

III.1 Introduction

Un hacheur est un convertisseur statique d'une tension continue fixe vers une tension continue réglable. On distingue trois types de convertisseurs continu-continu: le hacheur série, le hacheur parallèle et le hacheur série-parallèle (à accumulation). Un hacheur peut être réalisé à l'aide d'interrupteurs électroniques commandables à l'ouverture et à la fermeture telle que les thyristors GTO, les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) ou transistors à effet de champ (MOSFET). Les interrupteurs électroniques unidirectionnels, quelle que soit leur nature, peuvent être représentés par le symbole ci contre:

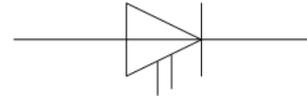
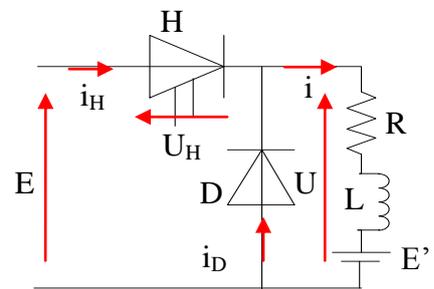


Figure 3.1: Symbole des interrupteurs unidirectionnels

III.2 Hacheur série (Buck)

La figure suivante montre un hacheur série, H est un interrupteur commandé et D une diode qui permettent de transférer de la puissance de la source, tension continue fixe E, à la charge, assimilée à un générateur de courant.



L'interrupteur H s'ouvre et se ferme périodiquement.

- fermeture de 0 à αT ,
- ouverture de αT à T,
- α est le rapport cyclique ($0 < \alpha < 1$) : $\alpha = \frac{\text{durée de fermeture de H}}{T \text{ période de hachage}}$

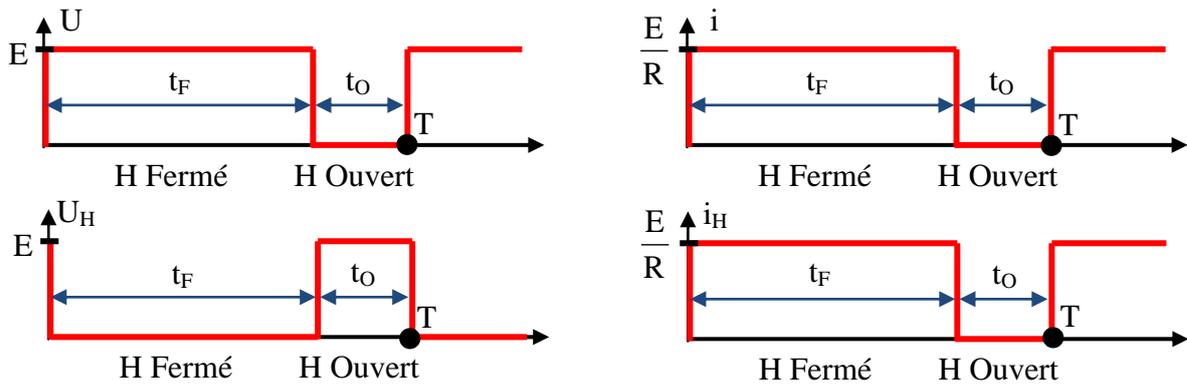
On appelle T la période du signal et $f = \frac{1}{T}$ la fréquence de hachage.

Soit t_F la durée pendant laquelle l'interrupteur H est fermé et t_o le temps d'ouverture.

On suppose que : H est parfait ($U_H = 0$ en conduction, les temps de commutation sont négligés) ; D est idéale ; et le régime est établi.

III.2.1 Charge résistive (Analyse du fonctionnement)

H	Fermé ($0 \rightarrow \alpha T$) (t_F)	Ouvert ($\alpha T \rightarrow T$) (t_o)
U	E	0
U_H	0	E
i	$\frac{E}{R}$	0
i_H	$\frac{E}{R}$	0



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

$$i_{\text{moy}} = \frac{E\alpha}{R}$$

On conclut que le hacheur série fonctionne comme abaisseur de tension ou dévolteur

III.2.2 Charge résistive et inductive

Si H fermé: le courant dans la charge (accumulation de l'énergie).

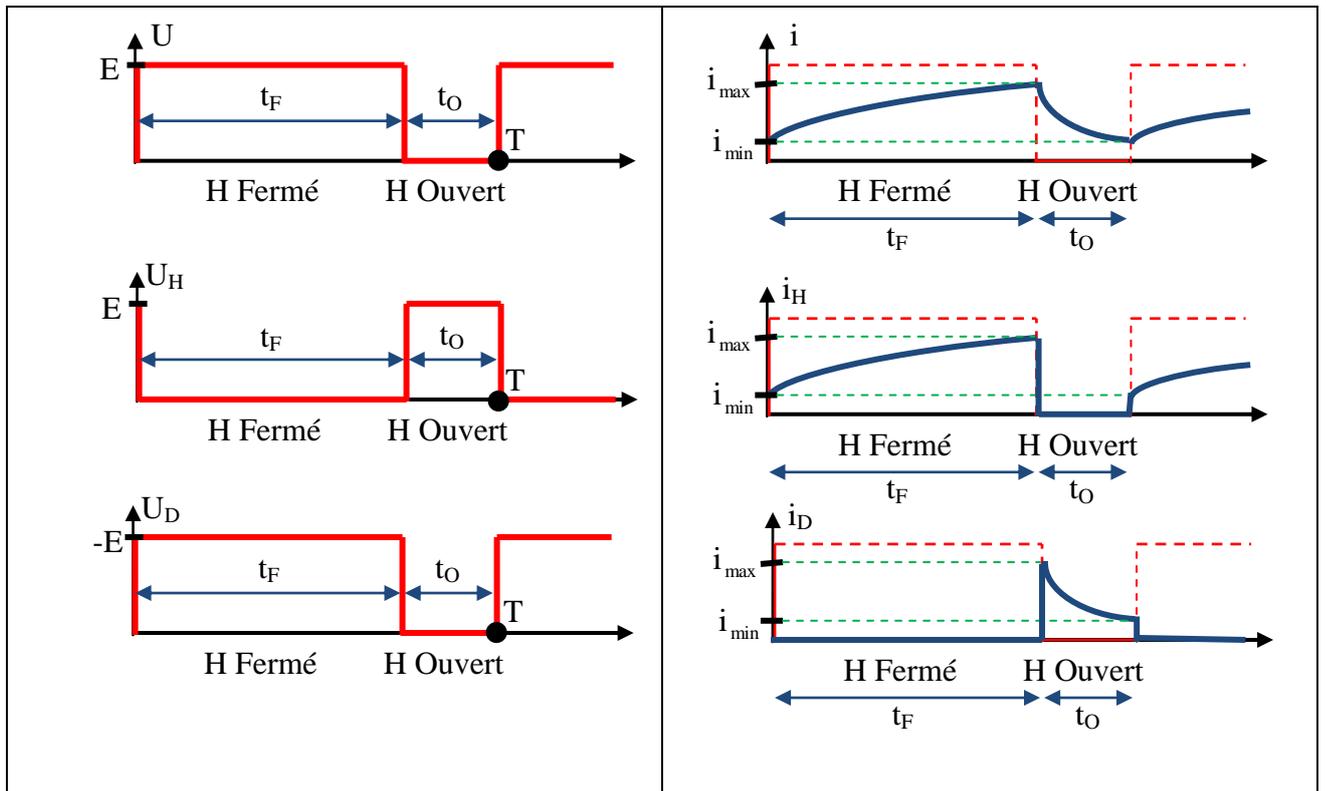
Si H ouvert: décharge d'inductance à travers la diode (période de roue libre).

H	Fermé ($0 \rightarrow \alpha T$) (t_F)	Ouvert ($\alpha T \rightarrow T$) (t_O)
D	D est bloquée	D est passante
U	E	0
U_H	0	E
U_D	-E	0
i	$U = Ri + \frac{Ldi}{dt} = E \rightarrow i = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E}{R}$	$U = Ri + \frac{Ldi}{dt} = 0 \rightarrow i = A'e^{-\frac{R}{L}t}$
i_H	$i_H = i$	0
i_D	0	$i_D = i$

NB: Les constantes sont déterminées à partir des conditions initiales.

On suppose à $t=0$, $i(0)=i_{\text{min}}$ et $t=\alpha T$, $i(\alpha T)=i_{\text{max}}$

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



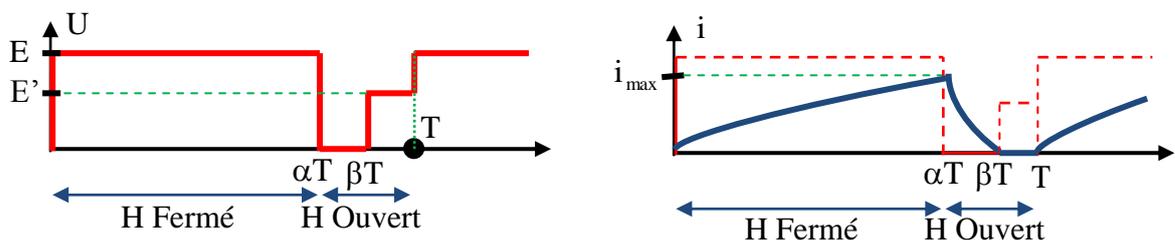
III.2.3 Charge résistive, inductive et f.e.m (E')

La charge est par exemple un moteur à courant continu (R, L et E'). On distingue donc deux types de fonctionnement selon que le courant dans la charge i est interrompu ou non.

III.2.3.1 Fonctionnement à courant interrompu (conduction discontinue)

H	Fermé (0 → αT)	Ouvert (αT → βT)	Ouvert (βT → T)
D	D est bloquée	D fermée	D ouverte
U	E	0	E'
i	$E' + Ri + \frac{Ldi}{dt} = E \rightarrow$ $i = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E - E'}{R}$	$E' + Ri + \frac{Ldi}{dt} = 0 \rightarrow$ $i = Ae^{-\frac{R}{L}t} - \frac{E'}{R}$	0
iH	$i_H = i$	0	0
iD	0	$i_D = i$	0

NB : On suppose à t=0, i(0)=0 et t=αT, i(αT)=i_{max}



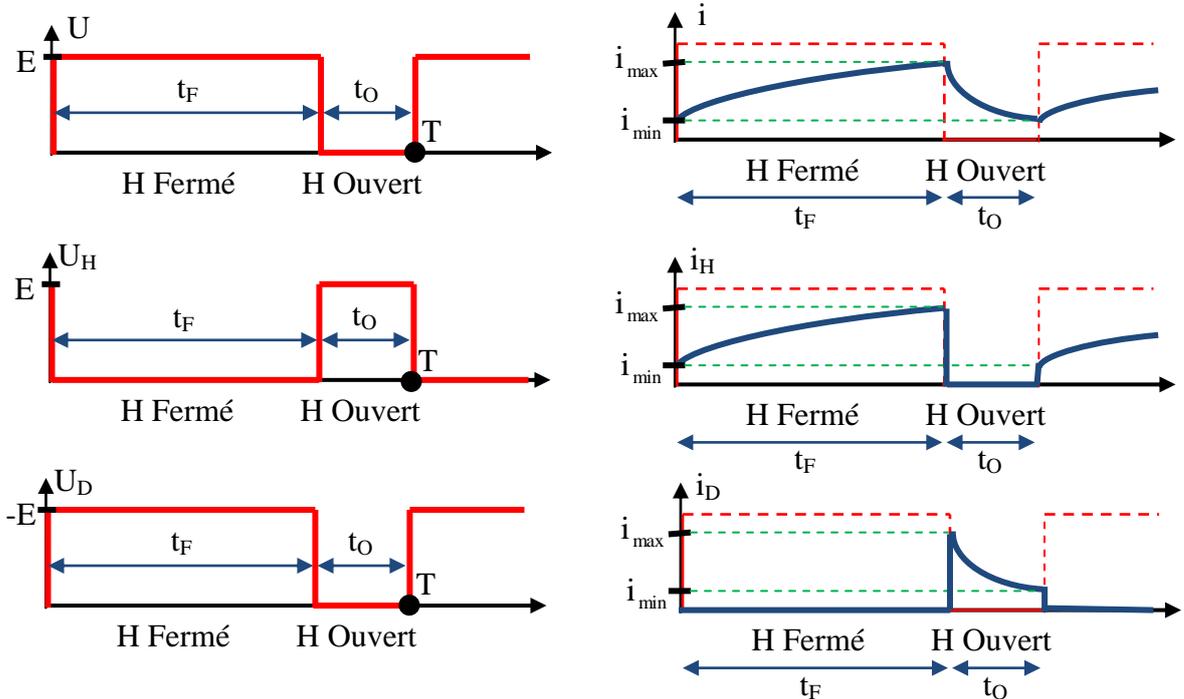
$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \rightarrow U_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt + \int_{\beta T}^T E' dt \rightarrow U_{\text{moy}} = E\alpha + (1-\beta)E'$$

III.2.3.2 Fonctionnement à courant ininterrompu (conduction continue)

H	Fermé (0 → αT)	Ouvert (αT → T)
D	D est bloquée	D est passante
U	E	0
i	$E' + Ri + \frac{Ldi}{dt} = E \rightarrow$ $i = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E - E'}{R}$	$E' + Ri + \frac{Ldi}{dt} = 0 \rightarrow$ $i = Ae^{-\frac{R}{L}t} - \frac{E'}{R}$
i _H	i _H = i	0
i _D	0	i _D = i

NB: Les constantes sont déterminées à partir des conditions initiales.

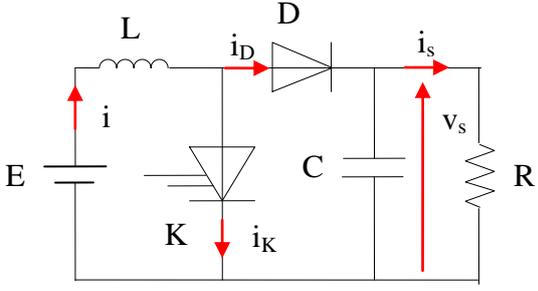
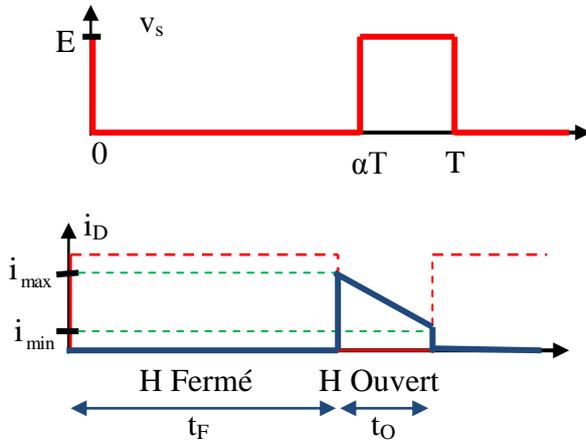
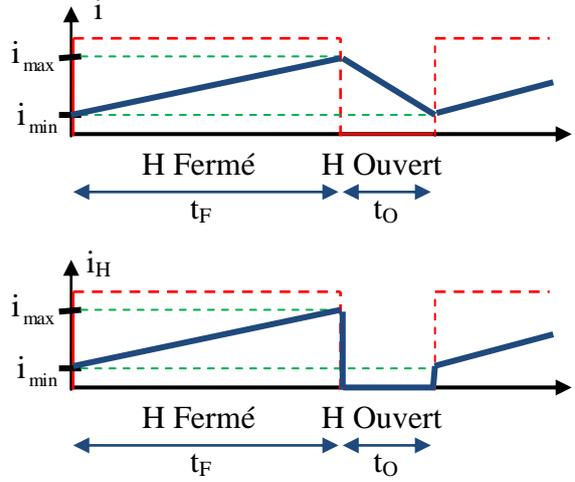
On suppose à t=0, i(0)=i_{min} et à t=αT, i(αT)=i_{max}



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

III.3 Hacheur parallèle (Boost)

Il est composé essentiellement d'un interrupteur K (comme IGBT ou MOSFET) et d'une diode D . L'interrupteur K est commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion (MLI) de période de découpage fixe T et de rapport cyclique variable α . La conduction des deux interrupteurs est complémentaire, quand K est fermé D est ouverte ; et quand K est ouvert, D est fermée.

	<p>Pour $0 < t < \alpha T$: K fermé, D ouverte</p> $\frac{di}{dt} = \frac{E}{L} \Rightarrow i - I_{\min} = \frac{E}{L} t$ $i(\alpha T) = I_{\max}$ $I_{\max} - I_{\min} = \frac{E}{L} \alpha T$ <p>Pour $\alpha T < t < T$: K ouvert, D fermée</p> $\frac{di}{dt} = \frac{E - v_s}{L} \Rightarrow i - I_{\max} = \frac{E - v_s}{L} (t - \alpha T)$ $i(T) = I_{\min}$ $I_{\max} - I_{\min} = \frac{v_s - E}{L} (1 - \alpha) T$ <p>L'égalité des 2 expressions de l'ondulation de courant, nous donne :</p> $\frac{v_s}{E} = \frac{1}{1 - \alpha}$
	
<p>On remarque qu'on peut contrôler la tension de sortie du convertisseur en faisant varier sa tension d'entrée ou son rapport cyclique. Celui-ci étant toujours compris entre 0 et 1, alors le montage fonctionne en élévateur de tension.</p> <p>Danger: si le rapport cyclique tend vers 1, la tension de sortie tend vers l'infini.</p>	

III.3 Hacheur série-parallèle (Buck-boost)

La tension de sortie du convertisseur Buck-Boost est négative par rapport à la tension d'entrée. Son amplitude peut être supérieure ou inférieure à celle de la tension d'entrée selon la valeur du rapport cyclique. C'est un abaisseur-élévateur-inverseur en tension.

	<p>Pour $0 < t < \alpha T$: K fermé, D ouverte</p> $\frac{di_L}{dt} = \frac{E}{L} \Rightarrow i_L - I_{\min} = \frac{E}{L}t$ $i_L(\alpha T) = I_{\max}$ $I_{\max} - I_{\min} = \frac{E}{L}\alpha T$ <p>Pour $\alpha T < t < T$: K ouvert, D fermée</p> $\frac{di_L}{dt} = \frac{-v_s}{L} \Rightarrow i_L - I_{\max} = \frac{-v_s}{L}(t - \alpha T)$ $i_L(T) = I_{\min}$ $I_{\max} - I_{\min} = \frac{v_s}{L}(1 - \alpha)T$ <p>L'égalité des 2 expressions de l'ondulation de courant, nous donne :</p> $\frac{v_s}{E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$
	<p>C suffisamment grande pour maintenir la tension presque constante $v_s = V_s$. On peut retrouver le rapport de transformation autrement :</p> $v_{L\text{moy}} = E\alpha T + (-V_s)(1 - \alpha)T = 0$
<p>Le montage fonctionne en abaisseur de tension pour $\alpha < 0.5$ et en élévateur de tension pour $\alpha > 0.5$.</p>	

III.4 Hacheur 2 quadrants réversible en courant

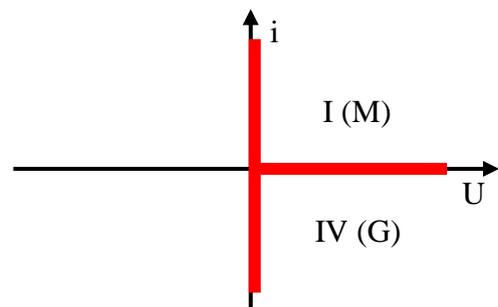
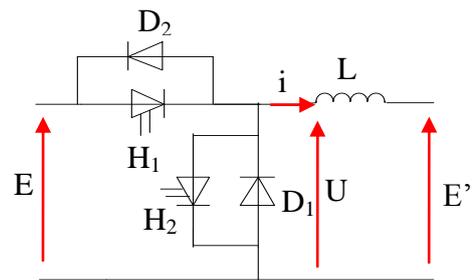
Un hacheur deux quadrants associe un hacheur série (H_1 et D_1) et un hacheur parallèle (H_2 et D_2). Il est réversible en courant mais pas en tension ; l'énergie est transférée de la source de tension continue vers la source de courant continu si $I_s > 0$, et réciproquement si $I_s < 0$.

- de $t = 0$ à $t = \alpha T$, K_1 est fermé et K_2 ouvert ; - de $t = \alpha T$ à $t = T$, K_1 est ouvert et K_2 fermé. On trouve : $U_{\text{moy}} = \alpha E$

Exemple :

Moteur / frein avec sens de rotation constant.

- si H_1, D_1 passants : hacheur série, machine en

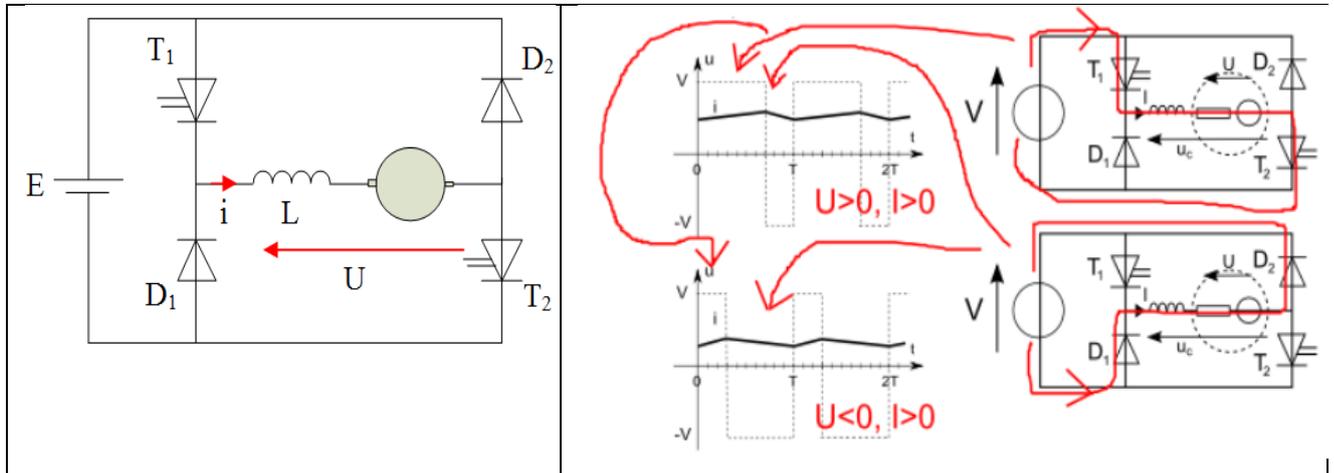


mode moteur, ($U_{moy} > 0 \ \& \ i_{moy} > 0 \rightarrow \Omega(+)$)

- si H_2, D_2 passants : hacheur parallèle, machine en mode génératrice ($U_{moy} > 0 \ \& \ i_{moy} < 0 \rightarrow \Omega(+)$)

III.5. Hacheur 2 quadrants réversible en tension

La structure ci-dessous permet la réversibilité en tension.



$$U_{moy} = (2\alpha - 1)E$$

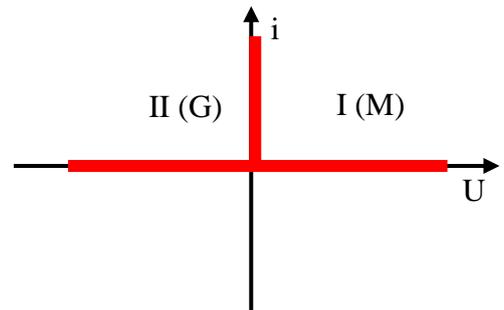
Exemple :

Moteur / frein avec changement de sens de rotation.

- si $\alpha > \frac{1}{2}$: hacheur série, machine en mode moteur (

$$U_{moy} > 0 \ \& \ i_{moy} > 0 \rightarrow \Omega(+)$$

- si $\alpha < \frac{1}{2}$: hacheur série, machine en mode génératrice ($U_{moy} < 0 \ \& \ i_{moy} > 0 \rightarrow \Omega(-)$)



III.6. Hacheur 4 quadrants réversible en tension et en courant

Un hacheur quatre quadrants associe deux hacheurs demi-pont. Il est réversible en courant et en tension ;

- de 0 à αT , K_1 et K_3 fermés, K_2 et K_4 ouverts.
- de αT à T , K_1 et K_3 ouverts, K_2 et K_4 fermés.

