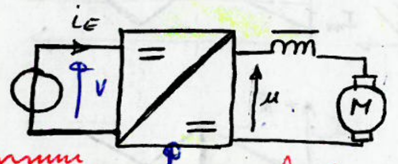
Les Hacheurs (série, parallèle, 4Q)

*** Définition**

un Hacheur est un convertisseur continu - continu de valeur moyenne variable.

Ex: alimentation de la MCC

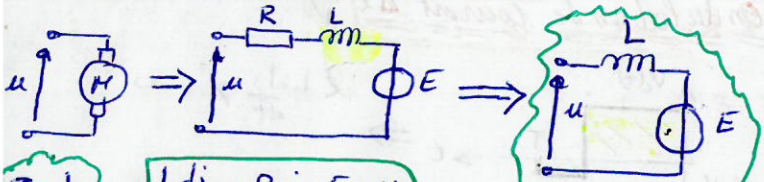
*** symbole**



$$\begin{cases} \alpha=0 \Rightarrow u=0 \\ \alpha=1 \Rightarrow u=V. \end{cases}$$

*** la charge**

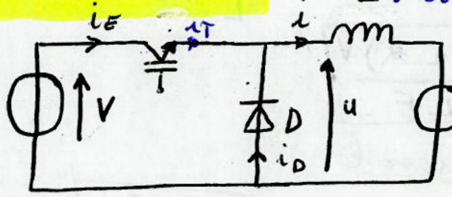
la charge est une machine à courant cont



$\tau=\frac{L}{R}$ ⇐ $L\frac{di}{dt}+Ri+E=u$ $\xrightarrow{R=0}$ $\boxed{\tau \gg T}$

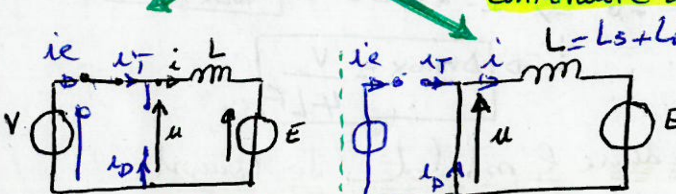
* MCC = source de courant

1 - Hacheur série



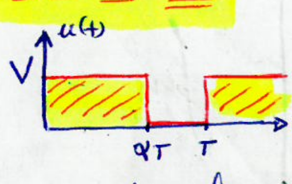
L : bobine de lissage ↳ lisser le courant

D : diode de roue libre ⇓ Assure la continuité de courant



$\boxed{0<t<\alpha T}$	$\boxed{\alpha T<t<T}$
• phase motrice	phase de roue libre
H : passant	H : bloqué
D : bloquée	D : passante

*** Allure de u(t)**



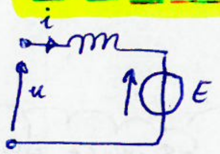
α : rapport cyclique

valeur moyenne

$$\langle u(t)\rangle = \frac{Aire}{T} = \frac{\alpha T V}{T}$$

$$\boxed{U_{moy} = \langle u(t)\rangle = \alpha V}$$

*** la relation entre α, V et E**



$\Rightarrow u(t) = L\frac{di(t)}{dt} + E$

$\langle u(t)\rangle = \langle L\underbrace{\frac{di}{dt}\rangle}_{=0} + \langle E\rangle$

$\Rightarrow \boxed{\alpha V = E}$

• Expression de i(t) : courant dans la charge

• $0<t<\alpha T$: H fermé - D bloquée

$u(t)=V \Rightarrow L\frac{di}{dt}+E=V \Rightarrow L\frac{di}{dt}=V-E$

↳ $\boxed{\frac{di}{dt}=\frac{V-E}{L}}$ ou $\boxed{\frac{di}{dt}=\frac{(1-\alpha)V}{L}}$

On déduit : $\boxed{i(t)=\frac{(1-\alpha)V}{L}t+I_{min}}$

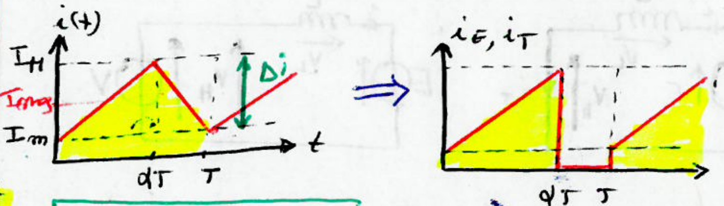
• $\alpha T<t<T$: H bloqué, D passante

$u(t)=0 \Rightarrow L\frac{di}{dt}+E=0 \Rightarrow \frac{di}{dt}=-\frac{E}{L}$

↳ $\boxed{\frac{di}{dt}=-\frac{\alpha V}{L}}$

On déduit : $\boxed{i(t)=-\alpha\frac{V}{L}(t-\alpha T)+I_{max}}$

dmc :



$\boxed{I_{moy}=\frac{I_{max}+I_{min}}{2}}$ $\boxed{I_{Emoy}=\alpha I_{moy}}$

$\boxed{I_{Dmoy}=(1-\alpha)I_{moy}}$

*** Ondulation de courant Δi**

$\Delta i = I_{max}-I_{min} \Rightarrow \boxed{\Delta i = \frac{\alpha(1-\alpha)V}{LF}}$

*** ondulation maximale**

$\frac{d\Delta i}{d\alpha}=0 \Rightarrow 1-2\alpha=0 \Rightarrow \boxed{\alpha=0.5}$

↳ $\boxed{\Delta_{max}=\frac{V}{4LF}}$

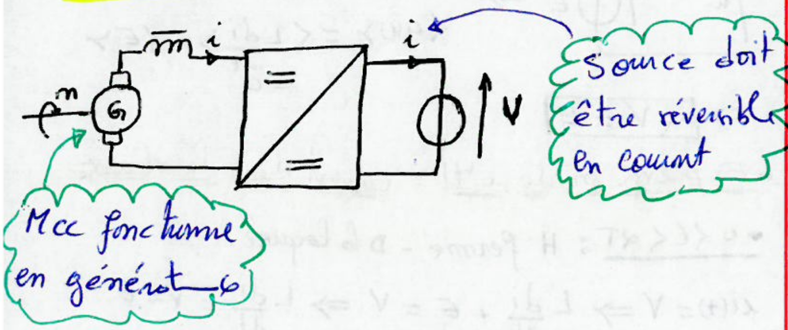
• pour réduire l'ondulation, il faut :

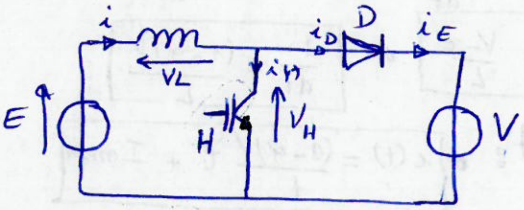
- Augmenter F (limiter par Transistor)
- Augmenter L (Attention à l'encombrement)

* 2-/ Hacheur parallèle

la valeur moyenne de sortie est supérieure à la valeur moyenne d'entrée

* structure





$\boxed{\text{Hypo : + conduction continue} \quad + V > E}$

phase génératrice en roue libre

$\boxed{0 < t < \alpha T}$

H : passant

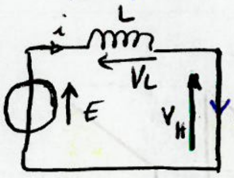
D : bloquée

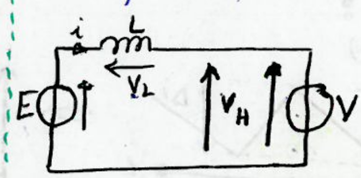
phase génératrice active

$\boxed{\alpha T < t < T}$

H : bloqué

D : passante





Etude pour $0 < t < \alpha T$

- tension V_H : $\boxed{V_H = 0}$ car H passant
- tension V_L : $\boxed{V_L = E}$ car $V_T = 0$
- l'équation diff : $E - V_L = 0 \Rightarrow \boxed{L\frac{di}{dt} = E > 0}$
- Résolution : $i(0) = I_{min}$

$\hookrightarrow \boxed{i(t) = \frac{E}{L}t + I_{min}}$

- le courant i_T : $\boxed{i_T = i}$
- le courant i_D : $\boxed{i_D = 0}$ car D bloquée

Etude pour $\alpha T < t < T$

- tension V_H : $\boxed{V_H = V}$
- tension V_L : $\boxed{V_L = E - V}$
- tension V_D :

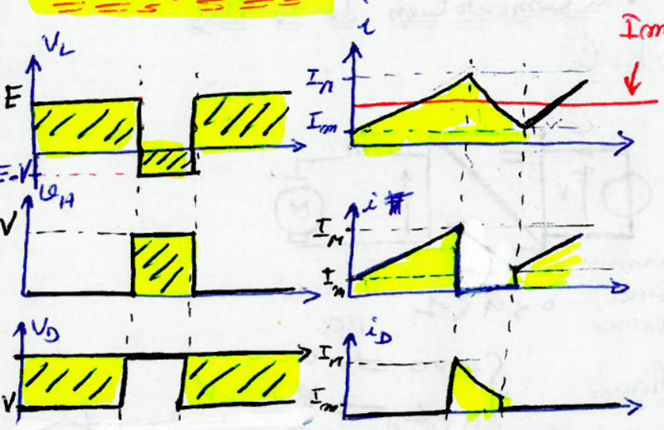
- l'équation diff :

$V_L = E - V \Rightarrow \boxed{L\frac{di}{dt} = E - V < 0}$

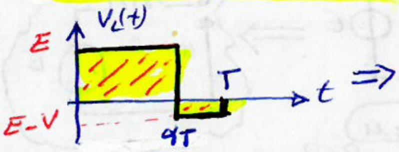
- Résolution : $i(\alpha T) = I_{max}$

$$\boxed{i(t) = \frac{E-V}{L}(t - \alpha T) + I_{max}}$$

* Formes d'onde



* Relation entre E et V



$\Rightarrow \langle L\frac{di}{dt} \rangle = 0$

$$\Leftrightarrow \frac{\alpha T E + (1-\alpha)T(E-V)}{T} = 0 \Rightarrow \boxed{V = \frac{1}{1-\alpha}E}$$

* Ondulation du courant Δi

$$\Delta i = I_{max} - I_{min} \Rightarrow \Delta i = \frac{E}{L}\alpha T$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta i = \frac{\alpha(1-\alpha)V}{LF}}$$

* Ondulation maximale

$$\frac{d\Delta i}{d\alpha} = 0 \Rightarrow 1 - 2\alpha = 0 \Rightarrow \boxed{\alpha_{max} = 0.5}$$

$$\hookrightarrow \boxed{\Delta i_{max} = \frac{V}{4LF}}$$

* Réduire l'ondulation de courant

- Augmenter la fréquence F :
- Augmenter la bobine de lissage L

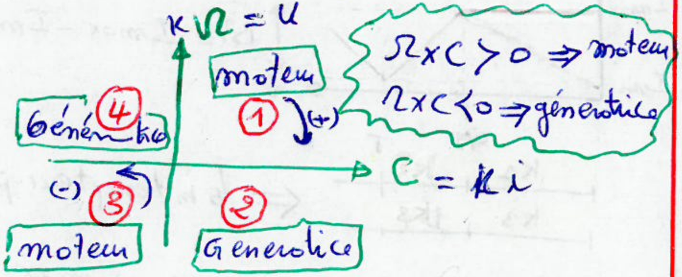
* Relation des valeurs moyennes

- $I_{moy} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$
- $I_{Dmoy} = (1-\alpha) I_{moy}$
- $I_{Hmoy} = \alpha I_{moy}$
- $V_{Dmoy} = -\alpha V$
- $V_{Hmoy} = (1-\alpha) V$

fin

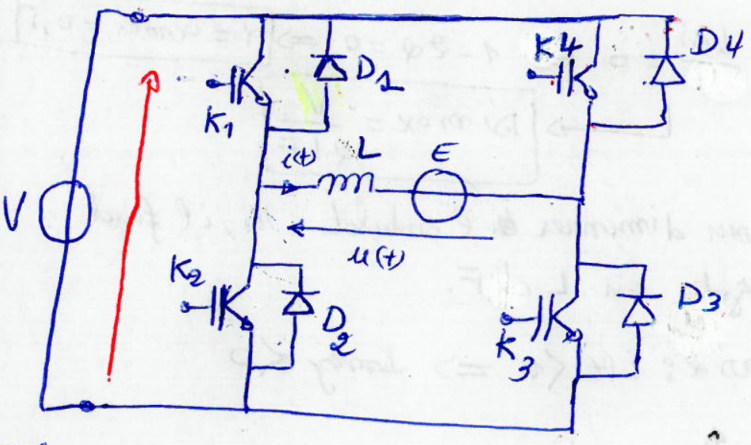
3°/ Hacheur 4 quadrants

Hacheur 4Q permet de fonctionner la MCC dans les 4 Quadrant possible



avec la possibilité d'avoir deux sens de rotation.

* schema de principe

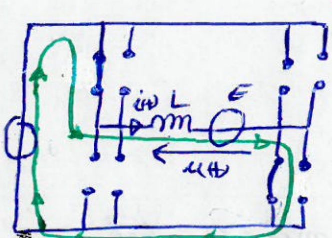


Il existe plusieurs stratégies de commande des transistors:

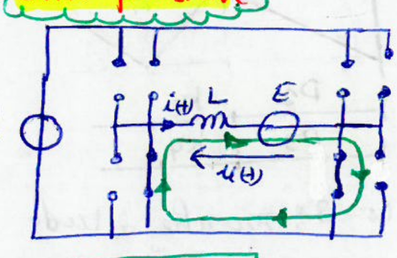
* Commande séquentielle

• fonctionnement moteur : $i(t) > 0$, $u(t) > 0$

Sens positive



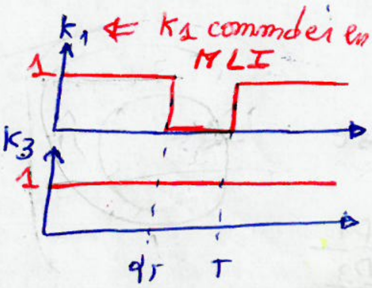
$\boxed{0 < t < \alpha T}$

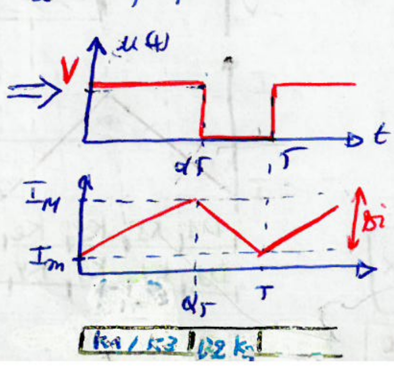


$\boxed{\alpha T < t < T}$

K_1, K_3 : Passants

D_2, K_4 passant





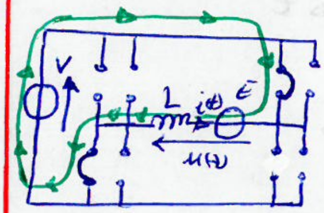
K_3 toujours passant

$$\Rightarrow \boxed{u(t) = L\frac{di}{dt} + E} \quad \text{et} \quad \boxed{\langle u(t) \rangle = \alpha V}$$

$$i(t) = \begin{cases} \dfrac{(1-\alpha)V}{L}t + I_{min} & [0, \alpha T] \\ -\dfrac{\alpha V}{L}(t - \alpha T) + I_{max} & [\alpha T, T] \end{cases}$$

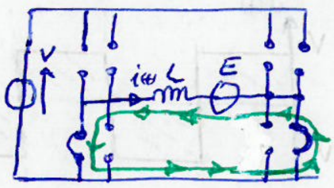
⇒ **pour le sens négatif** : $\begin{cases} i(t) < 0 \\ u(t) < 0 \end{cases}$

$\boxed{0 < t < \alpha T}$



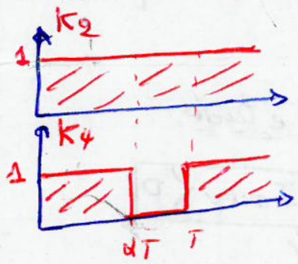
$\begin{cases} K_2 \\ K_4 \end{cases} \Rightarrow$ passant

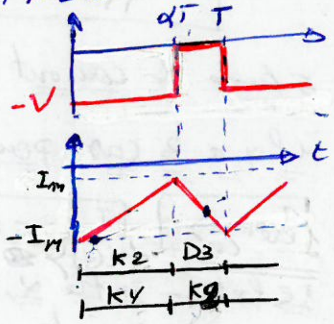
$\boxed{\alpha T < t < T}$



$\begin{cases} D_3 \\ K_2 \end{cases} \Rightarrow$ passant

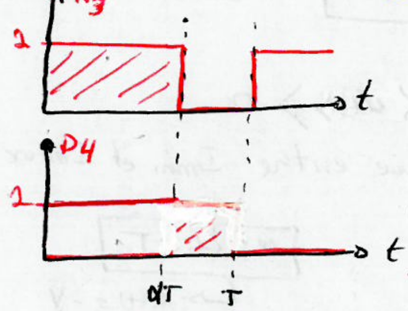
donc K2 est toujours passant, donc on commande K_4 en MLI

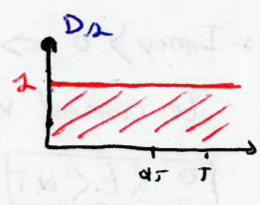




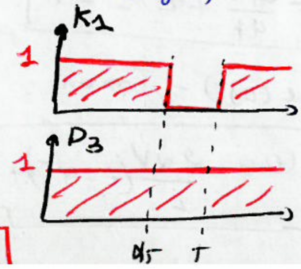
$$\boxed{\langle u(t) \rangle = -\alpha V}$$

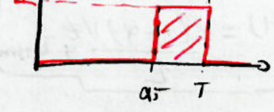
• fonctionnement generatrice, sens positif $i(t) < 0$, $u(t) > 0$





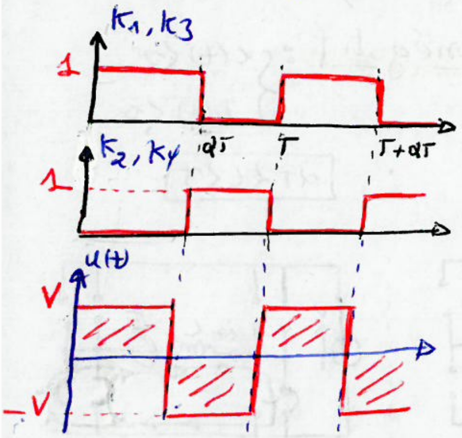
* fonction generatrice $i(t) > 0$, $u(t) \cancel{>} 0$ sens negatif





* Commande bipolaire

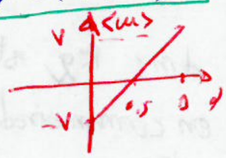
cette commande consiste à commander alternativement $\{K_1, K_3\}$ et $\{K_2, K_4\}$ du Hacheur 4 quadrant



* la valeur moyenne de u(t)

$$\langle u(t)\rangle = \frac{\text{surface}}{T} \Rightarrow \boxed{\langle u(t)\rangle = (2\alpha-1)V}$$

donc $\boxed{-V \leq \langle u(t)\rangle \leq V}$

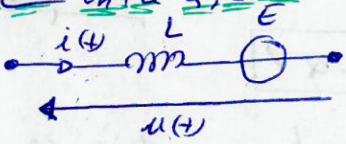


* Etude de courant i(t)

Il y a 3 cas pour l'étude

$\boxed{I_{moy} > 0}$, $\boxed{I_{moy} = 0}$, $\boxed{I_{moy} < 0}$

* relation entre α, E, V



$$\Rightarrow \boxed{u(t) = L\frac{di}{dt} + E} \Rightarrow \boxed{E = (2\alpha-1)V}$$

* $I_{moy} > 0 \Rightarrow \langle i(t)\rangle > 0$

le courant varie entre I_{min} et I_{max}

$\boxed{0 < t < \alpha T}$

$\hookrightarrow u(t) = V$

equ. diff :

$$\boxed{L\frac{di}{dt} + E = V}$$

$i(0) = I_{min}$

$$\boxed{i(t) = \frac{2(1-\alpha)V t}{L} + I_{min}}$$

$\boxed{\alpha T < t < T}$

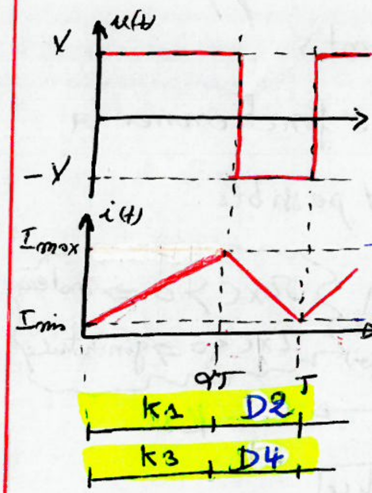
$\hookrightarrow u(t) = -V$

equ. diff :

$$\boxed{L\frac{di}{dt} + E = -V}$$

$i(\alpha T) = I_{max}$

$$\boxed{i(t) = -\frac{2\alpha V}{L}(t-\alpha T) + I_{max}}$$



$\Delta i = I_{max} - I_{min}$

$\Leftarrow$ les interrupteurs passants

pour $t \in [0, \alpha T]$ et $i(\alpha T) = I_{max}$

$$\hookrightarrow \boxed{\Delta i = \frac{2\alpha(1-\alpha)V}{LF}}$$

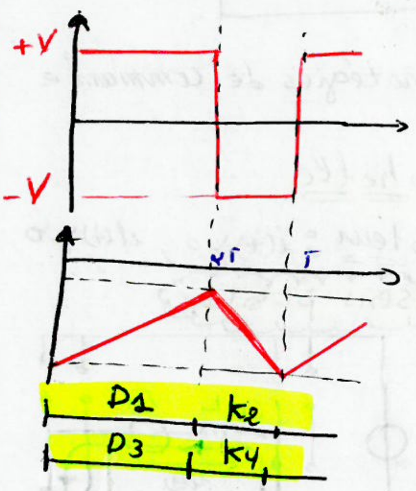
$\Rightarrow \Delta i_{max}$? α_{max} ?

$$\frac{d\Delta i}{d\alpha} = 0 \Rightarrow 1 - 2\alpha = 0 \Rightarrow \boxed{\alpha = \alpha_{max} = 0,5}$$

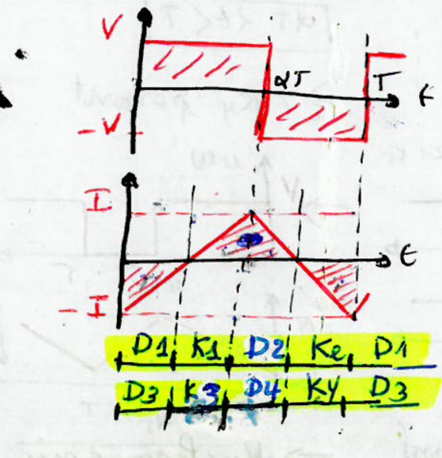
$$\hookrightarrow \boxed{\Delta i_{max} = \frac{V}{2LF}}$$

pour diminuer l'ondulation Δi, il faut agir sur L et F.

* Cas 2 : $i(t) < 0 \Rightarrow I_{moy} < 0$



* Cas 3 : marche à vide $I_{moy} = 0$



Q27/ expression de $i_L(t)$ pour $t \in [\alpha T, T]$

$$L\frac{di_L}{dt} = E - U \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{E-U}{L} < 0$$

$$\Rightarrow i_L(t) = \frac{E-U}{L} t + cte$$

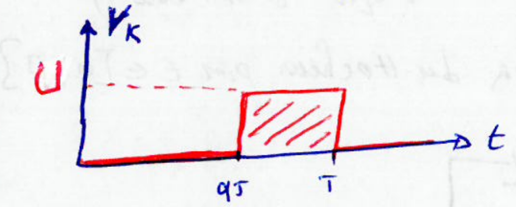
a $t = \alpha T \Rightarrow i(\alpha T) = I_{max}$

$$\Rightarrow \boxed{i_L(t) = \frac{E-U}{L}(t-\alpha T) + I_{max}}$$

* la valeur V_K :

K ouvert $\Rightarrow \boxed{V_K = U}$

Q28/ la valeur moyenne de V_K



$\boxed{V_{Kmoy} = (1-\alpha)\,U}$ 1

et on a : $E = V_L(t) + V_K(t)$

$$\langle E \rangle = \langle V_L(t) \rangle + \langle V_K(t) \rangle$$

$E = 0 + V_{Kmoy} \Rightarrow \boxed{V_{Kmoy} = E}$ 2

donc 1 = 2 $\Rightarrow \boxed{U = \frac{1}{1-\alpha} E}$

Hacheurs deux quadrants

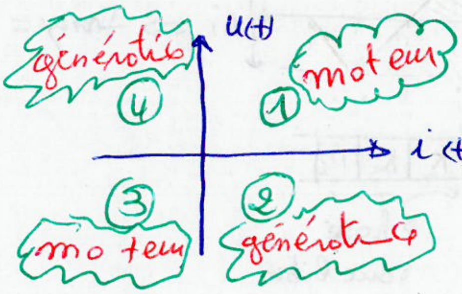
Il y a deux types selon le sens :

- Hacheur réversible en courant :
  $\Rightarrow u(t) > 0 \Rightarrow \boxed{i(t) < 0}, \boxed{i(t) = 0}, \boxed{i(t) > 0}$
- Hacheur réversible en tension :
  $\Rightarrow i(t) > 0 \Rightarrow \boxed{u(t) > 0}$ ou $\boxed{u(t) < 0}$

avec $u(t)$: tension aux bornes de MCC

$i(t)$: courant absorbée par la MCC

Les quadrants de fonctionnement

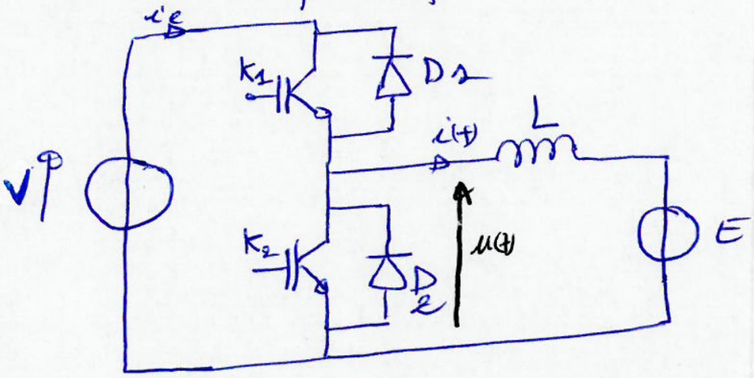


Hacheur réversible en courant pilote la MCC dans les segments ① et ④

Hacheur réversible en tension pilote la MCC dans les segments ① et ②

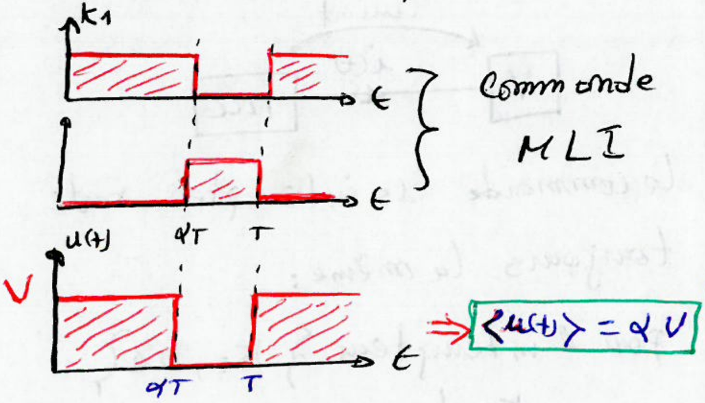
1°/ Hacheur réversible en courant

schéma de principe.



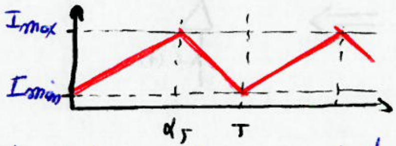
* Marche moteur : $i(t) > 0$

commande des interrupteurs



$\Rightarrow \boxed{\langle u(t) \rangle = \alpha V}$

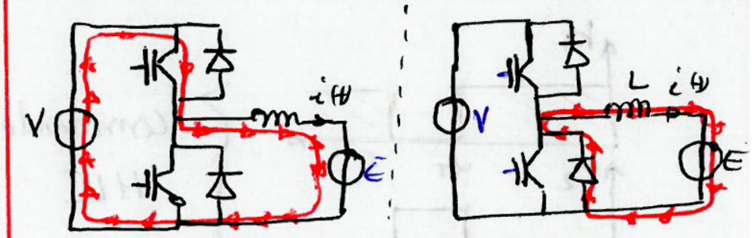
$i(t)$ et varie entre I_{min} et I_{max}



les interrupteurs conduits

K1	D2	K1	D2

phase motrice active — phase de roue libre



$\boxed{0 < t < \alpha T}$ $\qquad$ $\alpha T < t < T$

Expressions du courant

mêmes expressions du Hacheur série

$\boxed{0 < t < \alpha T} \to u(t) = V$

$L\frac{di}{dt} + E = V$

$\Rightarrow i(0) = I_{min}$

$\Rightarrow \boxed{i(t) = \frac{(1-\alpha)Vt}{L} + I_{min}}$

$\boxed{\alpha T < t < T}$

$\hookrightarrow u(t) = 0$

$L\frac{di}{dt} + E = 0$

$i(\alpha T) = I_{max}$

$\boxed{i(t) = -\frac{\alpha V}{L}(t - \alpha T) + I_{max}}$

$\Rightarrow$ ondulation maximale

$\boxed{\Delta i = \frac{\alpha(1-\alpha)}{LF}}$, $\alpha_{max} = 0{,}5$

$\Downarrow$

$\boxed{\Delta i_{max} = \frac{V}{4LF}}$

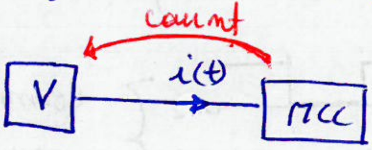
reduire Δi $\Longleftarrow$

+ Augmenter L
+ Augmenter F

$\Rightarrow \boxed{\begin{cases} U > 0 \\ i > 0 \end{cases} \Rightarrow ①}$

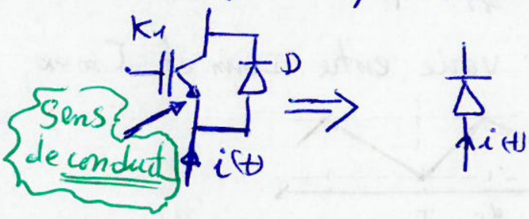
* fonctionnement générateur

$\Rightarrow u(t) > 0$ mais $i(t) < 0$

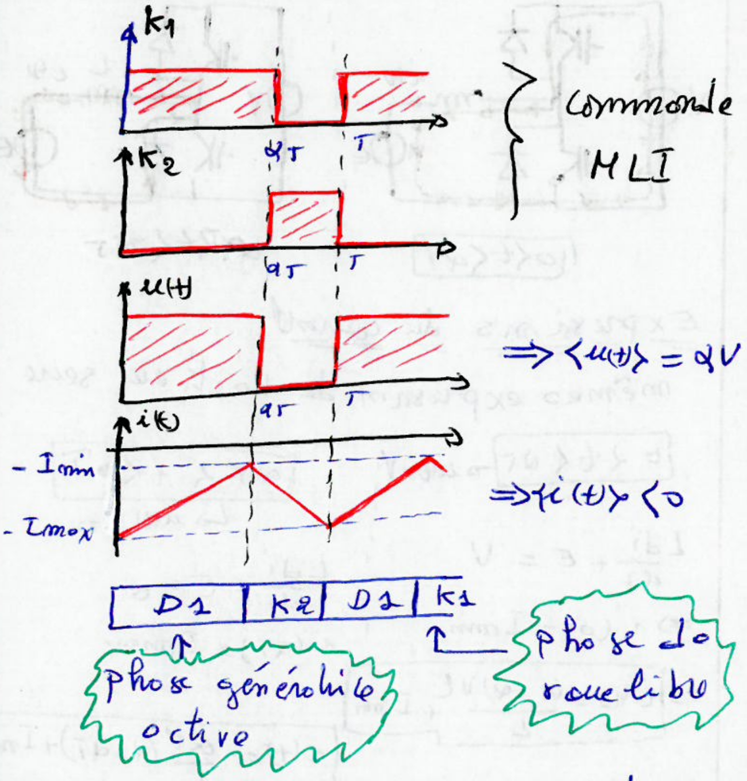


Le commande ds interrupteur reste toujours la même :

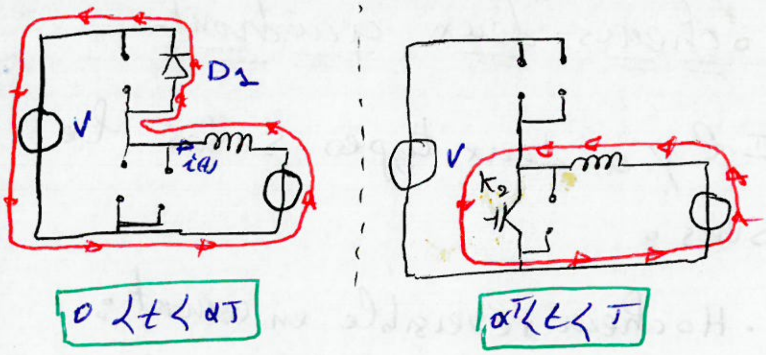
Pour l'interrupteur $\{K_1, D_1\}$



C.à.dire même si on donne l'ordre de commande au transistor reste toujours bloqué car $i(t)$ est contre le sens du transistor

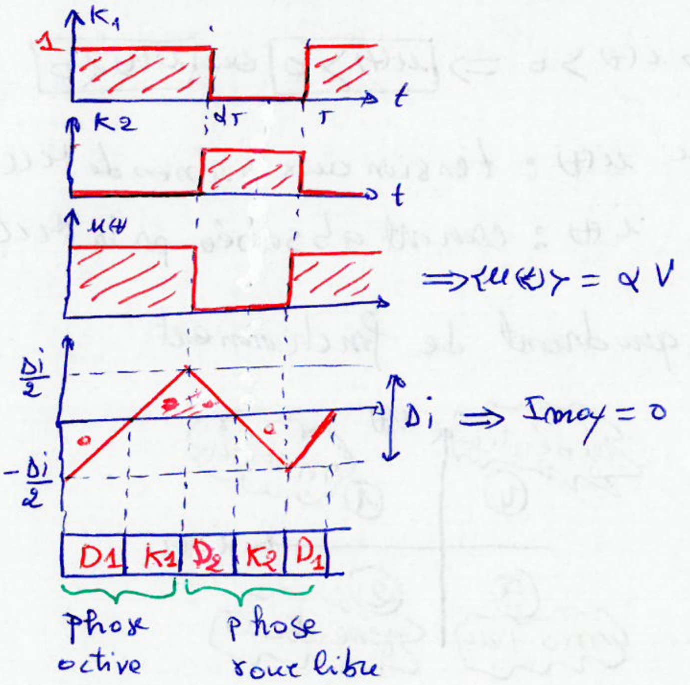


$\Rightarrow$ pour l'expression du courant est comme les expression du Hacheur Parallèle

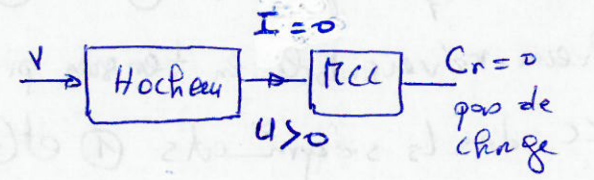


* fonctionnement à vide $I_{moy} = 0$

Loi de commande reste les mêmes



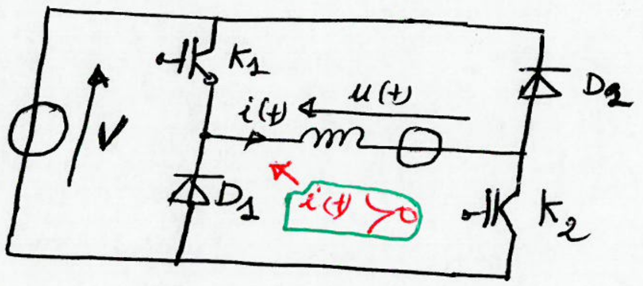
ce fonctionnement est réalisé lorsque la MCC est désaccouplée (pas de charge)



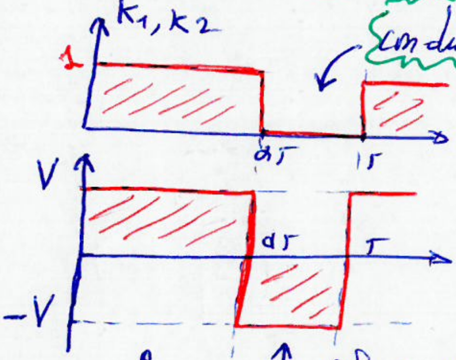
Hacheur réversible en tension

Ce Hacheur pilote la machine dans le quadrant ① et ②

* **structure**



loi de commande ⇒ commande MLI



• **la valeur moyenne $u(t)$**

$$\langle u(t)\rangle = \frac{\text{Surface}}{T} = \alpha V - (1-\alpha) V$$

$$\hookrightarrow \boxed{\langle u(t)\rangle = (2\alpha - 1) V}$$

• **Expression de courant $i(t)$**

• Pour $t \in [0, \alpha T] \Rightarrow u(t) = V$

$$L\frac{di}{dt} + E = u(t) = V$$

$$\Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{V-E}{L} > 0 \Rightarrow i(0) = I_{min}$$

$$\Rightarrow \boxed{i(t) = \frac{V-E}{L}t + I_{min}}$$

Pour $t \in [\alpha T, T] \Rightarrow u(t) = -V$

$$\Leftrightarrow L\frac{di}{dt} + E = -V$$

$$\Leftrightarrow \frac{di}{dt} = \frac{-V-E}{L} < 0$$

$\hookrightarrow i(\alpha T) = I_{max}$

$$\hookrightarrow \boxed{i(t) = \frac{-V-E}{L}(t-\alpha T) + I_{max}}$$

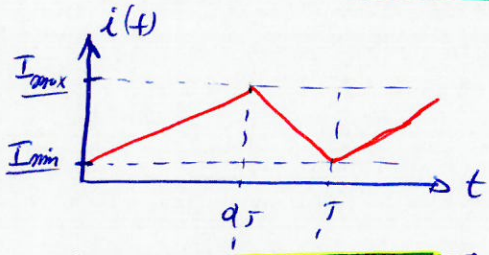
* **relation entre E et $\langle u \rangle$**

on a : $V_L(t) + E = u(t)$

$$\langle V_L(t)\rangle + \langle E\rangle = \langle u(t)\rangle$$

$$0 + E = (2\alpha - 1)V$$

donc $\Rightarrow \boxed{E = (2\alpha - 1)V}$



K1, K2	D1 D2	K1, K2

* **ondulation du courant**

Pour $t \in [0, \alpha T] \Rightarrow i(t) = \frac{V-E}{L}t + I_{min}$

à $t = \alpha T \Rightarrow i(\alpha T) = I_{max}$

$\hookrightarrow \Delta i = I_{max} - I_{min} = \frac{V-E}{LF}$

avec $E = (2\alpha - 1)V$

d'où : $\boxed{\Delta i = \frac{2\alpha(1-\alpha)V}{LF}}$

$\Delta i_{max} \Rightarrow \frac{d\Delta i}{dt} = 0 \Rightarrow 1 - 2\alpha = 0$

$\hookrightarrow \alpha = \alpha_{max} = \frac{1}{2}$

$$\hookrightarrow \boxed{\Delta i_{max} = \frac{V}{2LF}}$$