Variateurs de vitesse pour machines à C.C.

1. Méthode de réglage.

Vitesse d'un MCC (shunt ou séparé) :

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

Quels sont les paramètres dont dépend Ω.

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

Donc : le réglage se fera par le biais

a) Action sur R (réglage Rhéostatique)

b) Action sur U (réglage par Tension)

c) Action sur Φ (réglage par le flux).

a) Action sur R / Rhéostatique

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

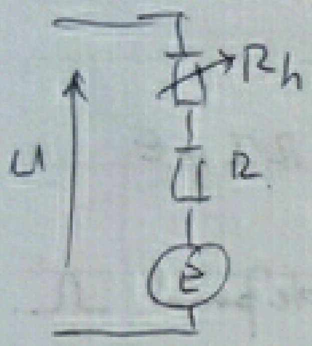
Si $Rh \nearrow \Rightarrow \Omega \searrow$; Si $Rh \searrow \Rightarrow \Omega \nearrow$

Pour varier Φ, on doit varier I_{ex}.

Si $U \nearrow \Rightarrow \Omega \nearrow$;

Si $\Phi \nearrow \Rightarrow \Omega \searrow$.

b) La tension et le Φ étant fixés à leur valeur nominale, on réduit la vitesse en augmentant la résistance de l'induit (Rotor) à l'aide R_h en série.



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

d'autre part :

$$\underbrace{C_{em} = k\Phi I}_{} \Rightarrow I = \frac{C_{em}}{k\Phi} \quad = \frac{U}{k\Phi} - \frac{(R+R_h)}{(k\Phi)^2} \cdot C_{em}$$

$$\text{d'où. } \Omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{(R+R_h)}{(k\Phi)^2} \cdot C_{em}$$

: Équation d'une droite

en Régime Permanent ie : vitesse nominale.

$\Rightarrow C_{em} = C_r$.

$\boxed{C_{em} = C_r}$.

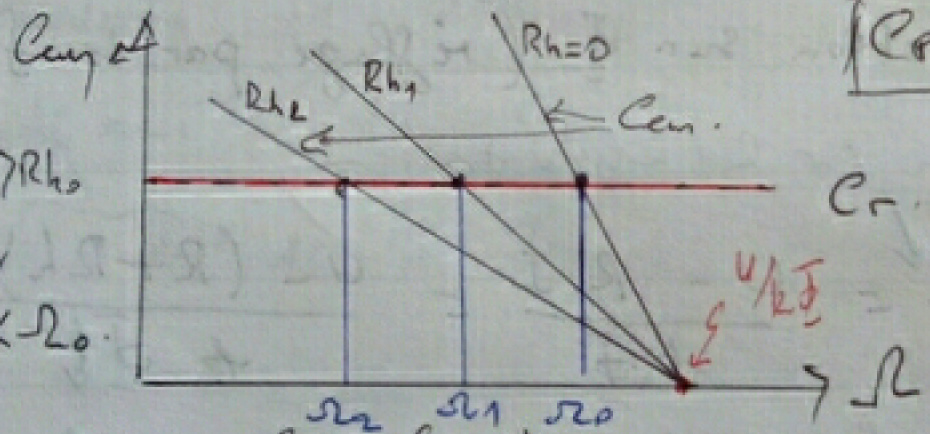
$\Downarrow$

point de fonctionn^t

$R_{h2} > R_{h1} > R_{h0}$

$\Downarrow$

$\Omega_2 < \Omega_1 < \Omega_0$.



$C_{em} = f(\Omega)$.

$\Rightarrow$ Plus R_h ↗ et Plus Ω ↘.

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

$\Rightarrow$ Utilisable (R_h) pour faire un démarrage progressif (pas à grande vitesse)

$\Rightarrow$ Méthode : Non intéressante.

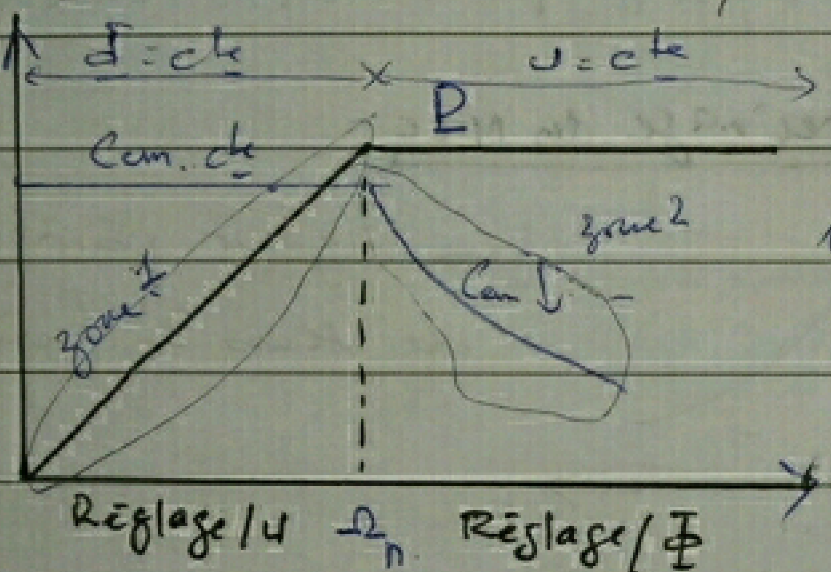
• Bobine : $i_{ex} = c^{te}$
• Aimant Permanent

b. Action sur U : $\Omega \geq \Omega_n$.

A excitation constante ($\Phi = c^{te}$), Ω peut être variée d'une valeur nulle à la valeur nominale en variant la tension d'induit de zéro à la valeur nominale

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

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



Puissance.
$$\boxed{P = C_{em} . \Omega}$$

1) $U \nearrow \Rightarrow \Omega \nearrow$ et $P \nearrow$ et C_{em} c^{te}, et $\Omega \rightarrow \Omega_n$.

(Zone 1).

2). Si on veut dépasser la vitesse Nominale Ω_n, on procède au réglage par Φ. ($U : c^{te}$)

$P^{cte} = C_{em} . \Omega \nearrow$

Pour P constant, si $\Omega \nearrow$ alors $C_{em} \downarrow$.

(Zone 2)

Remarque : Si besoin d'un grand Couple, Wer en Zone 1
Si besoin d'une grande vitesse ; Wer en Zone 2

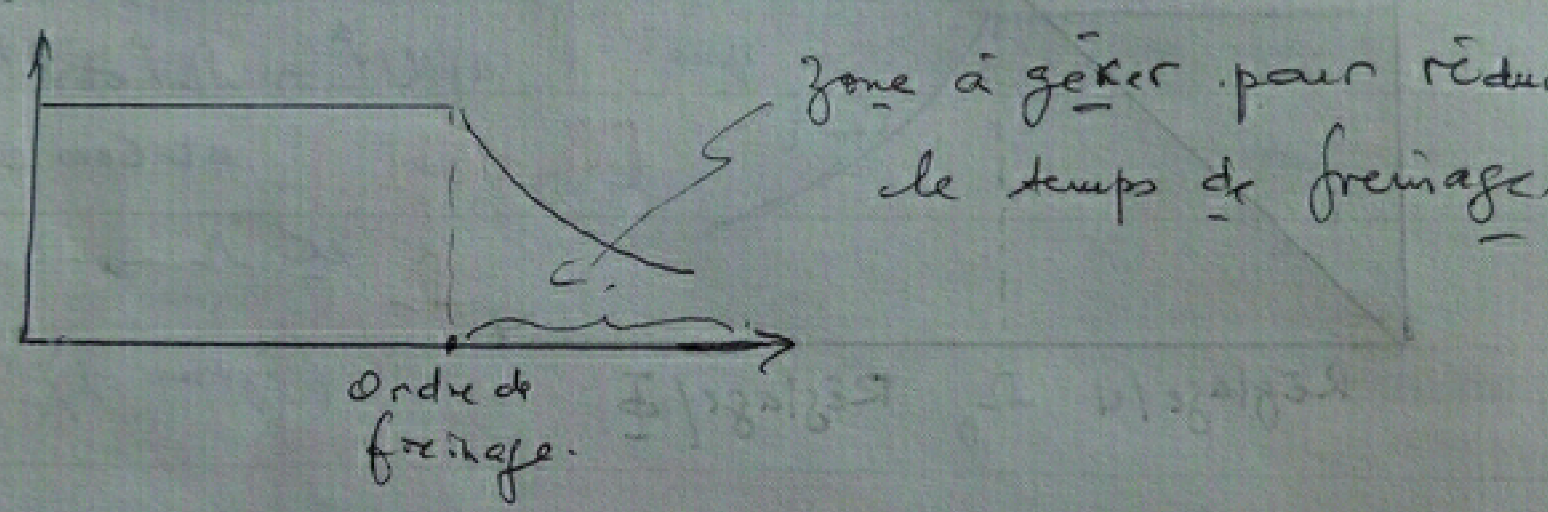
c. Action sur Φ : ($\Omega < \Omega_n$)

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

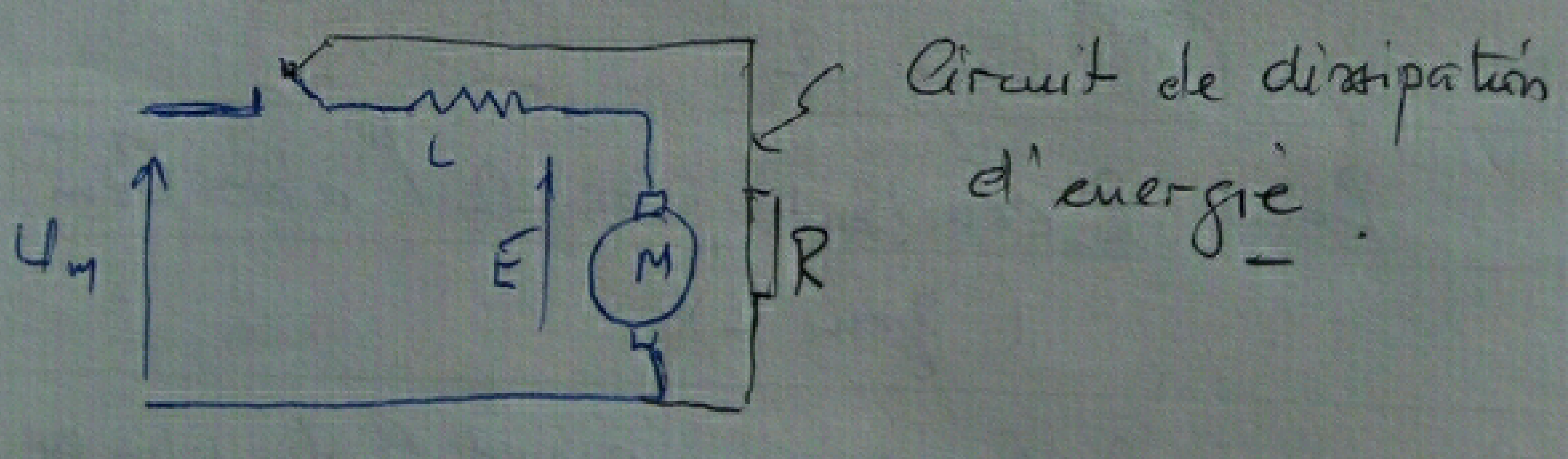
$$\Omega = \frac{U - RI}{K\Phi} \quad : \text{si } \Phi \searrow \Rightarrow \Omega \nearrow$$

⇒ Situation très peu fréquente dans la réalité.

2. Mode de freinage des MCC



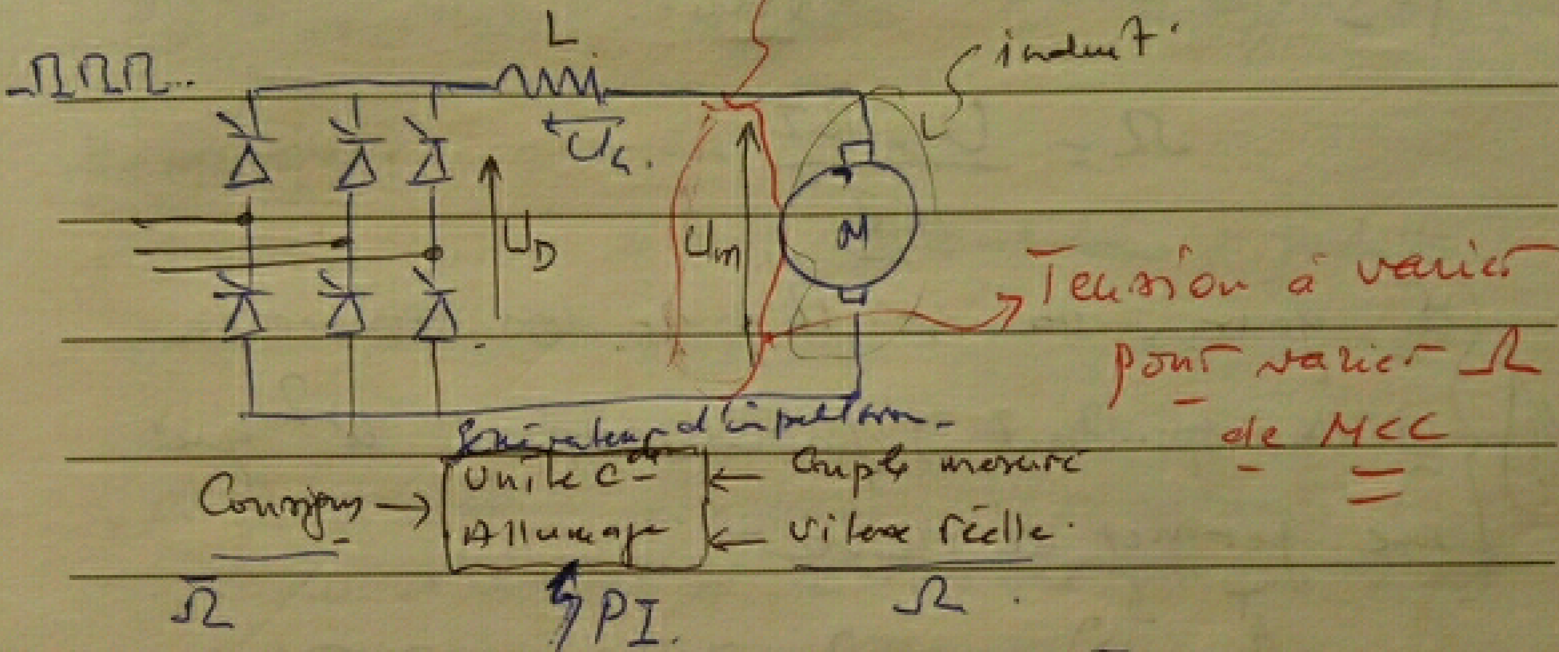
⇒ Création d'un courant inverse ⇒ donc couple inverse ⇒ Exple : Métro :



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

3.1 Variateur à 1 sens de rotation sans freinage (Q_1)

3.1.1 Variateur de vitesse non reversible de type PD3 à th.



Selon la différence $\bar{\Omega}_{Ref} - \Omega$; $\bar{\Omega}$: vitesse consigne
Ω : vitesse réelle.

on donne l'ordre : au régulateur PI pour modifier la Tension U. (variation de U agit [$\bar{\Omega}$ Ω]).

La modification de U fait varier Ω.

⇒ Pour changer / varier U : U_D ; on joue sur α : l'angle d'amorçage ⇒ U_D.

Sachant que $U_D - U_L - U_m = 0$

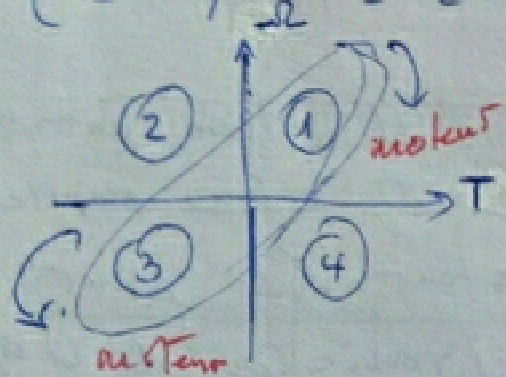
Si on néglige U_L ⇒ $U_D = U_m$.

∿∿∿ : Impulsion : α largeur d'impulsion.

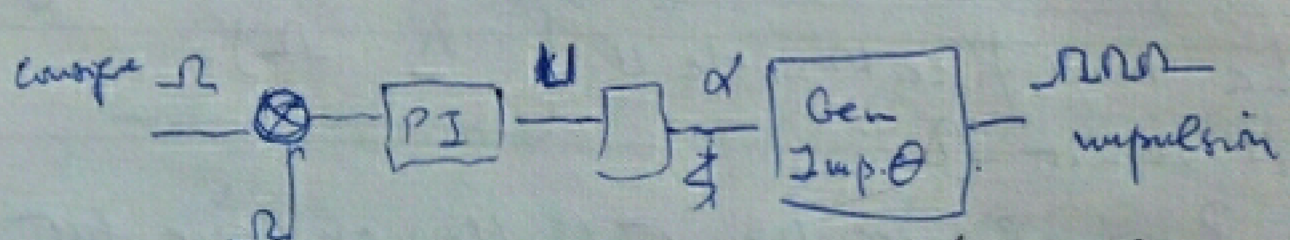
i.e : α rapport cyclique. On jouant sur α, on peut obtenir la U_D recherché (donc [illegible]) pour retrouver Ω voulu..

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

Si je veux varier Ω ; je dois trouver la U correspondant ⇒ par conséquent α ? qui me permet de l'avoir.



- $P = T\Omega > 0$: Moteur
- $P = T\Omega < 0$: Générateur



• La tension redressée est : nombre de phase, Tension Réseau

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

U_D : est donnée par le PID : suite à $\bar{\Omega} - \Omega$.
= i.e : tension recherchée :
q ; connu ; V : Rsx connu ⇒ Reste à déterminer α pour avoir U_D

On calcule α selon l'équation précédente.
ensuite on l'injecte pour obtenir U_D recherchée

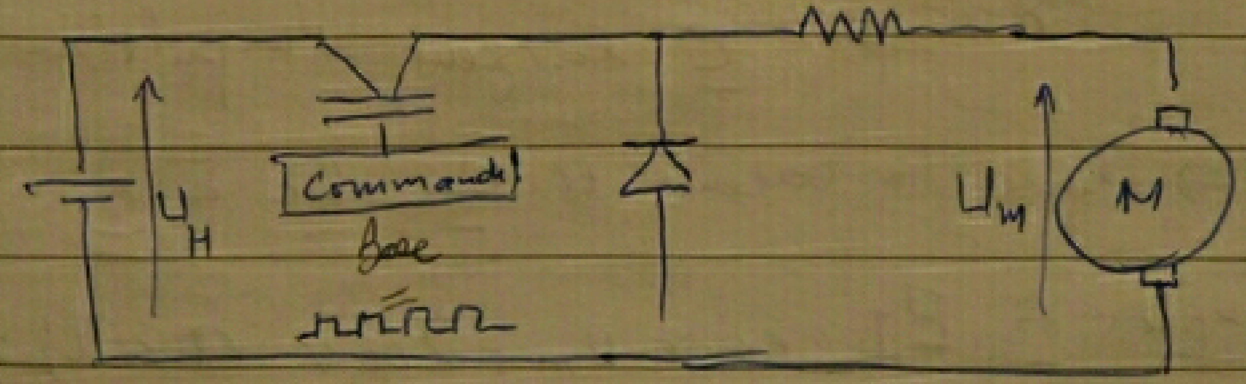
- Puissance du côté charge : $P_D = U_D I$.
- Facteur de puissance $\simeq \cos\alpha$.
- Puissance réactive requise : $Q = P \tan\alpha$.

Remarque:

- Avant de démarrer le MCC, les impulsions de gâchettes doivent être retardées de $90°$ $\Rightarrow$ 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 α d'amorçage.

$$\Omega\nearrow = \frac{U\nearrow - RI}{k\Phi} \quad ; \quad \alpha\searrow \Rightarrow U\nearrow$$

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



$U_m = \lambda \times U_H$

$I_H = \lambda \times I_m$.

<u>Puissance fournie par RSX</u> : $P_1 = U_H \times I_H$.

<u>Rappel</u> : notre contrôleur PI ou PID <u>va</u> toujours nous recommander <u>la</u> $\underline{\underline{U_m}}$ pour avoir la vitesse voulue Ω.

$$\left.\begin{matrix} PI \\ PID \end{matrix}\right\} \rightarrow U_m \rightarrow \Omega.$$

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

Il faut assurer : $U_m \stackrel{?}{=} f(U_H)$.

$U_m = \lambda U_H$; c'est quoi $\underline{\underline{\lambda}}$? Rapport Cyclique.

$\lambda = \frac{\tau}{T}$. $\underline{\tau}$: largeur d'impulsion

⇒ donc la valeur de $\underline{\underline{U_m}}$ liée à $\underline{\underline{\lambda}}$

<u>exple</u> : <u>si</u> <u>PI</u> : exige $U_m = 200\,V$ avec $U_H = 400\,V$

alors : $\underline{\underline{\lambda}} = 0,5$: l'impulsion aura une largeur 50% de $\underline{\underline{T}}$

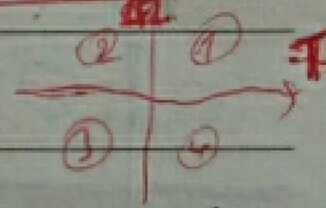
Mise en marche

- Au démarrage le rapport cyclique α doit être très faible pour que Um sera très faible. Par conséquent, le courant de démarrage ne dépasse pas la valeur admissible (démarrage progressive).
- Par contre, lorsque le moteur fonctionne en Régime nominal ; α peut s'approcher de 1

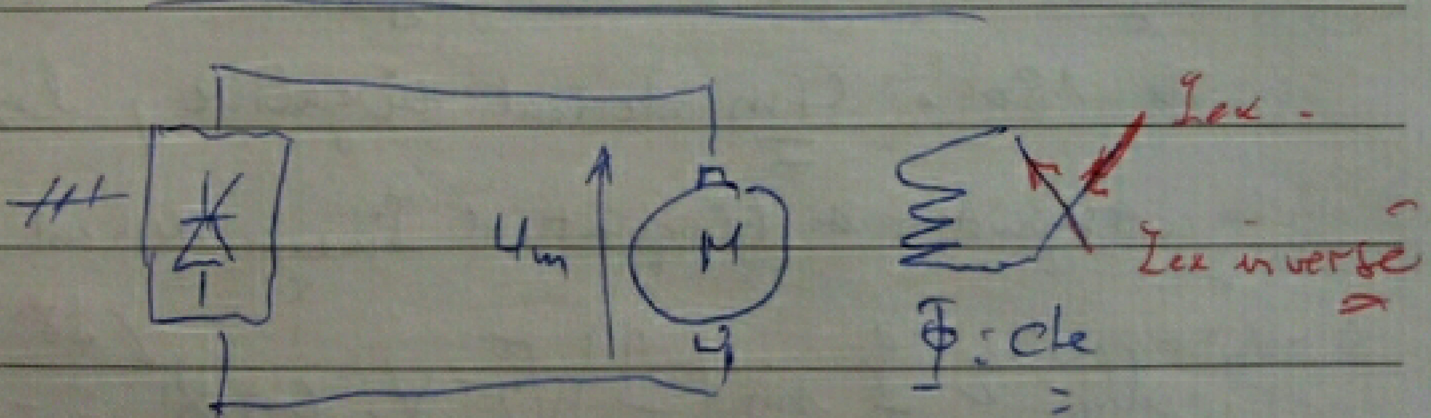
  $(U_m \simeq U_H)$

- Ainsi, la variation du rapport cyclique permet de modifier la tension aux bornes du moteur et par conséquent la vitesse de rotation.

3.2 : Variation vitesse à 1 sens de rotation avec freinage (Q_1 et Q_2)



3.2.1 Par récupération d'Energie en inversant l'excitation (Q_1 et Q_4).



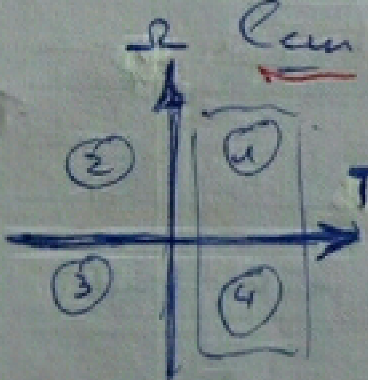
→ Lorsque le Mst fonctionne dans Q_1 et Q_2, son sens de rotation ne change pas

→ Dans Q_1 → MCC en moteur ($C > 0$ et $\Omega > 0$)

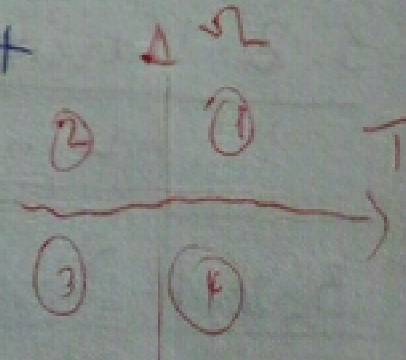
→ Dans Q_2 → MCC ; le champ est inversé, le moteur fonctionne temporairement en mode générateur et PD3 peut fonctionner en mode onduleur non autonome ; ce qui permet de renvoyer la puissance dans le réseau $C = K\phi$

→ Pour inverser le sens de Rotation du Courant

→ Inversion du sens du Courant ⇒ Inversion du champ magnétique ⇒ Inversion du C_{em} ⇒ freinage et arrêt



Pour ce faire



- Régler l'angle d'amorçage au voisinage de 180°. U_m devient négative, les thyristors se bloquent et I induit devient nul.

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

$180 = \pi$
$= -1$

⇒ $U_D = U_M$: devient négatif

pendant
- Inverser rapid^t (2 à 3 seconds) les connexions du circuit d'Excitation afin de changer la polarité de E : $[E = K\Phi\Omega]$: Φ change de sens car $\Phi = f(I_{ex})$.

- Régler à nouveau l'angle "α" afin que : U_m devienne $<$ à E, ce qui permet la circulation du courant vers le réseau : [α tel que $U_m < E$]

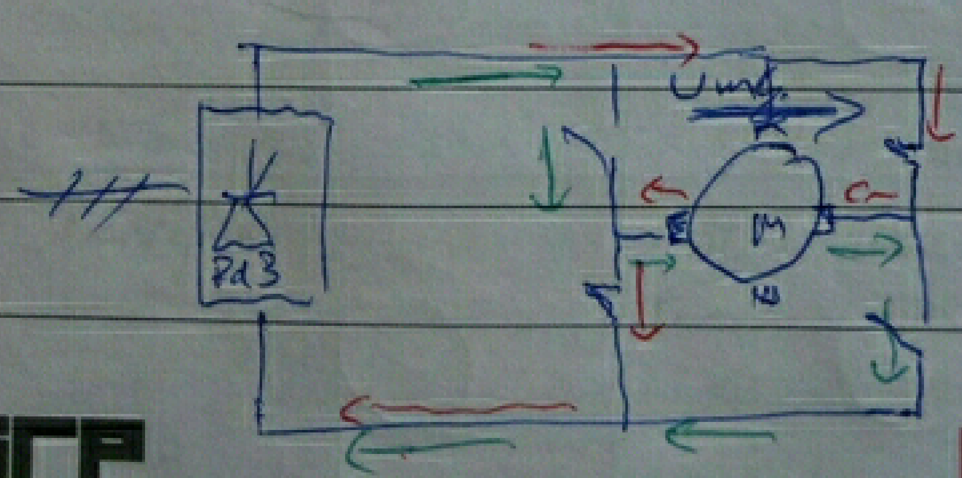
- Une fois le freinage achevé, inverser à nouveau les connexions afin que le MCC puisse reprendre son fonctionnement en moteur (Remise du flux dans le sens initial).

Rq : [Tout le processus se fait de façon automatique dans l'unité de commande vue auparavant

Avantage

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

3.2.2. Par récupération d'energie en Inversant le courant d'Induit (Q1 et Q2)



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

Le chang^t du sens de courant d'induit — entraine le chang^t du sens du C_{em} : car

$$C_{em} = K\,\Phi\,I_{ind} \nearrow$$

Rq : La c^{te} de Temps de l'induit est bcp plus petite que celle de l'inducteur (excitation).

⇒ ce qui permet d'inverser le I induit plus rapidement (10 fois plus court) que l'excitation

⇒ donc le freinage se fera bcp plus rapidement