

# *CHAPITRE III*

## *ETUDE DES HACHEURS*

## 1. Généralités :

Les hacheurs sont des convertisseurs directs du type continu-continu, leur utilisation permet le contrôle de la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

D'un point de vue circuit, les hacheurs apparaissent comme un quadripôle Fig. (1), jouant le rôle d'organe de liaison entre deux parties d'un réseau, on peut le considérer comme un " transformateur " des grandeurs électriques continues.

Si  $V_e$  et  $I_e$  sont des grandeurs du quadripôle,  $V_s$  et  $I_s$  les grandeurs de sorti, les hacheurs introduit des relations entre ces grandeurs par l'intermédiaire de paramètres variables, ces relations ne sont pas linéaires.

Toutefois, il sera possible d'établir des relations linéaires entre les valeurs moyennes de ces grandeurs qui permettront de caractériser l'échange de puissance moyenne contrôlée par les hacheurs.

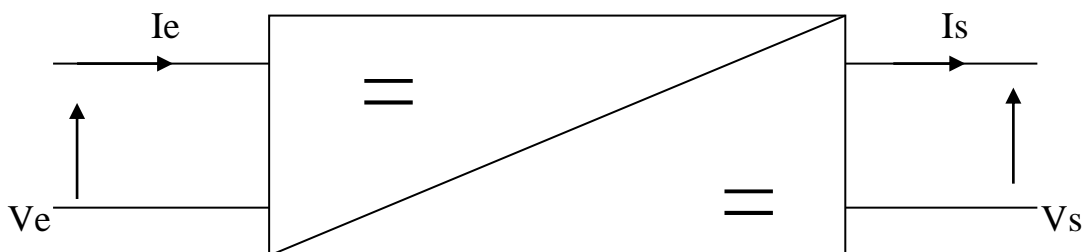


Fig. (1)

Un hacheur est un montage utilisant des transistors ou thyristor qui sera coupé ou établi en courant continu en des instants prévus, (comme le fera un interrupteur manuel) mais a des fréquences très élevées alternant souvent 1 à 10 KHz.

Les hacheurs permettent donc d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension continue constante suivant le composant électronique utilisé, on distingue deux types d'hacheur :

**Les hacheurs à transistors** : pour les petites et moyennes puissances.

**Les hacheurs à thyristors pour les grandes puissances** : la mise en œuvre du thyristor dans les interrupteurs lors du blocage n'est pas naturelle.

Cependant aux très fortes puissances, le thyristor est irremplaçable, par composant on peut commuter 2000 A sous tension 2500 V. exemple d'application un thyristor additionnel, inductance et condensateur pour parvenir au blocage du composant principal.

### **1.1 STRUCTURE DE HACHEUR :**

Les différentes structures de hacheur dépendent du cahier des charges imposé au système dans une première approche, les caractéristiques à prendre en compte pour établir les structures ponant sur la nature des réseaux d'entrée et de sortie identifiés comme des sources de tension ou de courant et sur les réversibilités qui peuvent être demandée à ces sources.

Dans un deuxième temps, il est possible, une fois la structure établit, de prendre comme modèle des sources, un réseau électrique présentant une inductance série préalablement identifié à une source de tension.

Ainsi un moteur à courant continu dont le modèle électrique est représenté par le dipôle actif de la Fig." 2 " sera-t-il assimilé dans un premier temps à une source de courant (le courant moyen  $I_{\text{moy}}$  dans le dipôle est proportionnel au couple C imposé sur l'arbre du moteur).

Cette source de courant sera réversible en tension si la f.é.m. (E) est réversible (réversibilité de vitesse ou de flux inducteur). Elle sera réversible en courant si le couple est réversible (fraction/freinage). Dans un deuxième temps en tiendra effectivement compte des éléments P électrique qui constituent le dipôle.

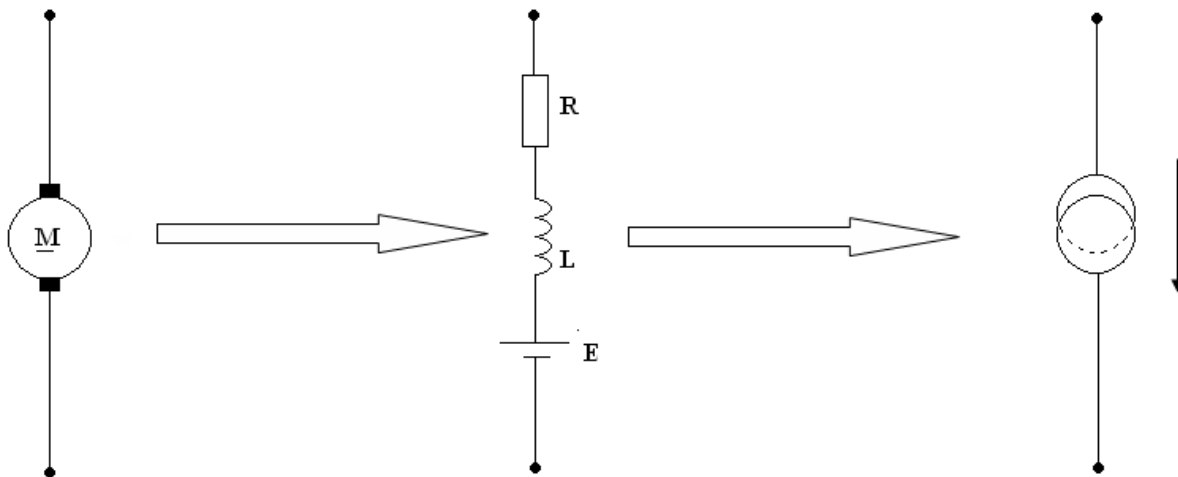


Fig." 2 "

Les applications des hacheurs sont nombreuses :

En forte puissance, ils interviennent comme organe de réglage de puissance électriques, ils peuvent s'associer à d'autre convertisseurs pour contribuer à des conversions indirectes de type :  $\sim / =$  ,  $= / =$  ,  $\sim / \sim$  .

En petite et moyenne puissance les problèmes se posent d'une manière différente.

Dans les alimentations des tensions par exemple le cahier des charges impose à la sortie du convertisseur une tension parfaitement continue (avec un taux d'ondulation négligeable), l'entrée étant une source de tension constante.

A la structure élémentaire du hacheur viennent alors d'associer des éléments linéaire (inductance, capacité) qui sont des éléments d'adaptation (transformation d'une source de tension en source de courant) et de filtrage.

## 1.2 Principe du hacheur :

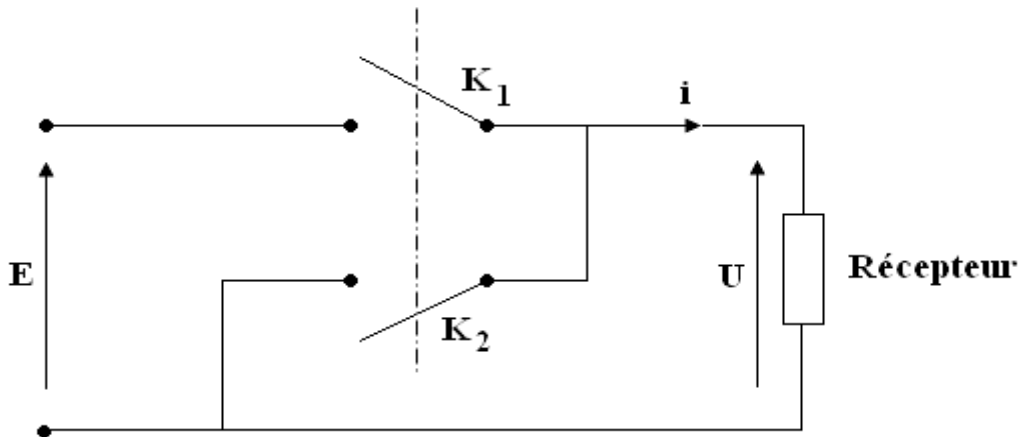


Fig."3"

La Fig."3" explique avec deux interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$  ce qu'on demande aux semi-conducteurs de réaliser.

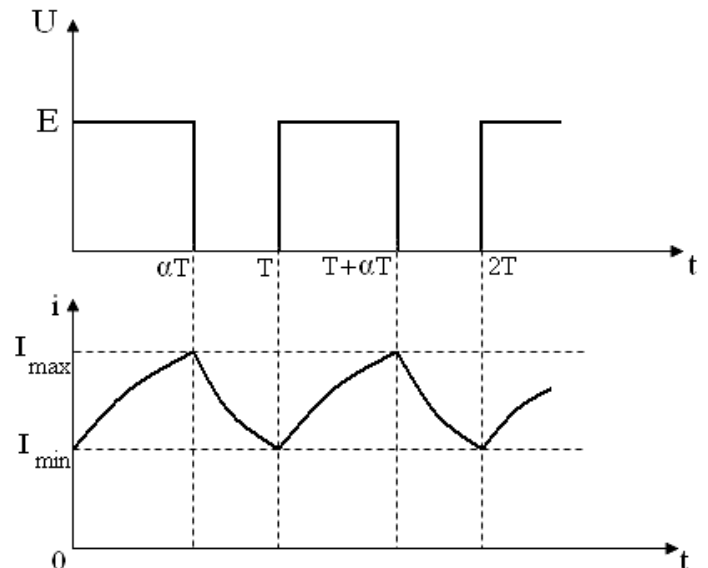
Hacheur (  $f = \frac{1}{T}$  sa fréquence )

- $0 \leq t \leq \alpha T$   $K_1$  fermé,  $K_2$  ouvert  
 $\Rightarrow U = E$
- $\alpha T \leq t \leq T$   $K_2$  fermé,  $K_1$  ouvert  
 $\Rightarrow U = 0$

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt$$

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt = \frac{E}{T} (t)_0^{\alpha T}$$

$$U_{moy} = \frac{E}{T} \alpha T = \alpha E$$



$\alpha$  : rapport cyclique  $0 \leq \alpha \leq 1$

$T$  : période de fonctionnement du hacheur ( $f = \frac{1}{T}$  sa fréquence).

Dans la Fig."3" les interrupteurs  $K_1$ ,  $K_2$  doivent être complémentaires.

La présence  $K_2$  est indispensable car l'ouverture de  $K_1$ ,  $t = \alpha T$  il faut évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance du récepteur cette inductance permet de rendre le courant

« i » dans la charge constante si elle n'est pas suffisante, on doit l'augmenter par une inductance de lissage.

Pour réaliser les convertisseurs statiques équivalents à la Fig."5" on remplace  $K_1$  par un thyristor,  $K_2$  par la diode de roue libre « D ».

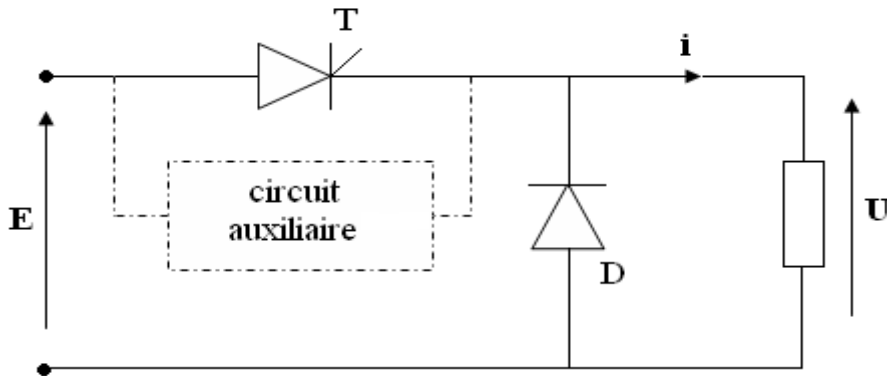


Fig." 5 "

On voit immédiatement la nature des deux commutations à effectuer à chaque période

- à  $t = 0$  la commutation D-T est naturelle :

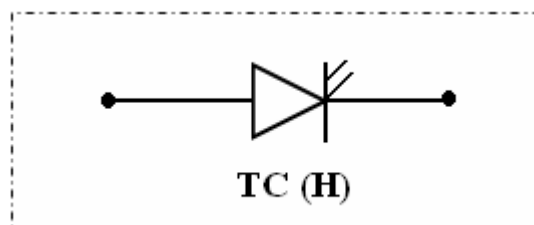
Quand la diode « D » conduisant  $U_t = E$ .

Il suffit d'envoyer une impulsion, d'amorçage à thyristor « T » il se ferme ce qui rend  $U_D = - E$  et la diode « D » ouvre.

La commutation thyristor diode « T-D » à  $t = \alpha T$  est forcée, il faut donc prévoir un circuit auxiliaire pour ouvrir le thyristor « T ».

L'ensemble formé par un thyristor et son circuit auxiliaire de blocage est interrupteur commandé a la fermeture et l'ouverture appelé thyristor commandé (TC) ou hacheur (H).

### 1.3 Symbole de hacheur :



## 2. Hacheur série (hacheur dévolteur) :

Le générateur est une source de tension parfaite de F.E.M (E) unidirectionnelle en courant.

Le récepteur qui compte tenu de la nature du générateur, doit avoir la nature d'une source de courant et lui-même unidirectionnel en tension et en courant Fig." 6 ".

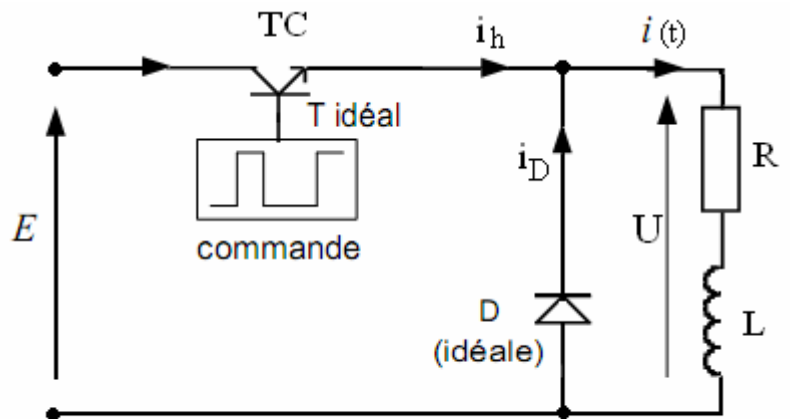


Fig." 6 "

Dans ce schéma le transistor

commandé est placé en série dans la

liaison de la source au récepteur, il permet de réduire la façon continue la tension moyenne

$U_{\text{moy}}$  appliquée à celui-ci :

### 2.1 Charge R, L :

Si :

T est la période du fonctionnement du hacheur ( $f = \frac{1}{T}$  sa fréquence)

- $\alpha T$  c'est l'intervalle de fermeture de TC
- $\alpha$  : rapport cyclique  $0 \leq \alpha \leq 1$
- R, L le récepteur passif.

Pour  $0 \leq t \leq \alpha T$  TC conduit.

$$i_h = i(t), i(D) = 0$$

$i_D$  : courant de la diode.

$i_h$  : courant du hacheur.

$i(t)$  : courant de la charge.

$$E - Ri + L \frac{di}{dt} = 0 \Rightarrow E = Ri + L \frac{di}{dt} \Rightarrow i = \frac{E}{R} + A e^{t/\tau}$$

Avec  $\tau = \frac{L}{R}$  (constante de temps).

On détermine la constante d'intégration d'après les conditions initiales de cette étape

à  $t = 0$  ,  $i(0) = I_{\min}$  (valeur minimale).

$$I_{\min} = \frac{E}{R} + A \Leftrightarrow A = I_{\min} - \frac{E}{R}$$

D'où  $i = \frac{E}{R} + (I_{\min} - \frac{E}{R}) e^{-t/\tau}$  ..... (1)

à  $T = \alpha T$   $i(\alpha T) = I_{\max} = \frac{E}{R} (I_{\min} - \frac{E}{R}) e^{-\alpha T/\tau}$  .....(1)'

Pour :  $\alpha T \leq t \leq T$  TC ouvert, D conduit.

$$U = 0 = Ri + L \frac{di}{dt} \Leftrightarrow i = B e^{-\alpha T/\tau}$$

**On détermine « B » d'après les conditions initiales :**

à  $t = \alpha T$  ,  $i(\alpha T) = I_{\max} = B e^{-\alpha T/\tau}$

$$B = I_{\max} e^{-\alpha T/\tau}$$

$$i = I_{\max} e^{(\alpha T - t)/\tau}$$
 .....(2)

$$i_h = 0 , i_D = i = I_{\max} e^{(\alpha T - t)/\tau}$$

A la fin de cette étape :

à  $t = T$   $i(t) = I_{\min}$

$$I_{\min} = I_{\max} e^{(\alpha T - T)/\tau}$$
 .....(2)'

En remplaçant (2)' dans (1)' :

$$I_{\max} = \frac{E}{R} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha T/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}}$$
 En remplaçant dans (2)' :

$$I_{\min} = \frac{E}{R} \cdot e^{-T/\tau} \left( \frac{e^{\alpha T/\tau} - 1}{1 - e^{-T/\tau}} \right)$$

**Calcul du coefficient d'ondulation du courant  $K_0$  :**

On définit  $K_0$  comme :

$$K_0 = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2I_{moy}}$$



Valeur moyenne de la tension et du courant :

D'après le graphe de U (t) on a :

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt = \frac{E}{T} (\alpha T - 0) = \alpha E$$

$$U_{moy} = \alpha E$$

$$I_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt$$

$$\alpha E = \frac{1}{T} \int_0^T R i + L \frac{di}{dt} dt = \frac{1}{T} \int_0^T R \cdot i dt + \frac{1}{T} \int_0^T L \frac{di}{dt} dt$$

$$\alpha E = R \cdot I_{moy} + \frac{1}{T} \int_0^{i(T)} dt$$

$$\alpha E = R \cdot I_{moy} + \frac{L}{T} (i)_0^{i(T)} = R \cdot I_{moy} + \frac{L}{T} (I_{min} - I_{min})$$

D'où  $I_{moy} = \frac{\alpha E}{R}$

En finissant l'approximation  $e^{-x} = 1 - x$ ,  $K_0 = \frac{T(1-\alpha)}{2\tau}$

Pour déterminer les ondulations de courant il faut :

- 1- Augmenter  $\tau = \frac{L}{R}$  en rajoutant une inductance de lissage en série avec le récepteur
- 2- Diminuer les périodes de fonctionnement du hacheur (T).
- 3- Augmenter le rapport cyclique  $\alpha$  c.à.d. augmenté les intervalles de conduction du TC

- Le courant  $i_h$  :

$$0 \leq t \leq \alpha T$$

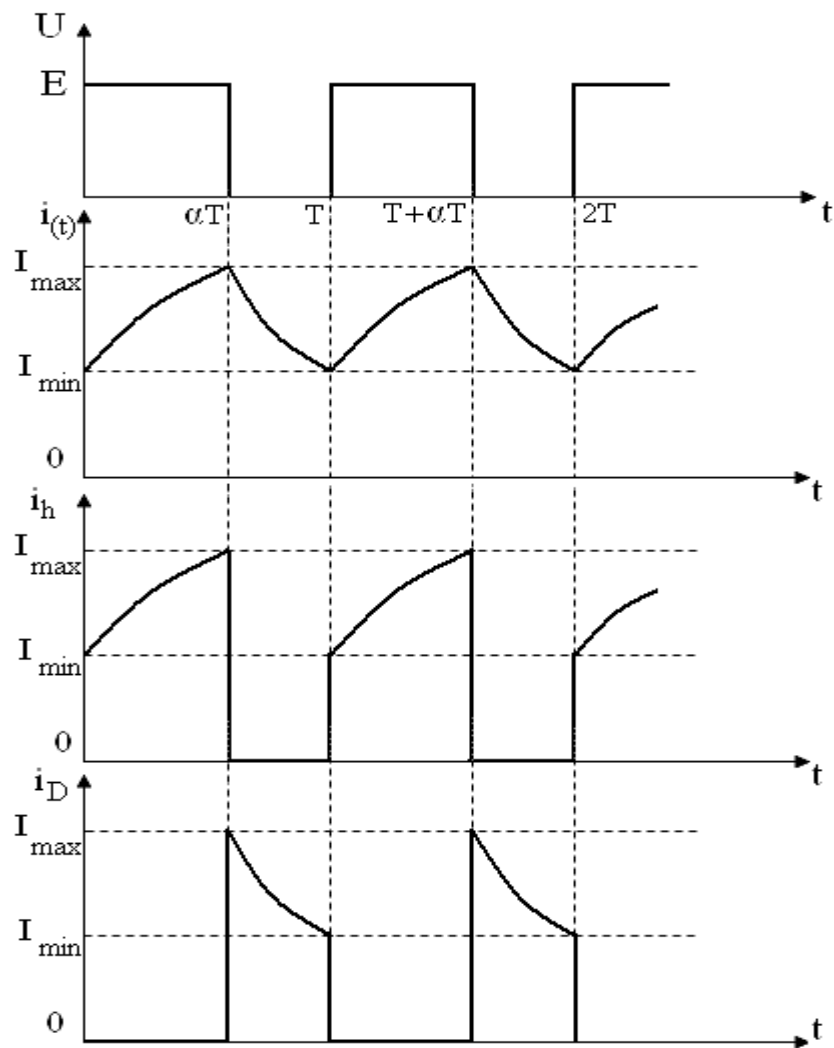
$$i_h = i \Rightarrow i_h = \frac{E}{R} \cdot (I_{min} - \frac{E}{R}) e^{-t/\tau}$$

$$\alpha T \leq t \leq T : i_h = 0$$

- Le courant  $i_D$  :

$$0 \leq t \leq \alpha T : i_D = 0, \quad \alpha T \leq t \leq T : i_D = i = I_{max} e^{(\alpha-t)T/\tau}$$

Les formes d'ondes sont données par la **Fig.'7'** :



**Fig.'7'**