et la **chute ohmique** de tension : $E = U + rI$ (12.4)

✍ La caractéristique permet de trouver la f.é.m. du générateur i.e.

E = (axe des U) ∩ (caractéristique) = $V_P - V_N$.

✍ La caractéristique permet aussi de trouver la résistance interne r du générateur qui correspond au coefficient de la droite caractéristique que l'on peut calculer par exemple sur fig.12.7 :

$$-r = tg\alpha = --\frac{\Delta U}{\Delta I} \Rightarrow r = \frac{4{,}35 - 3{,}9}{0{,}5} = 0{,}9\Omega$$

2. La loi d'Ohm pour un générateur

Soient P_f la puissance fourni par le générateur, P_j la puissance dissipée par effet Joule et P_d la puissance disponible au circuit extérieur. On a :

$$P_f = P_d + P_j \quad (12.5)$$
$$\Rightarrow P_d = P_f - P_j \quad (12.6)$$
$$\Leftrightarrow U \times I = E \times I - r \times I^2 \quad (12.7)$$
$$\Leftrightarrow U = E - rI \quad (12.8)$$

Remarque

✍ La relation $U = E - rI$ peut être mise sous la forme : $E - U = rI$ (12.9)
La chute de tension aux bornes d'un générateur linéaire est proportionnelle à l'intensité débitée.

✍ La caractéristique de la pile, si on se limite à des intensités faibles, est une droite (fig. 12.8.a). il en est de même de celle d'un accumulateur (fig. 12.8.b). On peut alors dire que ce sont des dipôles actifs linéaires.

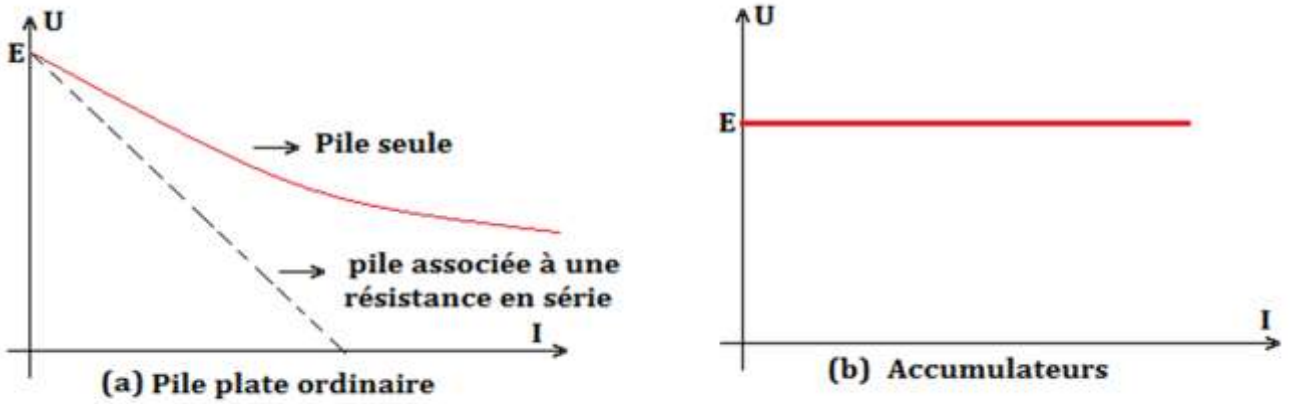


Figure 12.8 : Autres caractéristiques des dipôles actifs linéaires.

✍ Pour le cas des générateurs non-linéaires tels que l'alimentation stabilisée (fig.9.a) ou les photopiles (photodiode par exemple) (fig.9.b), la caractéristique n'est plus linéaire.

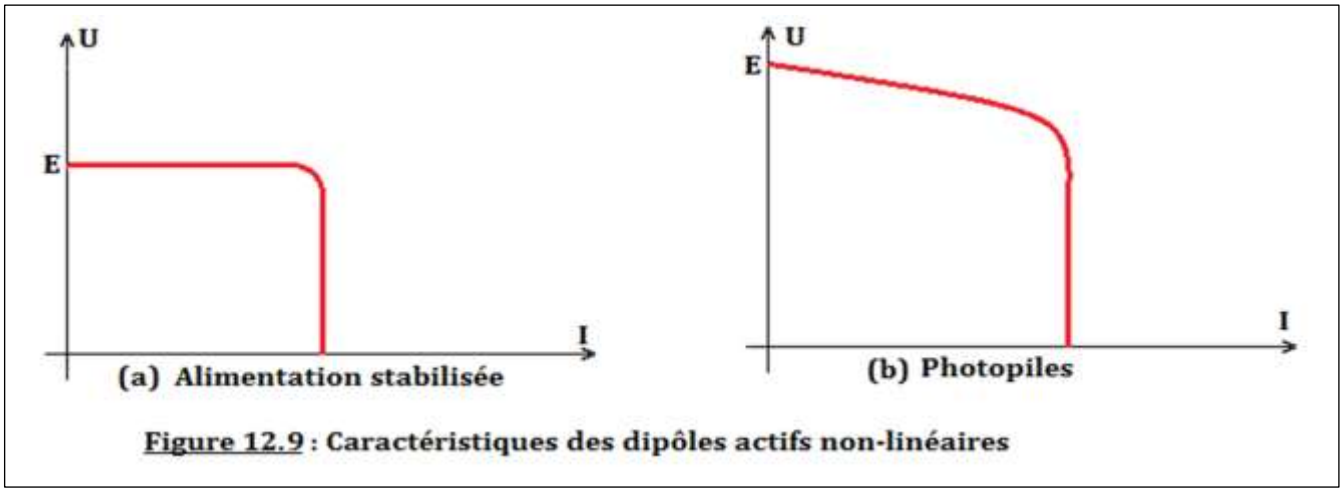


Figure 12.9 : Caractéristiques des dipôles actifs non-linéaires

✍ (12.8) est la **loi d'Ohm** aux bornes d'un générateur.

✍ Lorsque l'on prolonge la caractéristique d'une pile (pile Daniell par exemple) jusqu'à U = 0 V, elle coupe l'axe des intensités au point d'abscisse I_{CC}. La pile est alors en **court-circuit** et est traversée par le courant de **court-circuit** I_{CC} tel que :

$$I_{CC} = \frac{E}{r} \qquad (12.10)$$

✍ Si I = 0 A, le générateur ne débite pas et **U = E** : en circuit ouvert, la ddp aux bornes d'un générateur est égale à sa f.é.m.

Exemple

Soit une pile de f.é.m. E = 6V et de résistance interne r = 1Ω. Calculer la tension U aux bornes de cette pile lorsque l'intensité du courant débité vaut 100 mA.

Solution

Données : E = 6 V ; I = 100 mA = 0,1 A ; r = 1 Ω ; U = ?

On sait par définition que : **U = E – rI.** **AN** : U = 5,9 V.

3. Groupement des générateurs

La notion de groupement de générateur est semblable à l'association en série et/ou en parallèle des résistors vue en classe de seconde. On verra alors le groupement en série et le groupement en parallèle des générateurs. Le but est alors de déterminer la f.é.m. équivalente.

3.1. Groupement en série

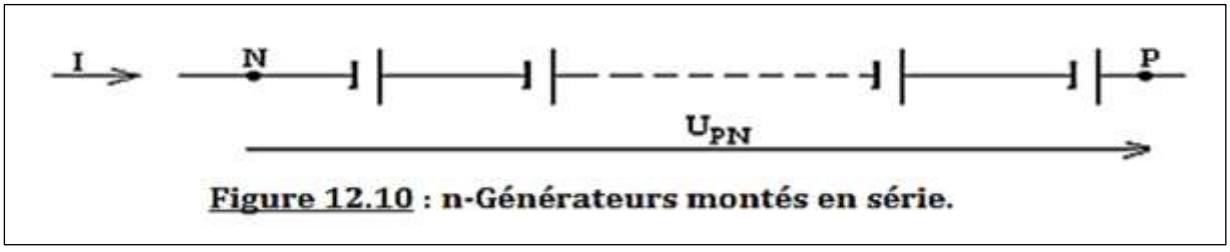


Figure 12.10 : n-Générateurs montés en série.

Considérons n générateurs identiques de f.é.m. E_0 et de résistance interne r_0 chacun (figure 12.10). On a :

$$U_1 = U_2 = ... = U_n = E_0 - r_0 \times I \qquad (12.11)$$

(Car les générateurs sont identiques)

Or $U_{PN} = U_1 + U_2 + ... + U_n = n \times E_0 - n.r_0.I = E - r \times I$ (12.12)

(12.12 est la loi d'additivité des tensions)

Par identification, $\begin{cases} E = n \times E_0 \\ r = n \times r_0 \end{cases}$ (12.13)

Remarque

- Lorsque n-générateurs sont groupés en série, leur f.é.m. s'ajoute et leur résistance aussi (fig.12.13). on obtient alors un générateur unique (ou équivalent) de f.é.m. $n \times E_0$ et de résistance interne $n \times r_0$.
- À chaque fois que l'on veut obtenir une f.é.m. importante, on utilise le groupement en série. Cependant, l'intensité limite du courant est celle de chacun des générateurs.
- Les piles usuelles ainsi que les accumulateurs sont constitués par la mise en série d'un certain nombre d'éléments identiques (Ex. : pile plate 4,5 V : 3-éléments ; batterie de 12 V : 6-éléments).
- Si les générateur en série ne sont pas identiques, alors, $\begin{cases} E_{équivalente} = \sum_{i=0}^{n} E_i \\ r_{équivalente} = \sum_{j=0}^{n} r_j \end{cases}$ (12.14)

Exemple

On dispose d'un lot de piles identiques :

- Force électromotrice e = 1,5 V
- Résistance interne $r_1 = 0,5\ \Omega$.

Elles débitent dans de bonnes conditions un courant de i = 0,2 A.

On souhaite alimenter une résistance de $R = 10\ \Omega$ sous la tension U = 20 V.

(a) Déterminer l'association qu'il faut réaliser avec les piles précédentes pour pouvoir alimenter la résistance de 10 Ω.

(b) Quels sont les éléments caractérisant le générateur équivalent à cette association ?

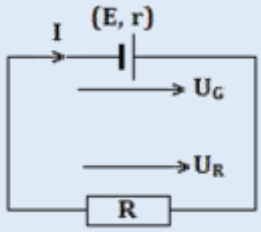
(c) Quel est le courant le courant réellement fourni à la résistance ?

Solution

(a) Selon les données, l'association appropriée avec ces piles est l'association en série.

(b) Les éléments caractérisant le générateur équivalent sont :

- La résistance interne : $r = n \times r_1 = 0,75\ \Omega$ avec $n = e/r_1 = 3$-éléments.
- La f.é.m. $E = U + i \times (r + R) = 22,15$ V.



(c) Déterminons le courant I réellement fourni.

Posons : $U_G = E - rI$, la tension fournie par le générateur

Et $U_R = RI$, la loi d'Ohm aux bornes du conducteur ohmique.

D'après la figure, $U_G = U_R$ $\Rightarrow I = \dfrac{E}{r + R}$

AN : I = 2,06 A.

3.2. Groupement en parallèle

Les générateurs étant identiques, on a :

$$\begin{cases} U_{PN} = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \\ I = n \cdot I_1 = n \cdot I_2 = \cdots = nI_n \\ \Rightarrow U_{PN} = E_0 - rI_1 = E_0 - r_0 \dfrac{I}{n} \end{cases}$$ (12.15)

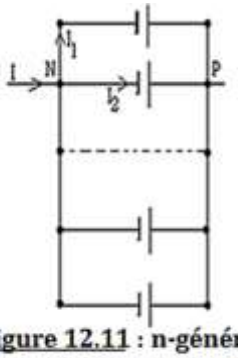


Figure 12.11 : n-générateurs identiques montés en parallèle

Remarque

✍ Lorsque **n** générateurs identiques sont montés en parallèle, la f.é.m. du groupement est égale à celle d'un générateur et la résistance interne est égale à celle d'un générateur divisée par le nombre total de générateurs :

$$\begin{cases} E = E_0 \\ r = \dfrac{r_0}{n} \end{cases} \qquad (12.16)$$

✍ À chaque fois que l'on veut obtenir un courant d'intensité supérieure à l'intensité limite de chaque générateur, on utilise le groupement en parallèle.

3.3. Groupement mixte

Entre deux points N et P, on utilise m dérivations comprenant chacun n générateurs en série.

- Déterminons la f.é.m. E et la résistance r du groupement.

Les séries ainsi constituées sont identiques et l'intensité dans chaque branche est : $\frac{I}{m}$.

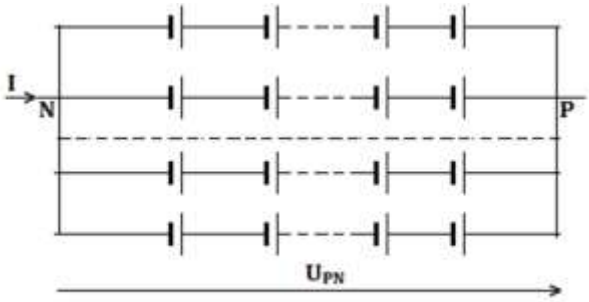


Figure 12.12 : n-générateurs en montage mixte

$$U_{PN} = nE_0 - \frac{nE_0}{m} I \Rightarrow \begin{cases} E = nE_0 \\ r = \dfrac{n}{m} r_0 \end{cases} \Rightarrow U_{PN} = E - rI \qquad (12.17)$$

Remarque

Le produit **n × m** représente le nombre total de générateurs.

- Intérêt du montage mixte

- Lorsque le groupement mixte débite dans un conducteur ohmique de résistance R, l'intensité I du courant sera :

$$I = \frac{n.E_0}{R + \frac{n}{m} \times r_0} = \frac{E}{R + r} \qquad (12.18)$$

- On a aussi deux autres avantages :

☞ Il permet d'obtenir une f.é.m. importante : $E = n \times E_0$

☞ Il permet également d'obtenir un courant plus important, du fait que la résistance du groupement

$$r = r_0 \times \frac{n}{m} \qquad (12.19)$$

soit plus faible que celle d'une série (**$r = n \times r_0$**).

4. Jeu bilingue

Expression française	English expression
Maille	Stitch
Générateur	Generator

Sentence

The generator is on that generates, creator, one who produces; machine that converts mechanical energy into electrical energy.