

Conversion de puissance

IV — Conversion électronique statique (1)

Grandeurs continues, grandeurs alternatives

Une tension ou un courant sont dits alternatifs si $\langle u \rangle = 0$ ou $\langle i \rangle = 0$.

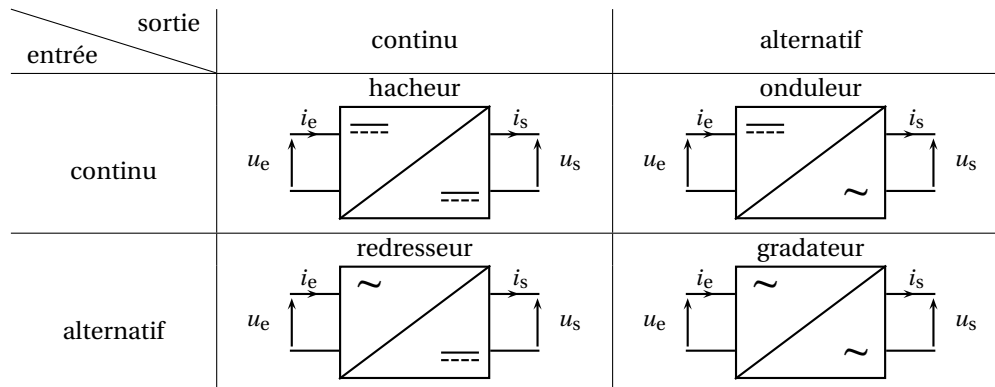
- Un signal alternatif n'est pas nécessairement sinusoïdal.

Une tension et un courant sont dits continus si $\langle u \rangle \neq 0$ et $\langle i \rangle \neq 0$.

- Un signal continu n'est pas nécessairement constant.

Si $x(t)$ est une grandeur périodique, alors la moyenne de sa dérivée temporelle est nulle : $\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle = 0$.

Conversion de puissance



Exemples d'application :

hacheur alimentation USB sur allume-cigare, variateur de vitesse d'un moteur à courant continu.

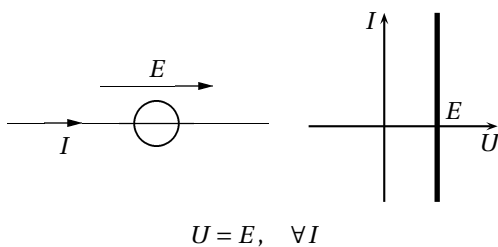
onduleur alimentation de secours, raccordement des panneaux photovoltaïques au réseau, autopilotage des machines synchrones.

redresseur alimentation d'appareils électronique, électrolyse.

gradateur variateur des ampoules halogènes, alimentation du magnétron des fours micro-onde.

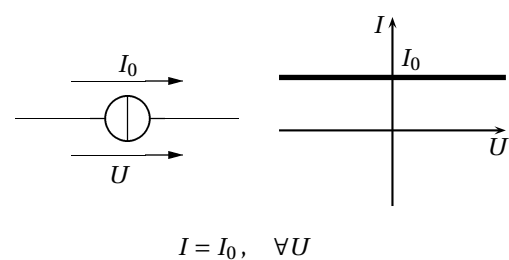
Sources de tension et de courant

Source idéale de tension



- Un court-circuit est une source de tension $E = 0$.

Source idéale de courant



- Un interrupteur ouvert est une source de courant $I_0 = 0$.

Sources de courant en électronique de puissance

On appelle **source de courant** un dipôle traversé par un courant qui est une fonction continue du temps et qui varie faiblement autour de sa valeur moyenne.

- Une bobine idéale est une source instantanée de courant.

- On peut parfaire une source de courant non idéale en plaçant une bobine en série : la bobine est un élément de stockage de l'énergie, assurant ainsi le lissage du courant.

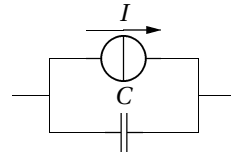
- Une source de tension en série avec une bobine est une source de courant :
-

Sources de tension en électronique de puissance

On appelle **source de tension** un dipôle aux bornes duquel la tension est une **fonction continue** du temps et **varie faiblement autour** de sa valeur moyenne.

- Un condensateur est une **source instantanée de tension**.
- On peut parfaire une source de tension non idéale en plaçant un condensateur en parallèle : le condensateur est un élément de stockage de l'énergie, assurant ainsi le lissage de la tension.

- Une source de courant en parallèle avec un condensateur est une source de tension :



Réversibilité des sources

Une source de tension u est dite **réversible en courant** si, pour une valeur donnée de la tension u à ses bornes, le signe du courant la traversant peut être quelconque.

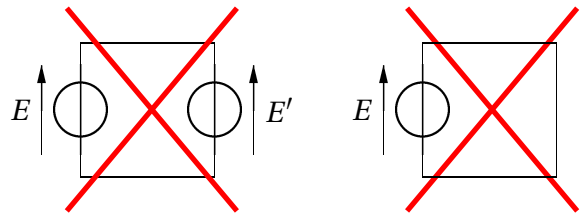
- Un condensateur se comporte comme une source de tension réversible.

Une source de courant i est dite **réversible en tension** si, pour une valeur donnée de l'intensité i la traversant, le signe de la tension à ses bornes peut être quelconque.

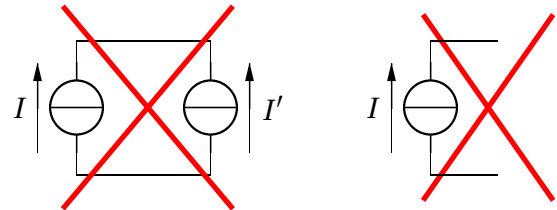
- Une bobine se comporte comme une source de courant réversible.

Règles d'interconnexion des sources

On ne peut pas interconnecter deux sources de tension différentes.
En particulier, **on ne doit jamais court-circuiter une source de tension**.

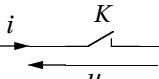


On ne peut pas interconnecter deux sources de courant différentes.
En particulier, **on ne doit jamais laisser une source de courant en circuit ouvert**.



Fonction de commutation

Le principe général d'un convertisseur électronique est d'interconnecter le générateur à la source de façon intermittente, à l'aide d'interrupteurs électroniques qui réalisent une fonction de commutation.

Un interrupteur  possède deux états :

état ouvert $i = 0, \forall u$ (la tension u est imposée par le reste du circuit)

état fermé $u = 0, \forall i$ (le courant i est imposé par le reste du circuit)

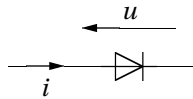
Le passage d'un état à un autre d'un interrupteur est appelé **commutation** :

blocage ouverture de l'interrupteur

amorçage fermeture de l'interrupteur

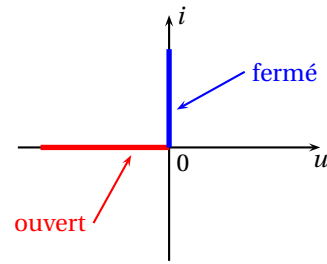
- Quel que soit l'état de l'interrupteur, la puissance reçue est $P = 0$.

Fonction de commutation spontanée : la diode



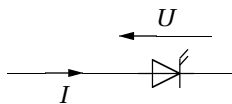
diode bloquée $i = 0, u \leq 0$ (état ouvert)

diode passante $u = 0, i \geq 0$ (état fermé)



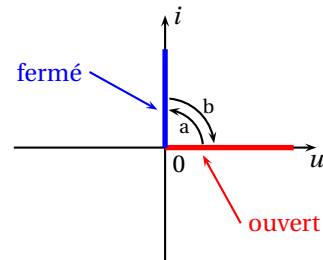
La diode est un interrupteur à **commutation spontanée** : le blocage se produit lorsque la tension u devient négative.

Fonction de commutation commandée : le transistor



transistor bloqué $i = 0, u \geq 0$ (état ouvert)

transistor passant $u = 0, i \geq 0$ (état fermé)

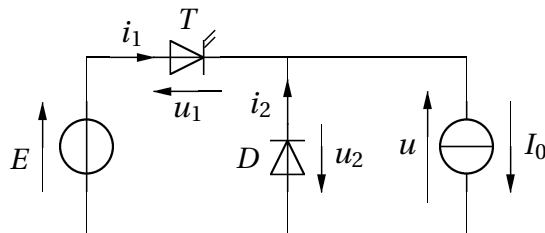


Le transistor est un interrupteur à **commutation commandée** à l'ouverture (blocage b) et à la fermeture (amorçage a).

- Le transistor comporte trois broches ; un signal de commande envoyé sur une des broches (la base) permet d'ouvrir ou de fermer le transistor pour le passage du courant entre les deux autres broches (l'émetteur et le collecteur).

Transfert d'énergie d'une source de tension vers une source de courant : le hacheur série

Le transfert se fait avec une cellule à deux interrupteurs : une diode D et un transistor T .



Le transistor est commandé avec une période T et un rapport cyclique α . Sur l'intervalle $[0, T]$:

$0 \leq t < \alpha T$ le transistor est fermé, la diode bloquée (les deux sources sont interconnectées) ;

$\alpha T \leq t < T$ le transistor est bloquée, la diode est passante.

- La diode, appelée **diode de roue libre**, permet la circulation du courant en l'absence de transfert de puissance entre les sources.
- On parle de hacheur « série » car l'interrupteur commandé (le transistor) est en série avec le générateur.

La tension moyenne de sortie du hacheur est $\langle u \rangle = \alpha E < E$: on parle de hacheur **dévolteur**.

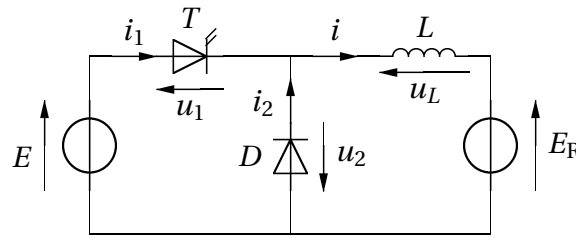
La charge reçoit la puissance moyenne $\mathcal{P} = \alpha E I_0$. Le générateur délivre la puissance moyenne $\mathcal{P}_g = \alpha E I_0$.

Le hacheur série permet de transférer une puissance $\mathcal{P} = \alpha E I_0$, réglable *via* le rapport cyclique α , avec un rendement de 100 %.

Alimentation d'un moteur à courant continu à l'aide d'un hacheur série

Le moteur à courant continu est vu comme une f.c.é.m. $E_R = \Phi\Omega$ (où Ω est la vitesse angulaire de rotation du rotor).

Le caractère inductif du moteur à courant continu est renforcé par une **bobine de lissage** L ; la charge se comporte donc comme une source de courant.



Le transistor est commandé avec une période T et un rapport cyclique α .

Pour $0 \leq t < \alpha T$, on a $L \frac{di}{dt} = E - E_R > 0$: l'intensité est croissante.

Pour $\alpha T < t \leq T$, on a $L \frac{di}{dt} = -E_R < 0$: l'intensité est décroissante.

On note $I_{\min}$ et $I_{\max}$ les valeurs minimum et maximum de l'intensité; on a

$$i(t) = \begin{cases} I_m + \frac{E - E_R}{L} t & \text{pour } t \in [0, \alpha T[\\ I_m - \frac{E_R}{L} (t - \alpha T) & \text{pour } t \in]\alpha T, T[\end{cases}$$

La tension aux bornes de l'induit du moteur à courant continu est donnée par $E_R = \alpha E$. La vitesse de rotation du moteur est donc commandée par le rapport cyclique du signal de commande du hacheur (on a $\Phi_0\Omega = \alpha E$).

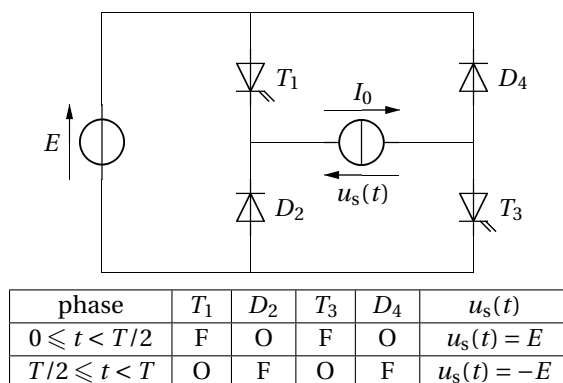
L'ondulation du courant, définie par $\Delta I = I_M - I_m$, est donnée par $\Delta I = \alpha(1 - \alpha) \frac{ET}{L}$.

- L'ondulation en courant est d'autant plus faible que l'inductance L de la bobine de lissage est élevée, et que la fréquence $f = 1/T$ du signal de commande du hacheur est élevée (typiquement de quelques centaines de hertz à quelques dizaines de kilohertz).

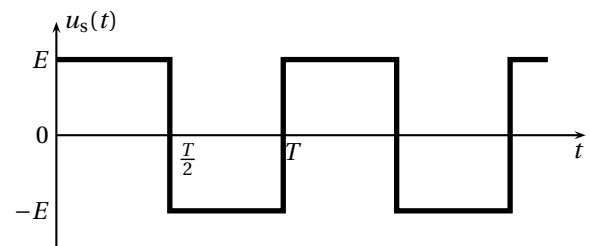
Onduleur

Un onduleur permet de réaliser une conversion de puissance électrique d'une forme continue vers une forme alternative.

Structure à quatre interrupteurs, permettant d'alimenter une source de courant I_0 à l'aide d'une tension alternative à partir d'une source de tension continue E :



La tension u_s est une tension créneaux de période T :



Cette structure à 4 interrupteur permet d'obtenir une tension alternative aux bornes de la charge : $\langle u_s \rangle = 0$.

- La tension alternative n'est pas sinusoïdale : son spectre comporte de nombreux harmoniques.
- Ce montage ne permet pas d'obtenir un signal sinusoïdal; on utilise pour cela la modulation par largeur d'impulsion (MLI).