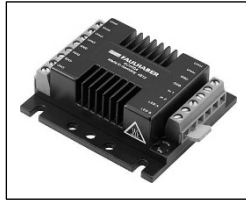


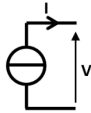
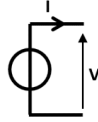
L'électronique de puissance optimise la gestion de l'énergie grâce aux convertisseurs statiques, comme les hacheurs. Ces derniers régulent la vitesse dans le cas des machines à courant continu et comme aussi utilise pour adapter l'énergie solaire aux batteries via les régulateurs MPPT.



Notions de bases

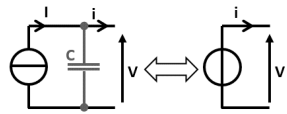
1- Les sources

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

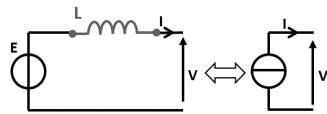


o **La source de courant** : le courant fourni par la source est constant quelque soit les variations de tension à ses bornes.

2- Les Transformation des sources.



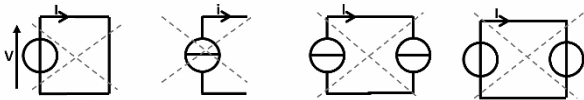
Une source de courant **en parallèle** avec une condensateur, il se transforme en une source de tension



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

3- Les règles d'association des sources

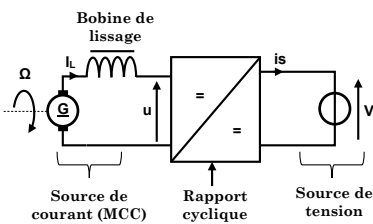
- Une source de tension peut être ouverte mais jamais court-circuitée.
- Une source de courant peut être court-circuitée mais jamais ouverte.
- Ne jamais connecter deux sources de même nature entre elles.



Hacheur parallèle

1- Schéma de principe

Les hacheurs convertissent une tension continue en une autre tension continue de valeur moyenne variable, permettant de piloter une machine à courant continu (MCC) en mode génératrice dans le **quadrant 2** du plan $C=f(\Omega)$



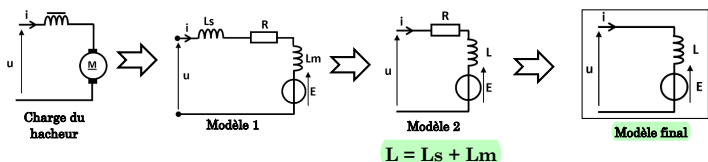
Bobine de lissage : c'est une bobine spécialement conçue à lisser le courant $i_s(t)$ pour le rendre quasiment continu possible.

Hypothèses :

- o Source d'entrée : MCC (génératrice) + bobine de lissage = source de courant
- o Source de sortie : source de tension
- o Conduction : continue $i(t) > 0$ et que $V > E$

2- Source d'entrée : MCC + Bobine de lissage

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



$L = L_s + L_m$

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

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

Etude de Hacheur parallèle

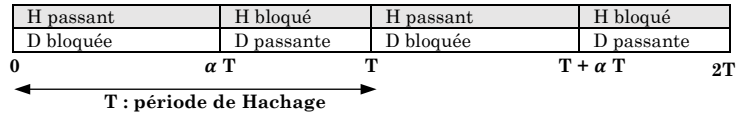
1- Structure de hacheur parallèle

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



Le hacheur parallèle tire son nom du fait que l'interrupteur commandé (MOSFET) est placé en parallèle avec la source d'entrée

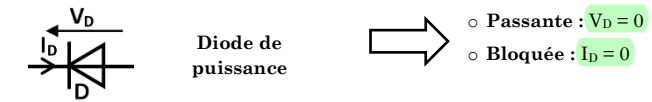
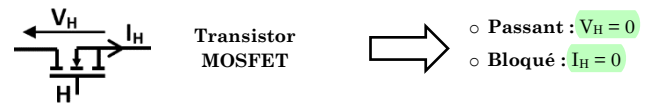
2- Commande des interrupteurs



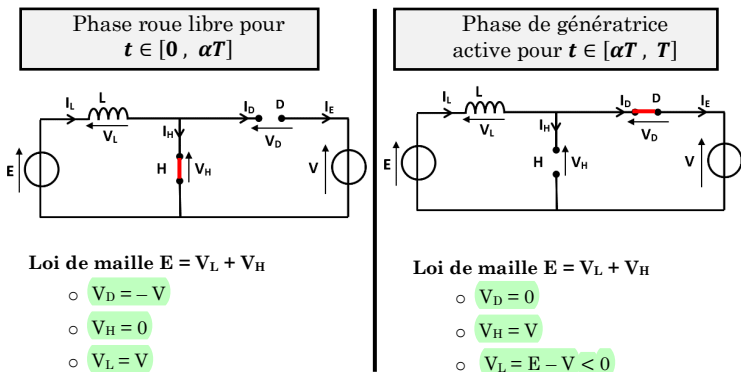
On note α le rapport cyclique : $\alpha = \frac{\text{Durée de fermeture de H}}{\text{Période de Hachage}}$

3- Interrupteurs de puissance

On suppose que les interrupteurs sont parfaits :



4- Etude des tensions V_H , V_D et V_L

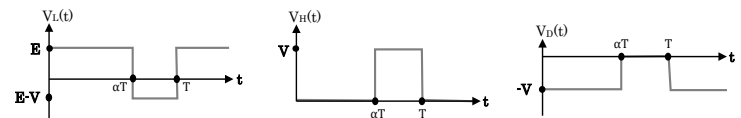


Loi de maille $E = V_L + V_H$

- o $V_D = -V$
- o $V_H = 0$
- o $V_L = V$

Loi de maille $E = V_L + V_H$

- o $V_D = 0$
- o $V_H = V$
- o $V_L = E - V < 0$



❖ Valeur moyenne des tensions

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

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

$\langle v_H \rangle = (1 - \alpha) V$

$\langle v_D \rangle = -\alpha V$

❖ La relation entre E et V

o Méthode 1 : allure de $V_L(t)$

À partir de l'allure de $V_L(t)$, on a que $\langle v_L \rangle = \alpha V + (1 - \alpha)(E - V)$

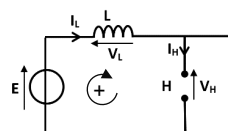
Le courant $i_L(t)$ est périodique donc : $\langle v_L \rangle = 0$

D'où : $\alpha V + (1 - \alpha)(E - V) = 0 \Rightarrow V = \frac{E}{1 - \alpha}$

o Méthode 2 : à partir de la loi des mailles

• On a : $E = V_L + V_H \Rightarrow \langle E \rangle = \langle V_L \rangle + \langle V_H \rangle$

Comme $\langle v_L \rangle = 0 \Rightarrow \langle V_H \rangle = E$



Or : $\langle v_H \rangle = (1 - \alpha) V \Rightarrow (1 - \alpha) V = E$, d'où : $V = \frac{E}{1 - \alpha}$

5- Etude des courants $i_D(t)$, $i_H(t)$ et $i_L(t)$

Hypothèse : le courant dans la charge ne s'annule jamais et varie entre I_m et I_M , tel que : $0 < I_m < i_L(t) < I_M$

❖ **Expression du courant pour $t \in [0, \alpha T]$**

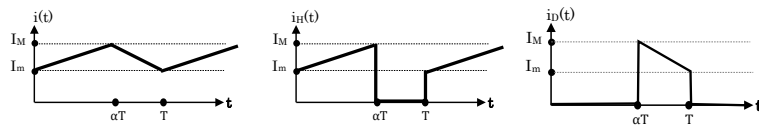
- o La tension $u(t)$: $V_H(t) = 0$.
- o L'équation de maille coté charge : $E = v_L(t) + V_H(t) = 0$.
- o L'équation différentielle : $\frac{di(t)}{dt} = \frac{E}{L} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{(1 - \alpha) \cdot V}{L}$ (Avec $V = \frac{E}{1 - \alpha}$)
- o Résolution : $i(t) = \frac{(1 - \alpha) \cdot V}{L} t + I_m$

❖ **Expression du courant pour $t \in [\alpha T, T]$**

- o La tension $u(t)$: $V_H(t) = V$.
- o L'équation de maille coté charge : $E = v_L(t) + V_H(t) = 0$.
- o L'équation différentielle : $\frac{di(t)}{dt} = \frac{E - V}{L} \Rightarrow \frac{di(t)}{dt} = \frac{-\alpha V}{L}$
- o Résolution : $i(t) = -\frac{\alpha V}{L} (t - \alpha T) + I_M$

Finalement le courant $i_D(t)$, $i_H(t)$ et $i_E(t)$

Intervalle	$i_H(t)$	$i_e(t)$	$i_D(t)$
$t \in [0, \alpha T]$	$i(t)$	0	0
$t \in [\alpha T, T]$	0	$i(t)$	$i(t)$



❖ **La valeur moyenne de $i_H(t)$, $i_D(t)$ et $i(t)$**

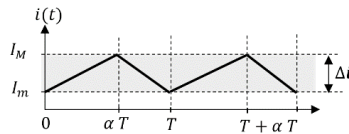
Appliquant la méthode de surface pour calculer la valeur moyenne :

- o $\langle i \rangle = \frac{I_M + I_m}{2}$
- o $\langle v_H \rangle = \alpha \langle i \rangle$
- o $\langle v_H \rangle = (1 - \alpha) \langle i \rangle$

L'ondulation de courant Δi

1- 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 : $t \in [0, \alpha T]$

$$\begin{cases} i(t) = \frac{(1 - \alpha) \cdot V}{L} t + I_m \\ i(\alpha T) = I_M \end{cases} \Rightarrow \Delta i = \frac{\alpha(1 - \alpha)V}{L \cdot F}$$
 Avec : $F = 1 / T$ est la fréquence de hachage

2- Effets de l'ondulation de courant

Le courant $i(t)$ s'écrit : $i(t) = \langle i \rangle + i_{ond}(t)$

Une augmentation de l'ondulation Δi , entrainera :

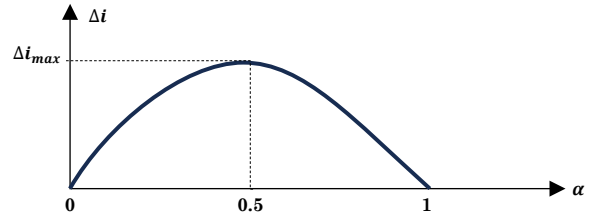
- o Augmentation du courant efficace $I_{eff} \left(I_{eff} = \sqrt{\langle i \rangle^2 + I_{ond}^2} \right)$
- o Les pertes joule de l'induit augmentent (échauffement de la machine) donc faible rendement
- o Les pertes de commutation augmentent
- o La vibration de la machine : $C_{em} = K_c \cdot i(t)$

3- 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 : $\Delta i_{max} = \frac{V}{4 L F}$



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).