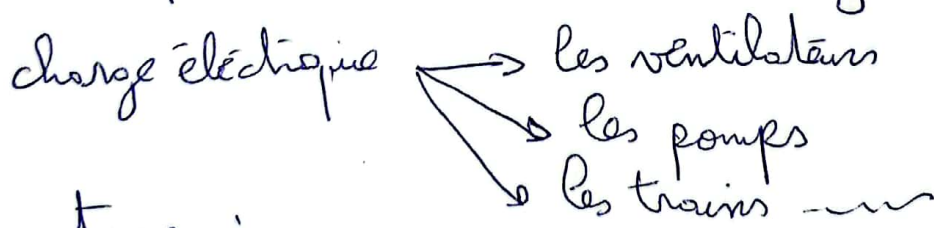


Entraînement électrique

- Généralité sur les entraînement électrique :
- Définition : le système utilisé pour contrôler le mouvement d'une machine électrique, ce type de système est appelé entraînement électrique. En d'autres termes, l'entraînement qui utilise le moteur électrique est appelé entraînement électrique. L'E.E utilise l'un des moteurs principaux comme le moteur diesel ou à essence, les turbines à gaz ou à vapeur, les moteurs hydrauliques, les moteurs électriques en tant que source principale d'énergie. Ce moteur fournit l'énergie mécanique à l'entraînement pour le contrôle de mouvement.

N.B : le moteur qui convient aux capacités de la charge et choisi pour l'entraînement de la charge.



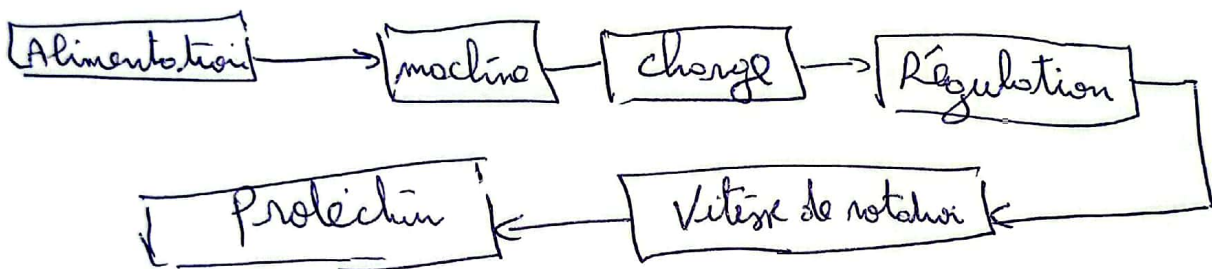
- Avantages :
 - Présente une très grande plage de couple, de vitesse et de puissance.
 - Peut être démarré facilement sur tous les quadrants du plan couple de vitesse.
 - leur travail est indépendant de la condition environnementale.

• Inconvénients :

- le coût initial du système est élevé .
- la réponse dynamique est faible .
- la puissance de sortie obtenue à partir du lecteur est faible .
- l'ors de pannes de conducteurs ou de courts-circuits, le système peut être endommagé, ce qui entraîne plusieurs problèmes .

Les caractéristiques mécanique sur la machine électrique

* ~~La~~ Caractéristique des machines tournantes :
Les caractéristiques des machines tournantes sont d'un intérêt fondamentale pour l'utilisation pour ce dernier la machine électrique ne constitue qu'une partie d'un système plus complexe (ou plus large) par exemple une machine motrice.



Dans un tel contexte, il est intéressant de considérer la machine électrique comme une boîte noire possédant des entrées et des sorties liées par des relations qui sont utilisées. dépendant du problème étudié permet être formulés sous forme de :

- Système d'équations différentielles linéaires ou non linéaire (Pour l'étude des phénomènes dynamiques de la stabilité, régulation ...)

- Equations algébriques réelles ou complexes pour l'étude de fonctionnement au régime permanent.
- Relations vectorielles entre phasors pour le fonctionnement des machines à courant alternatif.

Phasors : $a = e^{i \frac{2\pi}{3}}$ → système 3 phases
 $a = e^{i \frac{2\pi}{3}}$ → " 1 phase.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{V}_1 = a \\ \bar{V}_2 = a \bar{V}_1 \\ \bar{V}_3 = a \bar{V}_2 \end{array} \right. \Rightarrow \bar{V}_3 = a a \bar{V}_1 = a^2 \bar{V}_1$$

Les courbes des caractéristiques (mesurées ou la bobine ou prédéterminées) liant des grandeurs intéressant.

• Pour le fonctionnement Moteur :

$$c = f(N) \rightarrow c_m = f(N)$$

Suivant la forme de cette courbe un moteur sera plus ou moins adaptés à la charge qui l'entraîne. En effet la charge est également défini par une relation caractéristique le couple de charge (C_r). ③

- entre C_m et C_r et appelée couple accélératoire.

$$C_m - C_r = J \frac{d\omega_r}{dt}$$

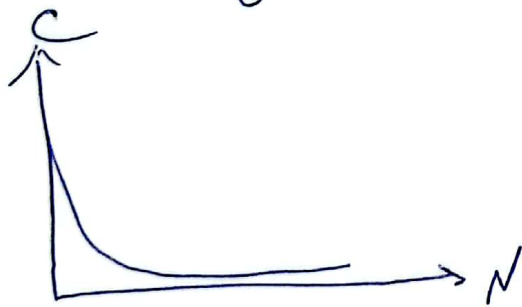
↳ le ~~mo~~ moment d'inertie.

la durée de démarrage :

~~$$\int_0^{\omega_r} \frac{d\omega_r}{dt} dt = \frac{1}{J} \int_0^t dt = \frac{t_d}{J}$$~~

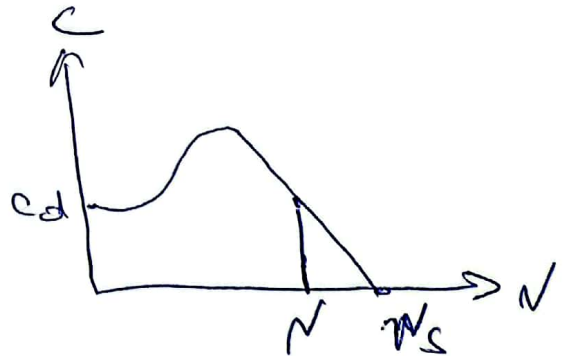
$$\int_0^{\omega_r} \frac{d\omega_r}{C_m - C_r} = \frac{1}{J} \int_0^t dt = \frac{t_d}{J}$$

• La forme des caractéristiques couple/vitesse est difficile à exprimer analytiquement la courbe $C(N)$ peut varier en tous de démarrage par actions sur des organes de commande.



à, c. e

Moteur série (C. Mécanique)



Vitesse de synchronisme

$$C = 0$$

MAS

• Vitesse nominale :

Si la vitesse du régime est atteinte

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 \Rightarrow C_m = C_r$$

si $\omega \nearrow$

$$\Rightarrow C_m - C_r < 0$$

si $\omega \searrow$

$$\Rightarrow C_m - C_r > 0$$

(4)

$$C_r = f(N)$$

couple résistant de l'énergie

→ vitesse de rotation du couple résistant.

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_m - C_r \quad \text{équation dynamique}$$

≠ condition $C_m > C_r$ si négatif ne demore pas.

Pour un grand couple de démarrage

⇒ Excitation série.

Ex: TGV, métro ...

• le fonctionnement de l'ensemble (M. ch) est fixé par la position relative de ces 2 caractéristiques :

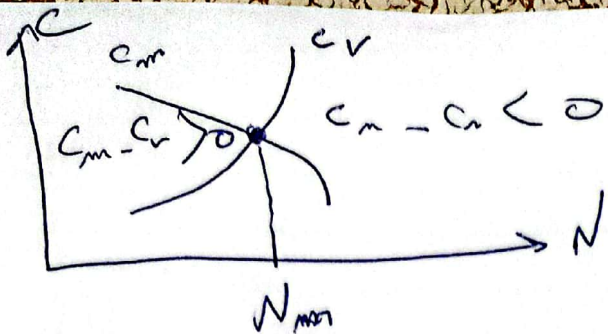
⇒ 02 régimes

{ - la mise en vitesse
- la vitesse normales.

Mise en vitesse

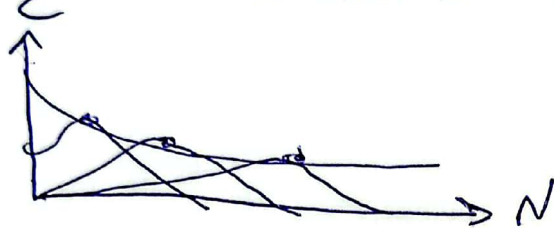
$C_{md} > C_r \Rightarrow$ démarrage rapide.

Remarque: Pour éviter une accélération brutale il ne faut pas que l'écart entre ces 2 couples soit trop grand.



Si le système est instable on peut présenter :

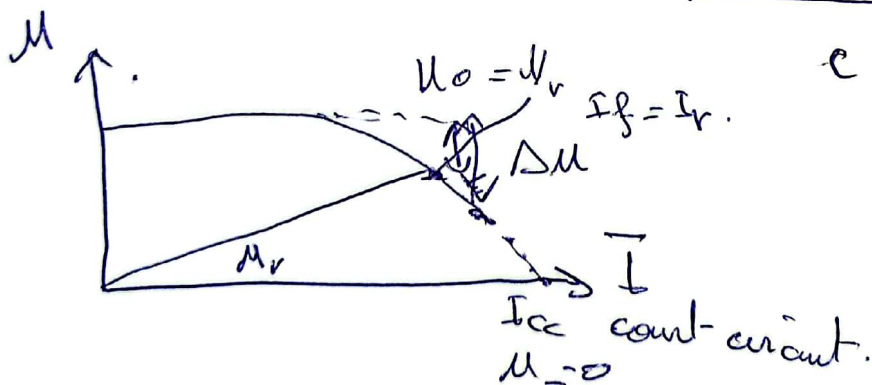
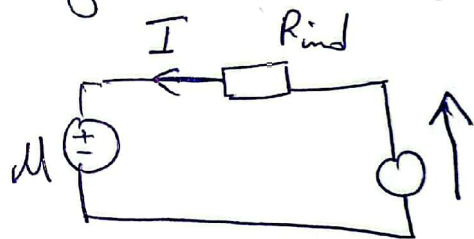
- Emballement du moteur ($n \rightarrow \infty$).
- Un ralentissement et arrêt, couple du (Moteur + ch)



• Pour le fonctionnement génératrice :

$$u = f(I)$$

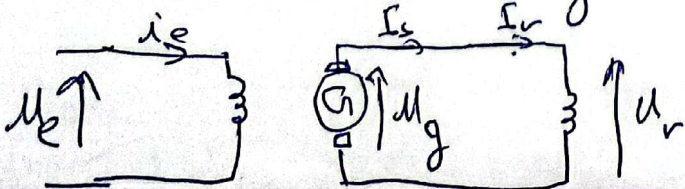
$$E = R_{ind} I + u$$

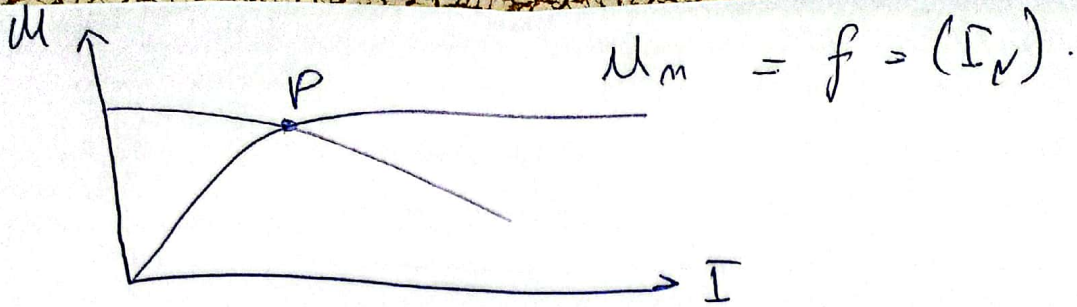


Machine à c.c

$u = f(I)$ caractéristique externe $i_e, N, \cos \phi = \text{ct}$

le circuit de charge :





P: le point de fonctionnement .

$$\mu_g = \mu_r$$

$$I_g = I_r$$

P sera stable quand : $I \uparrow$ il faut que $\mu_g < \mu_r$

- $E = f(I_e)$ à vide, $N=0$, $I=0$

- $N = f(I)$, n , I_e ...

- Caractéristique à courant cont : $\mu = f(I_e)$

- " " de réglage : $I = f(I_e)$

- " " électromécanique de vitesse : $\omega = f(I)$

- " " " de couple : $C = f(I)$

- " " naturelle mécanique : $C = f(N)$

o Moteur à c.c à excitation séparée :

$n_p = 1 \rightarrow$ nombre de pôles de l'inducteur
(paire de pôles)

$n_v = 1 \rightarrow$ nombre de voies (branches) d'enroulement
de l'induit

Les équations des caractéristiques :

$$T = \frac{EI}{2\pi n} = K_1 \Phi I$$

$$\Rightarrow n = \frac{1}{K_2 I} (\mu - RI)$$

K_1 et K_2 sont en fonction de n_p et n_v

$$\Rightarrow T \sim I \text{ et } \Phi$$

n est inversement ^{proportionnel} au flux Φ Dans le cas où $n_p = 1$ et $n_v = 1$.

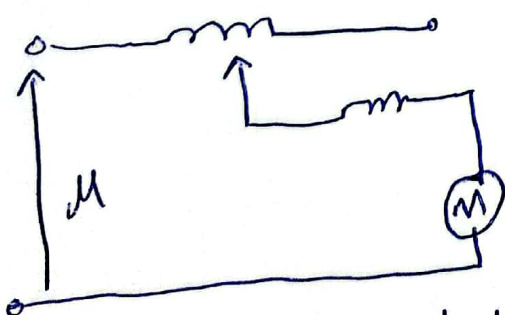
Démarrage :

$$n = \frac{\mu - RI}{K\Phi}, \text{ pour } n = 0 \Rightarrow I = \frac{\mu}{R}$$

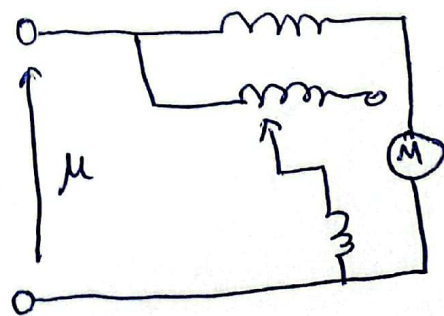
Très fort accélération avec pleine Tension.

• Parmi les solutions pour un démarrage on utilise

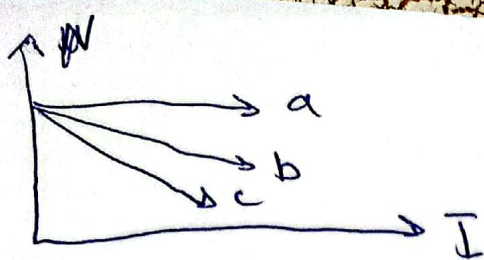
les schémas suivants :



Démarrage avec excitation série



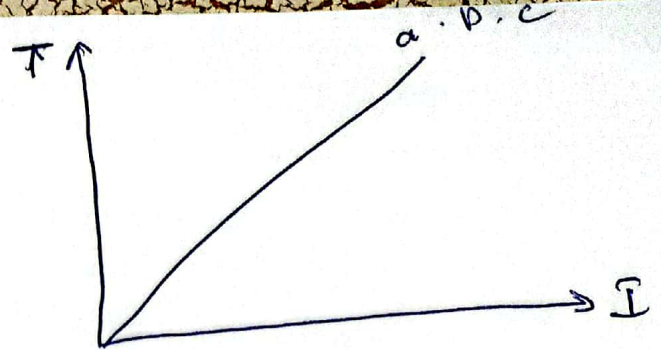
Démarrage avec pour un moteur à excitation parallèle



$$M = f(I)$$

$$T = \text{cst}$$

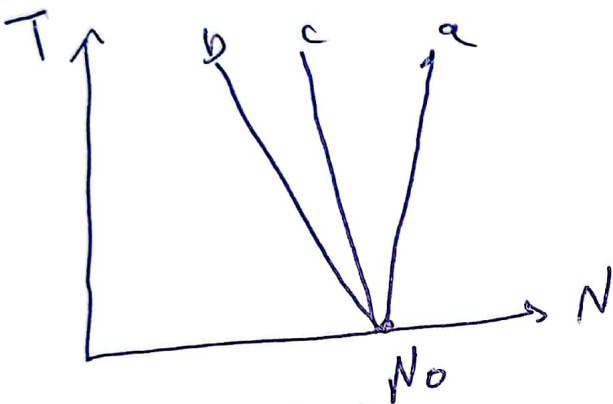
$$N = \frac{1}{k\phi} (\mu - RI)$$



$$T = f(I)$$

$$N = \text{cst}$$

$$T = \frac{E I}{2\pi N} = \frac{m}{2\pi} \phi I$$



$$T = f(N)$$

$$I = \text{cst}$$

Comportement de M.c.c à excitation séparée avec:

- a) $R=0$ (Moteur idéal)
- b - Sans la réaction de l'induit
- c - avec la réaction de l'induit

Remarque: Le M.c.c à excitation séparée est moins sensible à la vitesse de la charge.

Démarrage:

$$N = \frac{\mu - RI}{k\phi}$$

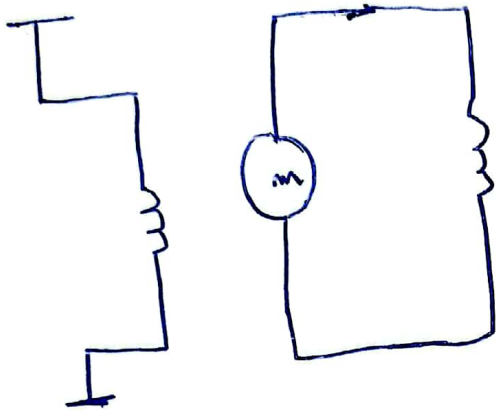
$$\text{Pour } N = 0 \Rightarrow I = \frac{\mu}{R}$$

- courant excessif de démarrage avec la pleine Tension.
- Pour éviter ce démarrage on met en oeuvre les schémas P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, P₆, P₇, P₈, P₉.

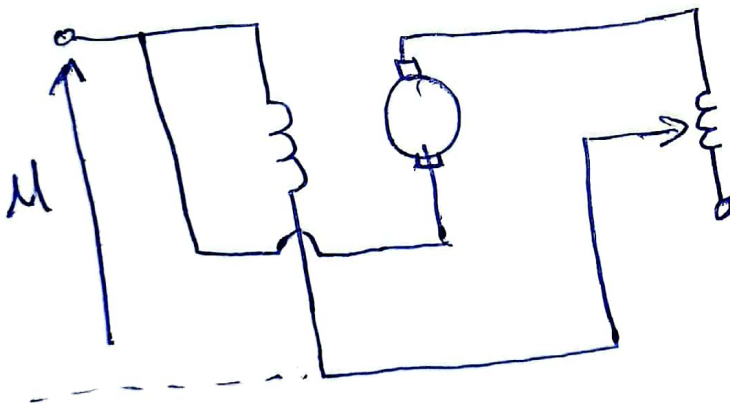
≠ Freinage et récupération

• Freinage

L'énergie cinétique d'une machine c.c. lancée à la vitesse (n) peut être dissipée au moyen d'une charge résistive placée aux bornes de l'induit.



Freinage à excitation séparée.



Freinage à excitation série.

* Récupération :

Dans le cas l'énergie cinétique reconverte et renvoyée sur le réseau électrique.

d'alimentation ou vers une autre source de tension.

• Rendement :

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{elec}}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{mec} : \text{sortie} \\ P_{elé} : \text{entrée} \\ P_{elec} = P_{mec} + E_{perdes} \end{array} \right\}$$

(10)

$$\xi = \frac{P_{méc}}{P_{méc} + P_v + R I_{excit}^2}$$

P_v : Pertes à vide.

- perles par frottement
- " par ventilateur
- " dans les roulements
- " magnétiques
- " supplémentaires

* Moteur asynchrone à induction.

• $N_s = \frac{60f}{p}$ (vitesse de synchronisme).

p : nombre paire de pôles.

• Si le rotor tourne à la vitesse de synchronisme le courant induit est null. $\Rightarrow N_s = N_r \Rightarrow I_r = 0$.

• Si $I = 0 \Rightarrow C = 0$.

• On définit le glissement $g = \frac{N_s - N_r}{N_s}$;

$g = \frac{N_s - N_r}{N_s}$ rad/s .

N_s : vitesse de synchronisme, N_r : vitesse de rotor

• Pour un glissement g donné, la fréquence du courant induit de rotor est donné par : $f_r = g f_s$ \rightarrow fréquence du champ tournant

• Le schéma de principe correspondant à une machine asynchrone est donnée par :

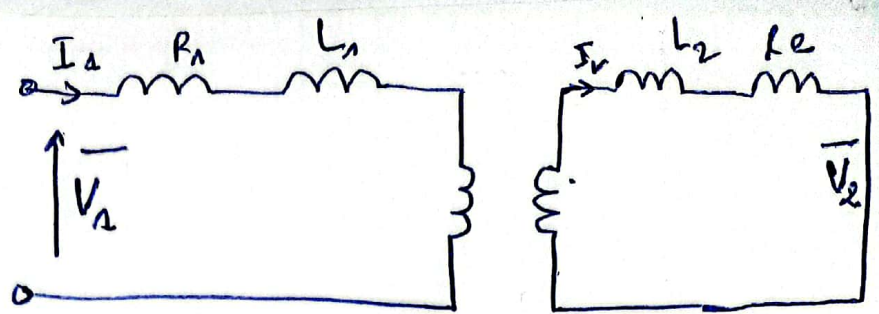
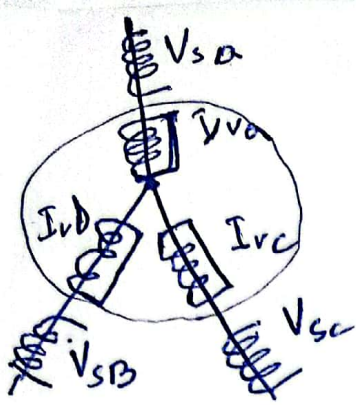


schéma équivalent représenté.

3V

• Pour le primaire (stator) \Rightarrow

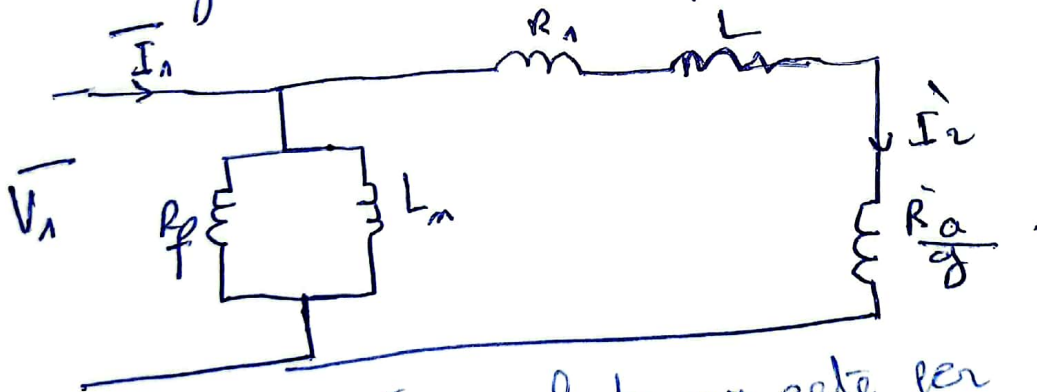
$$\bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j \omega L_1 \bar{I}_1 + j \omega \Phi_1 \quad \text{--- (1)}$$

• Pour le secondaire \Rightarrow

$$0 = R_2 \bar{I}_2 + j \omega L_2 \bar{I}_2 + j \omega \Phi_2 \quad \text{--- (2)}$$

$$\text{soit } 0 = \frac{R_2}{g} \bar{I}_2 + j \omega L_2 \bar{I}_2 + j \omega \Phi_2.$$

\Rightarrow Le schéma électrique équivalent du moteur asynchrone est donné par :



R_p : résistance équivalente aux pertes fer

L_m : L' inductance de magnétisation

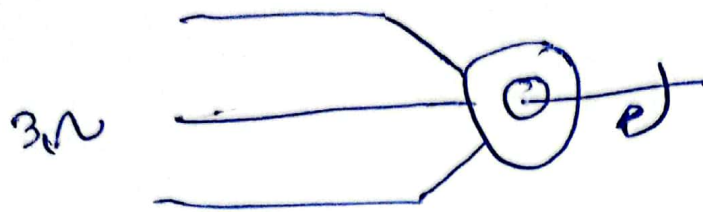
R_1 : Résistance dans enroulement statorique

$\frac{R_2}{g}$: Résistance équivalente de conducteur rotorique ramené au stator.



• Rendement de 1 AS.

$$P_{Tot} = \sqrt{3} U I \cos \varphi = 3 U \bar{I} \cos \varphi.$$



(C (N.m))

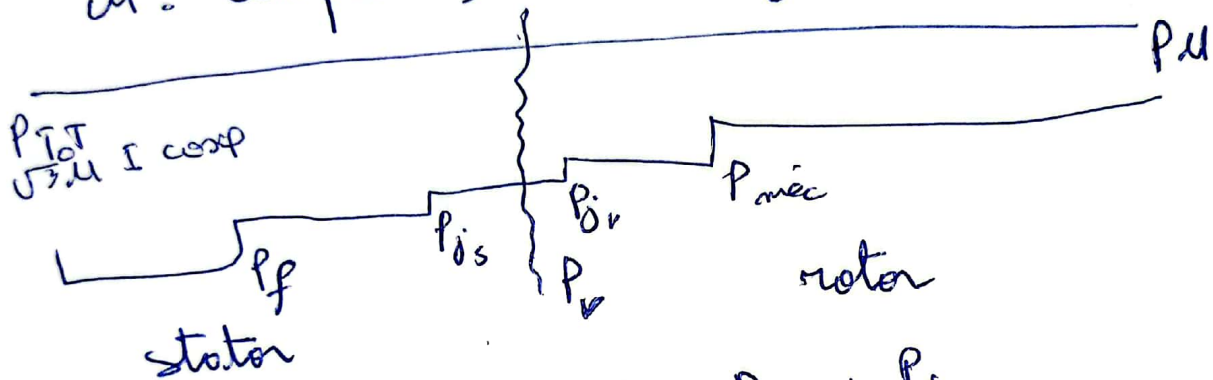
(ω (rad/s)).

puissance mécanique.

P_{Tot} : P. consommée active,

U : simple

U : composée ; I de ligne ; I de phase.



$$P_{Tot} = \sqrt{3} U I \cos \varphi = P_r + P_f + P_{js}$$

$$P_u = C_m \omega_r$$

$$P_r = P_{Tot} - (P_f + P_{js}) \quad \left. \vphantom{P_r} \right\} \text{Puissance Transmise au R}$$

$$P_r = P_{jr} + P_{méc} + P_u$$

$$\epsilon_{AS} = \frac{P_{utile}}{P_{totale}} = \frac{P_u}{P_r + P_f + P_{jr}}$$

P_r : Puissance active

$$P_r = \frac{R_2}{s} I_2^2$$

≠ Expression du couple et puissance

(1) Puissance.

$$I_2' = \frac{\bar{V}_1}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{g}\right) + jL\omega}$$

$$\Rightarrow I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{g}\right)^2 + L^2\omega^2}}$$

• La puissance transmise au rotor :

$$P_r = 3V_1 I_1 \cos \varphi - (P_f + P_{js}) \text{ où}$$

$$P_r = 3 \frac{R_2'}{g} I_2'^2$$

$$\Rightarrow P_r = 3 \frac{R_2'}{g} \frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{g}\right)^2 + L^2\omega^2}$$

• Les pertes joules au rotor en fonction de la grandeur ramener au stator donner par :

$$P_{jr} = 3 R_2' I_2'^2 \text{ où } P_{jr} = g P_r$$

(2) couple :

$$C = \frac{P_r - P_{jr}}{\omega_r} = \frac{P_r - g P_r}{(1-g)\omega_s} = \frac{P_r}{\omega_s}$$

$$\omega_r = (1-g)\omega_s \Rightarrow C = \frac{3V_1^2 R_2'}{\omega_s g}$$

~~$$C = \frac{3V_1^2 R_2'}{\omega_s g}$$~~

$$C = \frac{3V_1^2 g}{R_2' \omega_s}$$

si $g = 1$



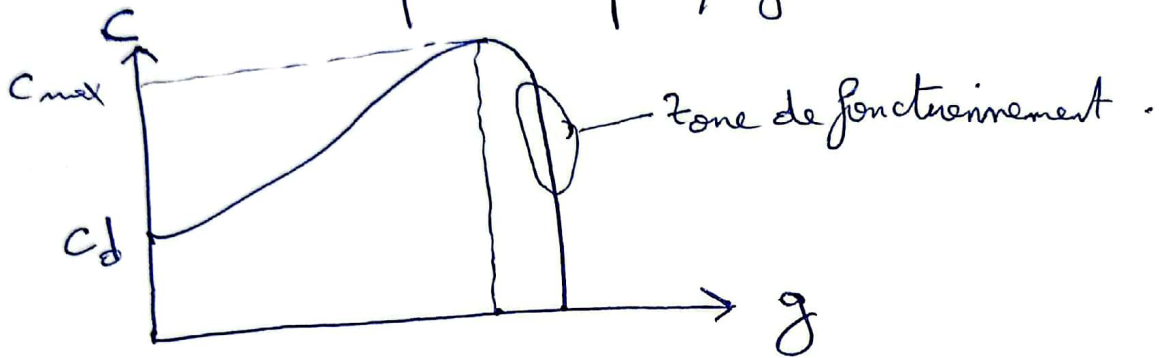
- Le couple max de g qui maximise c :

~~$c_{max} = \frac{3V_1^2}{2N_s}$~~ $c_{max} = \frac{3V_1^2}{2N_s} - \frac{1}{R'_1 + \sqrt{R'_1 + L^2\omega^2}}$

- Si on néglige la résistance statorique :

$$c_{max} = \frac{3V_1^2}{2N_s L \omega}$$

• Caractéristique couple / glissement :

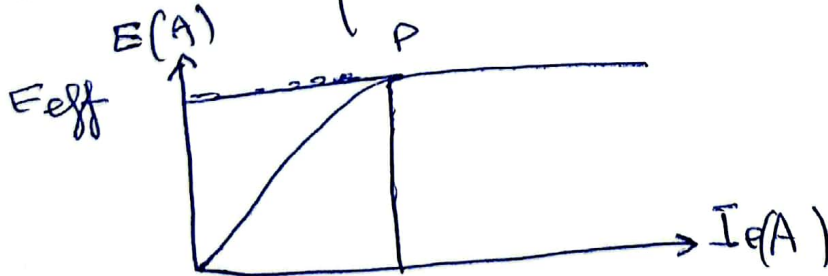


• Pour g faible :

$$c = \frac{3V_1^2 R'_2}{N_s g}$$

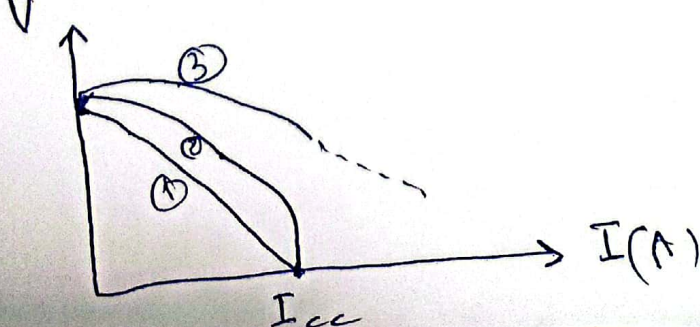
• Moteur synchrone :

• Caractéristique à vide :



- E_{eff} : F_{em} à vide
- I_e : courant d'excitation
- P : Point de jonction

• Alternateur → en charge.



- ① - charge inductive
- ② - charge capacitif
- ③ - " résistif.

Bilan de Puissance et rendement

① Les puissance :

• Puissance absorbée : $P_A = C_m \cdot \Omega$

→ si moteur n'est pas auto-excité $P_A = C_m \Omega_s + P_{je}$

• Pertes joules statorique

$$P_{js} = \frac{3}{2} R_1 I_{eff}^2 \quad (W)$$

• Pertes joules au rotor :

$$P_{je} = M_e \bar{I}_e \quad (W)$$

• Puissance ~~au rotor~~ utile :

$$P_u = \sqrt{3} V_{eff} I_{eff} \cos \varphi \quad (W)$$

② Rendement :

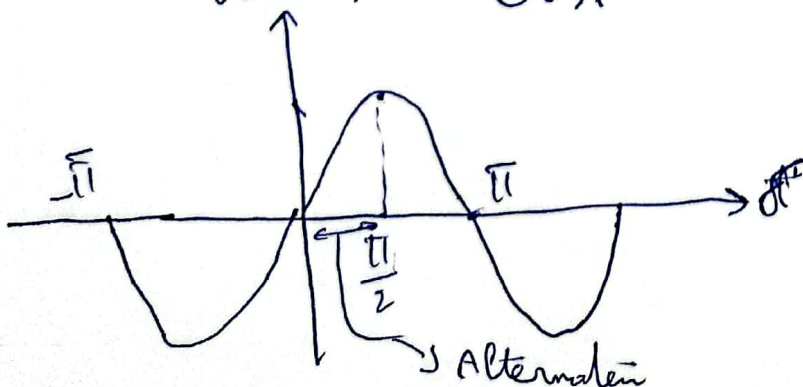
$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + (P_m + P_{je} + P_{fr} + P_{js})}$$

• Stabilité du couple :

- si on suppose que la machine sans pertes : le couple par le rotor s'écrit : $c_{\Omega} = P/\Omega$

$$\text{Soit : } c_{\Omega} = \frac{3 V_{eff} I_{eff}}{\Omega \times}$$

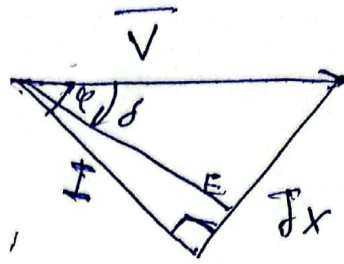
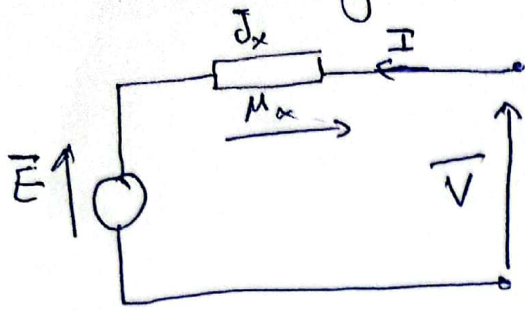
$c_{\Omega} (N.m)$



$$0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$$

↓
Mode Alternateur

• Moteur synchrone (Machine Réversible).



• Le bilan de puissance pour moteur synchrone reste le même pour une génératrice avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_a = \sqrt{3} U_{eff} I_{eff} \cos \varphi \text{ (elec)} \\ P_m = C_m \Omega \text{ (méc)} \\ C_m = \frac{3 V_{eff} I_{eff}}{\Omega_x} \sin \delta \end{array} \right.$$

$$C_m = C_u \text{ (si on néglige les pertes) .}$$

Entraînement Electrique :

• Les 4 Quadrant de fonctionnement.

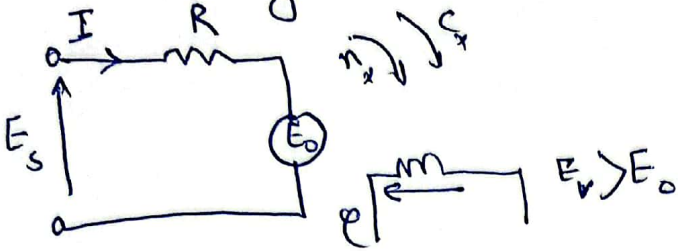


- Le comportement d'un entraînement électrique est mieux d'écrit par le moyen d'un graphique :

$$\left. \begin{array}{l} n > 0 \\ n < 0 \end{array} \right\} \rightarrow \text{axe horizontal} \quad \left. \begin{array}{l} c > 0 \\ c < 0 \end{array} \right\} \rightarrow \text{axe vertical}$$

① quadrant ① $m > 0, e > 0$.

- Moteur car il fournit de la puissance active de la charge.

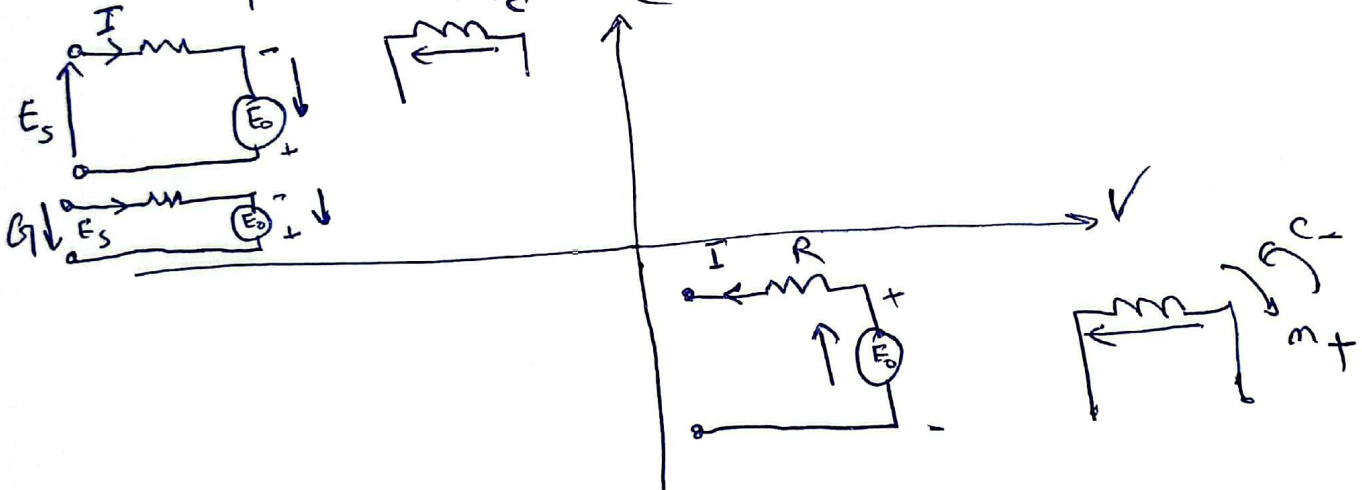


③ \Rightarrow le même sauf $\begin{matrix} c - \\ m - \end{matrix}$ $E_s \downarrow$.

$$I = \frac{E_s - E_0}{R}$$

• quadrant ③ fonctionnement moteur, la source inversé.

② quadrant ④



• $m > 0; c < 0 \Rightarrow$ générateur donc $E_0 > E_s$ et le courant sort à la borne $\oplus + E_0$

$$I = \frac{E_s + E_0}{R} \quad \text{un grand courant.}$$

• La somme de la puissance débitée par la source $[E_s I)$ et par le moteur $E_0 I$ est dissipée dans la résistance R .

\Rightarrow E chauffage rapide du moteur et rendement nul (Freinage).

◦ Quadrant ②

- Les conditions sont similaires à celle de quadrant ①, sauf que polarité des tensions, le sens de courant, la vitesse et le couple sont inversés.

(système → alimenté en c.c → commutateur → IGBT, GTO
e.c.A → redresseur, onduleur à thyristors)

◦ Entraînement dans le ① quadrant

- Soit un moteur shunt à vitesse variable à excitation constante, la vitesse varie avec la tension au borne de l'induit.

L : Inductance de lissage.

(généralement L de l'induit est suffisante pour un bon lissage).

- Les valeurs réelles peuvent être: vitesse, c.i.

$$E_d = 1,35 E_s \cos \alpha$$

$\alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$

supérieur à 90° devient (-).

- Couple, courant provient des capteurs monter sur le moteur. Unité de commande compare les valeurs réelles avec celles désirées (consigne) et génère automatiquement les impulsions d'allumage ou gâchette de sortie, l'écart entre les valeurs désirées et obtenues soit aussi faible.
- Avant le démarrage du moteur les impulsions de gâchette sont retardées: $\alpha = 90^\circ \rightarrow E_d = 0 \rightarrow E_d = 1,35 \cdot E_s \cos \alpha$ (19)

• α diminue graduellement.

\Rightarrow Un courant I_j qui commence à circuler et le moteur accélère graduellement.

• Remarque: Durant cette période le système de cde ajuste automatiquement l'angle α pour que I_j ne dépasse.

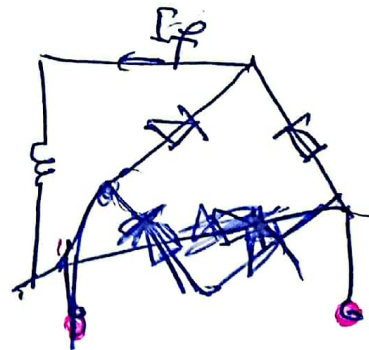
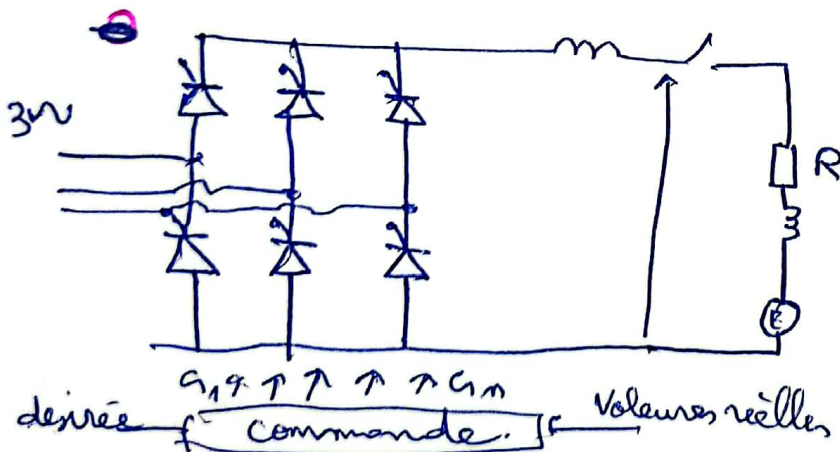
• $n = n_{nominal} \Rightarrow 15^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$

E_d légèrement supérieure E_0 .

$E_d = E_0 = R_a I_j$ avec $E_d = 1,35 E \cos \varphi$.

• Pour réduire la vitesse il faut diminuer E_d à une valeur inférieure à E_0 .

• $E_d = 0 \Rightarrow$ arrêt du moteur selon le frottement et l'inertie de partie tournant.

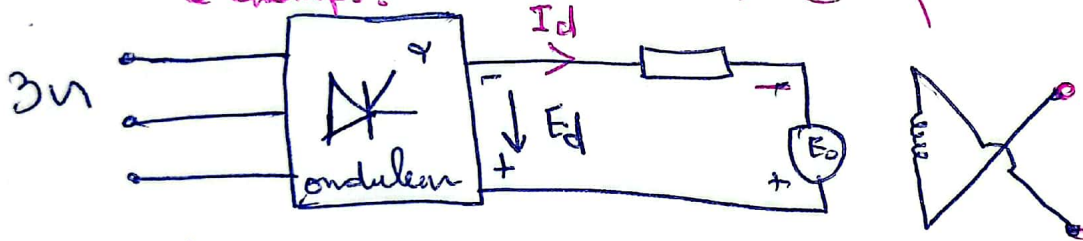


• Dans le circuit précédent, I_j ne peut changer de sens (la fréquence) car les thyristors se bloquent dès que le courant s'annule \Rightarrow moteur en roue libre et sa vitesse décroît en fonction de son inertie et du couple résistant de charge.

- Durant cette période, E_o diminue progressivement et lorsqu'elle atteint une valeur légèrement inférieure à la nouvelle valeur légèrement inférieure à la nouvelle valeur de E_j , le courant de l'induit I_j recommence à inculer, cependant I_d et augmente rapidement et le moteur continue tourner ~~ou ralentir~~ à la vitesse inférieure désirée.

• Pour arrêter le moteur ou retarder les impulsions de $90^\circ \Rightarrow E_j = 0 \Rightarrow$ arrêt du moteur selon le frottement et l'inertie des parties tournantes.

• Entraînement dans (1), (4) quadrants par inversion le champs :



• le fonctionnement en roue libre :

M.n moteur n'est pas toujours acceptable (freinage).

\Rightarrow Pour améliorer le temps de réponse on doit modifier le circuit à fin que le moteur puisse fonctionner temporairement en générateur en commandant le débit du générateur on peut alors contrôler le taux de décroissance de la vitesse (Freinage dynamique d'une résistance externe).

- l'autre solution consiste à faire fonctionner le convertisseur en onduleur ce qui permet de renvoyer la puissance

de générateur dans le réseau.

- Le convertisseur fonctionne en onduleur on doit aussi inverser E_f on doit aussi inverser E_0 (par conséquent) et pour que I_f circule, il faut que E_d soit légèrement $< E_0$.

• Inverser $E_f \Rightarrow \alpha > 90^\circ / E_0 \rightarrow$ intervertir.

• $\left\{ \begin{array}{l} \text{les bornes de l'induit} \\ \text{ou} \\ \text{les bornes du champ} \end{array} \right.$

• En fin, une fois le freinage terminé on doit intervertir de niveau les connexions à fin que la machine puisse reprendre son rôle de moteur.

* Les étapes à suivre pour inverser les connexions du champ shunt.

① Retarder les impulsions aux gâchettes $180^\circ [E_d < 0 \text{ est a s grands}]$.

② changer la polarité de E_0 rapidement par inversion de champ.

durant cette période I_d est toujours nulle 0.

③ Réduire α pour que E_d devient inférieur à E_0
 \rightarrow circulation du courant I_d .

$\rightarrow I_d \Rightarrow$ le moteur agit comme génératrice et renvoie sa puissance au réseau \rightarrow la vitesse décroît rapidement jusqu'à la valeur désirée.

• Pour que la machine fonctionne en moteur en va effectuer les étapes suivantes :

④ répéter l'étape ①.

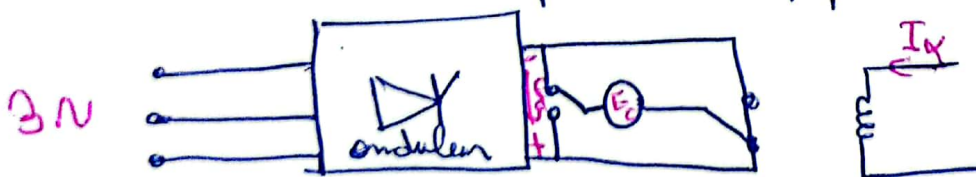
⑤ " " ②

⑥ réduire α pour que E_d soit légèrement $E_d > 0$ et $\alpha > E_0$.

ce qui provoque la circulation de courant \Rightarrow la machine fonctionne alors en moteur et le convertisseur le redresseur.

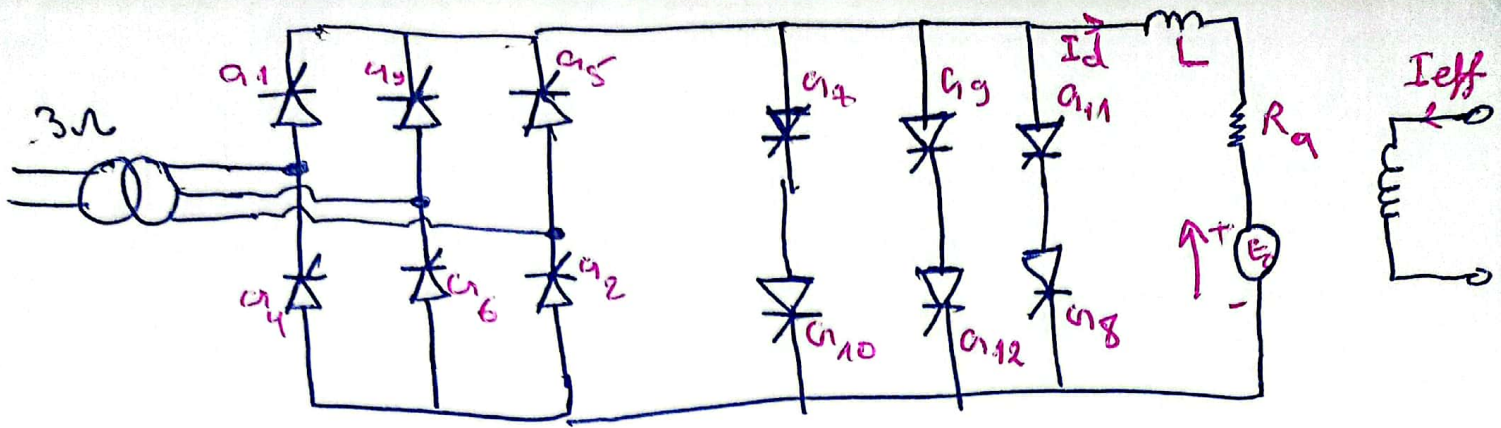
* Entraînement dans les quadrant ① et ④ par inversion de l'induit :

- inversion de champ inconvénient les délais inacceptables dans certains entraînements industriels Solution intervertir les connexions de l'induit fort courant \rightarrow utilisation des contacteur capable de supporter ces courant.



Freinage par récupération d'énergie en inversant l'induit.

* Quadrant ① et ④ (utilisent 2 convertisseurs) : Ce mode d'entraînement est utilisé surtout dans les applications de commande rapide de vitesse. Dans ce cas on utilise deux convertisseurs en antiparallèle.



convertisseur ①

convertisseur ②

- 1 seul convertisseur fonctionne à la fois.
- Généralement le temps de transfert de puissance d'un convertisseur à un autre est de l'ordre de 10ms.

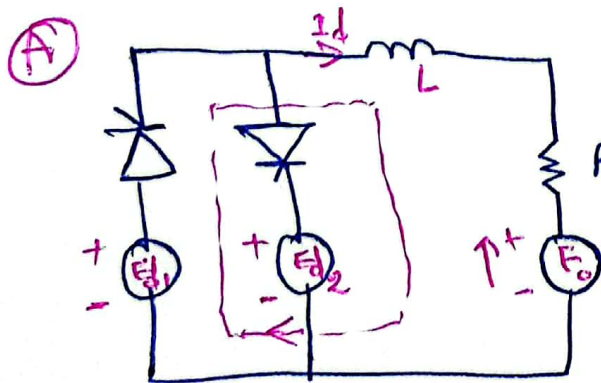
Avantages:

- Rapidité de transfert de puissance.
- fiabilité excellente,
- Entretien réduit.

Inconvénient:

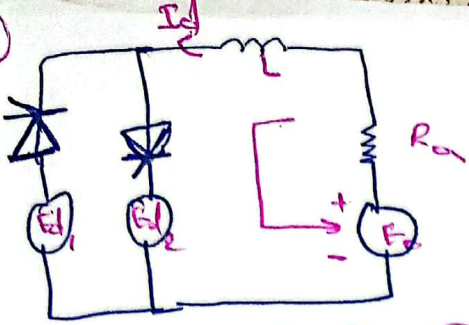
- coût élevé,
- Unité de commande plus complexe.

Fonctionnement des deux convertisseurs:



- Fonctionnement dans quadrant ①
- Le convertisseur ① fonctionne en redresseur
- Le convertisseur ② bloqué

(B)

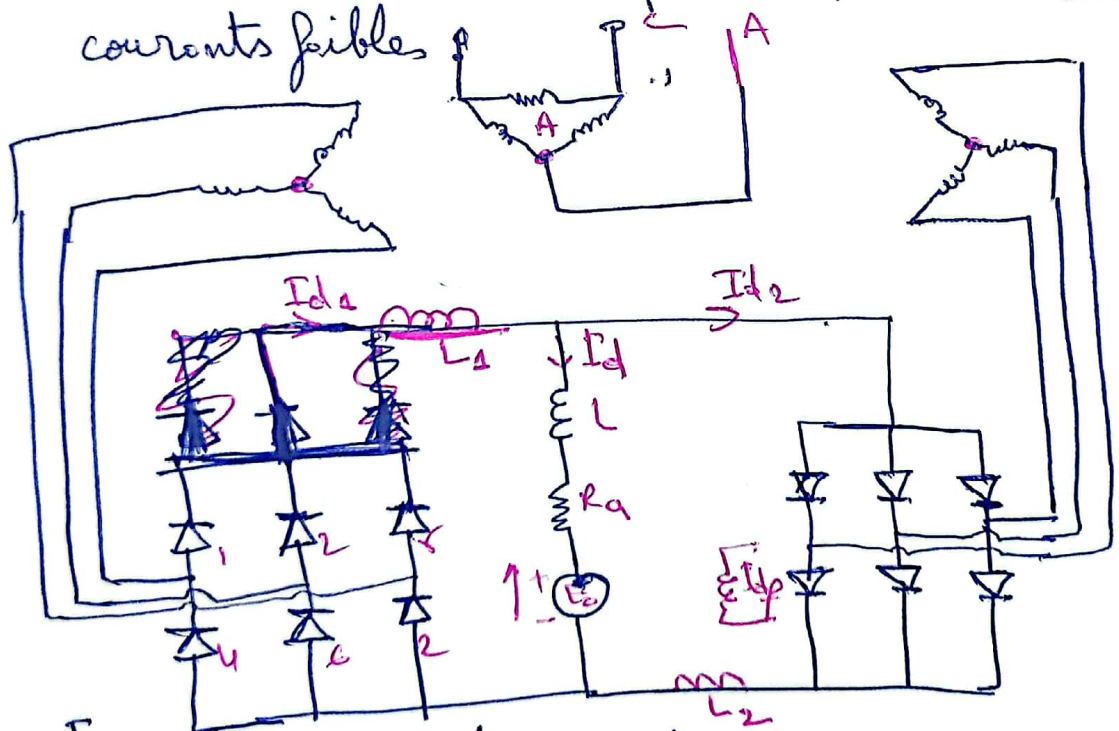


- fonctionnement dans quadrant (V)
- convertisseur (2) : onduleur
- convertisseur (1) : Bloqué

il faut que la valeur de $E_{d2} \sim E_0$ pour qu'il fonctionne comme un générateur, si non il devient freinage.

* Entraînement avec un courant de circulation

- Utiliser dans les application industrielles exigent une commande de vitesse précise même dans le cas des courants faibles



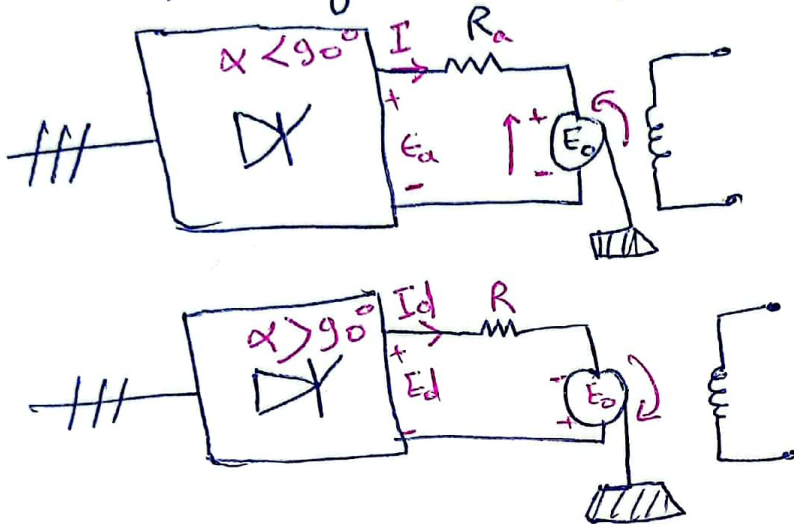
$I_d = I_{d1} - I_{d2}$ (courant d'induit).

- Les deux convertisseurs fonctionnent en même temps l'un redresseur et l'autre onduleur, "système de haute gamme et très cher".

• Entraînement dans le quadrants 1 et 4 :

1 et 4 $\Rightarrow n > 0$ le couple peut changer le sens.

du cas où la charge doit toujours dans les deux sens mais impose toujours le couple > 0



• Fonctionnement dans les quatre quadrants :

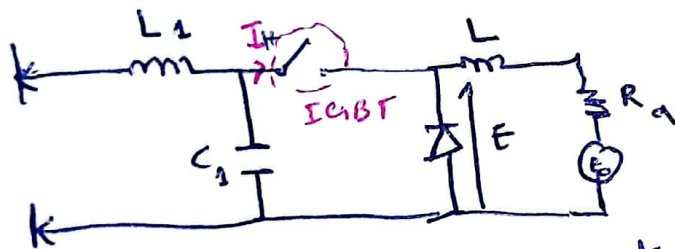
Soit un système électrique et industriel ayant la caractéristique couple/vitesse suivante :



Intervalle	Constat	convertir
2 à 8	Red	bloqué
8 à 14	bloqué	ond
14 à 21	bloqué	Red
21 à 25	onduleur	bloqué

Hacheur et Mcc:

- utilisation \rightarrow Métros, autobus électrique, ...
- l'intérêt du hacheur est transformer une tension constante à l'alimentation à tension variable (tension moyen variable)



Hacheur série d'un auto-bus.

- Alimenter avec un hacheur survolteur.
 - L_1 et C_1 : comme un filtre pour les perturbation de la source par de fort impulsion de C. (I_H)
 - C_1 : fournit les impulsions de I_H .
 - L : permet de garder l'ondulation de I dans la ligne à un niveau acceptable $R \Rightarrow (R + R_{red})$.
 - Au démarrage du moteur, E est faible \Rightarrow le rapport cyclique doit être petite.
 - Lorsque le moteur fonctionne en régime nominale la valeur de $D \rightarrow 1$. $D = \frac{T_{on}}{T} = \frac{f_c - T_{off}}{f_c}$ \rightarrow Temps 20 ms.
tout IGBT
- Fréquence découpage