

Transfert d'énergie en régime permanent

Comportement global d'un circuit électrique

1- RAPPEL : RELATION PUISSANCE-ENERGIE

Si, pendant la durée Δt , un système échange, avec le milieu extérieur, une énergie dW , alors la puissance P avec laquelle l'énergie est transférée s'écrit :

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

La puissance permet d'évaluer la rapidité avec laquelle cet échange d'énergie a lieu.

Unités en (SI) : P est en watt (W) - dW est en joule (J) - dt est en seconde (s)

2- ENERGIE ELECTRIQUE RECUE PAR UN RECEPTEUR

2.1 Définition : Un **récepteur** est un convertisseur d'énergie qui consomme de l'énergie électrique et la transforme en une ou plusieurs autres formes d'énergies (mécanique, thermique, chimique, ...).

Pratiquement, un récepteur est un dipôle qui, hors circuit, ne présente aucune tension à ses bornes.

2.2 Energie électrique reçue par un récepteur en courant continu. Puissance du transfert.

- Lorsqu'un récepteur de bornes A et B, soumis à une tension électrique continue U_{AB} , est parcouru par un courant électrique continu d'intensité I_{AB} , l'énergie électrique W_{AB} qu'il reçoit pendant la durée Δt est :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t \quad (2)$$

Unités en (SI) :

W_{AB} est en joule (J) - U_{AB} est en volt (V) - I_{AB} est en ampère (A) - dt est en seconde (s)

- La puissance électrique P_{AB} de ce transfert est :

$$P_{AB} = W_{AB} / \Delta t \quad (3)$$

2.3 Un conducteur ohmique est un récepteur particulier. Loi d'Ohm. Loi de Joule.

Un conducteur ohmique reçoit de l'énergie électrique. Il transforme cette énergie électrique en énergie calorifique et en rayonnement.

a- Loi d'Ohm pour un conducteur ohmique.

Rappel :

- La **loi d'Ohm** s'écrit donc pour un conducteur ohmique :

$$U_{AB} = R \cdot I_{AB} \quad (5)$$

Remarque :

- La relation (5) peut également s'écrire :

$$I_{AB} = G_{AB} \cdot U_{AB} \quad (7)$$

$G_{AB} = 1 / R$ (8) est la **conductance** du conducteur ohmique AB. Elle s'exprime en **siemens** (S).

La conductance d'un conducteur dépend de sa longueur L , de sa section S , de la nature du matériau. Les relations (6) et (8) permettent d'écrire :

$$G = \sigma \cdot S / L \quad (9)$$

Ces grandeurs sont également introduites en chimie

Transfert d'énergie en régime permanent Comportement global d'un circuit électrique

b- Energie électrique reçue par un conducteur ohmique. Puissance de ce transfert d'énergie. Loi de joule.

- Lorsqu'un conducteur ohmique de bornes A et B, soumis à une tension électrique continue U_{AB} , est parcouru par un courant électrique continu d'intensité I_{AB} , l'énergie électrique W_{AB} qu'il reçoit pendant la durée Δt est :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$$

Mais, on sait que :

$$U_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB} \quad (5)$$

Par conséquent :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$$
$$W_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t \quad (10)$$

Cette énergie électrique reçue est intégralement transformée en chaleur et en rayonnement.

En régime permanent, elle est transférée vers le milieu extérieur.

La relation (10) traduit la **loi de Joule**.

- La puissance électrique P_{AB} de ce transfert est :

$$P_{AB} = W_{AB} / \Delta t$$

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB}$$

$$P_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB}^2 \quad (11) \text{ ou encore } P_{AB} = U_{AB}^2 / R_{AB} \quad (11 \text{ bis})$$

Cette relation est une autre expression de la **loi de Joule**.

Remarque :

L'**effet Joule** existe dans tous les appareils électriques (tous possèdent une résistance plus ou moins grande). Ce dégagement d'énergie thermique est recherché et utile dans le cas d'un radiateur électrique. Il est à inscrire au rang des **pertes** dans de nombreux autres cas : **fonctionnement** d'un moteur ou d'un générateur, lignes de transport de l'énergie électrique, etc.

2.4 Récepteur linéaire possédant une force électromotrice.

De nombreux récepteurs ne sont pas de simples conducteurs ohmiques. Ils transforment une partie de l'énergie électrique reçue en énergie utile sous forme chimique (électrolyseur) ou sous forme mécanique (moteur). L'autre partie est transformée en énergie thermique (effet Joule) mais ce n'est pas l'effet recherché.

a- Loi d'Ohm pour un récepteur linéaire.

Certains récepteurs ont un graphe (appelé caractéristique du récepteur) représentant la tension U_{AB} en **fonction** de l'intensité I_{AB} du courant électrique assimilable à une droite ne passant pas par l'origine (dans un certain domaine d'intensité du courant).

La loi d'Ohm, pour ce type de récepteur dit **linéaire**, s'écrit :

$$U_{AB} = r' \cdot I_{AB} + E' \quad (12)$$

E' et U_{AB} sont de même signe que I_{AB} .

E' est la force contre-électromotrice du récepteur (exprimée en volt), r' est sa résistance interne.

b- Energie électrique reçue par un récepteur à caractéristique affine. Puissance de ce transfert d'énergie.

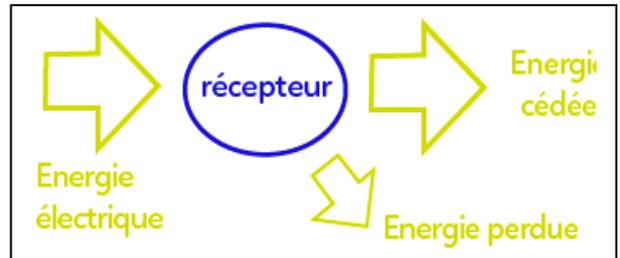
- Lorsqu'un récepteur de bornes A et B, soumis à une tension électrique continue U_{AB} , est parcouru par un courant électrique continu d'intensité I_{AB} , l'énergie électrique W_{AB} qu'il reçoit pendant la durée Δt est :

Transfert d'énergie en régime permanent Comportement global d'un circuit électrique

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$$

Mais, on sait que :

$$U_{AB} = r' \cdot I_{AB} + E' \quad (12)$$



Par conséquent :

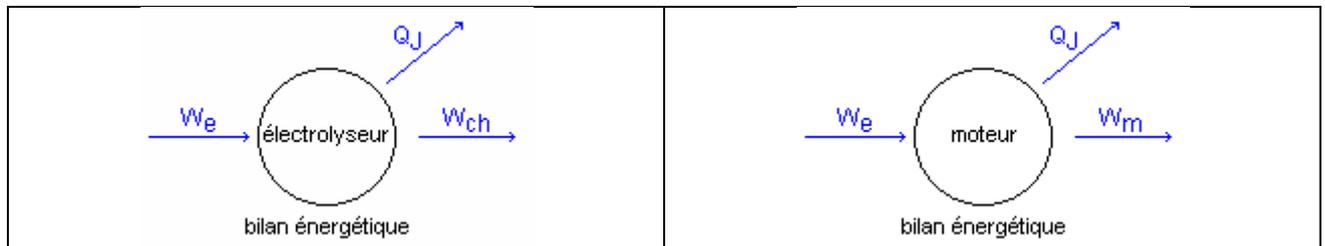
$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t = r' \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t + E' \cdot I_{AB} \cdot \Delta t \quad (13)$$

Cette énergie électrique reçue $W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$ est transformée en :

- $W_{th} = r' \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t$ partie en énergie thermique dissipée par effet joule
- $W_{eff} = E' \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$ partie en énergie mécanique ou chimique utile (**efficace**).

- La puissance électrique P_{AB} de ce transfert d'énergie est : $P_{AB} = W_{AB} / \Delta t$

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} = r' \cdot I_{AB}^2 + E' \cdot I_{AB} \quad (14)$$



Remarque :

Le rendement du récepteur est défini comme étant le rapport entre l'énergie utilisable ($E \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$) et l'énergie électrique totale ($U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$) reçue par l'appareil :

$$\rho = E' / U_{AB} \quad (15)$$

Ce rendement peut parfois atteindre une valeur élevée (95% par exemple).

3- ENERGIE ELECTRIQUE FOURNIE PAR UN GENERATEUR

Un générateur électrique fournit de l'énergie électrique. Cette énergie électrique fournie provient de la transformation d'un autre type d'énergie : énergie chimique pour une pile ou une batterie, énergie mécanique pour une dynamo, énergie rayonnante pour une pile photoélectrique.

3.1 : Loi d'Ohm pour un générateur linéaire.

Un générateur PN peut avoir un graphe (appelé caractéristique du générateur) représentant la tension U_{PN} en fonction de l'intensité I_{NP} du courant électrique assimilable à une droite ne passant pas par l'origine (dans un certain domaine de fonctionnement).

La loi d'Ohm, pour ce type de générateur dit **linéaire**, s'écrit : $U_{PN} = - r \cdot I_{NP} + E \quad (16)$

E et U_{PN} sont de même signe que I_{NP}

- E est la force électromotrice du générateur (exprimée en volt).
- r est sa résistance interne.

3.2 : Energie électrique fournie par un générateur. Puissance de ce transfert d'énergie.

- En classe de première on compte positivement (!) l'énergie électrique donnée par le générateur au reste du circuit. On écrit donc :

Transfert d'énergie en régime permanent Comportement global d'un circuit électrique

$$W_g = U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$$

Mais, on sait que :

$$U_{PN} = - r \cdot I_{NP} + E \quad (16)$$

Par conséquent :

$$W_g = U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t = - r \cdot I_{NP}^2 \cdot \Delta t + E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t \quad (18)$$

Cette relation peut s'écrire :

$$E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t = r \cdot I_{NP}^2 \cdot \Delta t + U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t \quad (19)$$

Avec :

Le premier terme $W_g = E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$ représente l'énergie électrique engendrée dans le générateur à partir d'un autre type d'énergie.

Le second terme $W_{th} = r \cdot I_{NP}^2 \cdot \Delta t$ est dissipée sous forme thermique dans la résistance interne du générateur.

Le troisième terme $W_{utile} = U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$ énergie disponible pour alimenter le reste du circuit

- La puissance électrique P de ce transfert d'énergie du générateur vers le reste du circuit est :

$$P_{\text{donnée par générateur au reste du circuit}} = U_{PN} \cdot I_{NP} = - r \cdot I_{NP}^2 + E \cdot I_{NP} \quad (20)$$

Remarque :

Le rendement du générateur est défini comme étant le rapport entre l'énergie utilisable $U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$ à l'extérieur du générateur et l'énergie électrique totale $(E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t)$ engendrée, dans le générateur, à partir d'un autre type d'énergie :

$$\rho = U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t / E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$$

$$\rho = U_{PN} / E \quad (21)$$

4- ALGEBRISATION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE DONNEE OU RECUE PAR UN APPAREIL

Dans les classes ultérieures on comptera positivement une puissance électrique reçue et négativement une puissance électrique donnée.

La puissance électrique échangée par un appareil AB (générateur ou récepteur) s'écrira :

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \quad (22)$$

- Si P_{AB} est **positif** alors l'appareil **reçoit** de la puissance électrique, le dipôle AB est un **récepteur**.

- Si P_{AB} est **négatif** alors l'appareil **donne** de la puissance électrique, le dipôle AB est un **générateur**.

EXERCICES :

Soit le circuit ci-contre comprenant :

*un générateur de force électromotrice $E = 10 \text{ V}$ et de résistance interne $r = 2,0 \Omega$

* un moteur de force contre électromotrice $E' = 9,0 \text{ V}$ et de résistance interne $r' = 4,0 \Omega$

* un conducteur ohmique de résistance $R = 10 \Omega$

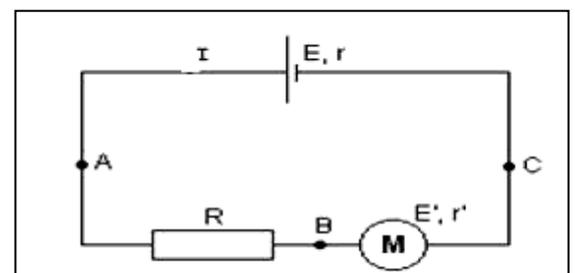
Soit :

W_e l'énergie électrique fournie au circuit par le générateur.

W_m l'énergie électrique consommée par le moteur.

W_R l'énergie électrique consommée par le conducteur ohmique.

1. Dans quelle catégorie de dipôle peut-on classer le générateur, le moteur, le conducteur



Transfert d'énergie en régime permanent Comportement global d'un circuit électrique

- ohmique. Détailler les explications
- Représenter par des flèches sur le schéma les tensions U_{AB} U_{BC} U_{AC} . Indiquer le sens du courant.
 - Enoncer le principe de conservation de l'énergie
 - Retrouver la loi d'additivité des tensions à l'aide de la question 3.
 - Rappeler les expressions littérales des tensions U_{AB} U_{BC} U_{AC} .
 - A l'aide de la question 4 donner l'expression littérale de l'intensité du courant dans le circuit. Calculer sa valeur.

REPONCE :

1. Le conducteur ohmique est un récepteur passif : Un récepteur est dit passif si toute l'énergie qu'il reçoit est convertie en énergie thermique.

Le moteur est un récepteur actif : Un récepteur est dit actif s'il convertit une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit en une autre forme d'énergie que l'énergie thermique.

Un générateur est un dispositif qui fournit de l'énergie électrique. Une partie de cette énergie électrique est dissipée par effet joule à cause de sa résistance.

2. Rappel : la flèche de tension est dirigée la borne correspondant à la première lettre Par exemple le bout de la flèche représentant la tension U_{AB} pointe vers A. Le courant part de la borne + du générateur.

3. Le principe de conservation de l'énergie appliqué à un circuit pendant une durée Dt s'énonce ainsi :

$$W_e(\text{générateur}) = \sum W_e(\text{récepteur})$$

4. Pendant une durée Δt , d'après le principe de conservation de l'énergie, on peut écrire :

$$W_e = W_R + W_m \quad U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} \quad \text{donc} \quad U_{AC}.I. \Delta t = U_{AB}.I. \Delta t + U_{BC}.I. \Delta t$$

$$5. U_{AC} = E - rI$$

$$U_{AB} = RI$$

$$U_{BC} = E' + r'I$$

$$6. U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

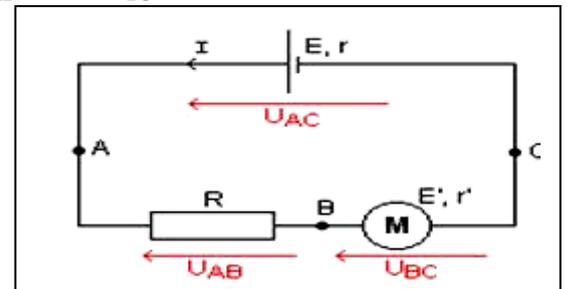
$$E - rI = RI + E' + r'I$$

$$E - E' = r.I + R.I + r'.I$$

$$E - E' = (r + R + r').I$$

$$I = (E - E') / (R + r + r')$$

$$I = 6,2 \times 10^{-2} \text{ A}$$



EXERCICE 2 : Circuit comportant 2 conducteurs ohmiques en parallèles

Soit le circuit ci-contre :

- Soit W_e l'énergie électrique fournie au circuit par le générateur.
- Soit W_{R1} l'énergie électrique consommée par le conducteur ohmique R_1 .
- Soit W_{R2} l'énergie électrique consommée par le conducteur ohmique R_2 .

Le générateur à une fem $E = 5 \text{ V}$; $R_1 = 100 \Omega$; $R_2 = 200 \Omega$

1. Dessiner sur le montage :

le sens des courant I ; I_1 et I_2

les ampèremètres avec leurs bornes permettant de mesurer les intensités de ces courants

le voltmètre en notant ses bornes permettant de mesurer la tension U_{AB}

la flèche représentant la tension U_{AB}

2. Quelles sont les valeurs des tensions U_1 et U_2 aux bornes de R_1 et R_2 ?

3. Enoncer la loi de conservation de l'énergie et en déduire la loi des noeuds.

4. Enoncer la loi d'ohm et en déduire les valeurs de I , I_1 et I_2 .

