

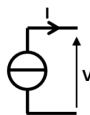
L'électronique de puissance optimise la gestion de l'énergie grâce aux convertisseurs statiques, comme les hacheurs. Ces derniers régulent la vitesse dans le cas des machines à courant continu et comme aussi utilise pour adapter l'énergie solaire aux batteries via les régulateurs MPPT.



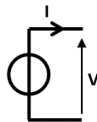
Notions de bases

1- Les sources

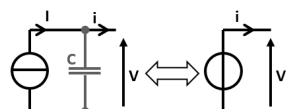
o **Source de tension** : la tension est constante malgré les variations de courant à ses bornes



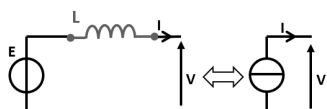
o **La source de courant** : le courant fournit par la source est constant quelque soit les variations de tension à ses bornes.



2- Les Transformation des sources.



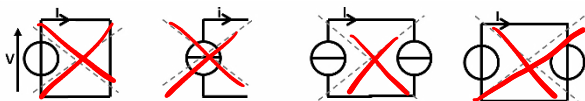
Une source de courant **en parallèle** avec une condensateur, il se transforme en une source de tension



Une source de tension **en série** avec une inductance, il se transforme en une source de courant.

3- Les règles d'association des sources

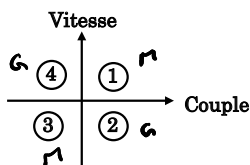
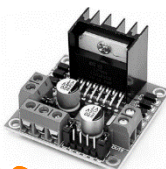
- Une source de tension peut être ouverte mais jamais court-circuitée.
- Une source de courant peut être court-circuitée mais jamais ouverte.
- Ne jamais connecter deux sources de même nature entre elles.



Hacheur 4 quadrants

1- Schéma de principe

Le hacheur à 4 quadrants permet de faire fonctionner le moteur dans tous les quadrants possibles : il peut être utilisé à la fois comme moteur et comme génératrice, et cela dans les deux sens de rotation.

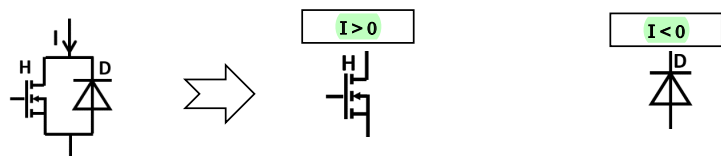


On distingue de mode de fonctionnement :

- o Si le produit  $C \times \Omega > 0$  : fonctionnement moteur.
- o Si le produit  $C \times \Omega < 0$  : fonctionnement génératrice.

2- Les interrupteurs de puissance utilisés

Le Hacheur 4 quadrants est un pont en H est constitué de quatre interrupteurs de puissance (MOSFET en parallèle avec une diode) qui permet d'assurer la réversibilité en courant



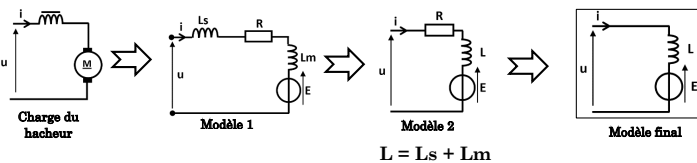
Remarque : Le transistor MOSFET reste bloqué malgré l'application de l'ordre de commande tant que le courant qui le traverse est négatif

3- Hypothèses :

- o Source d'entrée : source de tension réversible en courant (batterie)
- o Source de sortie : source de courant (machine à courant continu)
- o Conduction est continue

4 - Source de sortie : MCC + Bobine de lissage

La source de sortie : MCC (charge R, Lm et E en série) et bobine de lissage (Ls)



$L = Ls + Lm$

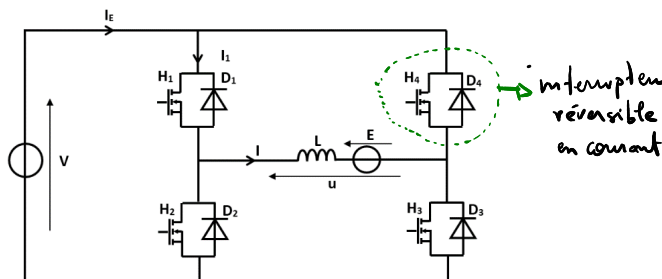
o L'équation régissant l'évolution de courant dans la charge :  $\frac{L}{R} \frac{di(t)}{dt} + i(t) = \frac{u(t)-E}{R}$

On suppose :  $\tau = \frac{L}{R} \gg T$  (donc l'effet de résistance R est sera négligé) avec T est la période de hachage. On se ramène au Modèle final :

MCC + Bobine de lissage = charge LE (modèle final) Source de courant

5 - Structure de hacheur 4 quads

Le hacheur parallèle est composé d'un transistor MOSFET qui réalise la phase roue libre et une diode de puissance.



2- Commande des interrupteurs

Il existe plusieurs stratégies de commande des transistors :

- o La commande séquentielle :  $(u > 0 - u = 0)$  ou  $(u < 0 - u = 0)$
- o La commande bipolaire :  $(u > 0 - u < 0)$

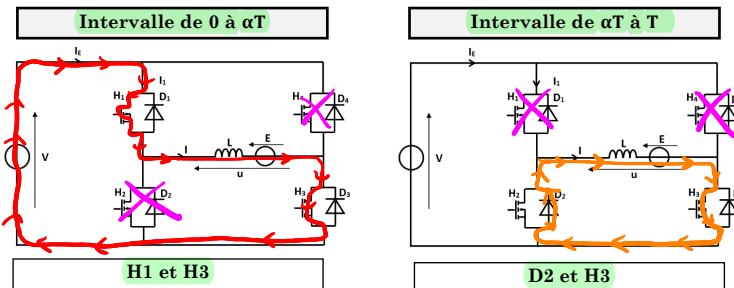
Hacheur 4 quadrants : Commande séquentielle

1 - stratégie de commande

Sens de rotation	Tension u	$t \in [0, \alpha T]$	$t \in [\alpha T, T]$
Sens positif	$u \geq 0$ et $i > 0$	H1 - H3	H2 - H3
Sens négatif	$u \leq 0$ et $i < 0$	H2 - H4	H1 - H4

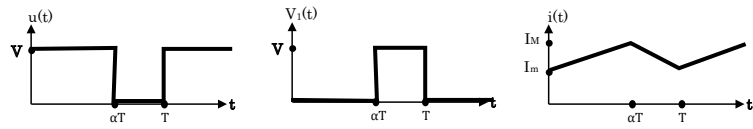
2- Etude pour le cas :  $u \geq 0$  et  $i > 0$

❖ Interrupteur en conduction



❖ Expressions

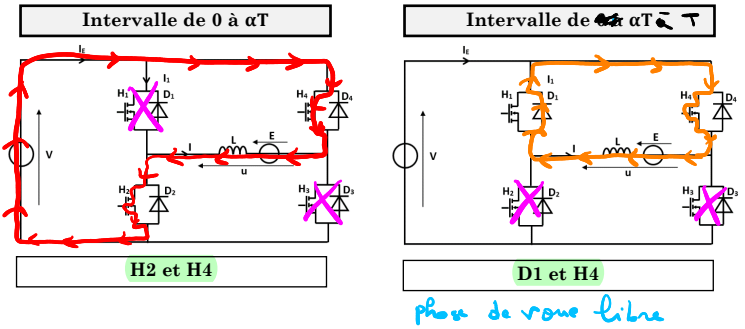
Intervalle	u (t)	V1(t)
$t \in [0, \alpha T]$	V	0
$t \in [\alpha T, T]$	0	V



Remarque : Cette stratégie de pilotage, nous ramène au même schéma du hacheur série (voir Hacheur série). Compléter le schéma suivant en plaçant les notations des interrupteurs convenables.

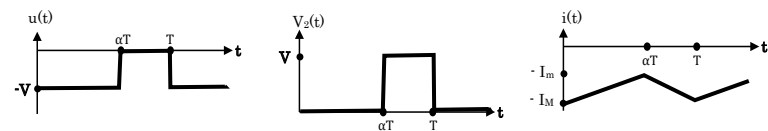
2- Etude pour le cas :  $u \leq 0$  et  $i < 0$

❖ Interrupteur en conduction



❖ Expressions

Intervalle	$u(t)$	$V2(t)$
$t \in [0, \alpha T]$	$-V$	$0$
$t \in [\alpha T, T]$	$0$	$V$



Hacheur 4 quadrants : Commande bipolaire

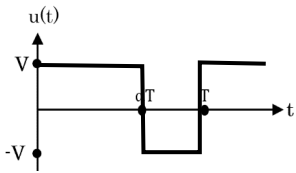
1- Stratégie de commande

Intervalle	Les interrupteurs commandés	$u(t)$
$t \in [0, \alpha T]$	H1 - H3	$V$
$t \in [\alpha T, T]$	H2 - H4	$-V$

2- la valeur moyenne de  $u(t)$

Définition :  $\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$ , les tensions prennent forme triangulaire, donc :

$\langle u \rangle = \frac{\text{Surface}}{T}$



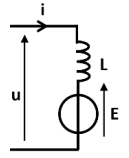
$\langle u \rangle = (2\alpha - 1)V$   
 o  $\langle u \rangle > 0$  si  $\alpha > 0,5$   
 o  $\langle u \rangle < 0$  si  $\alpha < 0,5$

3- La relation entre E et V

- o D'après loi des mailles :  $u(t) = v_L(t) + E$
- o Valeur moyenne :  $\langle u(t) \rangle = \langle v_L(t) \rangle + \langle E \rangle$

La valeur moyenne de la tension de la bobine :  $\langle v_L(t) \rangle = 0$

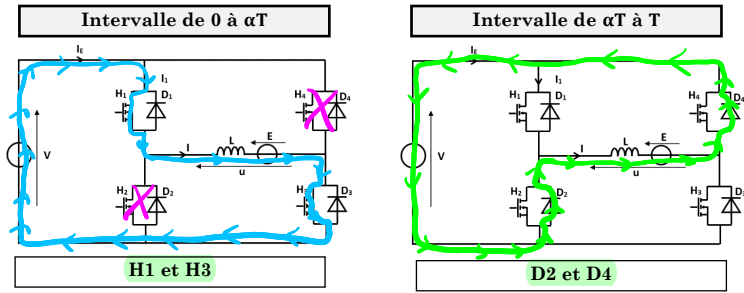
D'où :  $\langle u(t) \rangle = E \Rightarrow E = (2\alpha - 1)V$



Il existe trois cas d'étude :  $i(t) > 0$ ,  $i(t) < 0$  et  $i(t)=0$

4- le courant est positif  $i(t) > 0$  : Fonctionnement moteur

❖ Interrupteur en conduction



source d'entrée doit être réversible en courant

❖ L'expression de courant dans l'intervalle  $t \in [0, \alpha T]$

- o La tension  $u(t)$  :  $u(t) = V$
- o L'équation de maille coté charge :  $u(t) = v_L(t) + E = V$
- o L'équation différentielle :  $\frac{di(t)}{dt} = \frac{V-E}{L} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{2(1-\alpha) \cdot V}{L}$
- o Résolution :  $i(t) = \frac{2(1-\alpha) \cdot V}{L} t + I_m$

❖ L'expression de courant dans l'intervalle  $t \in [\alpha T, T]$

- o La tension  $u(t)$  :  $u(t) = -V$
- o L'équation de maille coté charge :  $u(t) = v_L(t) + E = -V$
- o L'équation différentielle :  $\frac{di(t)}{dt} = \frac{-V-E}{L} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{-2\alpha V}{L}$
- o Résolution :  $i(t) = \frac{-2\alpha V}{L} (t - \alpha T) + I_m$

5- Ondulation de courant  $\Delta i$

❖ Expression de l'ondulation de courant.

L'ondulation crête à crête du courant  $i(t)$  s'exprime par :  $\Delta i = I_m - I_m$

Prenons l'intervalle :  $t \in [0, \alpha T]$

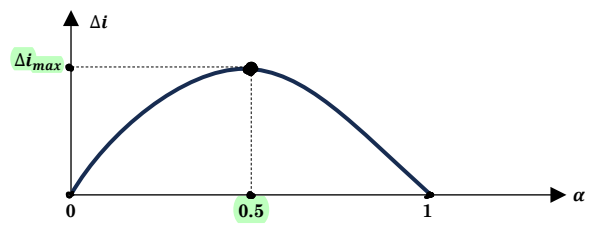
$\begin{cases} i(t) = \frac{2(1-\alpha) \cdot V}{L} t + I_m \\ i(\alpha T) = I_m \end{cases} \Rightarrow \Delta i = \frac{2\alpha(1-\alpha)V}{L \cdot F}$

Avec :  $F = 1/T$  est la fréquence de hachage

❖ Diminution de l'ondulation de courant

Pour réduire l'ondulation, il est d'abord nécessaire de déterminer l'ondulation maximale. En réduisant cette dernière, il devient possible d'obtenir un courant presque continu.

- o La valeur du rapport cyclique pour laquelle l'ondulation atteint son maximum est déterminée par la condition  $\frac{d\Delta i}{d\alpha} = 0$ , ce qui correspond à une ondulation maximale lorsque  $\alpha = 0.5$ .
- o Donc l'ondulation maximale est exprimée par :  $\Delta i_{max} = \frac{V}{2LF}$



Pour réduire l'ondulation de courant, on doit agir sur :

- o Augmentation de la valeur de la bobine de lissage (solution limitée par l'encombrement et au coût).
- o Augmentation de la fréquence de hachage (solution limitée par les performances des interrupteurs de puissances).