

<b>Cours</b>	<b>Cours MOD 2</b>	<b>TS11 (Période 2)</b>
	<b>Association hacheur - moteur</b>	<b>1h</b>
	<b>Cycle 4 : Moduler</b>	<b>2 semaines</b>

**MODELISER** : Modéliser le signal d'entrée.

**RESOUDRE** : Proposer une démarche permettant de déterminer des grandeurs électriques.

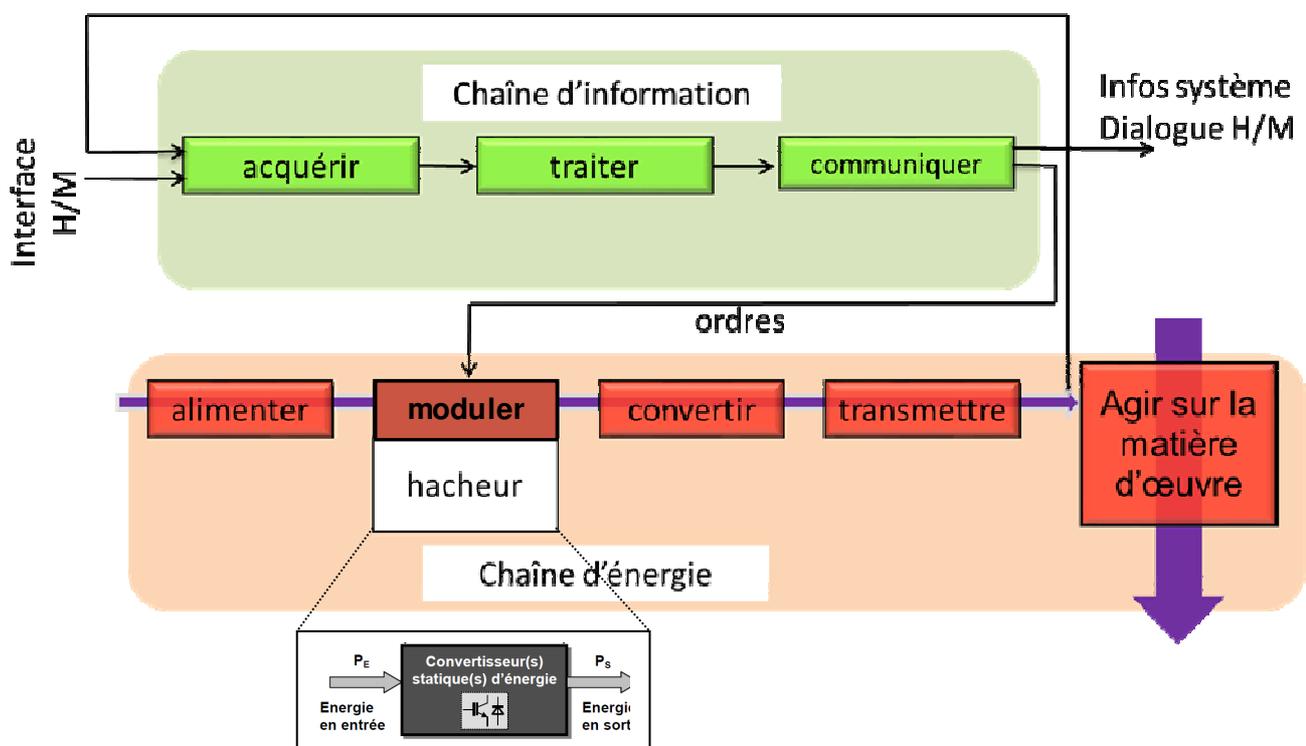
**RESOUDRE** : Déterminer les signaux électriques dans les circuits.

**EXPERIMENTER** : Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.

**CONCEVOIR** Choisir la technologie des composants de la chaîne de puissance.

## 1 Introduction

Dans l'architecture fonctionnelle générique d'un système pluri technologique, les convertisseurs (ici le hacheur série) assurent la fonction technique « **Moduler** » de la chaîne d'énergie.



Les hacheurs opèrent une **conversion continu - continu**. Leur principal domaine d'application est l'alimentation des **machines à courant continu (MCC)**, en vue d'obtenir une vitesse variable. Ils peuvent ou non transférer dans les deux sens de l'énergie entre une **source de tension constante V** et une **charge de type courant** (MCC  $\Rightarrow$  charge R, L, E).

**Le convertisseur peut être réversible en courant et / ou tension.**

On rencontre ces convertisseurs dans la **chaîne d'énergie** des produits industriels suivants :



Hacheur série



Hacheur réversible en courant



Hacheur réversible en tension

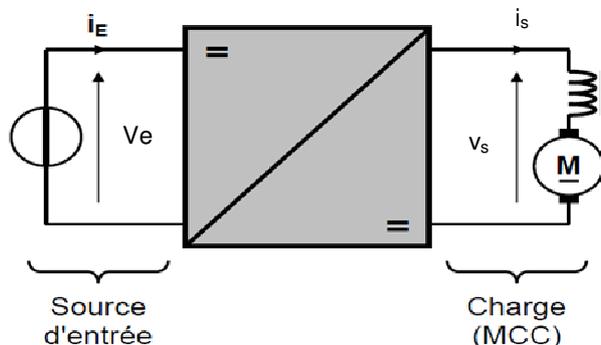


Hacheur réversible en courant et tension

## 2 Hacheur

Le hacheur série permet de transférer l'énergie d'une source de tension continue (batterie d'accumulateur, alimentation stabilisée, etc.) vers une charge de type source de courant (moteur à courant continu).

Lors des phases de freinage, on peut récupérer une partie de l'énergie cinétique en faisant transiter la puissance de la MCC vers la source (fonctionnement génératrice).



**Le convertisseur devra alors être réversible en courant et / ou tension.**

On rencontre ces convertisseurs dans la **chaîne d'énergie** des produits industriels suivants :



Hacheur série



Hacheur réversible en courant



Hacheur réversible en tension



Hacheur réversible en courant et tension

### 2.1 Structure du hacheur série

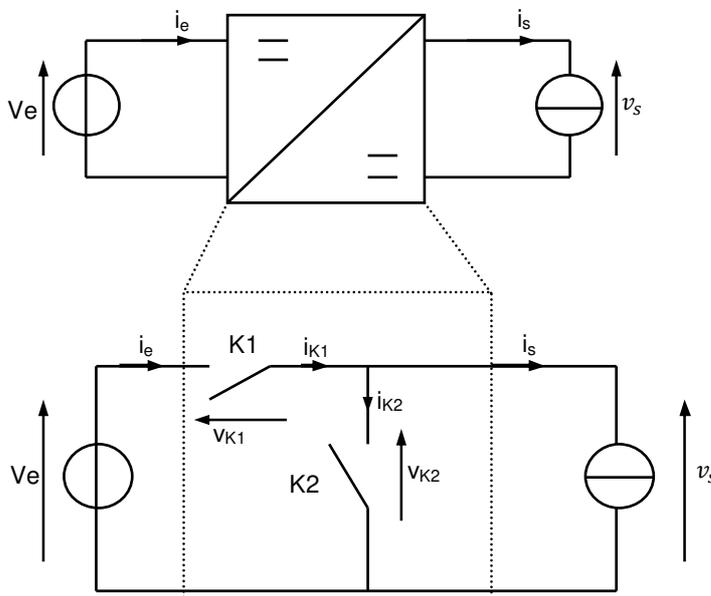
Le hacheur série, dit aussi hacheur abaisseur permet d'associer :

- une source de tension toujours positive ( $V_e > 0$ )
- une source de courant toujours positif ( $i_s > 0$ ).

La source de courant est souvent une machine à courant continu éventuellement en série avec une bobine de lissage.

Le hacheur série est constitué de deux interrupteurs K1 et K2 fonctionnant de manière périodique (soit T la période de hachage) et complémentaire :

$K2 = \overline{K1}$



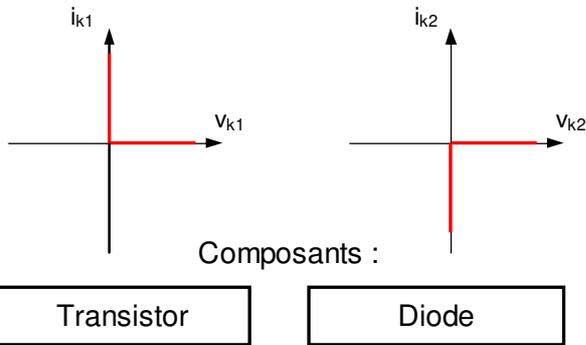
## 2.2 Formes d'ondes et contraintes sur les interrupteurs

On note  $\alpha T$  ( $0 < \alpha < 1$ ) la durée de fermeture de l'interrupteur K1.

$\alpha$  est le **rapport cyclique** :

$$\alpha = \frac{t_{ON}}{T}$$

$$V_{Smoy} = \alpha \cdot V_e$$

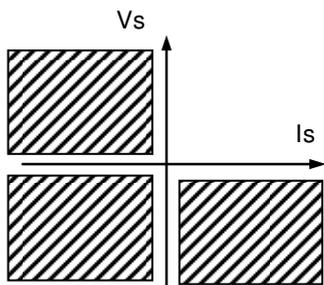


Composants :

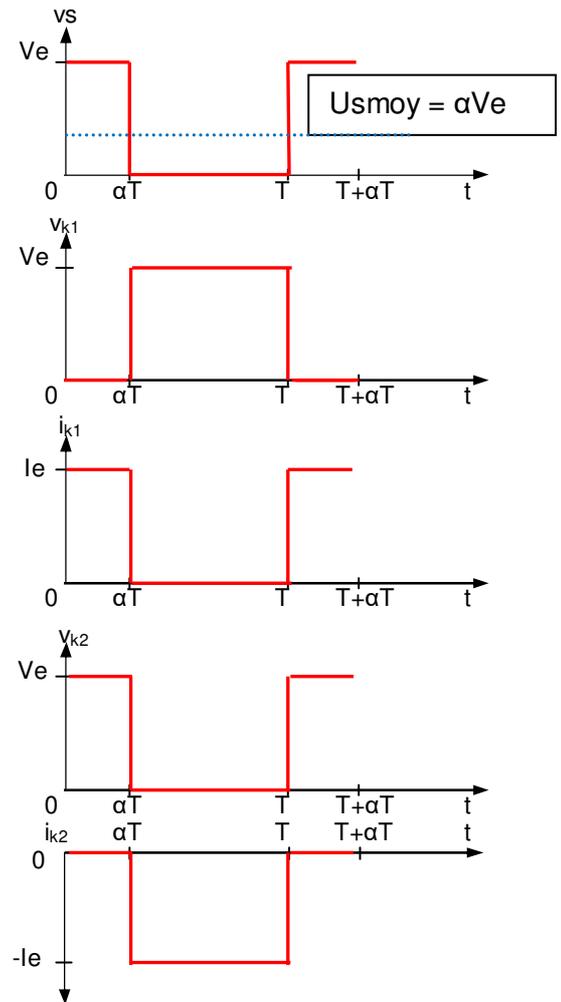
Transistor

Diode

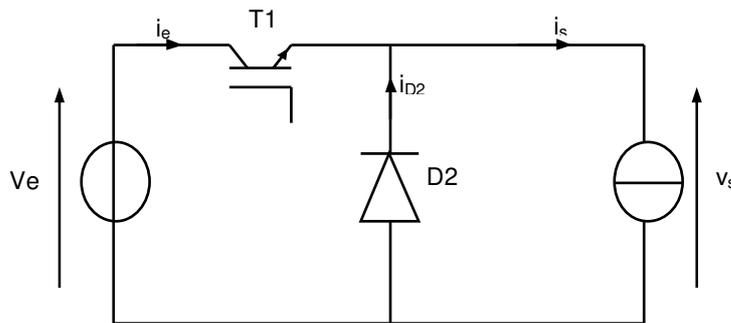
Quadrant de fonctionnement



Le hacheur série n'est ni réversible en tension ( $V_{smoy} > 0$ ), ni réversible en courant ( $i_s > 0$ ).



Le hacheur série peut donc se représenter de la manière suivante :



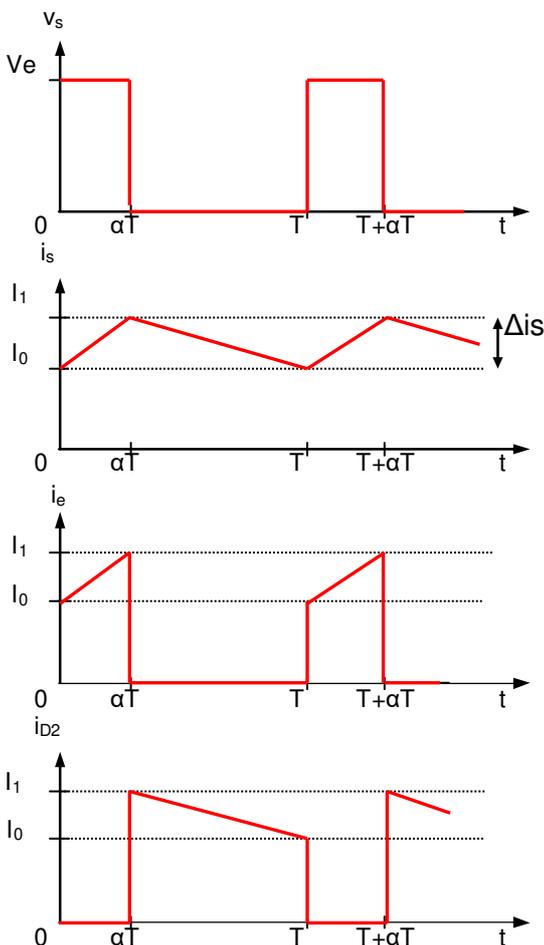
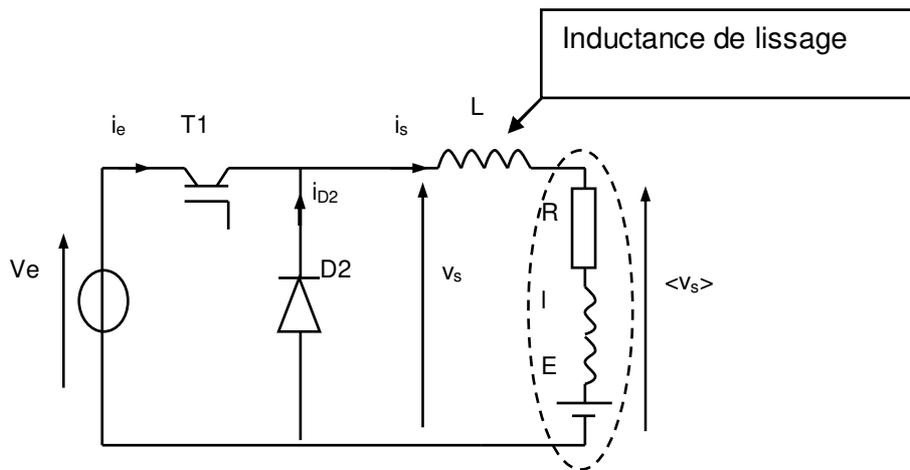
## 2.3 Etude du hacheur sur une charge RLE (moteur à courant continu)

Un moteur à courant continu soumis à une tension présentant des variations instantanées importantes présente une ondulation de courant qu'il faudra réduire pour améliorer le fonctionnement de la machine. La source de courant n'est désormais plus considérée comme parfaite.

Pour faciliter les calculs d'ondulation du courant on pourra faire les hypothèses simplificatrices suivantes :

### Hypothèses :

- La constante de temps électrique du moteur est très supérieure à la période de découpage du hacheur :  $L / R \gg T_H$
- On se place en régime permanent (à vitesse constante du moteur) :
  - E est constant
  - la charge et la décharge de la bobine est stabilisée : le courant en sortie est périodique.



### Valeur moyenne de $v_s(t)$ de 2 façons :

- à partir du signal  $v_s(t)$  :  $\langle v_s \rangle = \alpha \cdot Ve$
- par la loi des mailles :  $\langle v_s \rangle = E + R \cdot \langle i_s \rangle$

Etude du courant dans la charge en régime établi :

### Entre 0 et $\alpha T$ :

$$L \frac{di_s}{dt} = Ve - \langle v_s \rangle = (1 - \alpha) \cdot Ve$$

$$i_s(t) = \frac{(1 - \alpha) \cdot Ve}{L} t + I_0 \quad (1)$$

### Ou entre $\alpha T$ et $T$ :

$$L \frac{di_s}{dt} = - \langle v_s \rangle = - \alpha \cdot Ve$$

$$i_s(t) = \frac{-\alpha \cdot Ve}{L} (t - \alpha T) + I_1 \quad (2)$$

### Relations entre $I_0$ et $I_1$ :

$$(1) \text{ à } t = \alpha T \rightarrow I_1 = i_s(\alpha T) = \frac{(1 - \alpha) \cdot Ve}{L} \cdot \alpha T + I_0$$

$$\text{ou } (2) \text{ à } t = T \rightarrow I_0 = i_s(T) = \frac{-\alpha \cdot Ve}{L} \cdot (1 - \alpha)T + I_1$$

Ondulation du courant  $i_s(t)$  :

$$\Delta i_s = \frac{\alpha(1 - \alpha) \cdot Ve}{L \cdot f}$$

## 2.4 Limitation de l'ondulation de courant

Le couple du moteur dépend de la valeur moyenne de  $i_s(t)$  notée  $\langle I_s \rangle$ .

Les pertes par effet joules, dans le moteur notamment, sont proportionnelles au carré de la valeur efficace de  $i_s(t)$  notée  $I_s$  :

$$I_s = \sqrt{\langle I_s \rangle^2 + I_{ond}^2}$$

Il faut donc réduire la valeur efficace du courant de sortie du hacheur sans diminuer sa valeur moyenne. Il s'agit donc de réduire la composante ondulatoire du signal  $i_s(t)$  qui est proportionnelle à  $\Delta i_s$ .

On constate que l'ondulation de courant est maximale pour  $\alpha = 0,5$  soit :

$$\Delta i_s(\max) = \frac{V_e}{4Lf}$$

### Réduction de $\Delta i_s$ :

- **En augmentant la fréquence**, mais on sera limité par la fréquence maximale de commutation de l'interrupteur qui compose le hacheur.
- **En augmentant l'inductance L** par ajout d'une bobine de lissage entre la sortie du hacheur et la charge, mais on sera limité par l'encombrement et la masse.

Une autre solution pour améliorer l'ondulation lorsque l'on atteint les limites de commutations des interrupteurs et d'utiliser un hacheur entrelacé (voir TP).

## 3 Choix des composants de la chaîne de puissance

Une fois que l'on a établi les signaux dans les différents composants, il faut comparer les valeurs aux valeurs indiquées par le constructeur.

### 3.1 Dimensionnement des diodes de puissance

Les diodes qui composent le convertisseur sont soumises à des courants positifs et des tensions inverses qui doivent rester compatibles avec les valeurs limites définies par le constructeur.

#### Comparaisons des valeurs effectives aux données du constructeur :

- Valeur moyenne  $\langle I_D \rangle \leq I_{FAV}$  (Forward AVerage=courant direct moyen) : critère de tenue thermique
- $V_{Dmax} \leq V_{RRM}$  : (Rear Repetitive Max = tension inverse maximale) : tenue des semi-conducteurs
- $I_{Dmax} \leq I_{FSM}$  (Forward Surge Max = courant impulsionnel maximum) : tenue des semi-conducteurs
- période du hacheur  $T_h \leq$  Temps de commutation



www.vishay.com

$V_{DRM}/V_{RRM}$ (V) Range	$I_{FAV}$ (A)	$T_C$ (°C)	$I_{FSM}$ (A)	$V_F$ (V)	$t_{rr}$ (ns)	$T_J$ (°C)
1200	30	88	300	2.46	121	-40 to +150

### 3.2 Dimensionnement des transistors de puissance

La différence essentielle entre les transistors (IGBT ou MOS) et les diodes concerne la tenue thermique qui pour ces transistors fait intervenir la valeur efficace du courant :

#### Comparaisons des valeurs effectives aux données du constructeur :

- Valeur efficace  $I_k \leq I_{DDC}$  : critère de tenue thermique
- $V_{kmax} \leq V_{ce0}$  : tenue des semi-conducteurs en circuit ouvert
- $I_{kmax} \leq I_{FM}$  : tenue des semi-conducteurs en circuit fermé
- période du hacheur  $T_h \leq$  Temps de commutation

Références : Génie électrique - C.François – Ellipses <http://remy.duperray.free.fr> <http://jredoutey.free.fr>