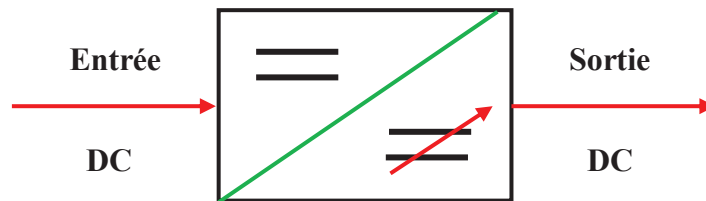


Les hacheurs

1-Définition : L'hacheur est un dispositif permettant d'obtenir une tension continue de **valeur moyenne réglable** à partir d'une source de tension continue fixe (batterie d'accumulateurs ou bien pont redresseur - alimenté par le réseau de distribution).



« Symbole du hacheur »

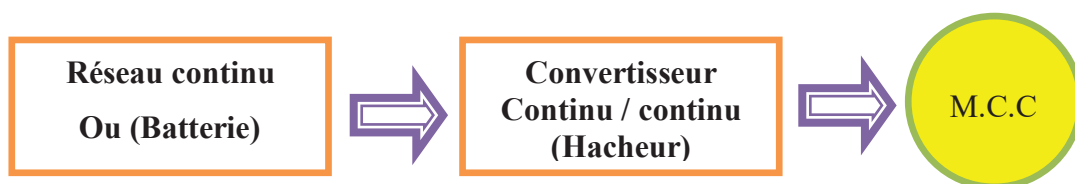
Un hacheur peut être réalisé à l'aide des interrupteurs électroniques commandables à la fermeture et à l'ouverture telle que les transistors bipolaires ou IGBT ou les thyristors GTO.

Commande du transistor :

Pour alimenter la base du transistor, il faut réaliser un montage électronique délivrant un signal en créneaux avec un rapport cyclique réglable. Il s'agit d'un oscillateur.

Exemple d'application : le hacheur permet de faire varier et de régler la vitesse des moteurs à courant continu.

Commande de vitesse pour moteur à courant continu



1.1-Principe de fonctionnement :

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source- charge à l'aide d'un interrupteur électronique.

1.2-Le rapport cyclique : α

Le rapport cyclique est défini comme le temps t_F pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T .

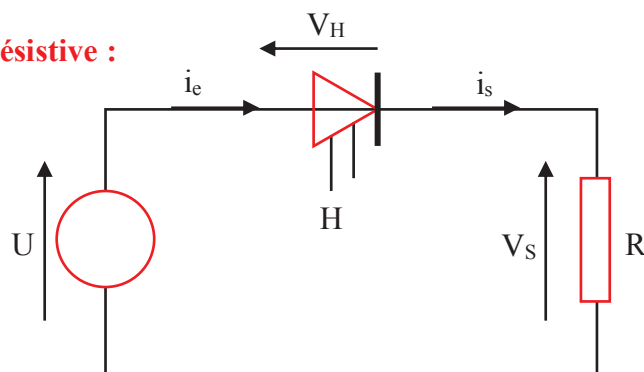
$$\alpha = \frac{t_F}{T}$$

La valeur de rapport cyclique : $0 \leq \alpha \leq 1$

2-Le hacheur série (buck):

2.1-Débit sur une charge résistive :

Soit le montage suivant :



H : Interrupteur unidirectionnel parfait

1)-Analyse du fonctionnement :

- $0 < t < \alpha T$: H est fermé.

$$v_H = 0$$

$$v_S = U$$

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

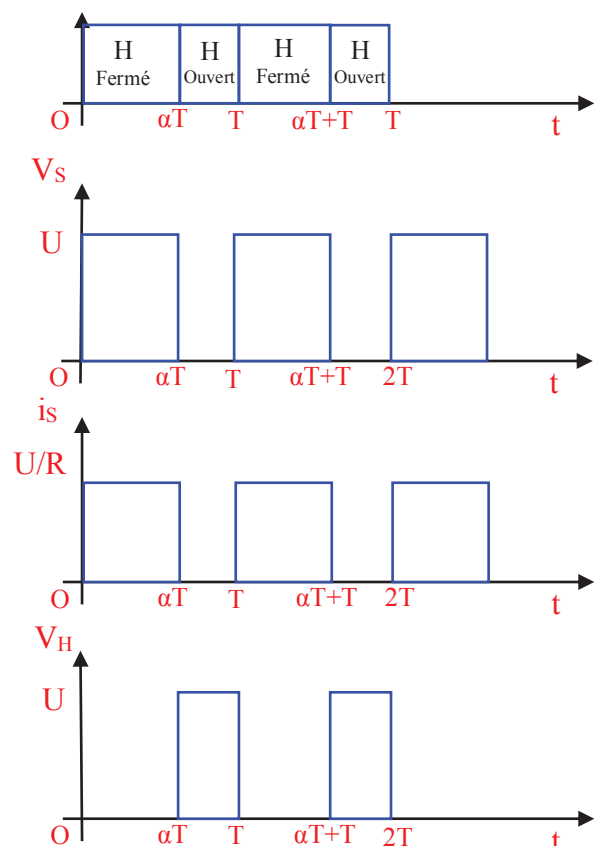
$$i_s = i_e$$

- $\alpha T < t < T$: H est ouvert.

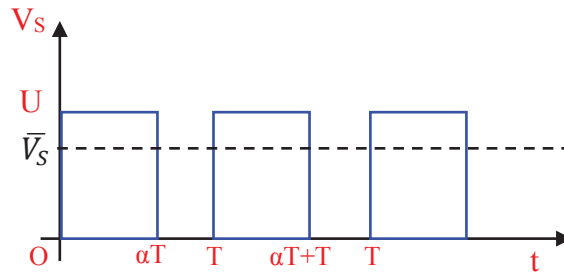
$$v_H = U$$

$$v_S = 0$$

$$i_s = i_e = 0$$



2)-Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :



Exprimons la valeur moyenne de v en fonction du rapport cyclique.

$$\bar{v}_s = \frac{1}{T} \int_0^T v_s(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 \cdot dt$$

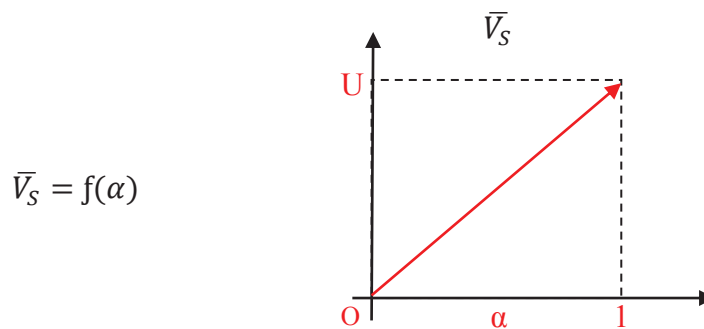
$$\bar{v}_s = \frac{U}{T} (\alpha T - 0) = \alpha U$$

Pour cela nous calculons sa valeur moyenne sur une période :

Valeur moyenne de la tension: $\bar{v}_s = \alpha U$

La valeur moyenne de la tension \bar{v}_s peut être ajustée en jouant sur la valeur du rapport cyclique α .

Quand on fait varier α de 0 à 1, \bar{v}_s varie linéairement de 0 à U .



3)-Conclusion : Quelle que soit la nature de la charge, on aura $\bar{V}_s = 0 \leq \alpha U \leq U$. Le hacheur série est bien abaisseur de tension (hacheur dévolteur).

Commentaires :

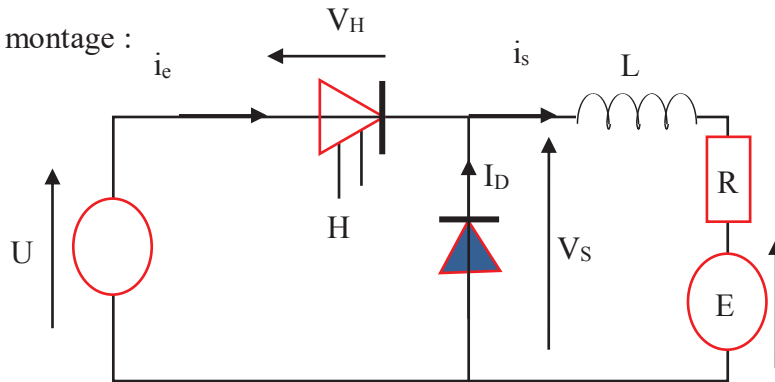
La tension de sortie du hacheur n'est pas continue mais toujours positive. Lorsque la période est assez faible (fréquence de 100 à 1000 Hz) la charge ne « voit » pas les créneaux mais la valeur moyenne de la tension.

Valeur moyenne du courant : $\bar{i}_s = \alpha U / R$

Calcul de puissance : $U \cdot i_e = \bar{v}_s \cdot i_s \rightarrow i_s = \frac{i_e}{\alpha}$

2.2-Débit sur une charge active R, L, E. :

On considère le montage :



1)-Analyse du fonctionnement :

- $0 < t < \alpha T$: H est fermé.

$$i_e = i_s$$

$$v_H = 0$$

$$v_S = U$$

-L'intensité du courant dans la charge

vérifier l'équation suivante :

$$U = E + R \cdot i_s + L \frac{di_s}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

- $\alpha T < t < T$: H est ouvert.

Le courant imposé par la bobine pourra passer par la diode de roue libre.

Donc la diode assure la continuité du courant dans la charge.

$$i_e = 0$$

$$v_H = U$$

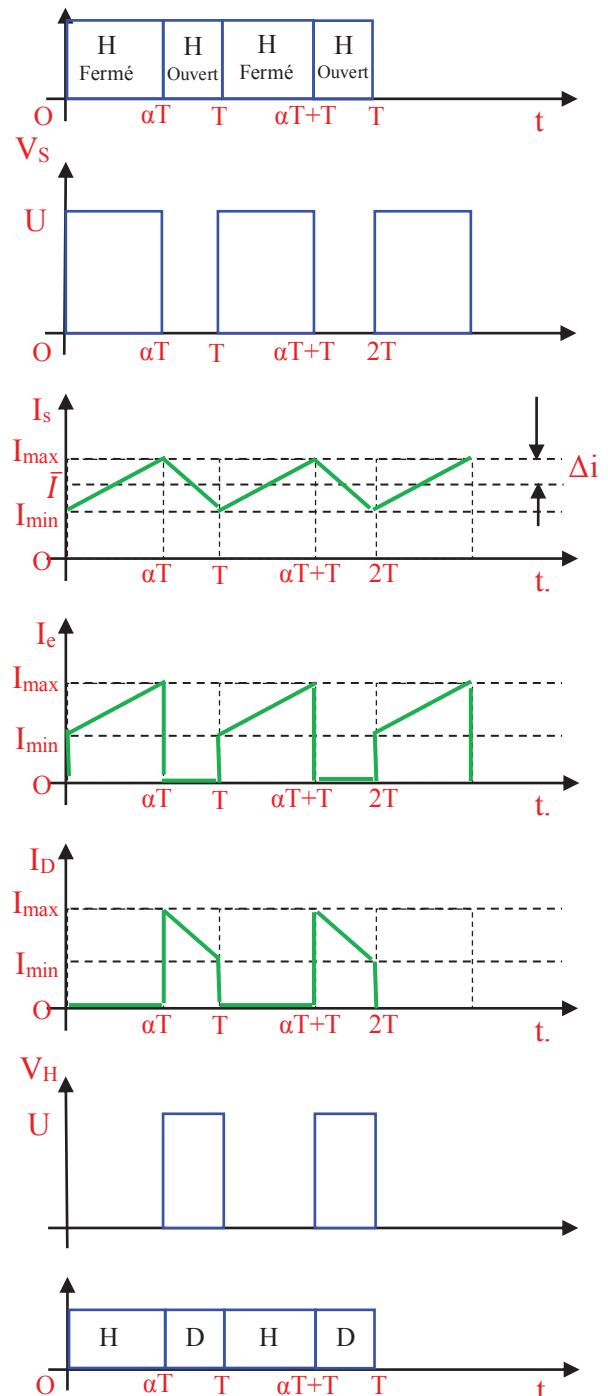
$$v_S = 0$$

-L'intensité du courant dans la charge vérifier l'équation suivante :

$$0 = E + R \cdot i_s + L \frac{di_s}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

Remarque : en général les résistances de l'induit et l'inductance sont très faibles, donc on suppose que la chute de tension $R \cdot i_s$ est nulle.

*l'équation (1) devient :



$$U = E + L \frac{di_s}{dt} \rightarrow di_s = \frac{U - E}{L} dt$$

Pour trouver la valeur du courant on intègre l'équation dans l'intervalle $0 < t < \alpha T$:

$$\int_0^{\alpha T} di_s = \int_0^{\alpha T} \frac{U - E}{L} dt$$

$$i_s(t) = \frac{U - E}{L} (t) + i_{min}$$

*l'équation (2) devient :

$$0 = E + L \frac{di_s}{dt} \rightarrow di_s = -\frac{E}{L} dt$$

Pour trouver la valeur du courant on intègre l'équation dans l'intervalle $\alpha T < t < T$:

$$\int_{\alpha T}^T di_s = \int_{\alpha T}^T -\frac{E}{L} dt$$

$$i_s(t) = -\frac{E}{L} (t - \alpha T) + i_{max}$$

Valeur moyenne du courant :

$$\bar{V}_s = E + R \cdot \bar{I}_s + L \frac{d\bar{I}_s}{dt}$$

$$\text{Avec : } \bar{V}_s = \alpha U, \quad L \frac{d\bar{I}_s}{dt} = 0$$

La valeur moyenne du courant est calculée par la formule suivante :

$$\bar{I}_s = \frac{\alpha U - E}{R} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$$

On peut déduire les valeurs moyennes des courants \bar{I}_H et \bar{I}_D en fonction de \bar{I}_s .

$$\text{Intensité moyenne dans le Hacheur : } \bar{I}_H = \alpha \bar{I}_s$$

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

2)-Ondulation du courant dans la charge :

Elle est donnée par la relation :

$$\Delta i = \frac{I_{max} - I_{min}}{2} = \frac{\alpha(1 - \alpha)U}{2Lf}$$

L'ondulation Δi est maximale pour $\frac{d\Delta i}{d\alpha} = 0 \implies \alpha = 0.5$

$$\Delta i_{max} = \frac{U}{8Lf}$$

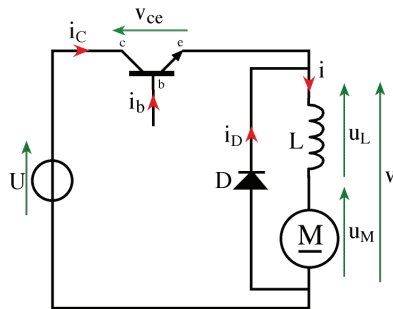
Pour diminuer Δi , il faut augmenter l'inductance L ou/et la fréquence f.

3)-Application au moteur :

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

On rappelle que la vitesse d'un tel moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation.

Montage :



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 ($\Delta i \approx 0$).

Loi des mailles :

$$v_s = u_L + u_M$$

On passe aux valeurs moyennes : $\bar{V}_s = \bar{u}_M + \bar{u}_L$

Et comme pour un signal périodique : $\bar{u}_L = 0$

Nous obtenons pour le moteur : $\bar{V}_s = \bar{u}_M = E$

$$\bar{V}_s = E = \alpha U$$

$$E = k \cdot N \cdot \Phi \quad \left\{ \begin{array}{l} N : \text{La vitesse de rotation du moteur} \\ \Phi : \text{Le flux d'inducteur (égale à constant pour le moteur à excitation séparé)} \end{array} \right.$$

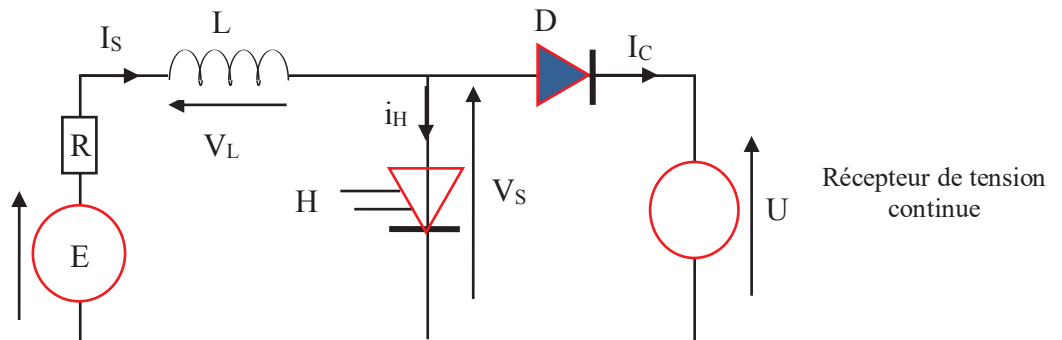
Finalement la f.é.m. du moteur peuvent être régler grâce au rapport cyclique par la relation :

$$E = k' \cdot N = \alpha U \rightarrow N = k'' \cdot \alpha$$

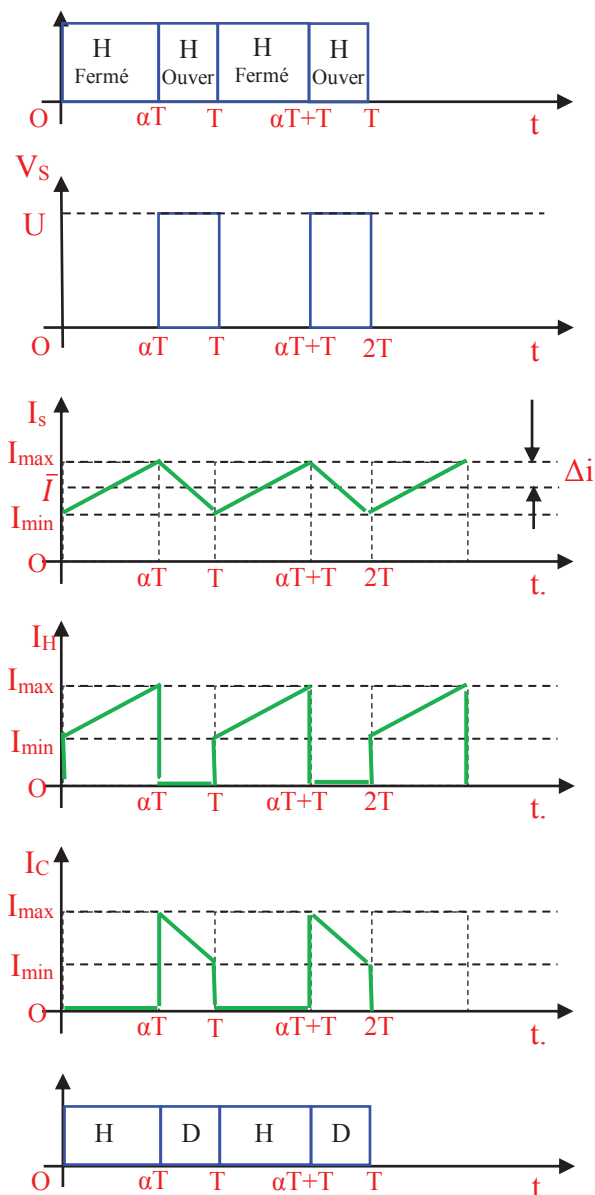
On voit ici que la vitesse varie linéairement avec le rapport cyclique α , lequel est proportionnel à la tension de commande.

3-Hacheur parallèle (boost) :

Ce montage permet de produire une tension moyenne U à partir d'une source de tension continue $E < U$ (élevateur de tension). Le montage étudié est donné à la figure ci-dessous :



On donne les séquences de conduction de H et D dans le chronogramme suivant :



3.1-Analyse du fonctionnement :

Les deux interrupteurs électroniques sont supposés parfaits.

- $0 < t < \alpha T$: L'interrupteur **H est fermé** et l'intensité $i_s(t)$ croît linéairement :

$$\text{L'interrupteur H est fermé donc : } \left\{ \begin{array}{l} i_s = i_H \\ V_s = 0 \\ i_c = 0 \end{array} \right.$$

Remarque : en supposant la résistance R est négligeable.

$$V_s = E - V_R - V_L \rightarrow E = V_L$$

L'intensité du courant vérifier l'équation suivante :

$$E = L \frac{di_s}{dt} \rightarrow di_s = \frac{E}{L} dt$$

On obtienne la valeur du courant par l'intégration de l'équation précédente :

$$\int_0^{\alpha T} di_s = \int_0^{\alpha T} \frac{E}{L} dt$$

$$i_s(t) = \frac{E}{L} \cdot t + i_{min}$$

- $\alpha T < t < T$: L'interrupteur **H est ouvert**, l'inductance l se démagnétise et le courant $i_s(t)$ décroît :

$$\text{L'interrupteur H est ouvert : } \left\{ \begin{array}{l} i_s = i_c \\ i_H = 0 \\ V_s = U \end{array} \right.$$

L'intensité du courant dans la charge vérifier l'équation suivante :

$$V_s = U = E - L \frac{di_s}{dt}$$

$$di_s = \frac{E - U}{L} dt$$

On intègre l'équation précédente :

$$\int_{\alpha T}^T di_s = \int_{\alpha T}^T \frac{E - U}{L} dt$$

$$i_s(t) = \frac{E - U}{L} (t - \alpha T) + i_{max}$$

3.2-Valeur moyenne de la tension:

$$V_s = U = E - L \frac{di_s}{dt}$$

$$\bar{V}_s = E - L \frac{d\bar{I}_s}{dt} = E$$

La valeur moyenne de V_s vaut :

$$\bar{V}_s = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} 0 \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T U \cdot dt$$

$$\bar{V}_s = (1 - \alpha)U$$

On remplace \bar{V}_s par E.

$$E = (1 - \alpha)U \rightarrow U = E / (1 - \alpha)$$

Comme $0 < \alpha < 1$ Le hacheur parallèle est élévateur de tension.

Le réglage de α permet de faire varier la tension disponible aux bornes de la charge U :

3.3-Ondulation du courant dans la charge :

Elle est donnée par la relation :

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

Intérêt du hacheur parallèle :

Si on considère un moteur à courant continu entraînant une charge lourde (train par exemple) .lors d'une phase de freinage il est intéressant de récupérer l'énergie mécanique en le transformant en énergie électrique.

La machine fonctionne en génératrice mais sa f.e.m décroît car sa vitesse diminue est inférieure à la tension du réseau qui alimente le moteur .Pour assurer le transfert d'énergie vers le réseau, il faut un hacheur survolteur.