

## I. Définition et symbole

Le hacheur est un convertisseur statique continu-continu. Il permet de produire une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une tension continue constante.

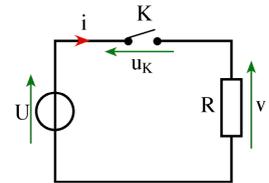
Symbole synoptique : 

## II. Hacheur série

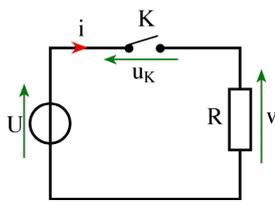
### II.1. Principe : débit sur une charge résistive

Montage de principe :

On parle de hacheur série car l'interrupteur est monté en série entre la source de tension et la charge.



#### Analyse du fonctionnement



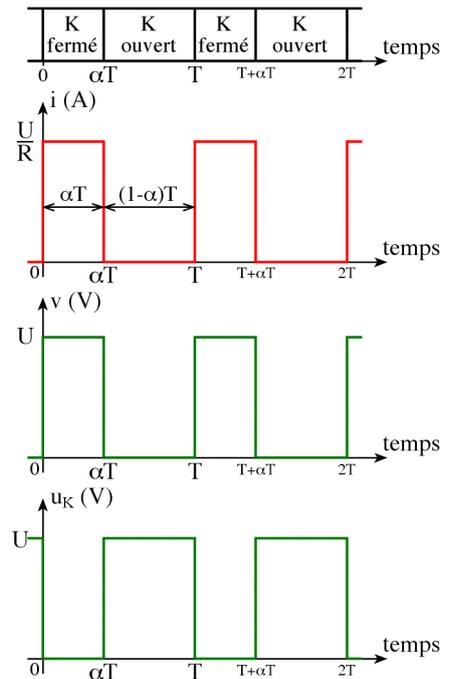
U est la source d'alimentation fixe.  
R est la charge.

Loi des mailles :  
 $U - u_K - v = 0$   
 $v = U - u_K$

On choisit une période T et une fraction  $\alpha$  de cette période.  $\alpha$  s'appelle le rapport cyclique,  $0 < \alpha < 1$ , sans dimension.

- de 0 à  $\alpha T$  : K est fermé  $\Rightarrow u_K = 0$   
 $v = U$   
 $i = \frac{v}{R} = \frac{U}{R}$
- de  $\alpha T$  à T : K est ouvert  $\Rightarrow i = 0$   
 $v = Ri = 0$   
 $u_K = U$

#### Oscillogrammes



Dans ce montage, l'interrupteur K doit être unidirectionnel, commandé à l'ouverture et à la fermeture. On utilise très souvent un transistor qui fonctionnera en commutation.

Symbole général de cet interrupteur : 

Le rapport cyclique  $\alpha$  peut-être réglé. Le choix de sa valeur permet de fixer la valeur moyenne de v. En effet, on a :

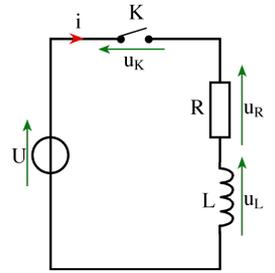
$$\langle v \rangle = \alpha U$$

#### Remarques :

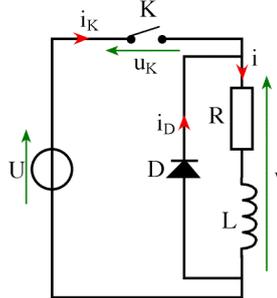
- la tension de sortie du hacheur (tension v) n'est pas continue mais toujours positive. Lorsque la période est assez faible (fréquence de 100 à 1000 Hz) la charge ne « voit » pas les créneaux mais la valeur moyenne de la tension.
- dans le cas étudié, T est appelée période de hachage et  $f = 1/T$  fréquence de hachage.
- la valeur moyenne de la tension en sortie est inférieure à celle de la tension d'entrée. On parle donc de hacheur dévolteur ou abaisseur de tension.

## II.2. Débit sur une charge inductive

Problème lié à une charge inductive : comme il ne peut y avoir de discontinuité du courant dans la branche qui contient la bobine, lorsque l'interrupteur K s'ouvre, un arc électrique se forme à ses bornes pour maintenir le passage du courant. Ainsi, à chaque ouverture de K (qui est très généralement un transistor), celui-ci subit une surtension qui peut le détruire.



On réalise donc le montage suivant :



### Analyse du fonctionnement

Dans le montage précédent, la loi des mailles conduit à :  $v = U - u_K$  et la loi de nœuds à  $i = i_K + i_D$

- **de 0 à  $\alpha T$**  : K est fermé.

La source U alimente la charge.  
Le courant ne peut pas passer par la diode.

$$u_K = 0 \Rightarrow v = U$$

$$i = i_K \quad \text{et} \quad i_D = 0$$

Le courant augmente progressivement (la pente dépend de la valeur de L).

- **de  $\alpha T$  à T** : K est ouvert.

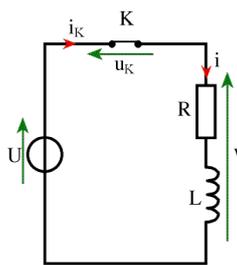
La bobine maintient le courant à travers la diode.

$$v \approx 0 \Rightarrow u_K = U$$

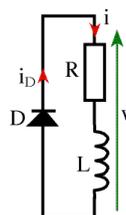
$$i = i_D \quad \text{et} \quad i_K = 0$$

Comme la charge n'est pas alimentée, le courant diminue progressivement.

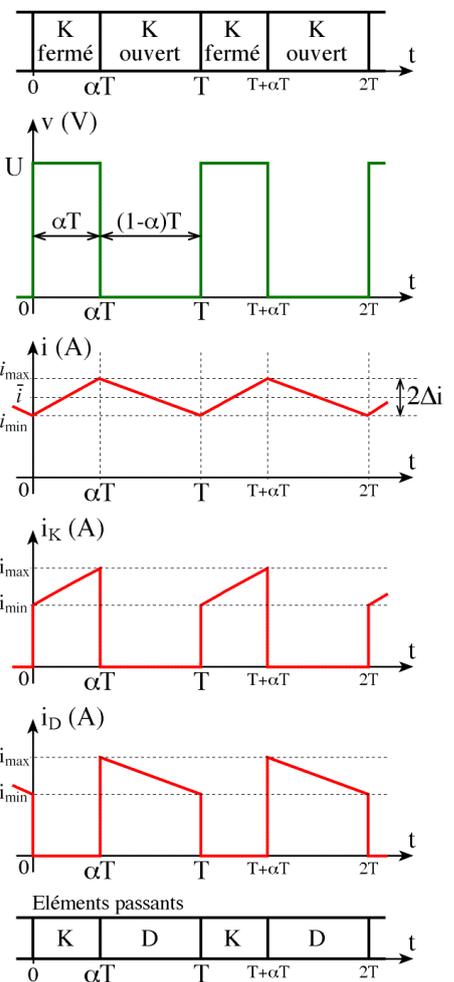
Montage équivalent



Montage équivalent



### Oscillogrammes



A l'ouverture de K, il n'y aura pas d'étincelle puisque le courant imposé par la bobine pourra passer par la diode.

Cette diode D est appelée diode de roue libre car elle est active lorsque la charge n'est pas alimentée.

### Remarques :

- la bobine lisse le courant : plus L est grand, plus  $\Delta i$  sera petit.
- Les oscillogrammes représentés correspondent au cas où R a été négligée.

➤ Ondulation du courant dans la charge

$$\Delta i = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2} \quad \text{ou} \quad \Delta i = I_{\max} - I_{\min} \quad (\text{ondulation crête à crête}).$$

Pour diminuer  $\Delta i$ , il faut augmenter l'inductance  $L$  et/ou la fréquence  $f$ .

➤ Courant moyen dans la charge

Si on peut négliger la résistance de la charge on peut écrire :  $\langle i \rangle = I \approx \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}$

Intensité moyenne dans le transistor :  $\langle i_k \rangle = I_k = \alpha I$

Intensité moyenne dans la diode :  $\langle i_b \rangle = I_b = (1 - \alpha)I$

➤ Tension moyenne aux bornes de la charge

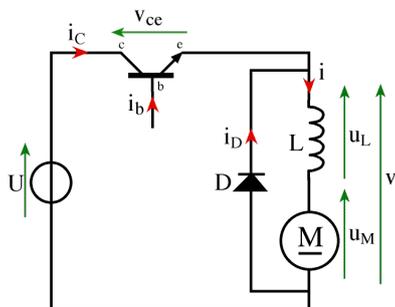
$$\langle v \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \alpha U$$

### II.3. Application : commande d'un moteur à courant continu

Le hacheur série est souvent employé pour commander un moteur à courant continu.

Pour l'étude qui suit, les résistances de la bobine et de l'induit seront négligées. On supposera de plus l'excitation constante (dans ce cas, la vitesse de rotation du moteur est proportionnelle à  $E$ , fcém du moteur).

Montage :



Pour un bon fonctionnement du moteur, il est préférable que le courant soit le plus régulier possible, d'où la présence d'une bobine de lissage. Si son inductance est suffisamment grande, on pourra considérer le courant comme constant ( $\Delta i \approx 0$ ).

Loi des mailles :  $v = u_M + u_L$

On passe aux valeurs moyennes :  $\langle v \rangle = \langle u_M \rangle + \langle u_L \rangle$

Et comme pour un signal périodique :  $\langle u_L \rangle = 0$

Nous obtenons pour le moteur :  $\langle u_M \rangle = E = \langle v \rangle = \alpha U$

(expression obtenue en négligeant la résistance du bobinage de l'induit et la résistance de la bobine de lissage)

Finalement la fcém du moteur et donc la vitesse peuvent être réglés grâce au rapport cyclique par la relation :

$$E = \alpha U$$

On définit la vitesse maximale pour  $\alpha = 1$  :  
(on suppose l'excitation constante)

$$E = U = K'n_M$$

Pour une valeur de  $\alpha$  quelconque :

$$E = \alpha U = \alpha K'n_M \quad \text{et} \quad E = K'n$$

D'où la vitesse en fonction de  $\alpha$  :

$$n = \alpha n_M$$

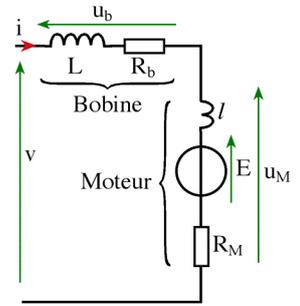
**Remarques :**

- Le modèle électrique complet du moteur et de la bobine de lissage est représenté ci-contre.

$$v = u_b + u_M = u_L + u_i + E + (R_M + R_b) \cdot i$$

En passant aux valeurs moyennes : ( $\langle u_L \rangle$  et  $\langle u_i \rangle$  sont nulles)  $\langle v \rangle = E + R \langle i \rangle$

- Pour alimenter le transistor (au niveau de la base), il faut un signal en créneaux avec un rapport cyclique réglable. On utilise pour cela un oscillateur (type multivibrateur astable)

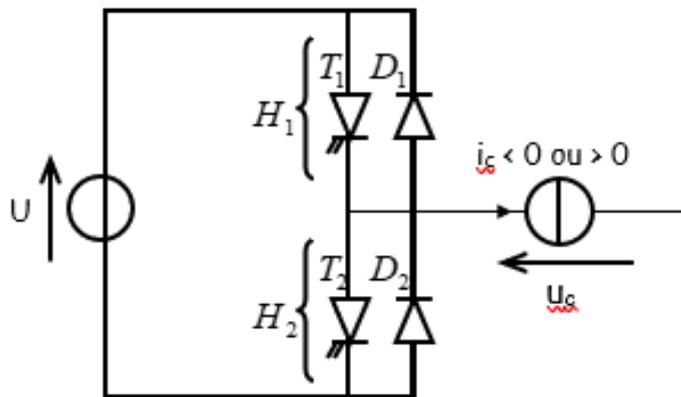


### III. Hacheurs réversibles

#### III.1. Hacheur réversible en courant

Le hacheur précédent (cf II.3) permet de faire fonctionner le moteur à courant continu en mode moteur. Mais lorsque le moteur à courant continu est entraîné par une charge mécanique, il peut fonctionner en génératrice. L'énergie mécanique reçue par le moteur est alors convertie en énergie électrique. Pour que cette énergie soit récupérée, il faut que le montage du hacheur permette de transférer le courant du moteur vers la batterie.

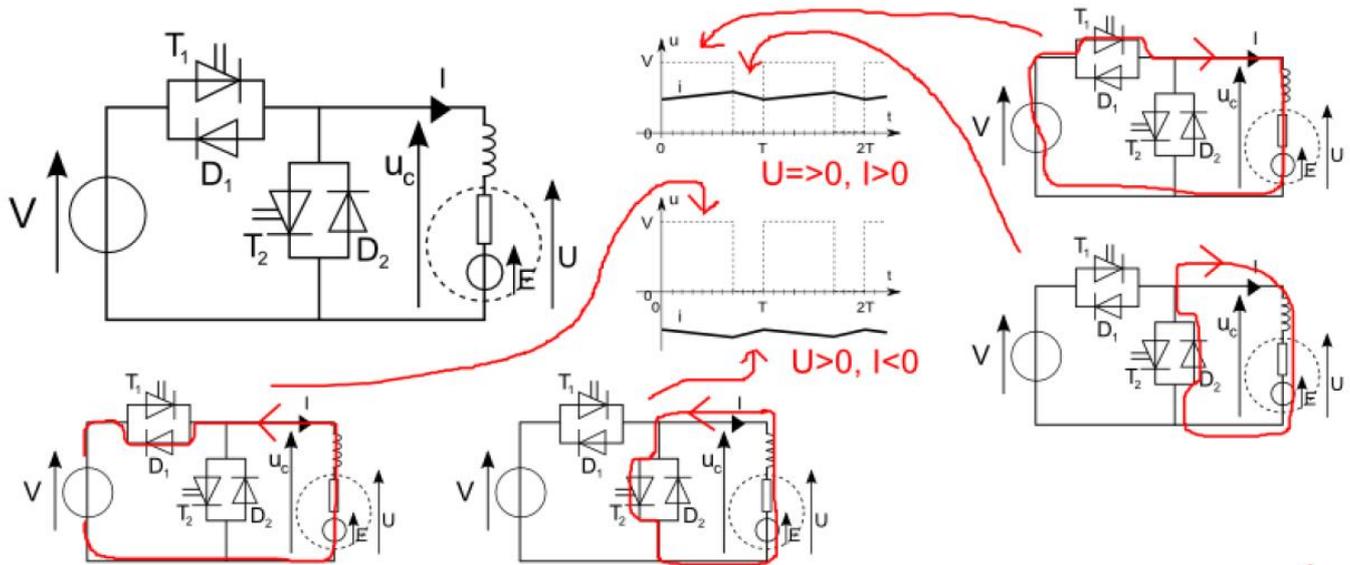
**Il est donc nécessaire que la source de tension soit réversible en courant !**



Il y a alors 2 cas de figure : soit  $H_1$  est commandé et  $T_2$  est ouvert, soit  $H_2$  est commandé et  $T_1$  est ouvert.

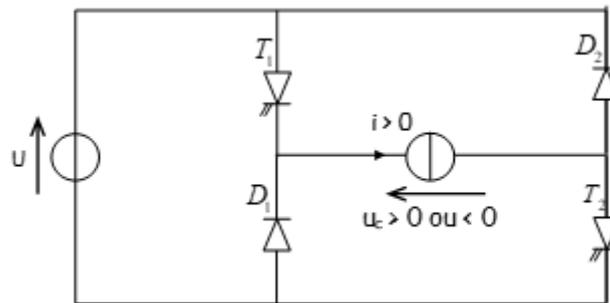
|  |   |
|--|---|
|  | <p><b>La source de courant reçoit de l'énergie</b><br/>(cette source est par exemple une MCC qui se comporte en moteur)</p> <p>Dans ce cas, seuls <math>T_1</math> et <math>D_2</math> conduisent et <math>i_c &gt; 0</math>.<br/>On a alors <math>\langle u_c \rangle = \alpha U &gt; 0</math><br/>Le hacheur fonctionne en hacheur série (dévolteur).<br/>L'énergie va de la source de tension vers la source de courant<br/><u>Remarque</u> : <math>P_c = u_c i_c</math></p> |
|  | <p><b>La source de courant fournit de l'énergie</b><br/>(MCC qui se comporte en génératrice)</p> <p>Dans ce cas, seuls <math>D_1</math> et <math>T_2</math> conduisent et <math>i_c &lt; 0</math>.<br/>On a alors <math>\langle u_c \rangle = \alpha U &gt; 0</math><br/>Le hacheur fonctionne en hacheur parallèle (survolteur).<br/>L'énergie va de la source de courant vers la source de tension<br/><u>Remarque</u> : <math>P_c = u_c i_c</math></p>                       |

En résumé :



### III.2. Hacheur réversible en tension

Ce hacheur est présenté ci-dessous. Il permet d'inverser le signe de la tension aux bornes de la source de courant. Compte-tenu de sa structure, il n'est pas réversible en courant :  $i$  reste donc positif ou nul.



Il y a plusieurs cas possibles.

- $T_2$  est passant. Dans ce cas soit  $T_1$  est passant, et alors  $u_c = U$  soit  $T_1$  est bloqué et dans ce cas, c'est  $D_1$  qui conduit (diode de roue libre)
- $T_1$  est passant. Dans ce cas, soit  $T_2$  est passant et  $u_c = U$  soit  $T_2$  est bloqué et dans ce cas, c'est  $D_2$  qui conduit (diode de roue libre)
- $T_1$  et  $T_2$  sont non passants. Dans ce cas, ce sont les diodes  $D_1$  et  $D_2$  qui sont passantes.

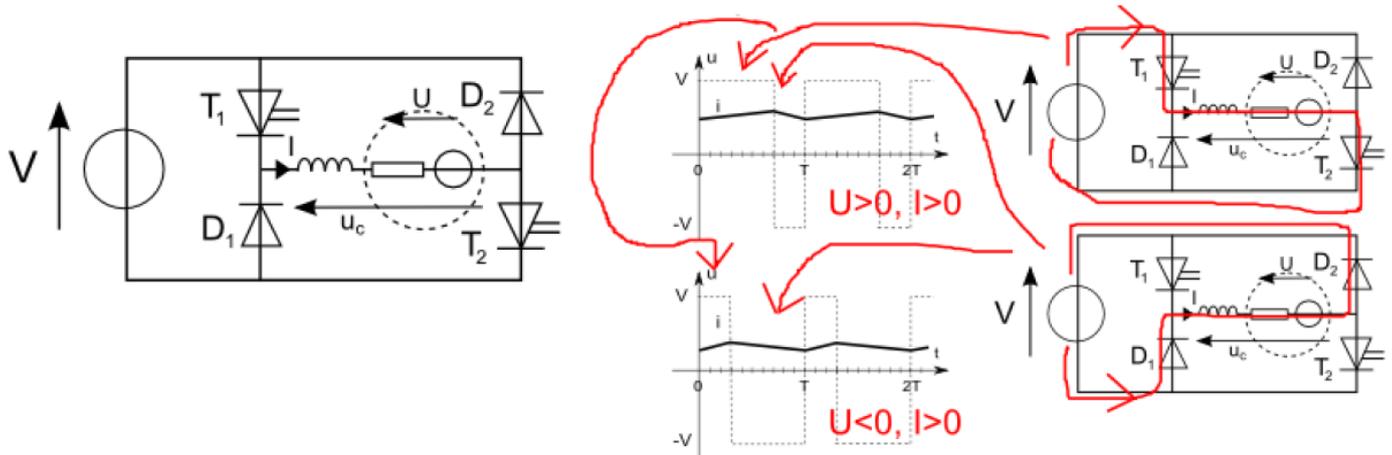
Le cas le plus fréquent est celui où les transistors  $T_1$  et  $T_2$  sont commandés simultanément. Il y a alors deux cas possibles :

|  |  |
|--|--|
|  | <p><b>La source de courant reçoit de l'énergie</b></p> <p><math>T_1</math> et <math>T_2</math> sont fermés (les diodes <math>D_1</math> et <math>D_2</math> sont alors non passantes). On a <math>i_c &gt; 0</math> et <math>u_c = U &gt; 0</math></p> <p>On a alors <math>\langle u_c \rangle = (2\alpha - 1) \times U</math></p> <p>La puissance reçue par la source de courant est <math>P_c = u_c i_c &gt; 0</math><br/>L'énergie va de la source de tension vers la source de courant</p> |
|--|--|

|  |   |
|--|---|
|  | <p><b>La source de courant fournit de l'énergie</b></p> <p><math>T_1</math> et <math>T_2</math> sont ouverts. Comme <math>i_c &gt; 0</math>, ce sont les diodes <math>D_1</math> et <math>D_2</math> qui conduisent.</p> <p>On a alors <math>u_c = -U &lt; 0</math></p> <p>On a alors <math>\langle u_c \rangle = (2\alpha - 1) \times U</math></p> <p>Il y a inversion de tension aux bornes de la source de courant.</p> <p>La puissance reçue par la source de courant est <math>P_c = u_c i_c &lt; 0</math></p> <p>L'énergie va de la source de courant vers la source de tension</p> |
|--|---|

A noter qu'ici encore, la source de tension doit être réversible en courant.

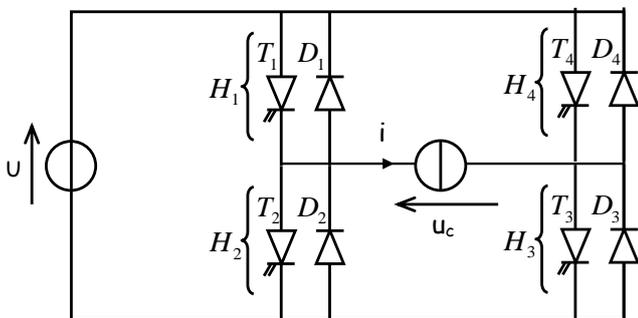
En résumé :



### III.3. Hacheur réversible en courant et en tension

Ce montage permet toutes les situations. Le générateur de tension  $U$  doit être réversible en courant. La source de courant doit être réversible en tension et en courant.

Une application intéressante de ce montage est la commande de vitesse d'une machine à courant continu dans les deux sens de rotation avec pour chaque sens, la possibilité de fonctionner en moteur ou en génératrice.



Ce montage sera repris en TD.

En résumé :

