

# MotComand - Formulaire

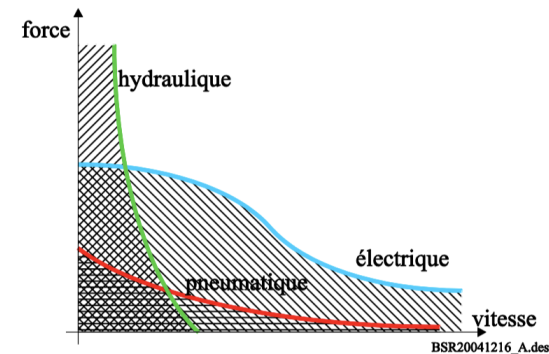
March 16, 2021

## Mouvement dans les machines

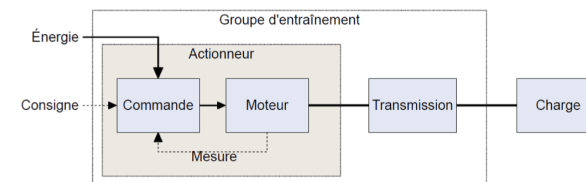
### Actionneurs et moteurs

- *Actionneurs et moteurs pneumatiques*: économiques, faible coûts d'entretien, conviennent aux milieux hostiles, vitesses élevées; temps de réaction  $< 20\text{ms}$ , bruit, positions limitées (tout-ou-rien).
- *Actionneurs et moteurs hydrauliques*: performants, haute densité d'énergie, réglage en vitesse ou en position; coûteux, entretien plus compliqué (huile), temps de réponse d'environ  $2\text{ms}$ .
- *Moteurs électriques*: économiques, beaucoup de fournisseurs, faciles à mettre en oeuvre, temps de réponse de  $0.1\text{ms}$ ; nécessitent en général des réducteurs.

Comparaison:



### Constitution des entraînements



## Charges

Lois de Newton:

$$a = \frac{\sum F}{m}$$

- a : accélération  $[m/s^2]$
- F : forces  $[N]$
- m : masse  $[kg]$

$$\alpha = \frac{\sum T}{J}$$

- $\alpha$  : accélération angulaire  $[rad/s^2]$
- T : couples  $[N \cdot m]$
- J : inertie  $[kg \cdot m^2]$

Inertie d'un cylindre:

$$J = \frac{m \cdot R^2}{2} = \frac{\rho \cdot L \cdot \pi \cdot R^4}{2}$$

Quadrants de fonctionnement:

	$\omega$	$T_{em}$	Mode
1	+	+	Moteur
2	-	+	Frein
3	-	-	Moteur
4	+	-	Frein

Types de charge:

- Charge à couple constant

- Charge à couple croissant avec la vitesse
- Charge à puissance constante:  $P(t) = T(t) \cdot \omega(t) = [F \cdot r(t)] \cdot \left[ \frac{V}{r(t)} \right] = F \cdot V = \text{constante}$  (avec F et V, respectivement force et vitesse tangentielles)

Régimes de fonctionnement:

$$T_{moteur}(t) - T_{resistant}(t) = T_{accel.}(t)$$

$$T_{resistant}(t) = T_{frott.}(t) + T_{utile}(t)$$

- *Régime permanent*: la charge tourne à vitesse (quasi) constante
- *Régime impulsional ou intermittent*: la charge est constamment accélérée et freinée

## Modes de fonctionnement

- *Mode tout-ou-rien*: le plus simple et le plus bon marché; pas d'adaptation à la charge entraînée.
- *Mode contrôlé en boucle ouverte*: contrôle approximatif de la vitesse et de l'effort fournis.
- *Mode contrôlé en «boucle fermée»*: grande précision; plus complexe et coûteux.
- *Mode servomoteur - réglé en position*: permet de contrôler tous les mouvements d'une machine; complexes et coûteux.
- *Mode pas-à-pas*: simple et bon marché; limité en puissance ( 200W) et vitesse ( 1000tr/min).

## Modèle thermique des moteurs

$$\Delta T = R_{th} \cdot P_{moy}$$

$$P_c = C_{th} \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$T(t) = (T_{max} - T_0) \cdot (1 - e^{-t/\tau_{th}}) + T_0$$

Comparaison thermique-électricité:

- Courant électrique [A] = puissance thermique [W]
- Tension électrique [V] = température [°C]
- Capacité électrique = capacité thermique

## Réducteurs

Types de réducteurs:

- réducteurs rotatifs-rotatifs (le moteur et la charge sont rotatifs)
- réducteurs rotatifs-linéaire (le moteur est rotatif et la charge est linéaire)

### Réducteurs rotatif-rotatif

$$i = \frac{\omega_M}{\omega_L} = \frac{Z_L}{Z_M} = \frac{\Delta\theta_M}{\Delta\theta_L}$$

- i: rapport de réduction
- $\omega_M, \omega_L$  : vitesses du moteur, respectivement de la charge
- $Z_M, Z_L$  nombres de dents des pignons côté moteur, respectivement côté charge

## Rendement

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{fournie}} \leq 1.00$$

$$P_M = \omega_M \cdot T_M, P_L = \omega_L \cdot T_L$$

En régime moteur:

$$\eta_{M \rightarrow L} = \frac{P_L}{P_M}$$

$$i = \frac{T_L}{\eta_{M \rightarrow L} \cdot T_M}$$

En régime générateur / frein:

$$\eta_{L \rightarrow M} = \frac{P_M}{P_L}$$

$$i = \frac{\eta_{L \rightarrow M} \cdot T_L}{T_M}$$

### Réducteurs rotatifs-linéaires

$$i = \frac{\omega_M}{v_L} = \frac{2 \cdot \pi}{Z_M \cdot p}$$

$$v_L = r \cdot \omega_M$$

$$P_L = v_L \cdot F_L$$

En régime moteur:

$$i = \frac{F_L}{\eta_{M \rightarrow L} \cdot T_M}$$

En régime générateur / frein:

$$i = \frac{\eta_{L \rightarrow M} \cdot F_L}{T_M}$$

Pour un treuil:

$$v_L = r \cdot \omega_M$$

## Choix du rapport de réduction - Régime permanent Moteurs DC

Contrainte de vitesse:

$$i < i_{\max} = \frac{\omega_{M-lim}}{\omega_{L-\max}} \text{ respectivement } i < i_{\max} = \frac{\omega_{M-lim}}{v_{L-\max}}$$

Contrainte de couple en régime «moteur»:

$$i > i_{\min} = \frac{T_{L-\max}}{T_{M-nom}} \cdot \frac{1}{\eta} \text{ respectivement } i > i_{\min} = \frac{F_{L-\max}}{T_{M-nom}} \cdot \frac{1}{\eta} [\text{m}^{-1}]$$

Contrainte de couple en régime générateur/frein:

$$i > i_{\min} = \frac{T_{L-\max}}{T_{M-nom}} \cdot \eta \text{ respectivement } i > i_{\min} = \frac{F_{L-\max}}{T_{M-nom}} \eta [\text{m}^{-1}]$$

## Choix du rapport de réduction - Régime impulsionnel

$$J_{L-equiv}|_M = J_L \cdot \left(\frac{1}{i}\right)^2 = J_L \cdot \left(\frac{Z_M}{Z_L}\right)^2 [\text{kgm}^2]$$

$$J_{L-equiv}|_M = m_L \cdot \left(\frac{1}{i}\right)^2 = m_L \cdot \left(\frac{Z_M \cdot p}{2 \cdot \pi}\right)^2 [\text{kgm}^2]$$

$$T_{acc}|_M = \alpha_M \cdot \sum J = \alpha_M \cdot (J_M + J_{L-equiv}|_M)$$

Pour un réducteur rotatif-rotatif:

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{J_L}{J_M}} \quad (\text{sans dimension})$$

Pour un réducteur rotatif-linéaire:

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{m_L}{J_M}} \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$T_{em} = k_T \cdot I_a$$

$$U_i = k_E \cdot \omega$$

$$U_a = R_a \cdot I_a + U_i = R_a \cdot I_a + k_E \cdot \omega$$

$$\frac{U_i}{T_{em}} = \frac{k_E \cdot \omega}{k_T \cdot I_a} \Rightarrow \frac{U_i \cdot I_a}{T_{em} \cdot \omega} = \frac{k_E}{k_T}$$

$$k_T = k_E$$

$$T_{em}(t) - \underbrace{[T_{frott-M}(t) + T_{frott-L}(t) + T_{utile}(t)]}_{T_{res}(t)} = T_{acc}(t)$$

$$\underbrace{T_{em}(t) - T_{rs}(t)}_{T_{ac}(t)} = J_{total} \cdot \frac{d\omega(t)}{\frac{dt}{\alpha(t)}}$$

$$P_{arbre}(t) = T_{arbre}(t) \cdot \omega(t)$$

En mode moteur:

$$\eta = \frac{P_{utile}(t)}{P_{fournie}(t)} = \frac{P_{arbre}(t)}{P_{elec}(t)}$$

En mode génératrice:

$$\eta = \frac{P_{utile}(t)}{P_{fournie}(t)} = \frac{P_{elec}(t)}{P_{arbre}(t)}$$

Pertes électriques:

$$P_{Joule}(t) = R_a \cdot i_a^2(t)$$

Pertes par frottement:

$$P_{frott}(t) = T_{frott.}(t) \cdot \omega(t)$$

Puissance électromagnétique:

$$P_{em}(t) = P_{elec}(t) - P_{Joule}(t) = P_{arbre}(t) + P_{frott}(t)$$