

# Variateurs de vitesse pour machines à C.C.

## 1. Méthode de réglage.

Vitesse d'un M.C.C. (shunt ou séparé):

$$\Omega = \frac{U - RI}{k\Phi} ; \quad E = k\Phi\Omega ; \quad U = RI + E$$

Quels sont les paramètres dont dépend  $\Omega$ .

$$\Omega = f(U, R, \Phi)$$

Donc: le réglage se fera par le biais

a) Action sur  $R$  (réglage Rhéostatique)

b) Action sur  $U$  (réglage par Tension)

c) Action sur  $\Phi$  (réglage par le flux).

a) Action sur  $R$  / Rhéostatique

$$\Omega = \frac{U - RI}{k\Phi} = \frac{U - (R + R_h)I}{k\Phi}$$

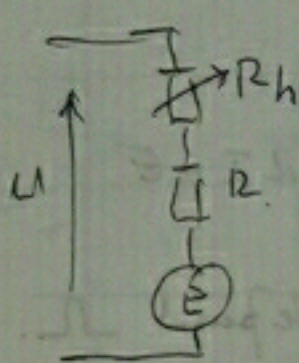
$$\underline{\text{Si } R_h \uparrow \Rightarrow \Omega \downarrow ; \text{ Si } R_h \downarrow \Rightarrow \Omega \uparrow}$$

Pour varier  $\Phi$ , on doit varier  $I_{ex}$ .

$$\text{Si } U \uparrow \Rightarrow \Omega \uparrow ;$$

$$\text{Si } \Phi \uparrow \Rightarrow \Omega \downarrow$$

La tension et le  $\Phi$  étant fixes à leur valeur nominale, on réduit la vitesse en augmentant la résistance de l'induit ( $R_{oh}$ ) à l'aide  $R_h$  en série.



$$U = (R + R_h) I + k\Phi I$$

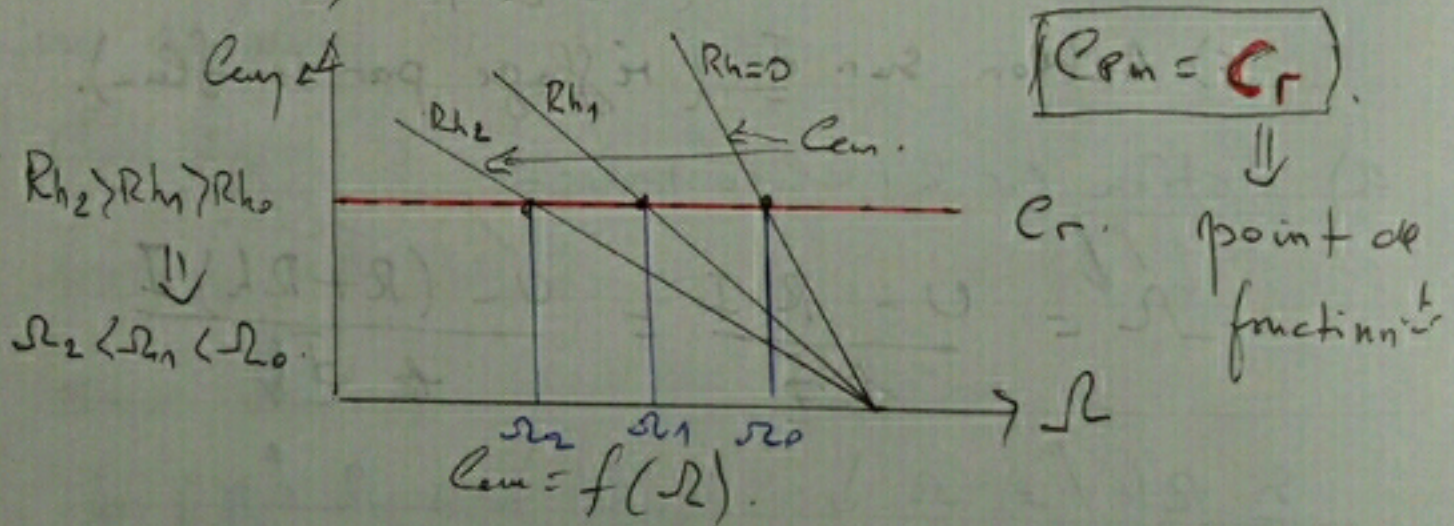
l'autre part :

$$C_{em} = k\Phi I \Rightarrow I = \frac{C_{em}}{k\Phi}$$

d'où : 
$$U = \frac{U - (R + R_h) C_{em}}{(k\Phi)^2}$$
 Equation d'une droite

du Régime Permanent en : vitesse nominale.

$$\Rightarrow C_{em} = C_r$$



$\Rightarrow$  Plus  $R_h \uparrow$  et Plus  $R \downarrow$

$\Rightarrow$  Pertes Joules  $\uparrow$  à cause de  $R_h$ .

$\Rightarrow$  Utilisable (RL) pour faire un démarrage programmé (pas à grande vitesse)

$\Rightarrow$  Méthode Non intéressante.

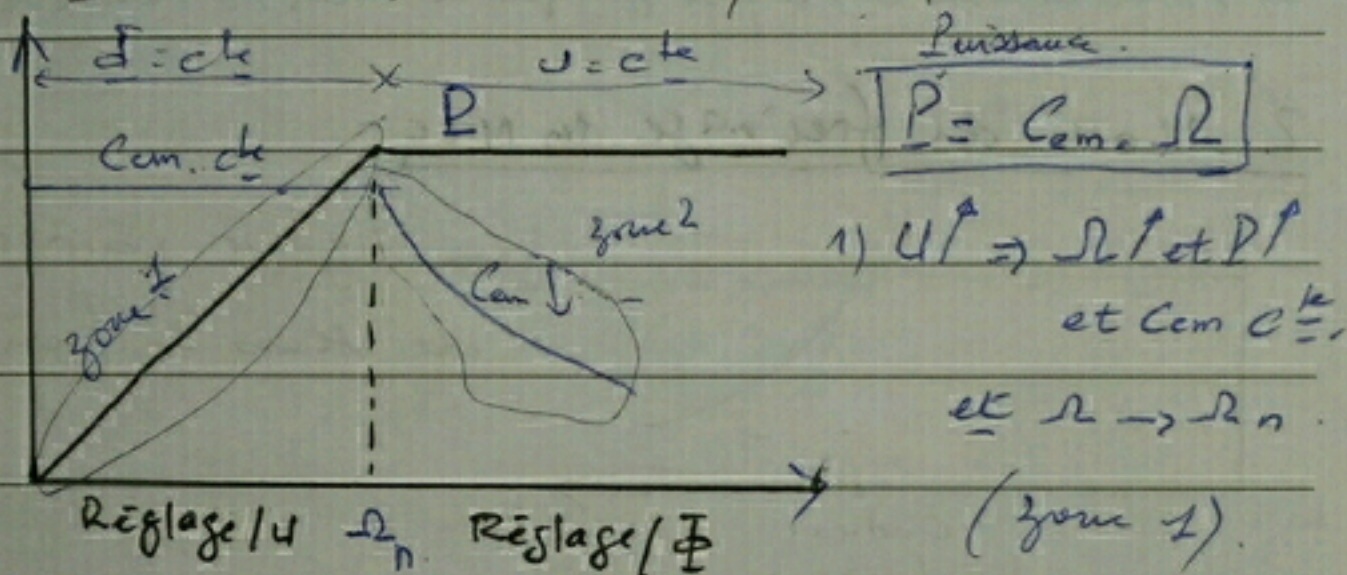
b. Action sur  $\Omega$  :  $\Omega \rightarrow \Omega_n$ .

• Bobine :  $i_{cc} = cte$   
 • Aimant permanent

A excitation constante ( $\Phi = cte$ ),  $\Omega$  peut être variée d'une valeur nulle à la valeur nominale en variant la tension d'induit de zéro à la valeur nominale.

⇒ On ne peut pas dépasser  $\Omega_n$  :  $[0; \Omega_n]$ .

Idem :  $U \rightarrow U_n$  à ne pas dépasser.



2) Si on veut dépasser la vitesse Nominale  $\Omega_n$ , on procède au réglage par  $\Phi$  ( $U = cte$ )

$$P = C_{em} \cdot \Omega \uparrow$$

Pour  $P$  constant ; si  $\Omega \uparrow$  alors  $C_{em} \downarrow$ .  
 (zone 2)

Remarque: Si besoin d'un grand couple,  $W_{cr}$  en zone 1  
 Si besoin d'une grande vitesse ;  $W_{cr}$  en zone 2

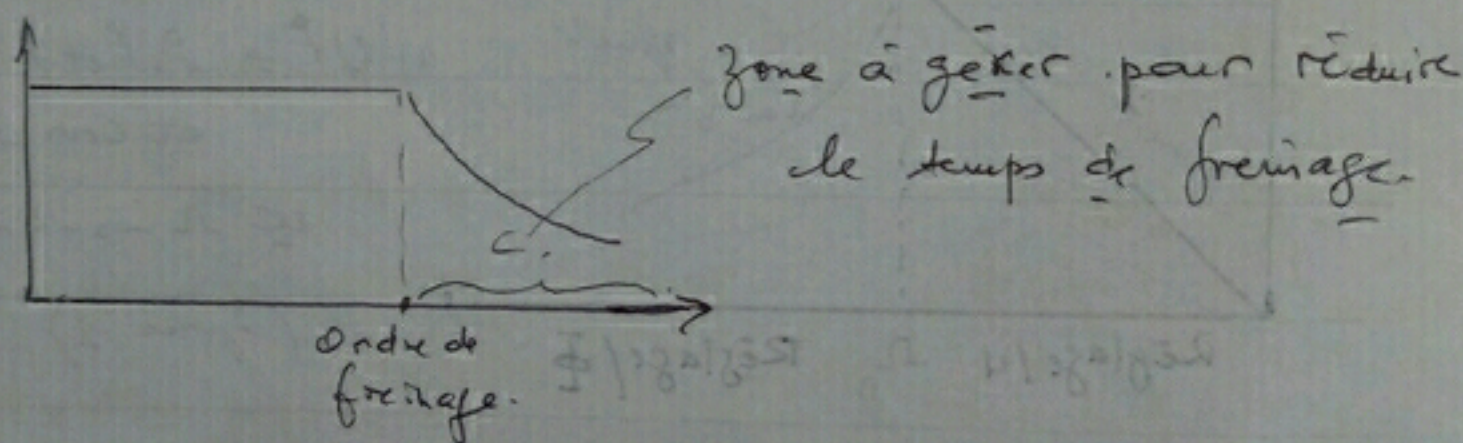
### c. Action sur $\omega$ : ( $\Omega < \omega_n$ )

Lorsque le moteur atteint sa vitesse nominale, on peut encore accroître sa vitesse en diminuant le flux inducteur : selon la relation

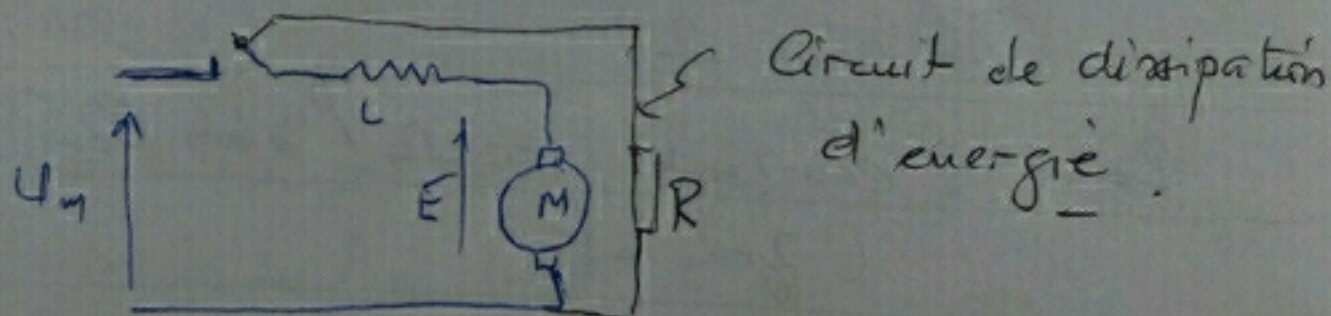
$$\Omega = \frac{U - R}{(k\phi)^2} \cdot \text{Cem} \quad ; \quad \text{si } \phi \downarrow \Rightarrow \Omega \uparrow$$

⇒ Situation très peu fréquente dans la réalité.

### 2. Mode de freinage des MCC



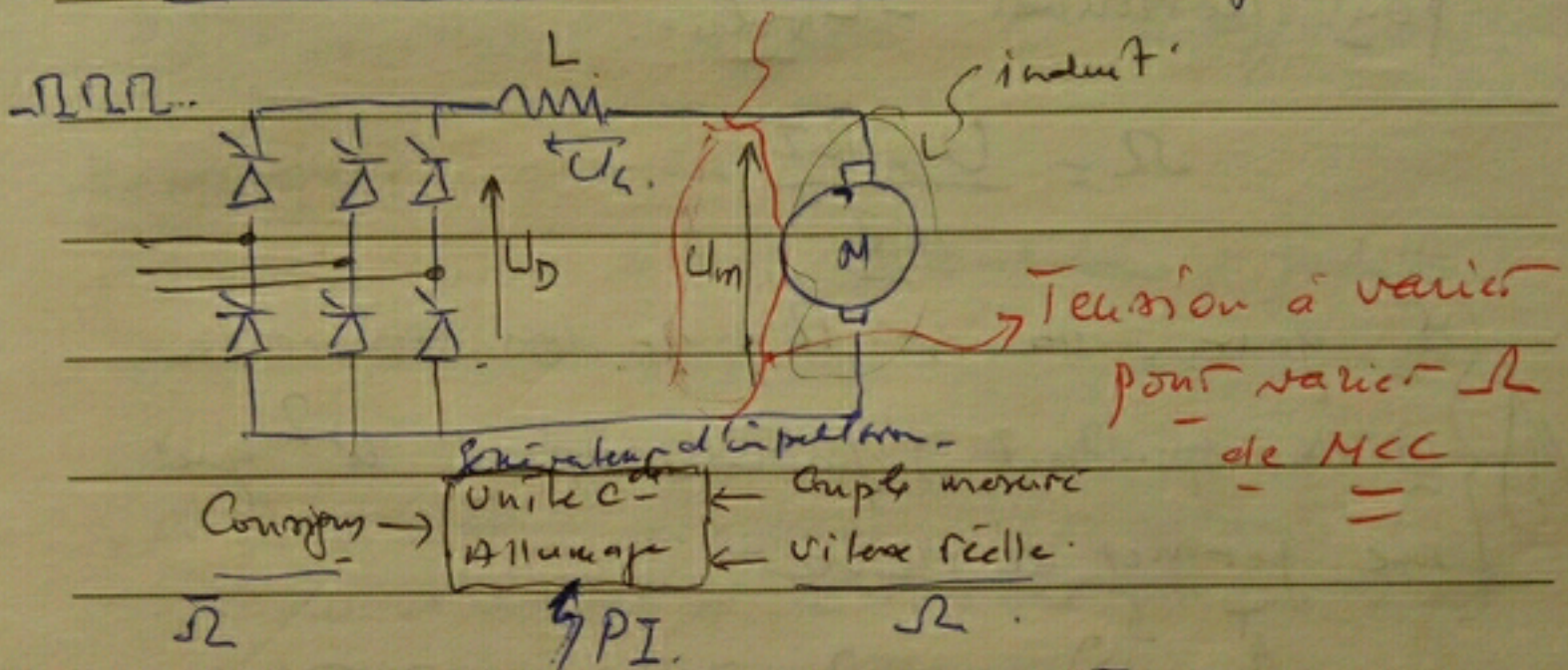
⇒ Création d'un contact inverse ⇒ donc couple inverse ⇒ Expl. : Métro :



### 3. Montages fondamentaux pour la variation de la vitesse des machines à C.C.

#### 3.1 Variateur à 1 sens de rotation sans freinage ( $\Omega_1$ )

##### 3.1.1 Variateur de vitesse non réversible de type PDB à th.



Selon la différence  $\bar{\Omega} - \Omega$  ;  $\bar{\Omega}$  : vitesse consigne  
 $\Omega$  : vitesse réelle

on donne l'ordre : au régulateur PI. pour modifier la Tension  $U$  (variation de  $\alpha$  agit

La modification de  $U$  (si  $\Omega$ ) fait varier  $\Omega$ .

$\Rightarrow$  Pour changer / varier  $U$  ;  $U_D$  ; on joue sur  $\alpha$  : l'angle d'amorçage  $\Rightarrow U_D$

Sachant que  $U_D - U_L - U_m = 0$

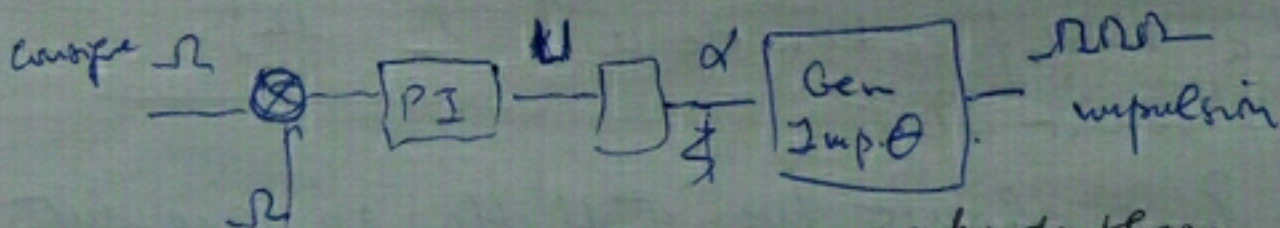
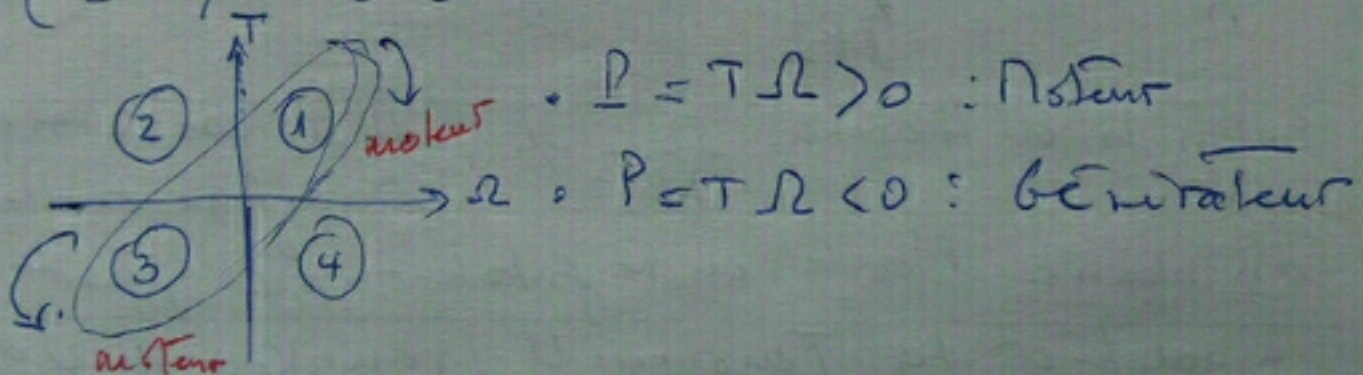
Si on néglige  $U_L \Rightarrow U_D = U_m$

$\Omega \Omega \Omega$ : Impulsion  $\alpha$  largeur d'impulsion.

$\underline{\alpha}$ :  $\alpha$  rapport cyclique. On jouant sur  $\underline{\alpha}$ , on peut obtenir la UD recherchée (d'une façon) pour retrouver  $\Omega$  voulu.

$$\Omega = \frac{U - RI}{K \Phi}$$

Si je veux varier  $\Omega$ ; je dois trouver la U correspondant  $\Rightarrow$  par conséquent  $\alpha$ ? qui me permet de l'avoir.



La tension redressée est:  $\nearrow$  nombre de phase  $\nearrow$  Tension Réseau

$$U_D = 2 \cdot \frac{q}{\pi} \sin\left(\frac{q}{\pi}\right) \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos \alpha$$

$U_D$ : est donnée par le PID: suite à  $\bar{\Omega} - \Omega$ .  
 $\underline{\alpha}$ : tension recherchée:  
 $q$ ; connue;  $V$ ;  $R_{sx}$  connu  $\Rightarrow$  Reste à déterminer  $\alpha$  pour avoir UD

On calcule  $\alpha$  selon l'équation précédente,  
ensuite on l'injecte pour obtenir  $U_D$  recherché

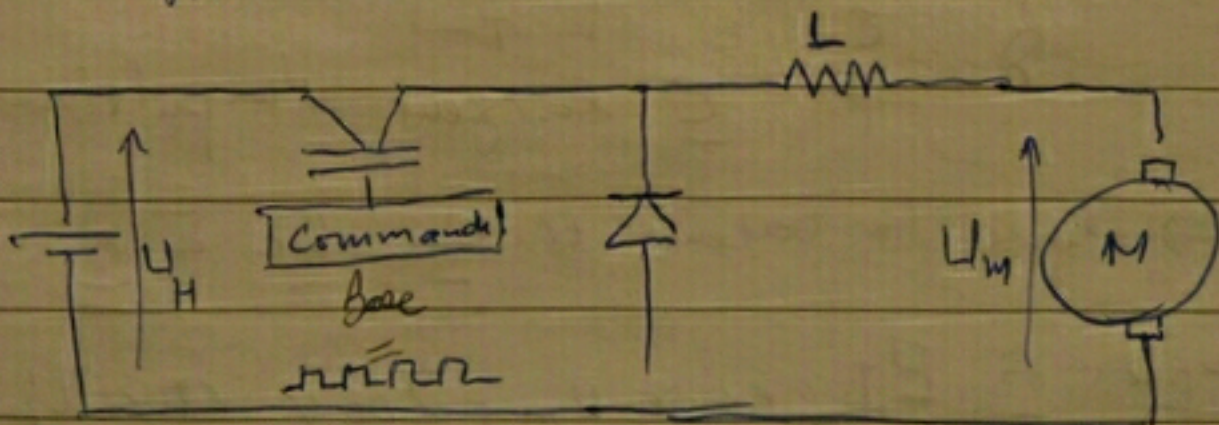
- Puissance du côté charge :  $P_D = U_D I$ .
- Facteur de puissance  $\approx \cos \alpha$ .
- Puissance Réactive requise :  $Q = P \tan \alpha$ .

Remarque:

- Avant de démarrer le MCC, les impulsions de gâchette doivent être retardées de  $90^\circ \Rightarrow$  pour avoir tension de sortie nulle :  $\cos \alpha = 0 \Rightarrow U_D = 0$ .
- On ferme ensuite l'interrupteur et on augmente la tension d'induit en diminuant graduellement l'angle  $\alpha$  d'amorçage.

$$\vec{\Omega} = \frac{\vec{V} - R \vec{I}}{k \Phi} ; \alpha \downarrow \Rightarrow U \uparrow$$

### 3.9.2 : Variateur de vitesse non réversible de Type hacheur à IGBT (cadran Q1)



$$U_m = \lambda \times U_H$$

$$I_h = \lambda \times I_m$$

Puissance fournie par RSX:  $P_1 = U_H \times I_h$ .

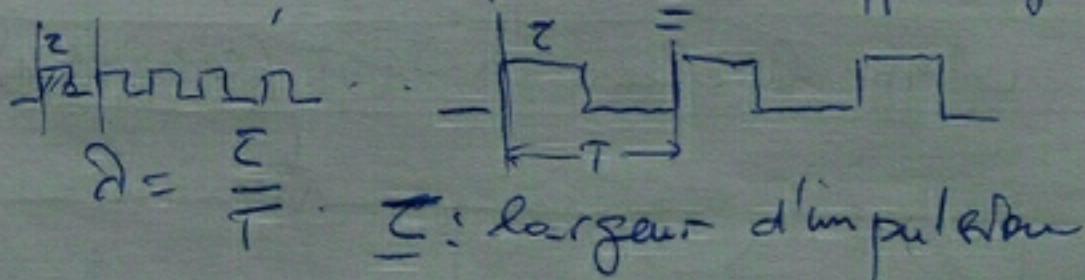
Rappel: notre contrôleur PI ou PID va toujours nous commander la  $U_m$  pour avoir la vitesse voulue  $\Omega$ .

$$\left. \begin{array}{l} \text{PI} \\ \text{PID} \end{array} \right\} \rightarrow U_m \rightarrow \Omega.$$

Comment à partir de la forme de courant à la base du transistor, je peux avoir savoir la tension  $U_m$ ?

Il faut trouver:  $U_m = f(U_H)$ .

$U_m = \lambda U_H$ , c'est quoi  $\lambda$ ? Rapport Cyclique.



$\Rightarrow$  donc la valeur de  $U_m$  lie à  $\lambda$

exple: si PI: exige  $U_m = 200V$  avec  $U_H = 400V$

alors:  $\lambda = 0,5$ : ~~la~~ largeur d'impulsion

aura une largeur 50% de  $T$ .

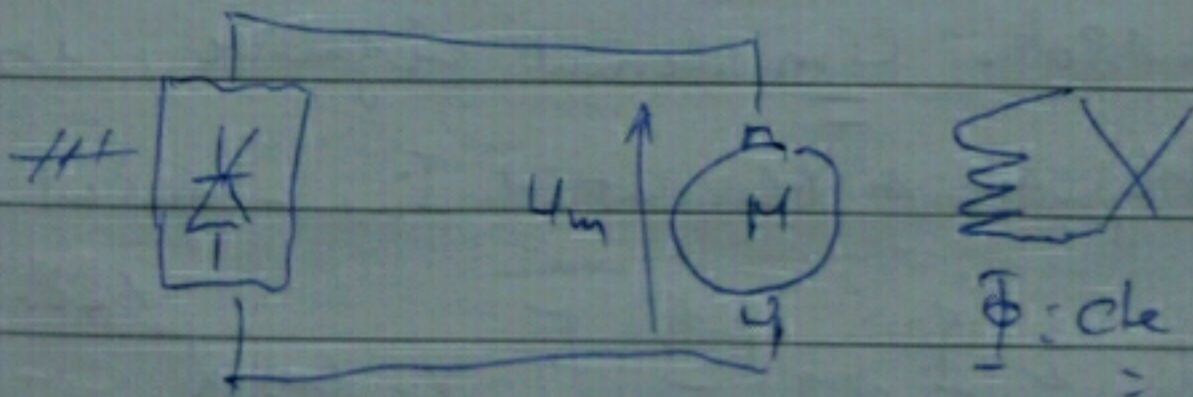


## Mise en marche

- Au démarrage le rapport cyclique  $d$  doit être très faible pour que  $U_m$  sera très faible. Par conséquent, le courant de démarrage ne dépasse pas la valeur admissible (démarrage proportionnel).
- Par contre, lorsque le moteur fonctionne en régime nominal;  $d$  peut s'approcher de 1  
( $U_m \approx U_H$ )
- Ainsi, la variation du rapport cyclique permet de modifier la tension aux bornes de l'induit par conséquent la vitesse de rotation.

## 3.2: Variation vitesse à 1 sens de rotation avec freinage ( $Q_1$ et $Q_4$ )

### 3.2.1 Participe à l'opération d'énergie en inversant l'excitation ( $Q_1$ et $Q_4$ ).



→ Lorsque le MFT fonctionne dans  $Q_1$  et  $Q_4$ , son sens de rotation ne change pas

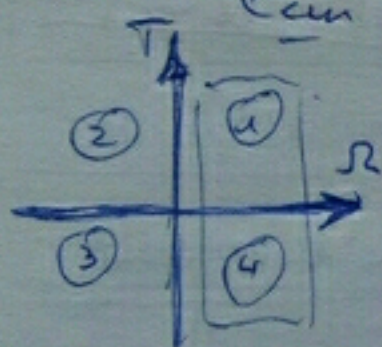
→ Dans  $Q_1 \rightarrow$  M.C.C. en 17 stator ( $C > 0$  et  $R > 0$ )

→ Dans  $Q_4 \rightarrow$  M.C.C.; le champ est inversé, le moteur fonctionne temporairement en mode générateur et  $P_{d3}$  peut fonctionner en mode onduleur non autonome; ce qui permet de renvoyer la puissance dans le réseau

→ Pour inverser le sens de Rotation du Courant

→ Inversion du sens du Courant  $\Rightarrow$  Inversion du champ magnétique  $\Rightarrow$  Inversion du

$C_{em} \Rightarrow$  freinage et arrêt



Pour ce faire

- Régler l'angle d'amorçage au voisinage de  $180^\circ$ .  $C_{em}$  devient négative, les thyristors se bloquent et  $I_{induit}$  devient nul.

$$M_0 = 2 \frac{q}{\pi} \sin\left(\frac{q}{\pi}\right) \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos \alpha \quad \begin{matrix} \checkmark 180 = \pi \\ = -1 \end{matrix}$$

$\Rightarrow M_0 = U_M =$  devient négatif.

Inverser rapid<sup>t</sup> (2 à 3 seconds) pendant les connexions du circuit d'excitation afin de changer la polarité de  $\bar{E}$  : ( $\bar{E} = k\dot{\phi}R$ ) :  $\dot{\phi}$  change de sens car  $\dot{\phi} = f(I_{exc})$ .

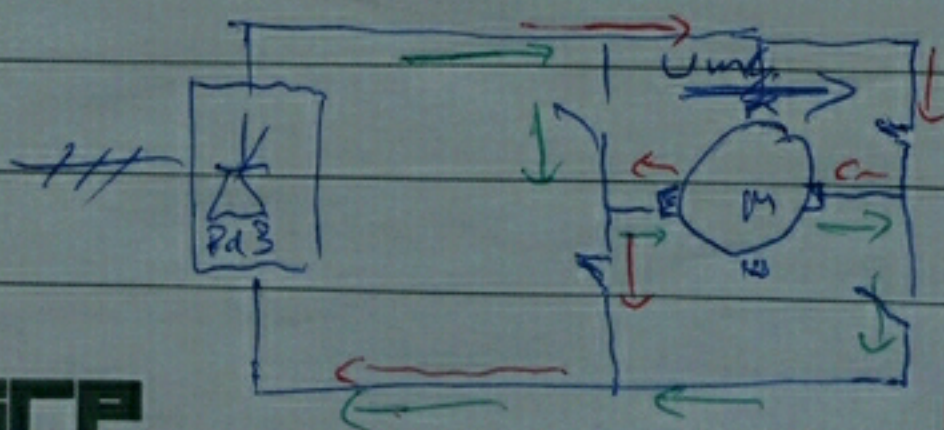
- Régler à nouveau l'angle " $\alpha$ " afin que :  $U_m$  devienne  $< \bar{E}$ , ce qui permet la circulation de courant vers le réseau : [ $\alpha$  tel que  $U_m < \bar{E}$ ].
- Une fois le freinage achevé, inverser à nouveau les connexions afin que le MCC puisse reprendre son fonctionnement en 07 sens (remise du flux sous le sens initial).

Rq. [ Tout le processus se fait de façon automatique dès l'unité de commande que auparavant ]

### Avantage


- Pas de dissipation de chaleur
- le sens de freinage peut être contrôlé avec précision ce qui permet de contrôler le temps de freinage.

### 3.2.2. Par récupération d'énergie en Inversant le courant d'Induit ( $Q_1$ et $Q_4$ )



Inversion du sens du courant dans l'induit en jouant sur les contacts

Le chang<sup>+</sup> des sens de courant d'induit -  
entraîne le chang<sup>+</sup> du sign du cou: car

$$C_{\text{cou}} = K \Phi \dot{I}_{\text{ind}} \Rightarrow$$


Rq: La c<sup>te</sup> de temps de l'induit est beu plus  
petite que celle de l'inducteur (excitation).

$\Rightarrow$  ce qui permet d'inverser le I<sub>ind</sub> plus  
rapidement (10 fois plus court) que l'excitation

$\Rightarrow$  donc le focinage se fera beu plus rapidement