Variateurs des moteurs à courant continu

2.1. Entraînements à vitesse variable des machines électriques

La commande des machines électriques est l'une des applications des convertisseurs statiques. Cette commande nécessite l'association d'une machine (courant continu, synchrones, asynchrones ou autres) dont le fonctionnement est à une vitesse variable en lui conservant un couple optimum, à un convertisseur statique (redresseur, hacheur, onduleur). En fait, le choix du moteur d'entraînement dépend du travail demandé, du lieu de travail et de la puissance à fournir. De même, la source d'énergie dont on dispose, les contraintes sur les paramètres que l'on doit fournir et le prix de revient de l'ensemble déterminent le type du convertisseur à associer au moteur.

2.1.1. Eléments d'un entrainement

Dans un variateur de vitesse on trouve :

- Une machine électrique : moteur à courant continu, moteur asynchrone, moteur synchrone…
- Alimentation électronique (convertisseur statique) à partir d'une source d'alimentation : Redresseur, hacheur, onduleur, gradateur.
- Des capteurs : de vitesse, de position, de niveau…
- Une régulation

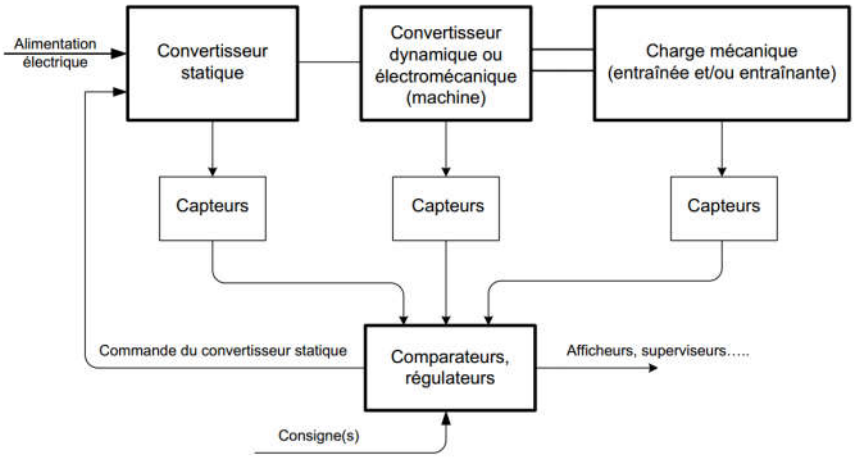


Figure 2.1 : Synoptique de la commande d'une machine électrique

2.1.2. Plan couple vitesse :

Les caractéristiques des entraînements sont décrit dans le plan couple-vitesse $\Gamma = f(\Omega)$, c'est-à-dire on porte sur un digramme le couple électromagnétique Γ_{em} de la machine en fonction de la vitesse de rotation Ω.

Vue que ces grandeurs (couples et vitesse) sont algébriques, on choisit un sens positif de manière que le produit du couple électromagnétique par la vitesse (la puissance fournie par la machine) donne un fonctionnement en moteur dans le **quadrant I** et dans le **quadrant III**. Lors que **les quadrants II** et **IV** correspondent à une puissance reçue par la machine. Elle fonctionne alors **en frein** pour la charge (exp : machine asynchrone tournant en sens inverse du champ tournant). Elle peut aussi renvoyer l'énergie au réseau (**génératrice**).

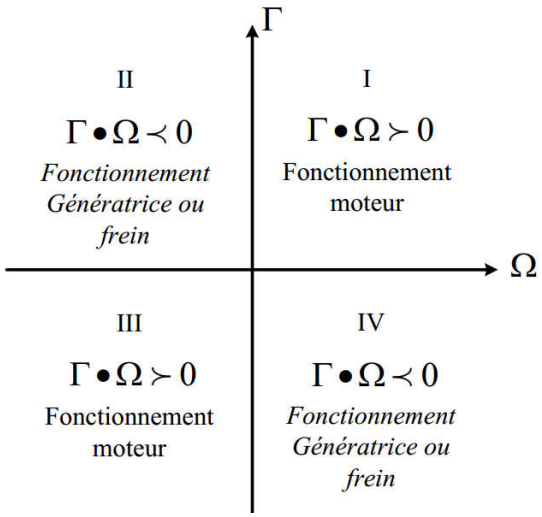


Figure 2.2. Caractéristiques $\Gamma = f(\Omega)$.

2.1.3. Utilisation et point de fonctionnement :

Dans le diagramme couple vitesse, on trace :

- Les lieux de fonctionnement de la machine sous certaines conditions.
- La caractéristique électromécanique de la charge.
- Les limites de fonctionnement.

Le point d'intersection de la caractéristique de la charge donne le point de fonctionnement en régime établi puisque le 1er principe de la dynamique en rotation : $J\frac{d\Omega}{dt} = \sum \Gamma = \Gamma_{em} - \Gamma_r$

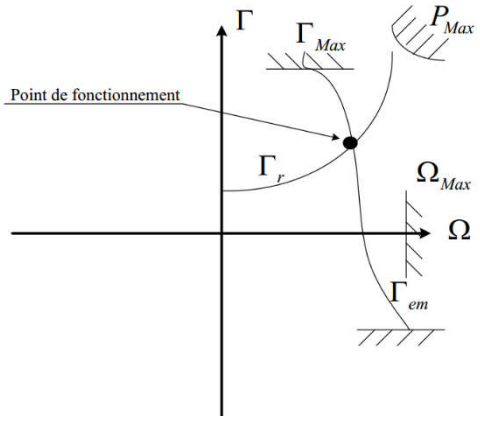
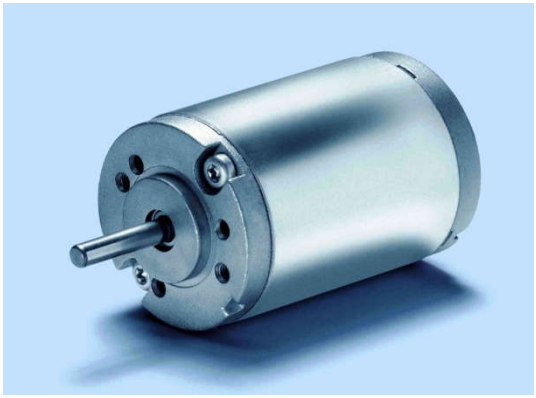


Figure 2.3. Point et limites de fonctionnement.

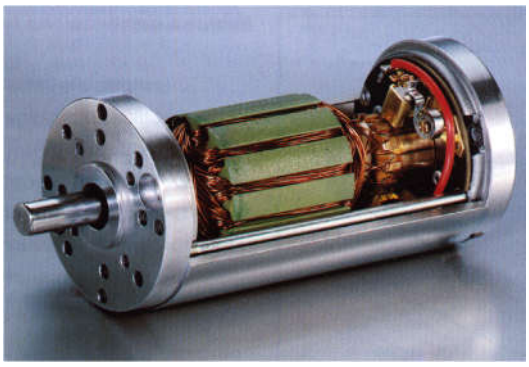
Faire de la variation de vitesse, **c'est modifier le point de fonctionnement**, donc à courbe de couple résistant donné Γ_r **c'est agir sur la courbe** $\Gamma_{em} = f(\Omega)$ **de la machine électrique**.

2.2. Moteur à courant continu : Principe de fonctionnement et constitution

Un moteur à courant continu est un convertisseur électromécanique permettant la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique. Le premier moteur à courant continu a été réalisé en 1836. La vitesse et le couple de ce type de moteurs sont facilement réglables (ne nécessitent pas beaucoup d'électronique de commande). **Un moteur à courant continu est utilisé dans les applications de faibles et moyennes puissances**.



Le fonctionnement des moteurs à courant continu est basé sur deux principes de l'électromagnétisme :



- ✓ Lorsqu'un conducteur parcouru par un courant $i(t)$ et soumis à un champ magnétique constant, il se crée une force proportionnelle $F(t)$ qui tend à faire bouger ce conducteur.
- ✓ Lorsqu'une spire de fil de cuivre est soumis à l'effet d'un champ magnétique qui varie au cours du temps, il apparaît à ses bornes une tension $u_i(t)$, appelée tension induite. Cette tension est proportionnelle à la variation du champ magnétique.

Le stator (des aimants ou des électro-aimants) crée un champ magnétique. Le passage du courant (**courant d'induit**) dans les spires du rotor crée un champ magnétique. La force qui apparaît dans ces conditions fait tourner chaque spire autour de son axe.

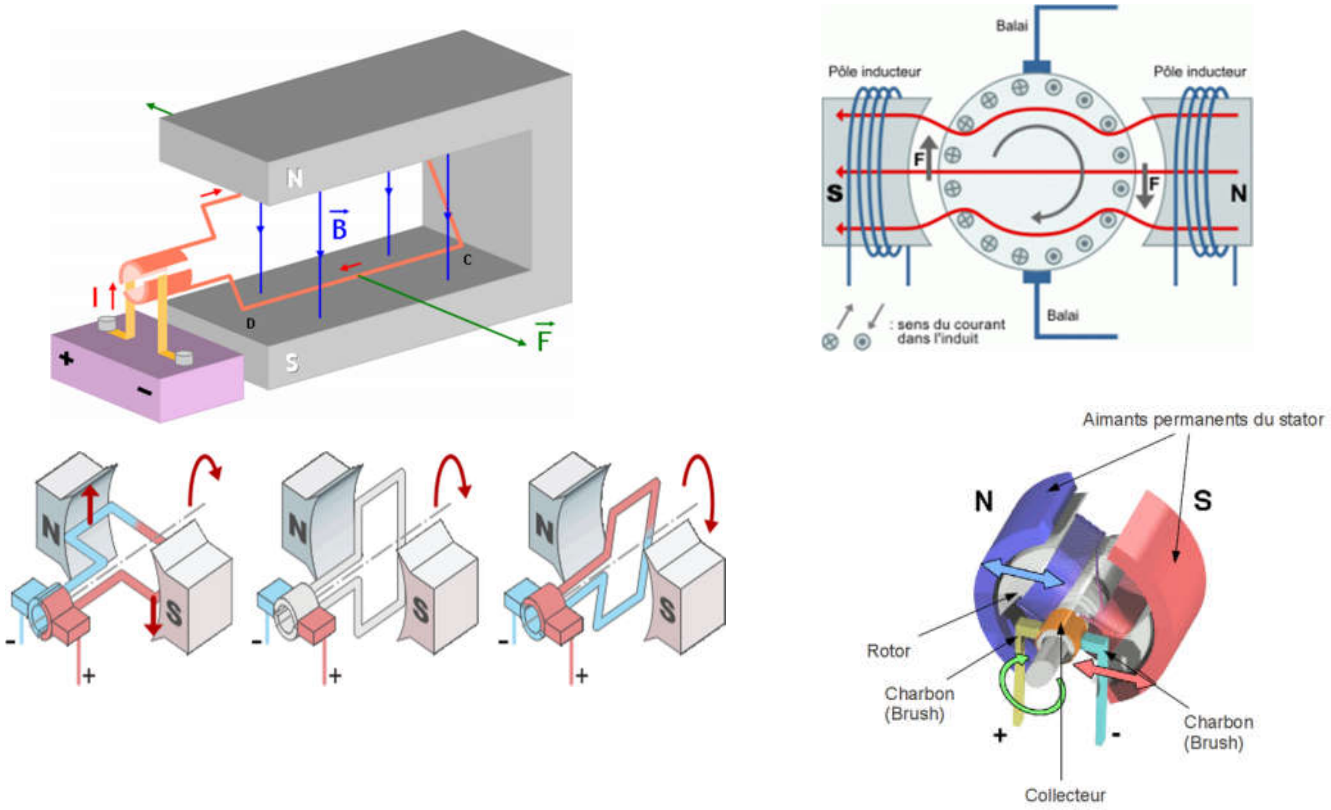


Figure 2.4. Schémas illustratifs du fonctionnement d'un moteur à courant continu .

La machine à courant continu est composée de trois parties principales :

-l'inducteur (**stator**)

- l'induit (**rotor**)

- le dispositif collecteur / balais

Le stator est la partie fixe du moteur et il constitue son enveloppe extérieure

Le stator d'un moteur à courant continu est constitué d'une ou plusieurs sources de champ magnétique continu. Pour les moteurs de faibles puissances, **des aimants permanents** peuvent être utilisés pour créer le champ magnétique. Pour les moteurs de fortes puissances, le champ magnétique est généré par **des électro-aimants** (**bobines**), le courant qui y circule est communément appelé **courant d'excitation** du moteur.

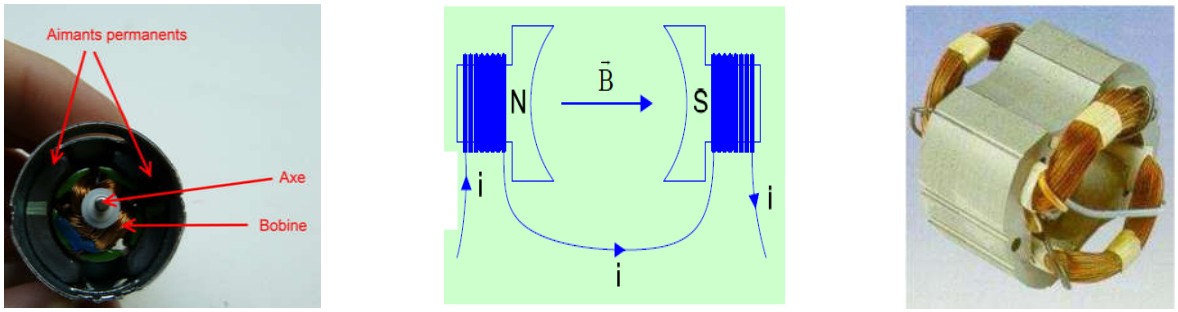


Figure 2.5. Le stator d'un moteur à courant continu.

Le rotor est la partie mobile du moteur qui génère le couple utile à la charge par l'intermédiaire de son arbre.

Le rotor d'un moteur à courant continu intègre **des bobines** formées par **plusieurs spires**. On appelle le courant qui y circule **le courant d'induit** du moteur.



Figure 2.6. Le rotor d'un moteur à courant continu.

Le collecteur avec des **balais** (charbons) est utilisé pour transmettre l'énergie électrique au rotor. Il permet aussi de commuter le courant de manière à ce qu'il circule de manière optimale dans les spires du rotor.



Figure 2.7. Dispositif Balais – collecteur.

2.2.1. Lecture d'une plaque signalétique

Nous pouvons lire les caractéristiques électriques et mécaniques nominales sur une plaque lisible sur le moteur (exemple ci-dessous):

En fonctionnement normal (nominal), ce moteur a les caractéristiques suivantes :
- Puissance mécanique : 36,3kW (1150tr/min et 301N.m).
- Alimentation rotor : 440V et 95,5A (soit 42kW).
- Alimentation stator : 360V et 3A (soit 1,08kW).

On peut en déduire le rendement : $\eta = \frac{P_m}{P_E} = \frac{36.3}{42 + 1.08} \approx 84\%$

IEC 34.1.1990 LEROY SOMER MADE IN FRANCE

MOTEUR A COURANT CONTINU
DIRECT CURRENT MOTOR

TYPE: LSK 1604 S 02			N° 700000/10		9/1992	M 249 kg
Classe / *Ins class* H			IM 1001		IP 23	IC 06
M_{nom} / *Rated torque* 301 N. m			Altit. 1000 m		Temp. 40 °C	
	kW	min⁻¹	V	A	V	A
Nom./*Rat.*	36,3	1150	440	95,5	360	3
	3,63	115	44	9,55	360	3
	36,3	1720	440	95,5	240	
T	système peinture: I		Induit / Arm.		Excit. / Field	
○ Service / *Duty* S1	DE 6312 2RS C3		NDE 6312 2RS C3 ○			

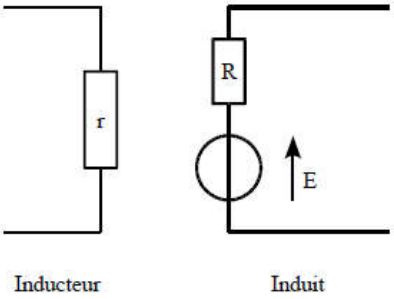
Figure 2.8. Exemple d'une plaque signalétique.

2.2.2. La force électromotrice (f.e.m.) E et le couple électromagnétique :

A. La force électromotrice (f.e.m.) E:

Soit Φ le flux magnétique créé par l'inducteur (en Weber [Wb].), et N le nombre de conducteurs dans le rotor et Ω sa vitesse de rotation

la f.e.m. E est donnée par : $E = \frac{N\,\Phi\Omega}{2\pi}$. Si on pose $K = \frac{N}{2\pi}$ (constante sans dimension), donc $E = K\,\Phi\Omega$, avec Φ en [Wb], Ω en [rad/s] et E f.e.m induite en [V]. Si le flux magnétique Φ est constant, la f.e.m. induite E est proportionnelle à la vitesse de rotation Ω soit : $E = k\,\Omega$.



B. Le couple électromagnétique :

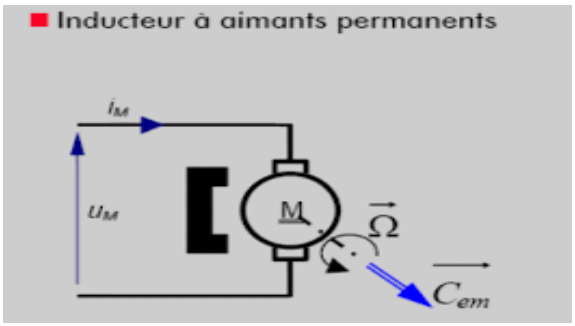
Si un courant d'intensité I circule dans l'induit, la puissance électromagnétique est $P_E = E \cdot I$. Soit Ω la vitesse de rotation du rotor, il existe alors un couple électromagnétique tel que $P_E = T_{EM} \cdot \Omega$. De ce qui précède, l'expression du couple électromagnétique est $T_{EM} = K.\Phi \cdot I$

Ce qui implique que le couple électromagnétique est proportionnel à l'intensité qui circule dans l'induit.

2.2.3. Les différents types de moteurs :

On distingue deux types de moteurs à courant continu :

- **Les moteurs à inducteur à aimant permanent :** Il n'y a pas de circuit inducteur, le flux inducteur est produit par un aimant permanent. Tous les moteurs à courant continu de faible puissance et les micromoteurs sont des moteurs à aimant permanent. Ils représentent maintenant la majorité des moteurs à courant continu. Ils sont très simples d'utilisation.





- **Les moteurs à inducteur bobiné** : Il existe 4 types différents de moteurs électriques qui sont classés en fonction du type d'excitation qui est employé, qui sont :

- Le moteur à excitation série. **-Le moteur à excitation shunt.**

- Le moteur à excitation séparée (indépendante). **-Le moteur à excitation composée.**

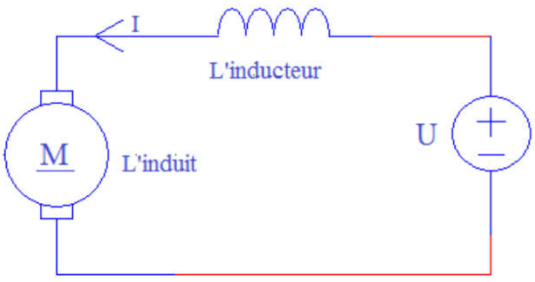


Figure 2.9. Moteur à excitation série.

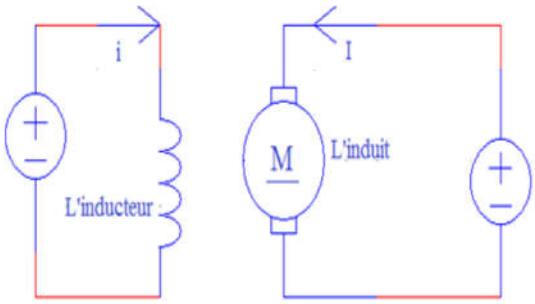


Figure 2.10. Moteur à excitation séparée

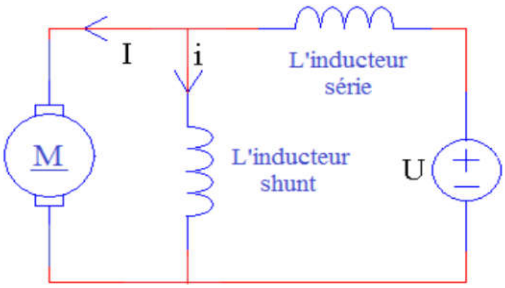


Figure 2.11. Moteur à excitation composée

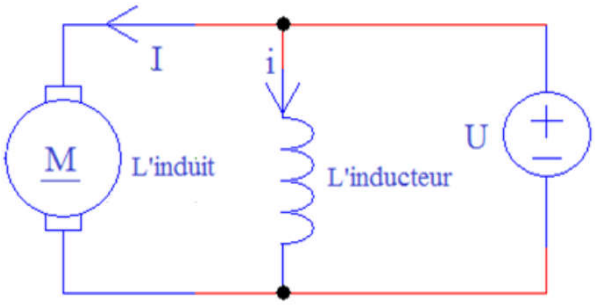


Figure 2.12. Moteur excitation shunt (parallèle)

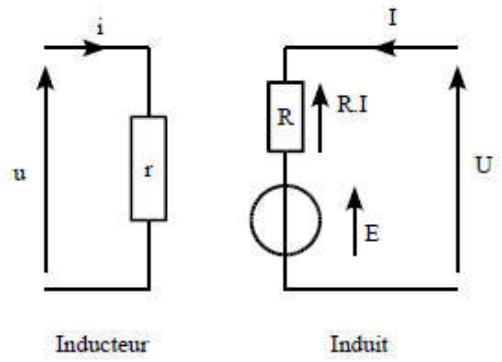
A. Le moteur à excitation indépendante

Modèle électrique :

Une tension continue u alimente l'inducteur et il est parcouru par un courant continu i (si l'inducteur n'est pas à aimants permanents).

L'induit est alimenté par une tension continue U et il est parcouru par une intensité I.

Modèle électrique du moteur à excitation indépendante :



Avec ce montage, le flux ϕ est directement proportionnel au courant d'excitation i.

Équation de fonctionnement pour l'induit $U=E+R.I$

L'équation mécanique $J\frac{d\Omega}{dt}=\sum\Gamma=\Gamma_{em}-\Gamma_r$

B. Bilan énergétique et rendement :

La puissance électrique absorbée par le moteur est $P_A=u.i+U.I$ (Si le moteur est à aimant permanent, $u.i = 0$).

Les pertes par effet Joule au niveau de l'excitation (l'inducteur) sont données par $P_{JE}=ui=ri^2$

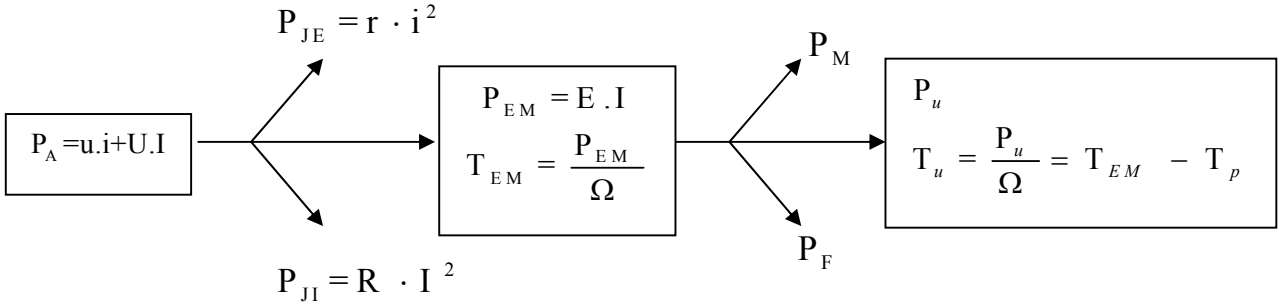
Les pertes par effet Joule au niveau de l'induit, sont $P_{JI}=RI^2$

La puissance électromagnétique $P_{EM}=P_A-P_{JE}-P_{JI}=E.I$

Pour un essai à vide, nous avons $P_V=R.I_V^2+P_C$, les pertes collectives P_C qui représentent les pertes magnétiques ou pertes fer P_F ainsi que les pertes mécaniques P_M peuvent être déterminés par : $P_C=P_F+P_M$.

Le couple de pertes est défini par $T_p=T_{EM}-T_u$

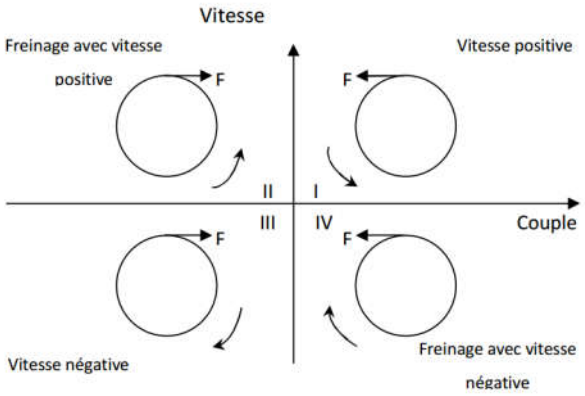
La puissance utile disponible sur l'arbre du moteur est $P_u=P_A-P_{JE}-P_{JI}-P_C$



Le rendement du moteur à courant continu est $\eta=\frac{P_u}{P_A}=\frac{P_u}{P_u+u\cdot i+R\cdot I^2+P_C}$

2.3.Variation de vitesse des machines à courant continu

Deux paramètres définissent le fonctionnement des moteurs : **le couple** et **la vitesse**. Le couple dépend de la charge qui peut être **entraînée** ou **entraînante**. Le signe de la vitesse dépend du sens de rotation du moteur. La machine à courant continu est complètement réversible. Les relations $E = K_1 \Phi \Omega$ et $T_{EM} = K_2 . \Phi \cdot I$ sont des relations algébriques. A flux constant et en convention récepteur, 4 quadrants définissent les zones de fonctionnement.



- **Quadrant I seul** : la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation, le couple est positif ou nul (accélérations contrôlées et décélération non contrôlées).
- **2 Quadrants (I et II)** : la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation, le couple est positif ou négatif (accélérations et décélération contrôlées).
- **3 Quadrants (I et IV)** : la machine tourne dans les deux sens de rotation (pour le sens inverse la charge est nécessairement entraînante), le couple est toujours positif (accélérations contrôlées et décélération non contrôlées).
- **4 Quadrants (I à IV)** : la machine tourne dans les deux sens de rotation quelque soit la charge entraînée le couple est positif ou négatif (accélérations et décélération contrôlées).

2.3.1. Méthodes de réglage de la vitesse

La relation de la vitesse d'un moteur à courant continu (à excitation shunt ou séparée) est donnée par

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

En explorant cette relation, il apparait clairement trois possibilités pour le réglage de la vitesse :

- Action sur $\boldsymbol{R}$ (réglage rhéostatique) ;
- Action sur $\boldsymbol{\Phi}$ (réglage par le flux) ;
- Action sur $\boldsymbol{U}$ (réglage par la tension).

A. Réglage rhéostatique

La tension et le flux étant fixés à leur valeur nominale, on peut réduire la vitesse en augmentant la résistance de l'induit à l'aide d'un rhéostat R_h branché en série avec l'induit.

B. Réglage par le flux

A tension U constante, la vitesse du moteur est inversement proportionnelle au flux et donc au courant d'excitation (i_e). L'action sur le courant d'excitation permet donc

essentiellement d'accroître la vitesse à partir du point de fonctionnement nominal jusqu'à la vitesse maximale supportable par le moteur.

C. Réglage par la tension d'induit

A flux constant, la vitesse du moteur est quasiment proportionnelle à U : $\Omega = \frac{U - RI}{K\Phi} \approx \frac{U}{K\Phi}$.

L'alimentation de l'induit par l'intermédiaire d'un pont redresseur commandé ou d'un hacheur permet donc de faire varier continument la vitesse de 0 jusqu'à Ω_n.

Ce mode de réglage est excellent du point de vue technique car les caractéristiques ne sont pas déformées, d'autre part du point de vue économique, aucune énergie n'est gaspillée et le rendement demeure élevé. Cependant, cette solution nécessite l'emploi **d'un variateur de vitesse.** Ceci a constitué pendant de longues années un réel problème, mais avec le développement de l'électronique de puissance, les convertisseurs électroniques assurent parfaitement cette tâche.

2.3.2. Réalisation d'une tension d'induit variable

Pour réaliser une tension d'induit variable, on a longtemps utilisé le montage WARD-LEONNARD. Avec l'apparition des semi-conducteurs, on a trouvé intéressant d'utiliser un convertisseur d'électronique de puissance (Fig. I.14).

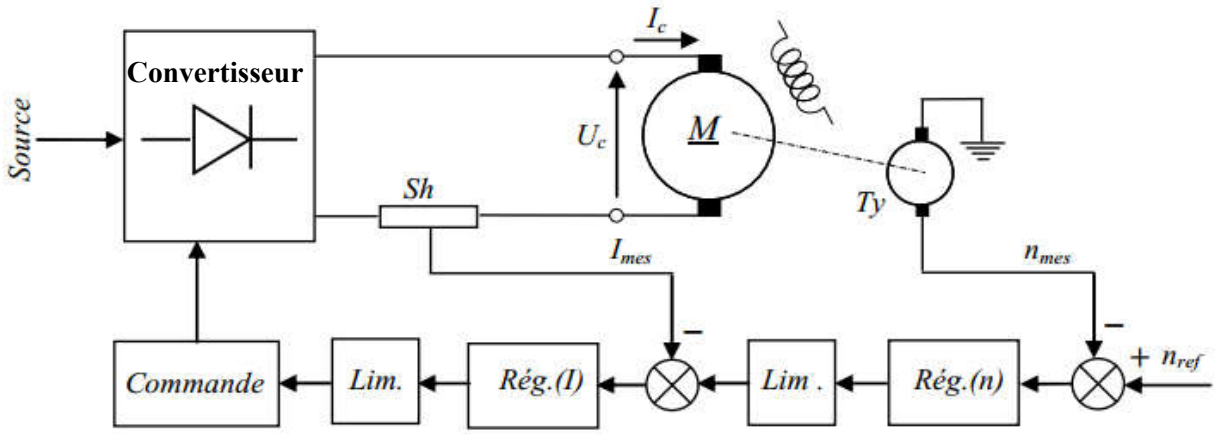


Figure 2.13. Tension continue variable à semi-conducteurs

Le convertisseur électronique (conv.) alimente l'induit du moteur et sa vitesse est captée par une dynamo tachymétrique T_y. La valeur mesurée (n_{mes}) est comparée à la vitesse de référence (n_{ref}). L'écart de régulation constitue l'entrée du régulateur de vitesse qui génère le signal à l'entrée du bloc de commande.

A cette boucle de vitesse, on rajoute une boucle de courant ; un shunt Sh donne une tension proportionnelle à I_c appliquée à l'entrée du régulateur de courant. Les limiteurs placés à la sortie des régulateurs servent à maintenir le courant et la tension d'induit entre les valeurs maximales admises.

Les convertisseurs utilisés être classés comme suit :

- ✓ **Convertisseurs alternatif-continu (Redresseurs)** : on distingue les montages **non réversibles** et les montages **réversibles**.
- ✓ **Convertisseurs continu-continu (Hacheurs)**: il existe, également, les deux types de montages ; **non réversibles** et **réversibles**.

2.3.3. Variateurs de vitesse alimentée en alternatif (variateurs à redresseur)

Ce sont les plus répandus dans les applications industrielles puisqu'ils partent directement de la tension du réseau (avec ou sans transformateur). Ils sont monophasés ou triphasés selon la puissance du moteur. Nous présentons dans ce qui suit quelques variateurs à redresseur pour un réseau monophasé

A. Pont mixte symétrique

Pour varie la vitesse du moteur shunt à C.C, l'induit est alimenté par un pont mixte symétrique

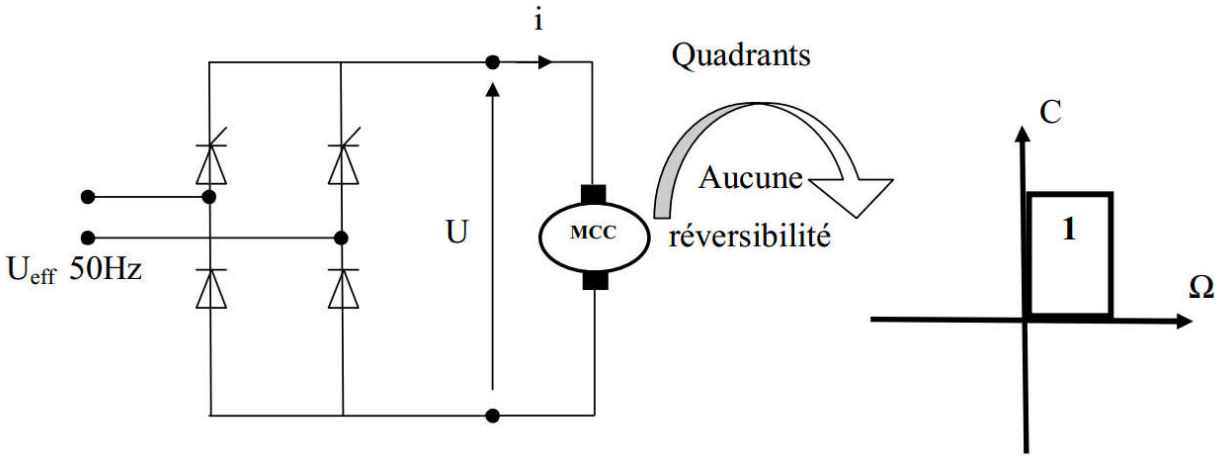


Figure 2.14. Variation de la vitesse du MCC en utilisant pont mixte symétrique

B. Pont tout thyristors :

Pour la variation de vitesse de MCC en utilisant pont tout thyristors :

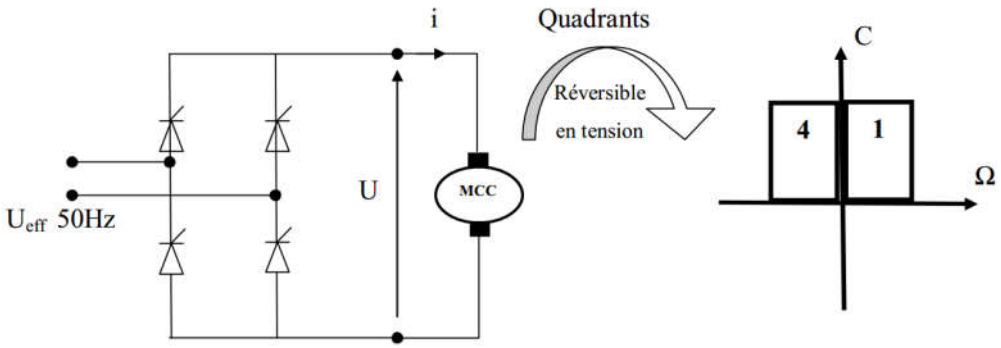


Figure 2.15. Variation de la vitesse du MCC en utilisant pont tout thyristors

C. Montage réversible (tête-bêche)

Pour pouvoir fonctionner dans les quatre quadrants et obtenir des inversions de couple très rapides, il faut utiliser deux ponts tout thyristors montés tète bêche. Pour assurer des inversions très rapides (5 à 20 ms) avec un équipement totalement statique, on doit utiliser deux montages redresseurs principaux tout thyristors montés en tête-bêche aux bornes d l'induit ; l'un fournit au moteur le courant I_d positif, l'autre le courant I_d négatif

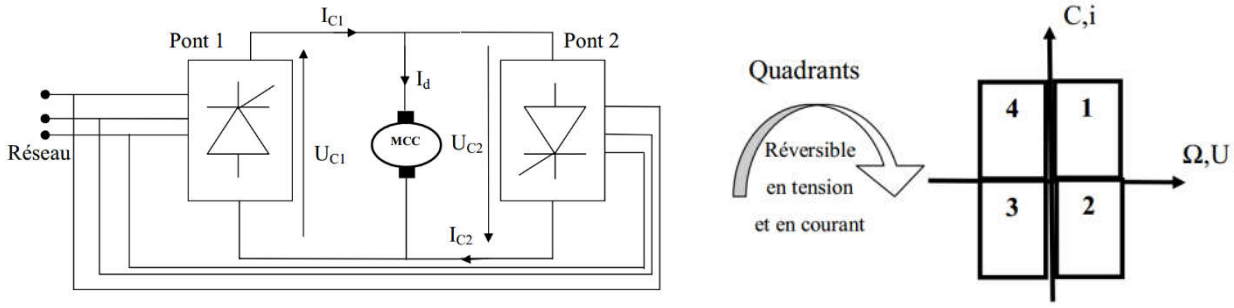


Figure 2.16. Commande du couple et de la vitesse d'un moteur shunt à C .C . en utilisant deux pont thyristors en tête bêche

Le pont 1 assure le fonctionnement dans les quadrants 1 et 4, le pont 2 dans les quadrants 3 et 2.Suivant le mode de commande des redresseurs des deux ponts, on distingue les variateurs avec courant de circulation et sans courant de circulation.

2.3.4. Variateurs de vitesse alimentée en continu (hacheurs)

A. Principe de fonctionnement d'un hacheur

Un hacheur est un convertisseur statique permettant d'alimenter une charge (moteur à courant continu) sous tension de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension constante (réseau alternatif redressé et filtré, batterie d'accumulateurs, alimentation stabilisée…), avec un très bon rendement.

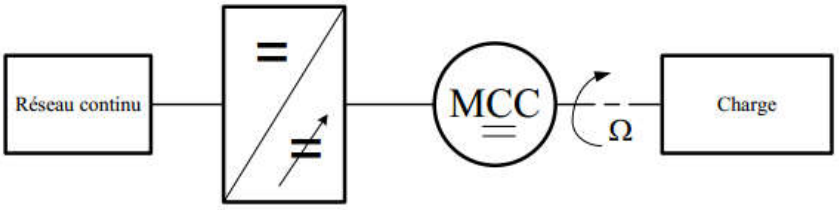
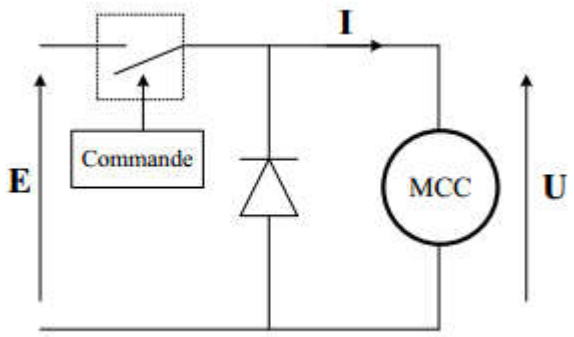
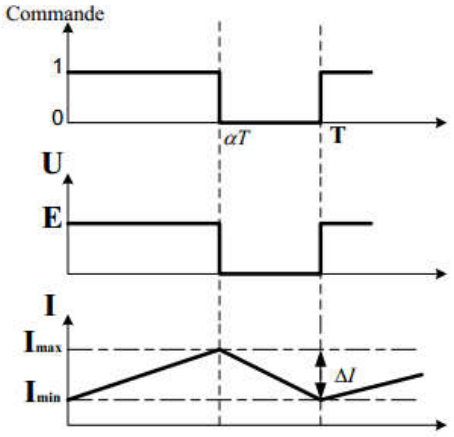


Figure 2.17. Synoptique d'un moto variateur à hacheur (en B.O).

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison (source charge) à l'aide d'un interrupteur électronique. La figure ci-dessus présente le schéma de principe d'un hacheur. Il comporte un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (transistor bipolaire, IGBT,…) et un interrupteur à amorçage naturel (diode).



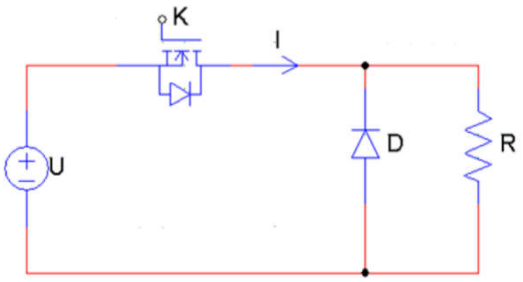


$f = \frac{1}{T}$ La fréquence de hachage. On définit **le rapport cyclique** α par : $\alpha = \frac{t_f}{T}$ avec $0 \le \alpha \le 1$. On peut ainsi écrire que $t_f = \alpha T$

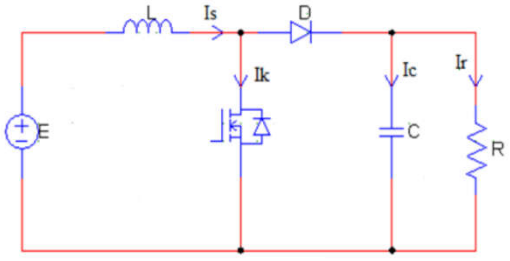
La tension moyenne de sortie est peut être inférieure (**abaisseur de tension**) ou supérieure à la tension d'entrée.

Selon la position du commandeur et du hacheur, différent de types de convertisseurs de tension peuvent être réalisée :

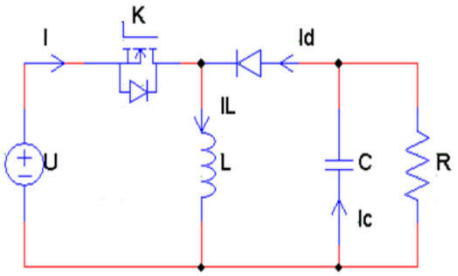
- Hacheur abaisseur de tension (série) ou **Buck** (a).
- Hacheur élévateur de tension (parallèle) ou **BOOST** (b).
- Hacheur dévolteur- survolteur (série-parallèle) ou **Buck- BOOST** (c).



(a)



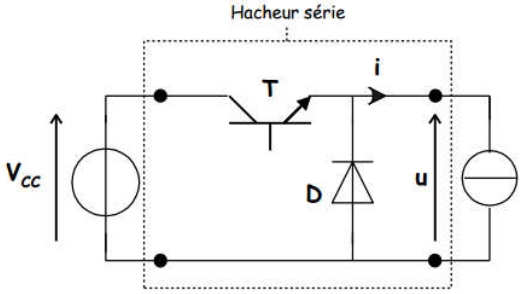
(b)



(c)

B. Hacheur série : abaisseur de tension ou dévolteur (BUCK en anglais)

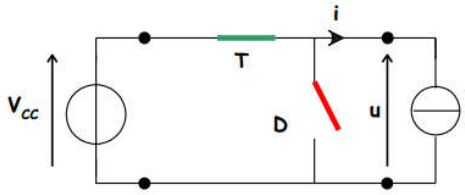
Le hacheur série est un convertisseur statique réglant le transfert d'énergie entre une générateur de tension continue est une source de courant continu.



♦ **La forme d'onde de la tension en sortie du hacheur série**

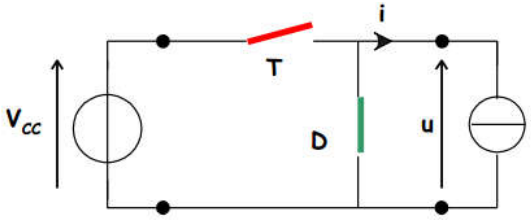
Les conductions de T et D sont complémentaires : quand T est passant (T=1) alors D est bloquée (D=0) et vice-versa.

De 0 à αT, le transistor est passant : T=1 et D=0.



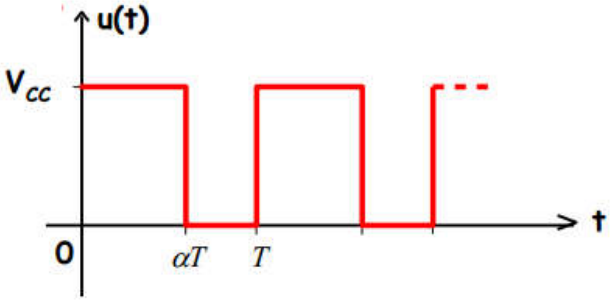
On a alors u=VCC.

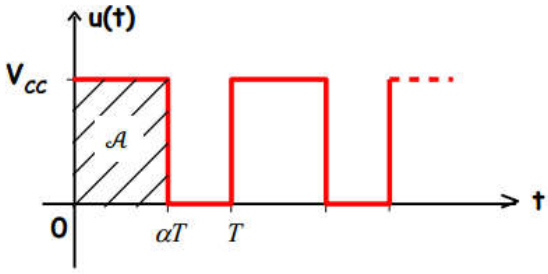
De αT à T, le transistor est bloqué : T=0 et D=1



On a alors u=0.

D'où la forme d'onde suivante :





♦ **L'expression de la valeur moyenne de la tension en sortie du hacheur**

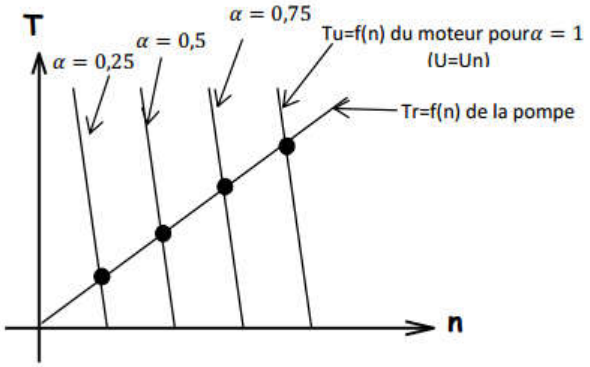
$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \times \mathrm{A}$

avec A : aire située sous la courbe (voir surface hachurée ci-dessus). $\langle u \rangle = \frac{1}{T} \times \alpha T \times V_{cc}$

donc la valeur moyenne est : $\langle \boldsymbol{u} \rangle = \boldsymbol{\alpha} \times \boldsymbol{V_{cc}}$

- **Comment le hacheur série permet-il la variation de vitesse des moteurs à courant continu ?**

La tension en sortie du hacheur est continue mais pas parfaitement lissée. Cependant, en rendant par réglage la période T du hacheur négligeable par rapport à la constante de temps mécanique du moteur,



la vitesse de celui-ci n'aura pas le temps de varier. Tout se passe comme-ci le moteur était alimenté par

une tension continue parfaitement lissée

$\boldsymbol{U} =< \boldsymbol{u} >= \boldsymbol{\alpha} \times \boldsymbol{VCC}$.

Avec le réglage de α, on obtient différentes valeurs de U qui correspondent à des caractéristiques mécaniques différentes pour le moteur (droites parallèles). Ces droites permettent d'obtenir plusieurs points de fonctionnement avec la charge entraînée (voir ci-contre l'exemple de l'entraînement d'une pompe). Le hacheur permet également le démarrage à tension d'induit réduite.

- **La forme d'onde du courant en sortie d'un hacheur série alimentant un moteur à courant continu**

La constante de temps électrique du moteur est beaucoup plus faible que la constante mécanique de celui-ci et n'est pas négligeable devant la période du hacheur. Le courant va donc répondre aux fluctuations de la tension en sortie du hacheur. Une fois le régime permanent établi (le moteur démarre avant t=0), on a montré dans le paragraphe précédent que la vitesse était constante : donc E=Cte.

A t=0, u passe brutalement de 0 à VCC.

La variation du courant d'induit du moteur est régit par l'équation différentielle suivante :

$$E + Ri + L\frac{di}{dt} = V_{cc}$$

C'est un régime transitoire du 1er ordre, dont on peut mettre l'équation sous sa forme canonique :

$$\frac{L}{R}\frac{di}{dt} + i = \frac{V_{cc} - E}{R}$$

La constante de temps est $\tau = \frac{L}{R}$ est la valeur finale de i est $\frac{V_{cc} - E}{R}$

i croit donc suivant la courbe de réponse d'un 1er ordre à un échelon, mais n'a pas le temps d'atteindre sa valeur finale avant t= αT.

A t= $\boldsymbol{\alpha T}$, u passe brutalement de VCC à 0.

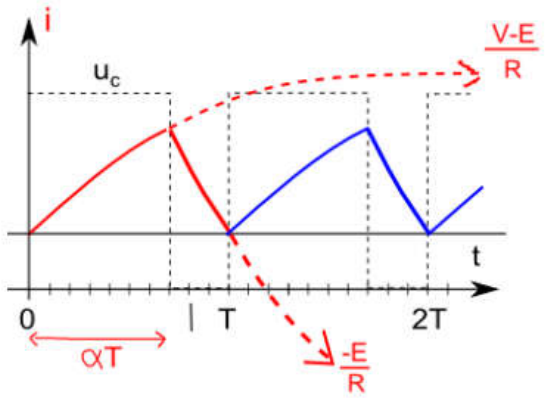
La variation du courant d'induit du moteur est régit par l'équation différentielle suivante :

$$E + Ri + L\frac{di}{dt} = 0$$

C'est un régime transitoire du 1er ordre, dont on peut mettre l'équation sous sa forme canonique :

$$\frac{L}{R}\frac{di}{dt}+i=-\frac{E}{R}$$

La constante de temps est $\tau=\frac{L}{R}$ est la valeur finale de i est $-\frac{E}{R}$



i décroit donc suivant la courbe de réponse d'un 1er ordre à un échelon, mais n'a pas le temps d'atteindre sa valeur finale avant t= T.

A t=T, on revient à la configuration de t=0

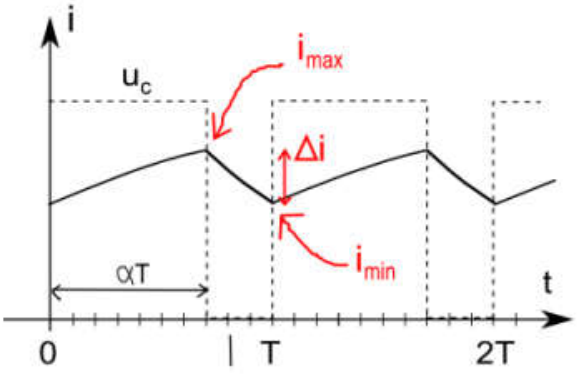
Le courant i est donc périodique.

On obtient la forme d'onde suivante :

- **Le lissage du courant**

L'ondulation de courant Δi peut être approximer pour le hacheur série par la relation :

$$\Delta i=\frac{V_{cc}\alpha(1-\alpha)}{LF}$$



Pour diminuer cette ondulation de courant, on peut donc **augmenter la fréquence F** du hacheur ou **augmenter le L** du moteur en ajoutant à celui-ci **une inductance de lissage en série**.

2.3.5. Associations hacheur-moteur à courant continu

A. Association Hacheur série-MCC

On emploie le hacheur série lorsque le moteur ne doit travailler que dans le quadrant 1

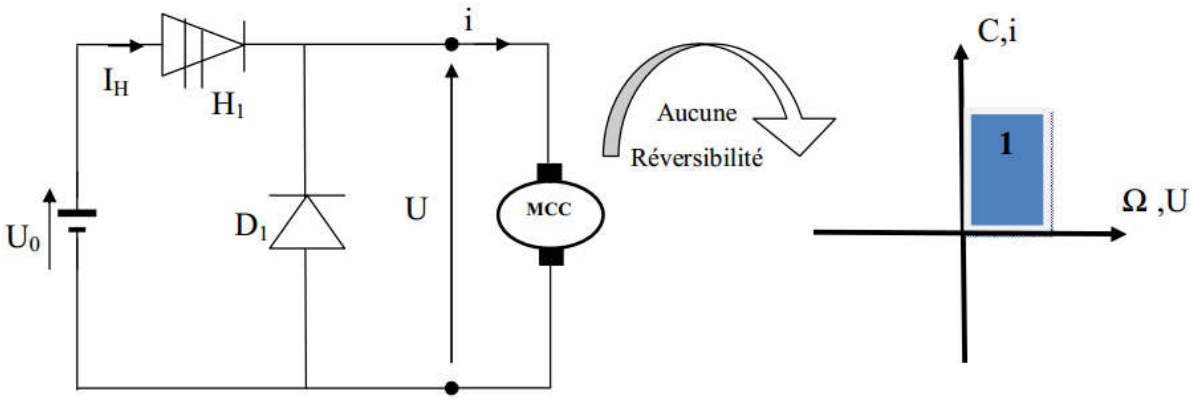


Figure 2.18. Variation de vitesse par un hacheur série

B. Association Hacheur réversible en courant- MCC

Le hacheur à deux interrupteurs réversible en courant est utilisé lorsque le moteur doit travailler dans les quadrants 1 et 2

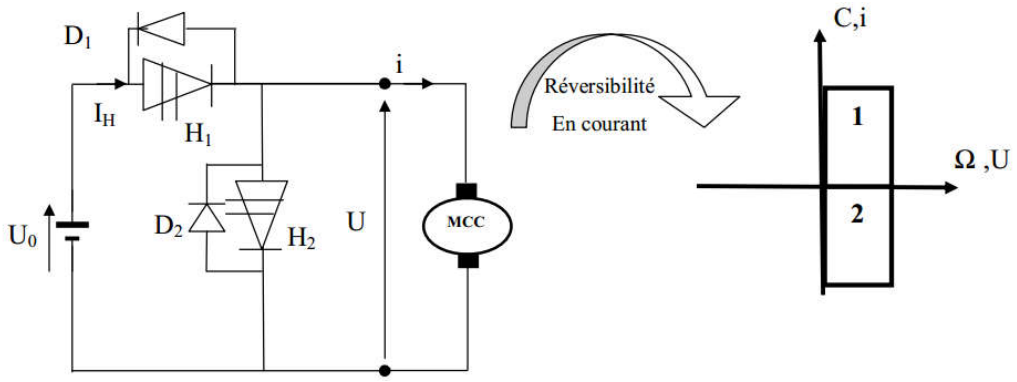


Figure 2.19. Variation de vitesse par un hacheur réversible en courant

C. Association Hacheur réversible en tension (2 quadrants)

La structure recherchée doit permettre une réversibilité en tension de la source de courant qui reste unidirectionnelle en courant.

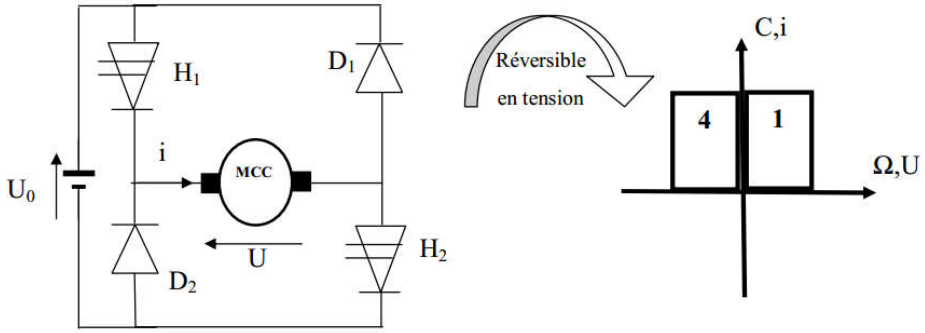


Figure 2.20. Association hacheur (2 quadrants)-MCC

D. Association Hacheur en pont ou 4 quadrants

Lorsque le fonctionnement a lieu dans les quatre quadrants, on a recours au hacheur en pont réversible en courant et en tension.

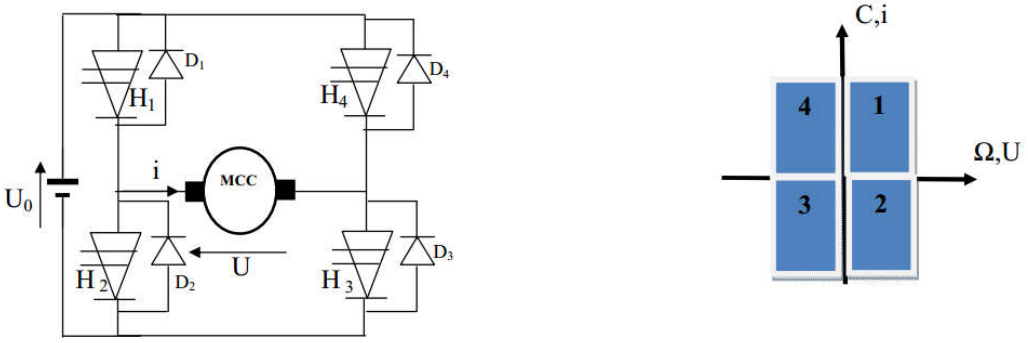
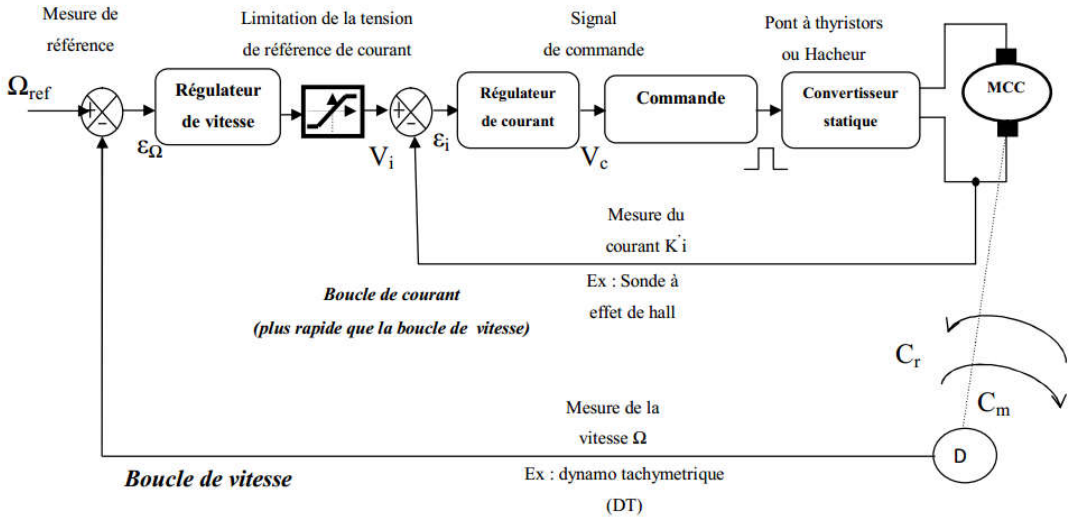


Figure 2.21. Association hacheur en pont (4 quadrants)-MCC

2.3.6. Régulation de vitesse des MCC en boucle fermée

Les structures précédentes (**commandes en boucle ouverte**) permettent de faire varier la vitesse d'un MCC sans garantir la stabilité et les performances. En effet, au cours de fonctionnement, des éléments peuvent varier (le couple résistant, la tension du réseau et la température) et provoquent une modification de vitesse. Ainsi dans un variateur de vitesse pour MCC, on trouve souvent un circuit de puissance associé à un dispositif de régulation. Son rôle est de piloter le variateur de façon que le MCC impose à la charge les conditions mécaniques (couple ou vitesse ou encore position) exigées par le processus industriel. Nous devons réguler la vitesse et contrôler aussi le courant pour le maintenir dans des limites acceptables lors des situations suivantes : Démarrage rapide, variation brutale du couple résistant, freinage brusque ou changement rapide de la consigne de vitesse. La structure d'un variateur de vitesse pour MCC comporte donc généralement deux boucles de régulation en cascade.



La grandeur principale à contrôler est la vitesse Ω, elle fait l'objet de la boucle externe. Le régulateur de vitesse compare la vitesse réelle Ω avec la vitesse de référence $\Omega_{ref.}$ Il fournit une tension de référence V_i pour le courant. A partir de la sortie du régulateur du courant, nous pouvons contrôler la durée de conduction des interrupteurs statique (thyristor, transistor) du convertisseur. Dans cette structure, la tension de sortie du régulateur de vitesse (correcteur vitesse et position) sert de référence au régulateur de courant. C'est l'image du courant (donc du couple) désiré.

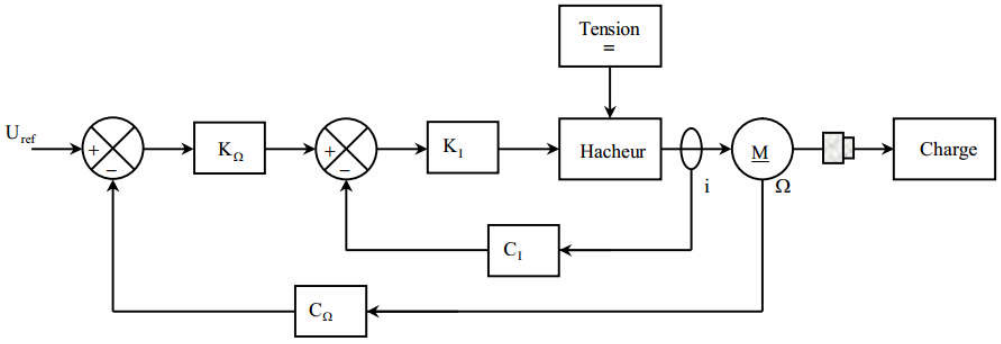


Figure 2.22. Schéma synoptique d'une chaîne de commande d'un Mc