

Electronique de puissance

Valentin Gies

Plan du cours

- 1 Machine à courant continu
 - Modélisation
 - Fonction de transfert

- 2 Les hacheurs et onduleurs
 - Structure électronique : pont en H

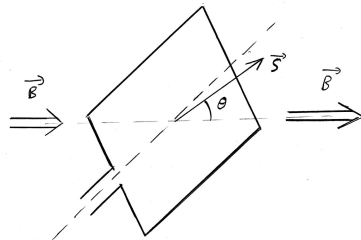
Plan

- 1 Machine à courant continu
 - Modélisation
 - Fonction de transfert

- 2 Les hacheurs et onduleurs
 - Structure électronique : pont en H

Machine à courant continu : Modélisation

Spire alimentée par un courant I placée dans un champ magnétique.



Moment magnétique de la spire :

$$\vec{M} = I\vec{S}$$

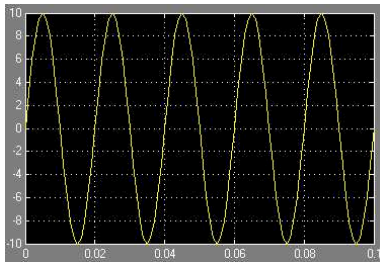
Couple électromagnétique :

$$\vec{C} = \vec{M} \wedge \vec{B}$$

Machine à courant continu : Modélisation

Couple scalaire instantané :

$$\begin{aligned}C &= B.S.I \sin \theta \\ &= \Phi I \sin(\theta)\end{aligned}$$

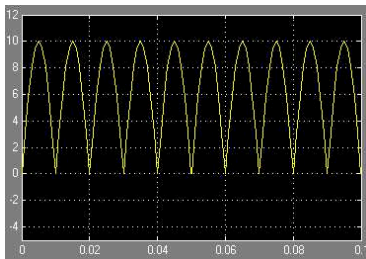


Couple Moyen :

$$\langle C \rangle = 0$$

Machine à courant continu : Modélisation

Solution : inverser le courant à chaque fois que le couple devient négatif :

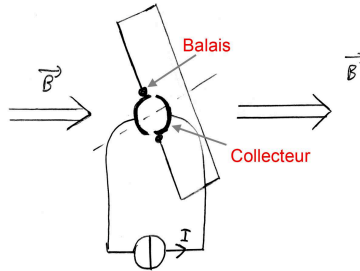


$$\langle C \rangle = \frac{2\Phi I}{\pi}$$

Pour cela on utilise un inverseur mécanique : **Collecteur+Balais**

Machine à courant continu : Modélisation

Système collecteur-Balais :



Machine à courant continu : Modélisation

Equations de la machine à courant continu :

- Mécanique :

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} = C - Cr \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{J} \left((C - Cr) - f \frac{d\theta}{dt} \right)$$

- Electrique :

$$U = E + Ri + L \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{1}{L} (-Ri + U - K \frac{d\theta}{dt})$$

- Couplage électromécanique :

$$E = K\Omega$$

$$C = KI$$

Machine à courant continu : Modélisation

Modélisation dans le domaine de Laplace :

- Mécanique :

$$(Js + f)\Omega(s) = C(s) - Cr$$

- Electrique :

$$U(s) = E(s) + (R + Ls)I(s)$$

- Couplage électromécanique :

$$E(s) = K\Omega(s)$$

$$C(s) = KI(s)$$

Machine à courant continu : Fonction de transfert

$$H(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{K_0}{1 + (\tau + \alpha\tau_e)s + \tau\tau_e s^2}$$

$$\text{avec } \tau_{em} = \frac{JR}{K^2 + Rf}, \tau_e = \frac{L}{R}, K_0 = \frac{K}{K^2 + Rf} \text{ et } \alpha = \frac{Rf}{K^2 + Rf} \ll 1$$

Simplification : $KI \gg f\Omega$ et $K\Omega \gg RI$, donc :
 $K^2 \gg Rf \Leftrightarrow \alpha \ll 1$:

$$\Rightarrow H(s) \simeq \frac{K_0}{1 + \tau_{em}s + \tau_{em}\tau_e s^2}$$

$$H(s) \simeq \frac{K_0}{(1 + \tau_{em}s)(1 + \tau_e s)} \quad (\text{avec } \tau_e = \frac{L}{R} \quad \tau_{em} = \frac{JR}{K^2})$$

Machine à courant continu : Fonction de transfert

Fonction de transfert à 2 pôles stables :

$$\Rightarrow H(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{K_0}{(1 + \tau_{em}s)(1 + \tau_e s)}$$

- $\tau_{em} \simeq \frac{JR}{K^2}$ (c^{ste} de temps électro-mécanique).
- $\tau_e = \frac{L}{R}$ (c^{ste} de temps électrique).
- $K_0 \simeq \frac{1}{K}$: à basse fréquence, on a donc $U(s) = K\Omega(s)$.

La MCC permet un pilotage de la vitesse en tension.

Machine à courant continu : Comparatif

La **reine de la mécatronique actuelle** :

Avantages :

- Coût faible à faible puissance : $\simeq 2\text{€}$ pièce (50W).
- Commande simple (pilotage en tension).

Inconvénients :

- Oscillations de couple (précision imparfaite).
- Frottement mécanique (balais sur collecteur).
- Coût élevé pour les fortes puissances.

Utilisée dans l'industrie automobile : Megane Scénic (Renault)

$\Rightarrow \approx 200$ MCC !

Plan

- 1 Machine à courant continu
 - Modélisation
 - Fonction de transfert
- 2 Les hacheurs et onduleurs
 - Structure électronique : pont en H

Pourquoi piloter une machine à l'aide de PWM ?

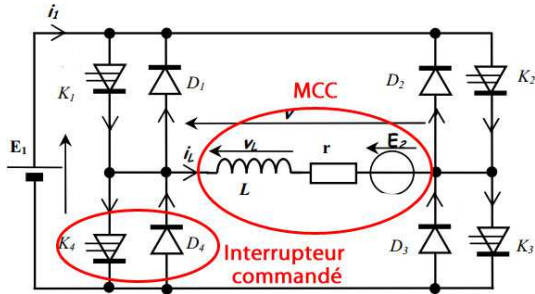
On souhaite :

- Régler la valeur de la tension moyenne (hacheur de pilotage de MCC par exemple)
- Générer une tension/ un courant périodique (onduleur de pilotage de machine synchrone ou asynchrone)

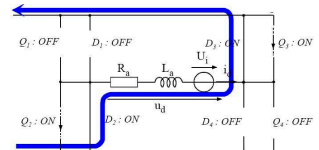
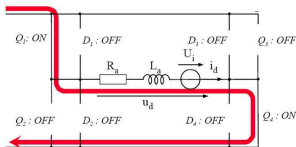
Pb : Il n'existe pas d'**amplificateur analogique** de puissance suffisante pour alimenter les machines avec une tension / un courant variable continûment

⇒ on règle la tension moyenne en **commutant** entre $+E$ et $-E$ avec un rapport cyclique variable (PWM).

Structure électronique : Pont en H

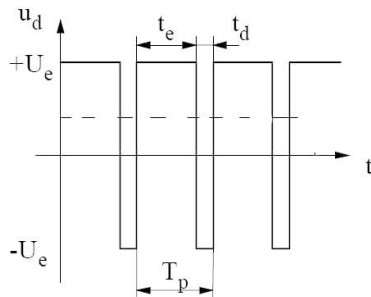


Principe de fonctionnement :



Structure électronique : Pont en H

- **Tension** aux bornes de la charge : $+E$ et $-E$ en alternance.



La valeur moyenne de la tension est :

$$\overline{V_S} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{\alpha T} E dt + \int_{\alpha T}^T -E dt \right) = E(2\alpha - 1)$$

⇒ tension moyenne réglable $\in [-E; +E]$

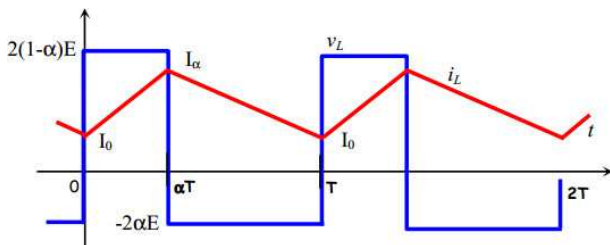
Structure électronique : Pont en H

Courant dans la charge lissé par la bobine (au besoin on rajoute les inductances de lissage)

- Tension instantanée charge : $+E$ ou $-E$
- Tension moyenne charge : $E(2\alpha - 1)$
- Tension instantanée bobine (valeur moyenne nulle) :

$$U_L = E - E(2\alpha - 1) = 2(1 - \alpha)E \text{ ou}$$

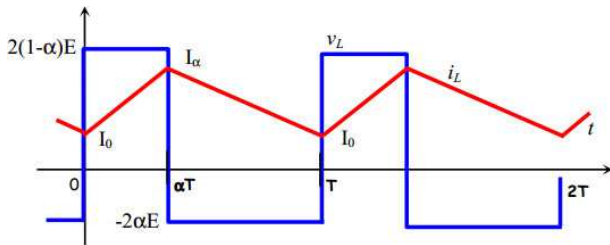
$$U_L = -E - E(2\alpha - 1) = -2\alpha E$$



Structure électronique : Pont en H

Courant dans la charge lissé par la bobine

- $U_L = L \frac{di}{dt}$
- Courant charge bobine : $I_L = \frac{2(1-\alpha)E * t}{L}$ (durée αT)
- Courant décharge bobine : $I_L = \frac{-2\alpha E * t}{L}$ (durée $(1-\alpha)T$)



⇒ **La bobine limite l'ondulation de courant**

Structure électronique : Pont en H

Propriétés :

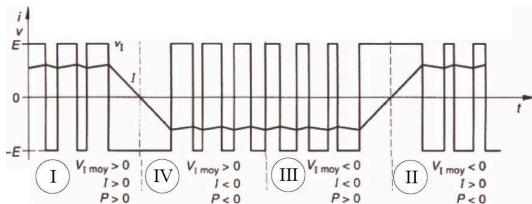
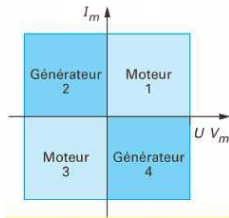
- Réversibilité en **tension** :

$$\langle U_{charge} \rangle \in [-E; +E]$$

- Réversibilité en **courant** :

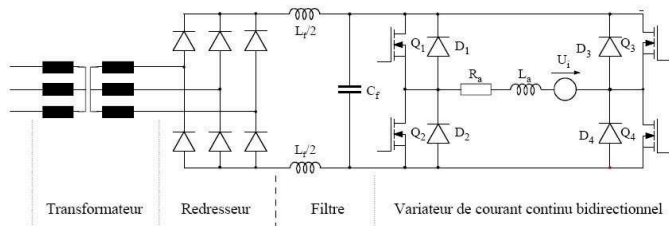
$$\langle I \rangle \in [-I_{max}; +I_{max}]$$

- \Rightarrow Fonctionnement **4 quadrants** :



Hacheur 4 quadrants avec alimentation de puissance

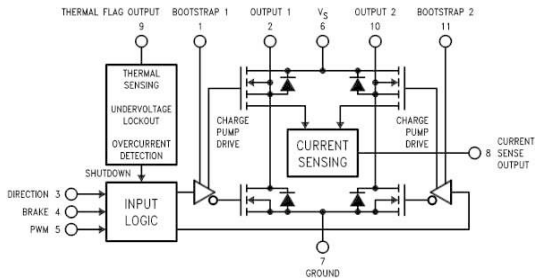
Alimentation du hacheur de puissance :



- Transformateur (réduction de tension alternative)
- Redresseur à diodes (Alternatif \Rightarrow Continu)
- Filtre LC :
 - Courant absorbé lissé
 - Tension hacheur lissée

Hacheur 4 quadrants

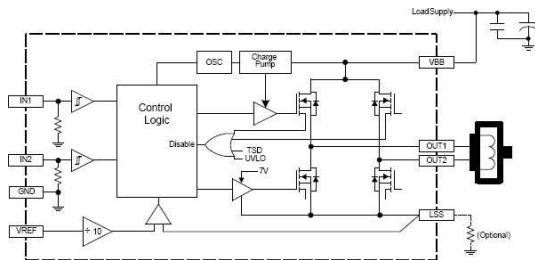
Hacheur 4 quadrants intégré : National Semiconductor LM18200 :



- Limitations : 3A sous 55V \Rightarrow 165W
- Prix : 15\$
- Capteur de mesure de courant intégré

Hacheur 4 quadrants

Hacheur 4 quadrants intégré : Allegro A4950 :



- Limitations : 3.5A sous 40V \Rightarrow 140W
- Boitier CMS *SOIC8*
- Prix : 1.2\$

Questions ?

- Questions
- Contact : contact@vgies.com
- Site internet : **www.vgies.com**