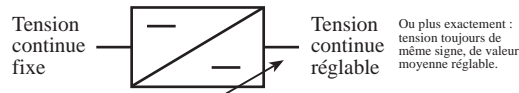


# Hacheur série

## 1. Présentation

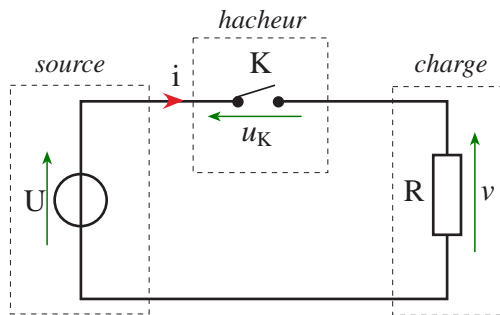
Le hacheur est un convertisseur statique continu-continu

Symbole synoptique :



On l'utilise souvent pour varier et contrôler la vitesse d'un moteur à courant continu.

## 2. Principe de fonctionnement



Loi des mailles :

Loi d'Ohms pour la charge :

On choisit une période  $T$  et une durée  $t_1$  inférieure à  $T$ .  
 $t_1$  est une fraction de la période  $T$ .

$$0 < t_1 < T$$

Le rapport  $\alpha = \frac{t_1}{T}$  s'appelle le rapport cyclique.

$$t_1 = \alpha T$$

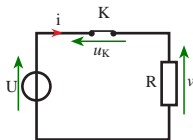
Dimension :  $\alpha$  est

$$0 < \alpha < 1$$

• de  $0$  à  $t_1$  : on ferme  $K \Rightarrow u_K =$

$$v =$$

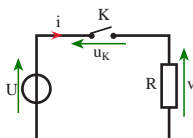
$$i =$$

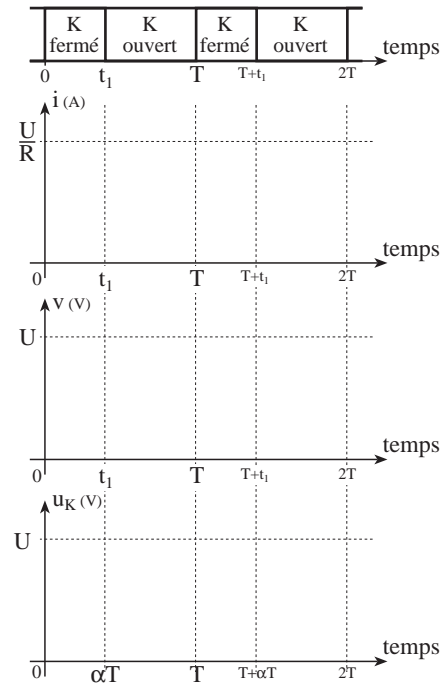


• de  $t_1$  à  $T$  : on ouvre  $K \Rightarrow i =$

$$v =$$

$$u_K =$$





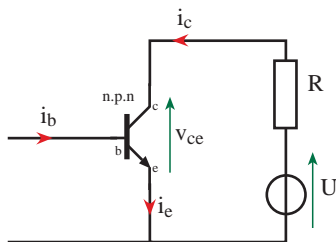
**Commentaires :**

- 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.
- le rapport cyclique  $\alpha$  peut être réglé. Par conséquent la valeur moyenne  $\langle v \rangle$  de  $v$  va varier.
- il s'agit d'un hacheur série car l'interrupteur  $K$  est monté en série entre la source et la charge.

### 3. Composant utilisé pour le hacheur : le transistor

#### 3.1. Présentation

Le transistor est le composant de base du hacheur. C'est lui qui va faire office d'interrupteur. Voici un bref aperçu de son fonctionnement.



b : base, c : collecteur, e : émetteur  
 La flèche sur le collecteur indique le sens du courant collecteur-émetteur. Le courant de base est la commande. Le circuit collecteur-émetteur est le circuit de puissance. Un faible courant de base commande un fort courant collecteur.

Le transistor fonctionne comme une "vanne à courant" où  $i_b$ , la commande de la vanne, permet de laisser passer plus ou moins le courant  $i_c$  de c vers e.

Si  $i_b = 0$ , la vanne est fermée.

Si  $i_b > i_{bsat}$ , la vanne est totalement ouverte et laisse passer le courant  $i_c$  maximum.

*( $i_{bsat}$  dépend du transistor et du montage)*

Entre les deux valeurs extrêmes,  $i_b$  contrôle le débit de  $i_c$ .

### 3.2. Fonctionnement en commutation

- Si  $i_b = 0$  alors aucun courant ne traverse la charge R.

Le transistor est bloqué.

Il est équivalent à .....

$$i_c = 0$$



- Si  $i_b > i_{bsat}$  alors le courant maximum traverse le transistor

Le transistor est saturé.

Il est équivalent à .....

$$i_c = \frac{U}{R}$$



Dans ce mode de fonctionnement, le transistor est équivalent à un interrupteur unidirectionnel commandé à l'ouverture et à la fermeture.

Symbole :

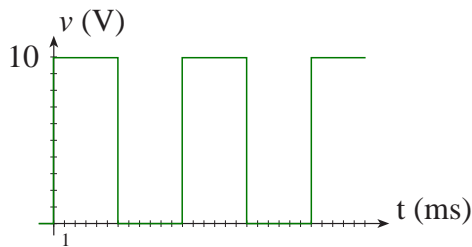


C'est le fonctionnement utilisé pour le hacheur.

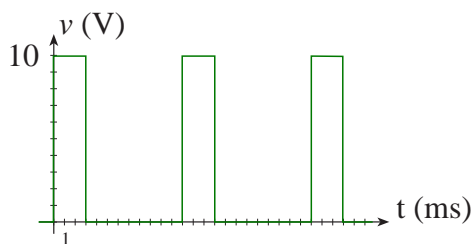
## 4. Valeur moyenne de la tension v

### 4.1. Exercices

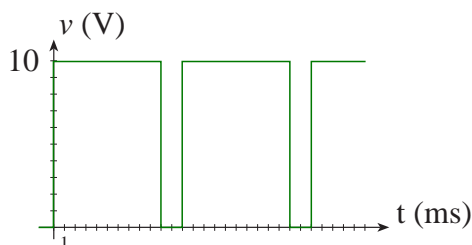
Relever sur les chronogrammes les valeurs U, T,  $t_1$ , déduire les valeurs  $\alpha$  et  $\langle v \rangle$  et tracer sur chaque chronogramme la valeur  $\langle v \rangle$ .



U =  
T =  
 $\alpha$  =  
 $\langle v \rangle$  =  
 $t_1$  =



U =  
T =  
 $\alpha$  =  
 $\langle v \rangle$  =  
 $t_1$  =



U =  
T =  
 $\alpha$  =  
 $\langle v \rangle$  =  
 $t_1$  =

Question : la tension moyenne  $\langle v \rangle$  dépend-elle de

U ?	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
T ?	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
$\alpha$ ?	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non

### 4.2. Tension moyenne

Déduire de l'exercice précédent la tension moyenne  $\langle v \rangle$  en fonction de la tension d'alimentation U et du rapport cyclique  $\alpha$ .



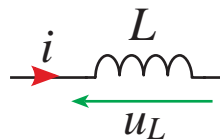
## 5. Débit dans une charge inductive

### 5.1. Exemple de charge inductive

Pour un bon fonctionnement, le moteur à courant continu nécessite un courant le plus régulier possible.

Pour cela on lui adjoint, branché en série, une "self de lissage" (une inductance qui va lisser le courant).

### 5.2. Propriété d'une inductance



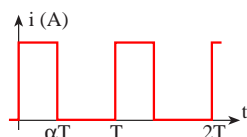
**En courant continu :** l'inductance se comporte comme un court-circuit. Elle est équivalente à un fil.

**En courant périodique :** la tension moyenne à ses bornes est nulle.  $\bar{u}_L = 0$

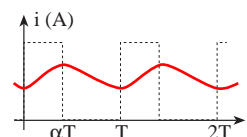
**D'une façon générale:**

- le courant dans une inductance ne peut pas subir de discontinuité.
- l'inductance s'oppose aux variations du courant qui la traverse.

**Conclusion :**



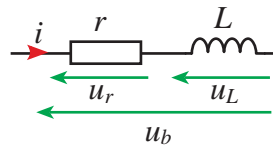
*courant non lissé*



*courant avec une "self de lissage"*

### 5.3. Bobine réelle

Pour une bobine réelle, il faut tenir compte de la résistance du fil de la bobine. D'où le schéma équivalent ci-dessous.

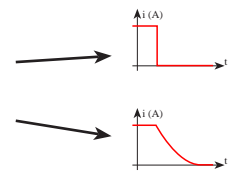


### 5.4. Problème lié aux charges inductives

A la fermeture de K le courant s'établit.

A l'ouverture de K deux phénomènes contradictoires ont lieu :

- la commande
- la bobine

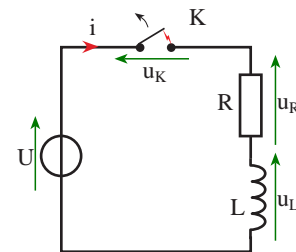


#### Résultat du conflit :

c'est la bobine qui "gagne" en provoquant un arc électrique aux bornes de l'interrupteur pour maintenir le courant.

#### Conséquence :

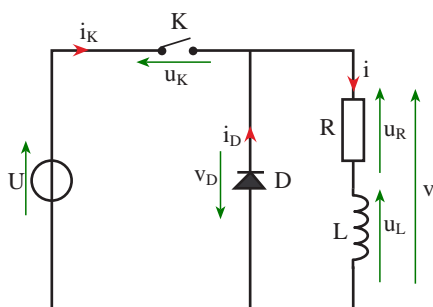
L'interrupteur qui est en réalité un transistor subit alors à chaque blocage une surtension qui peut être destructrice.



Il faut trouver une solution qui permette le blocage normal du transistor.

### 5.5. Solution et analyse du montage

#### Montage



Loi des mailles ;  $v$  en fonction de  $U$  et  $u_K$  :

Loi des mailles ;  $v$  en fonction de  $v_D$  :

Loi des mailles ;  $v$  en fonction de  $u_L$  de  $u_R$  :

Loi des noeuds :

- de 0 à  $t_1$  : on ferme K  $\Rightarrow u_K =$
- $v =$
- D est

D est équivalente à un

donc  $i_D =$

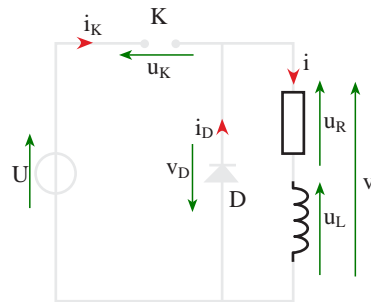
et  $v_D =$

$i_K =$

Le courant augmente progressivement de  $i_{min}$  à  $i_{max}$ . (la pente dépend de la valeur de L).

Schéma équivalent

Mettre en trait épais le trajet du courant.



• de  $t_1$  à  $T$  : on ouvre K  $\Rightarrow i_K =$

La bobine maintient le courant à travers la diode.

D est -----

D est équivalente à un -----

donc  $v_D =$

$i_D =$

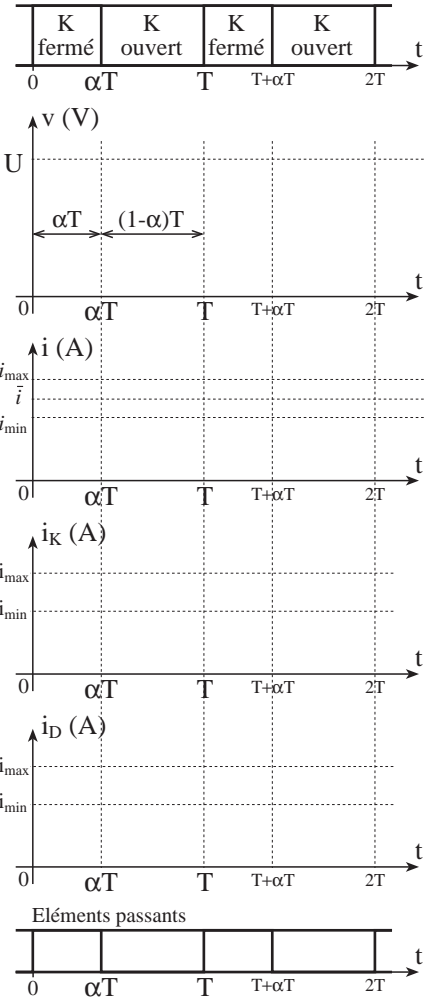
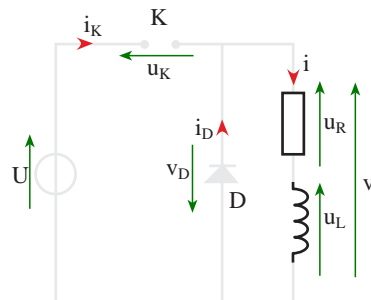
$v =$

$u_K =$

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

Schéma équivalent

Mettre en trait épais le trajet du courant.



Commentaires :

- A l'ouverture de K, il n'y aura pas d'étincelle puisque le courant imposé par la bobine pourra passer par la diode.
- D est appelée diode de roue libre car elle est active lorsque la charge n'est pas alimentée. Elle est nécessaire pour un bon fonctionnement du montage.
- La bobine lisse le courant. Plus L est grand, plus  $\Delta i$  sera petit (voir les oscillogrammes).

### 5.6. Ondulation du courant dans la charge

Elle est donnée par la relation :

$$\Delta i = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2}$$

Elle peut être mesurée à l'oscilloscope en visualisant la tension aux bornes d'une résistance.

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

### 5.7. Courant moyen dans la charge

$$\bar{i} = I \approx \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}$$

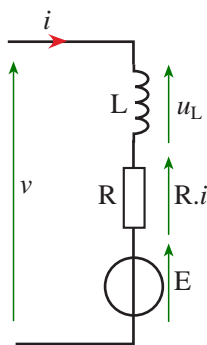
Intensité moyenne dans la diode :  $\bar{i}_D = I_D = (1 - \alpha)I$

Intensité moyenne dans le transistor :  $\bar{i}_K = I_K = \alpha I$

## 6. Tension moyenne vue du côté de la charge

### 6.1. Tension moyenne

Lorsqu'il s'agit d'un moteur à courant continu, la charge peut-être modélisée par le schéma suivant :



- R : résistance totale de la charge
- E : f.é.m du moteur
- L : inductance de lissage

Loi des mailles ;  $v$  en fonction de  $u_L$  de  $R.i$  et  $E$  :

Expression de la valeur moyenne de  $v$  :  $\langle v \rangle =$  \_\_\_\_\_

Rappel :  $\langle u_L \rangle =$  \_\_\_\_\_

Finalement :

$$\langle v \rangle =$$

$$=$$

vue du côté charge  
vue du côté hacheur

Soit :

### 6.2. Vitesse du moteur

Nous venons de voir que :  $\alpha U = E + R \cdot \bar{i}$   
 donc :  $E = \dots\dots\dots$

Pour le moteur, on sait que :  $E = K' \cdot n$  où  $n$  est la vitesse de rotation.

Finalement la vitesse peut être régler grâce au rapport cyclique par la relation :

$$K' \cdot n =$$

$$n =$$

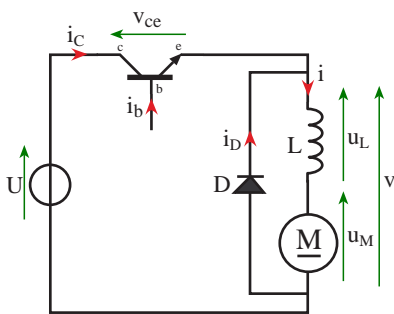
Si la résistance  $R$  est négligeable :  $n = \dots\dots\dots$

On définit la vitesse maximum pour  $\alpha = 1$  :  
 (on néglige les résistances de l'induit et de la bobine)  $n_M =$

Pour une valeur de  $\alpha$  quelconque :  $n = \frac{\alpha U}{K'}$  soit  $n = \alpha n_M$

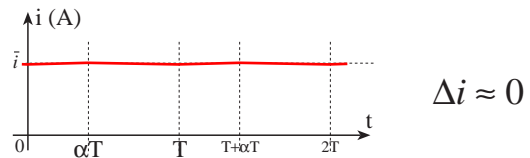
## 7. Compléments

### 7.1. Montage réel

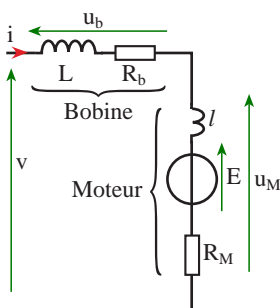


#### Commentaire :

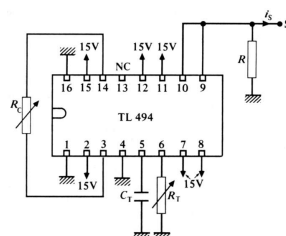
Pour un bon fonctionnement du moteur, il est préférable que le courant soit le plus régulier possible, d'où la présence d'une bobine de lissage. Si son inductance est suffisamment grande, on pourra considérer le courant comme constant.



### 7.2. détail de la charge



### 7.3. Commande du transistor



ou

