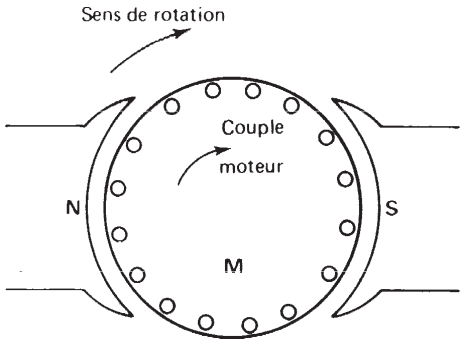
Etude des systèmes techniques

Les moteurs à courant continu

L'évolution des technologies conduit à utiliser des machines nécessitant des vitesses de rotation précises et variables pour l'entraînement d'engins de manutention par exemple.

1. Rappels de physique

En alimentant l'induit par une source de tension séparé, chaque faisceau, placé dans le champ magnétique parcouru par un courant, est soumis à une force, dont la direction est donnée par la règle des trois doigts de la main droite. C'est la réversibilité des machines à courant continu.



1.1 La force contre électromotrice FCEM

$$E' = \frac{p}{a} N\, n\, \Phi$$

N: Nombre de conducteurs actifs sous un pôle

n: Vitesse de rotation en tr/s

□: Flux sous un pôle

E': Force contre électromotrice en V

p: Nombre de paire de pôle

a: Nonbre de paire de voie d'enroulement

1.2 Loi d'Ohm

$$U = E' + RI$$

1.3 Vitesse de rotation

$$n = \frac{a}{p} * \frac{U - RI}{N\Phi}$$

Remarque :

Lorsque le flux est nul la vitesse tend vers l'infini, le moteur s'emballe.

Il ne faut jamais alimenter l'induit d'un moteur à courant continu sans un courant d'excitation.

Si on néglige la chute de tension RI et si le flux est constant on peut considérer que:

$$\mathbf{n = K\,U}$$

Donc que la vitesse est directement proportionnelle à la tension moyenne d'alimentation

1.4 Puissance

Puissance électrique utile

$$Pe = \frac{p}{a} * N\,n\,\Phi\,I = E'\,I$$

Pe : Puissance électromotrice

n: Vitesse en tr/s

N: Nombre de conducteur actif sous un pôle

Φ: Flux sous un pôle

I: Intensité en A

E': Force contre électromotrice en V

Puissance électrique absorbée Pa

$$\mathbf{Pa = UI}$$

1.6 Couple moteur

Le couple moteur, calculé à partir de la relation:

$$\mathbf{Pe = T\omega}$$

d'où le couple moteur

$$T = \frac{Pe}{\omega} = \frac{\frac{p}{a} N\,n\,\Phi\,I}{2\pi n} = \frac{p}{a}\frac{N}{2\pi}\Phi\,I$$

$$\mathbf{T = K'\Phi I}$$

Le couple utile est inférieur du fait des pertes mécaniques

1.7 Rendement

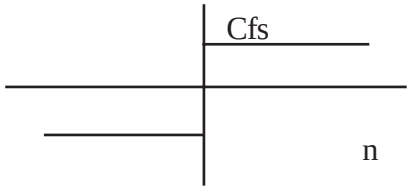
Le bilan des puissances fait apparaître le rendement d'un MCC
Les pertes comprennent:

- Les pertes Joules
- Les pertes fer
- Les pertes mécaniques

1.8 Analyse des pertes

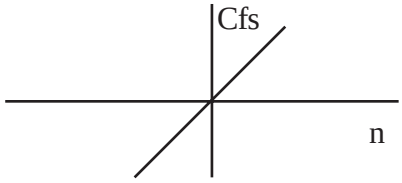
a) Les pertes mécaniques

- Frottement sec



Le couple de perte est indépendant de la vitesse sauf à vitesse nulle, il est proportionnel à la pression qui s'exerce sur l'arbre.

- Frottement visqueux



Le couple de perte est proportionnel à la vitesse.

- Frottement fluide (pertes par ventilation)

Le couple de perte est proportionnel au carré de la vitesse.
Si le moteur est à ventilation forcée (ventilation extérieure) on considère qu'il n'y a pas de pertes de ce type dans le moteur.

b) Les pertes magnétiques

- Les pertes par hystérésis

$$p f_h = K_h B^2_{max} f = K'_h B^2_{max} \Omega$$

Le couple de pertes par hystérésis est contant.

$$\mathbf{Cpf_h = cte}$$

- Les pertes par courant de Foucault

$$Pf_f = k_f B^2_{max} f^2 = k'_f B^2_{max} \Omega^2$$

Le couple de perte par courant de Foucault est proportionnel à la vitesse.

$$\mathbf{Cpf_F = K\Omega}$$

2. Les différents types de moteurs

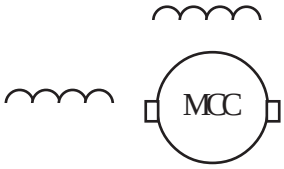
On peut réaliser l'excitation des moteurs de plusieurs façons

- En dérivation

C'est une excitation séparée, l'inducteur comporte beaucoup de spires de faibles sections.

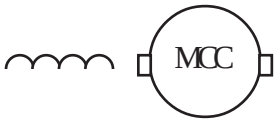
- En série

L'inducteur est traversé par le courant d'induit, il comporte peut de spires de grosses sections.



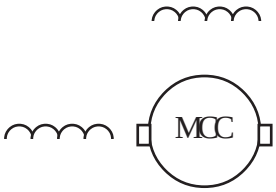
- Composé (Compound)

On trouve une partie des enroulements inducteurs en série et une partie en parallèle. On distingue deux types de branchements:



- Courte dérivation

L'enroulement parallèle est aux bornes du moteur



- Longue dérivation

L'enroulement parallèle est aux bornes de la source d'alimentation

On peur réaliser pour chaque type de branchement deux types d'excitations:

Une excitation à flux additif, le flux de l'enroulement série s'ajoute avec celui de l'enroulement parallèle.

Une excitation à flux soustractif, le flux série se soustrait de celui de l'enroulement parallèle.

Le type d'excitation influence le comportement du moteur

2.1 Caractéristiques

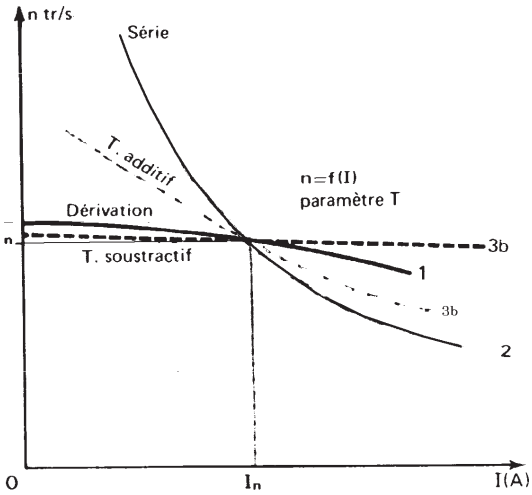
Ce sont des courbes qui traduisent graphiquement les relations entre les variables courant absorbé, vitesse et couple moteur.

Elles varient selon le type du moteur.

a) Caractéristique de vitesse

n=f(I) avec un couple constant. Elle répond à l'équation

$$n=\frac{U-RI}{k\phi} \qquad K=\frac{p}{a}N=cte$$



1: Dérivation

2: Série

3a: Composé flux additif

3b: Composé flux soustractif

b) Caractéristique de couple

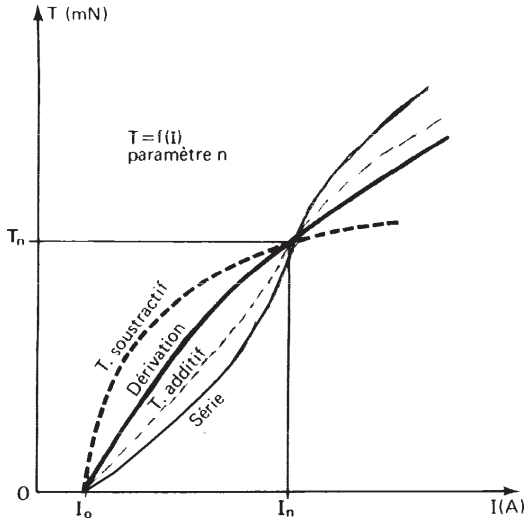
T= f(I) avec une vitesse constante

$$T = K' \phi I$$

Le couple est proportionnel au flux et au courant absorbé.

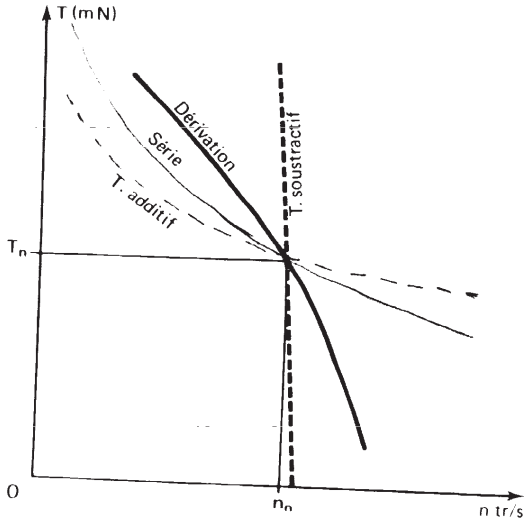
Si on considère le flux sous un pôle constant, le couple est directement proportionnel à l'intensité.

I0: Courant à vide



c) Caractéristique mécanique

T= f(n) avec I constant



2.2 Domaine d'application

Excitation	Particularités	Emplois
Dérivation	Moteur auto-régulateur de vitesse. La vitesse est relativement constante quelque soit la charge	Entrainement de machines-outils Remplacé par le moteur asynchrone triphasé
Série	Moteur auto-régulateur de puissance Posséde un trés grand couple de démarrage mais risque l'emballement à vide La vitesse décroit quand la charge augmente	C'est le moteur qui convi le mieux en traction électrique
composé Flux additif	Ne s'emballe pas Couple de demarrage meilleur qu'en excitation dérivation	Laminoirs, appareils de levage et de manutentio Utilisé aussi en excitati indépendante
composé Flux soustractif	Risque d'emballement du fait de l'annulation du flux résultant des enroulements	Pratiquement ce moteur n'est plus utilisé

3. Démarrage

Le courant absorbé par un MCC est:

$$I = \frac{U - E'}{R}$$

A la mise sous tension et au décollage, la vitesse du moteur est nulle donc la FCEM aussi, Le courant n'est donc plus limité que par la valeur de R, résistance d'induit, d'où

$$I = \frac{U}{R}$$

Exemple

MCC 120 V

P= 3600 W

R=0.2□□

In =

Id =

Cette intensité est de 20 In, c'est beaucoup trop important. Pour limiter cette pointe d'intensité au démarrage on place en série avec le moteur une résistance de démarrage.

On considère que l'intensité de démarrage doit être comprise entre 1 et 2 fois l'intensité nominale.

$$Id = \frac{U}{R + Rh}$$

Si on choisit un ID de deux In on obtient

Id=

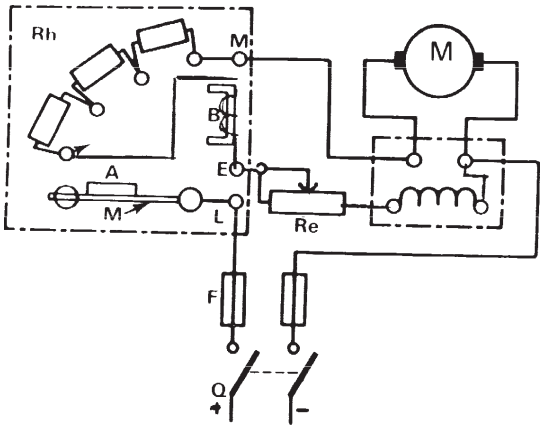
Soit Rh=

Le Rhéostat comporte, en général, plusieurs plots de façon à diminuer progressivement la résistance Rh, au fur et à mesure que la vitesse augmente.

Etude des systèmes techniques

Schéma développé

Q interrupteur de mise sous tension
F Fusibles de protection
Rh Rhéostat de démarrage avec plot mort.
A Armature mobile ou culasse.
B Bobine à minimum de courant dans le circuit d'excitation et armature fixe.



- A la mise sous tension, le circuit d'excitation est alimenté avec le courant maximum (Rhéostat d'excitation Re au minimum de résistance)

- En déplaçant le curseur du rhéostat de démarrage (Rd), on passe du plot mort à la résistance maximum, en fin de démarrage Rd = 0. La manette mobile M plaque l'armature A sur le noyau B.

En cas de coupure du circuit d'excitation (risque d'emballement du moteur), la manette M est ramenée à zéro par un ressort et le moteur s'arrête. On assure ainsi la protection contre les risques d'emballement du moteur.

3.1 Démarrage semi automatique

a) moteur à excitation dérivation deux sens de marche

Le sens de rotation est dépendant des polarités, pour inverser le sens de rotation il suffit d'inverser le sens du courant soit dans l'inducteur soit dans l'induit.

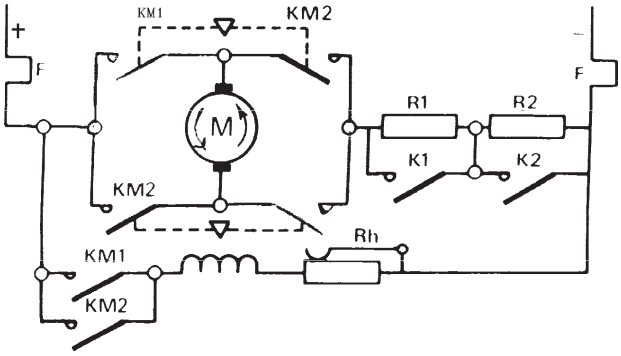
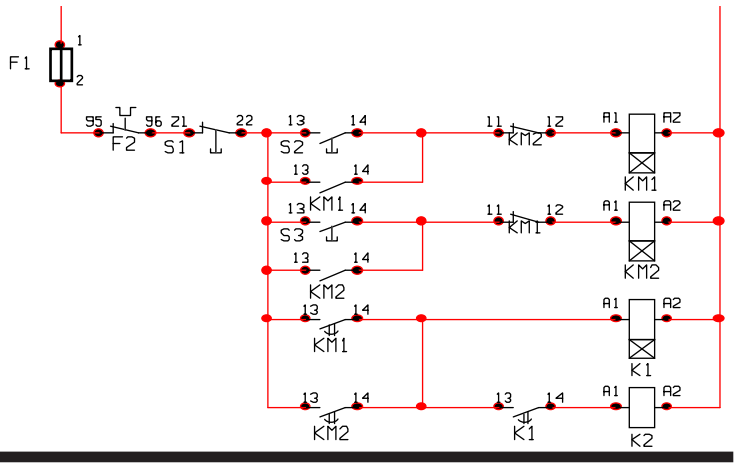


Schéma de puissance

A la fermeture de KM1 le moteur tourne dans un sens, à la fermeture de KM2 le moteur tourne dans l'autre sens. Dans les deux cas l'inducteur est alimenté sous la même polarité par KM1 ou KM2

Schéma de commande

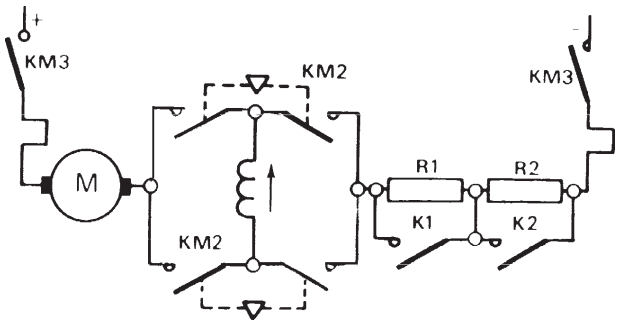
Au démarrage Le courant d'excitation doit être maximum, et les résistance R1 et R2 en série avec l'induit. Une temporisation court-circuite les résistances R1 et R2 au fur et a mesure du démarrage.



b) Moteur à excitation série

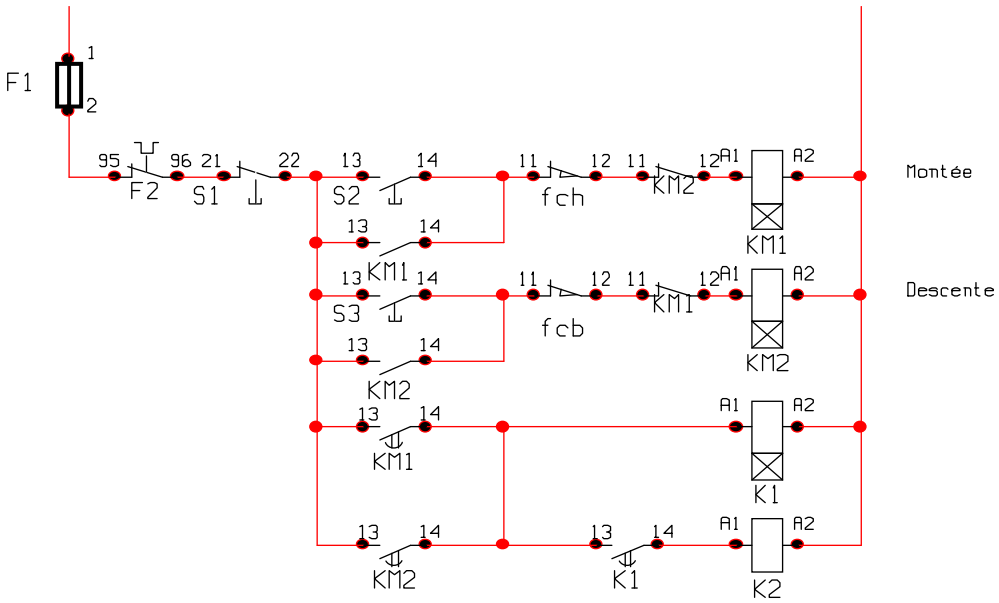
- Schéma de puissance

Le courant est inversé uniquement dans l'inducteur série. Le verrouillage entre KM1 et KM2 doit être électrique et mécanique. Si les deux contacteurs se ferment en même temps l'inducteur est court-circuité et le moteur s'emballe.



- Schéma de commande

Exemple cycle monté descente avec deux fins de courses FCh et FCb



4. Réglage de la vitesse

Le moteur à courant continu offre de grandes possibilités pour obtenir des vitesses de rotation variables. En sachant que U=E'+RI, si on néglige RI, R très faible on a sensiblement:

$$U \approx E' = \frac{p}{a} N\, n\, \Phi$$

d'où

$$n = \frac{U}{\frac{p}{a} N \Phi}$$

On pose $K = \frac{p}{a} N$

$$n = \frac{U}{K\,\Phi}$$

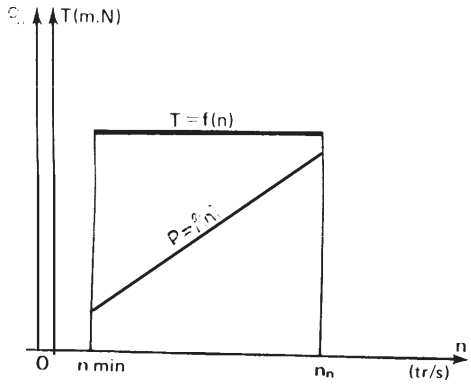
On peut modifier n en agissant sur la tension U et sur le flux F (action sur le courant inducteur).

Etude des systèmes techniques

4.1 Action sur la tension d'alimentation

La vitesse est directement proportionnelle à la tension d'alimentation de l'induit.

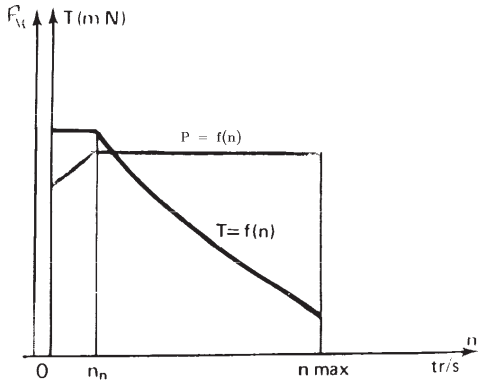
$$n = \frac{U}{K\phi}$$



Le couple est proportionnel au courant d'excitation or comme il est constant, le couple est constant.

Le fonctionnement est alors dit à couple constant pour une vitesse entre 0 et n nominal.

4.2 Action sur le flux



Pour dépasser la vitesse nominale on ne peut plus agir sur la tension d'alimentation (U=Un), on peut diminuer le flux. Si diminue, n augmente.

Le couple du moteur (T= K I), est proportionnel au flux donc si F diminue et si I est constant le couple moteur diminue.

Le fonctionnement est dit à puissance constante

4.3 Alimentation des moteurs

Pour obtenir un fonctionnement à vitesse variable, cela revient à alimenter un moteur à excitation indépendante avec une tension variable de 0 à Un sur l'induit, et une tension variable sur l'inducteur au-delà de la vitesse nominale.

Il existe différents procédés.

a) Rhéostat en série avec l'induit et inducteur

Valable uniquement pour des petits moteurs (trop de pertes dans les résistances).

b) Couplage série parallèle des induits

c) Tension variable par couplage de batterie d'accumulateurs

Procédé simple mais nécessitant beaucoup de matériel

d) Groupe Ward-Léonard

La tension variable est obtenue par un groupe tournant moteur asynchrone, génératrice dérivation dont on règle le courant d'excitation. Le courant obtenu à tension variable alimente l'induit du MCC. Ce groupe était beaucoup utilisés dans des installations de fortes puissances (extraction minière).

e) Variateur électronique

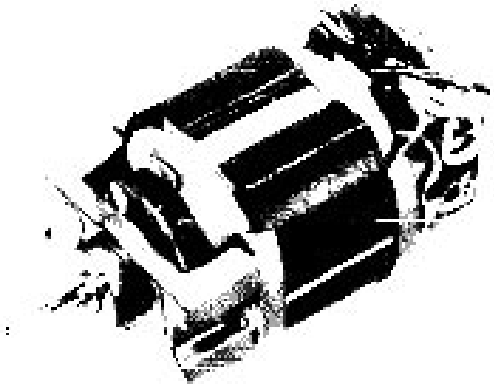
Ce procédé a tendance à remplacer les autres, moins coûteux et de plus en plus fiable même pour les grosses puissances.

5. Moteurs spéciaux

5.1 Le moteur universel

Il peut être alimenté en continu ou en alternatif monophasé.

Si on inverse le sens de passage du courant dans l'induit et dans l'inducteur en même temps la vitesse ne change pas de sens. On utilise ce principe avec des moteurs à excitation série, à chaque demie alternance le courant s'inverse dans l'induit et dans l'inducteur, le sens reste le même. On ne peut pas utiliser des moteurs à excitation en dérivation car l'inductance des bobines est trop importante est elle déphase le flux.



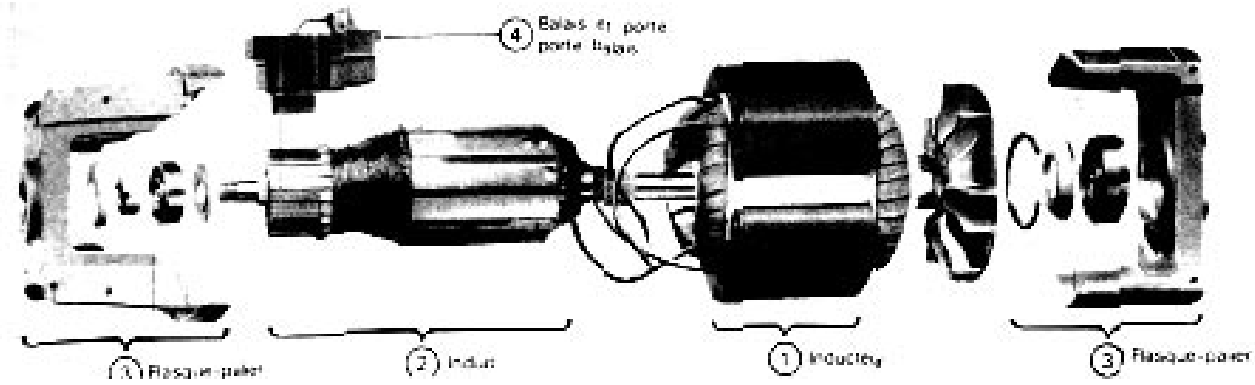
a) Caractéristiques

Le couple au démarrage et le courant d'appel est important. La vitesse varie beaucoup avec la charge.
Pour inverser le sens de rotation il faut inverser: Soit l'induit, soit l'inducteur.

Il provoque beaucoup de parasites, d'où la nécessité de relier les balais à la masse par l'intermédiaire de condensateur (l'ensemble condensateur, inducteur formant un filtre).

b) Utilisation

Petite puissance en alternatif (aspirateur, perceuse portative, etc.)
Possibilité de variation de vitesse par triac (cf physique)



5.2 Moteur à entrefer plan

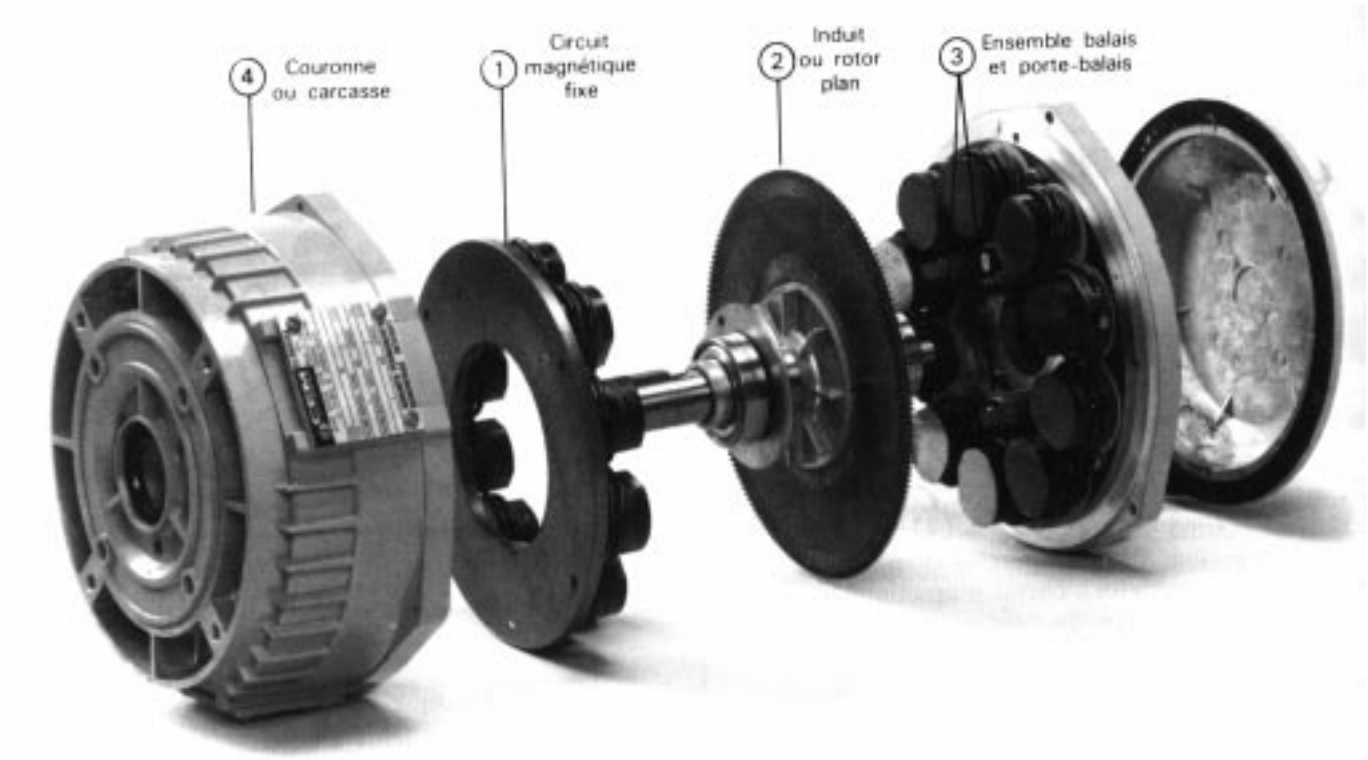
a) Principe

C'est un MCC dont les conducteurs induits sont disposés selon des rayons. L'inducteur étant réalisé par des aimants permanents.

b) Caractéristiques

- Moteur à faible inertie, l'induit ne comporte pas de circuit magnétique mais uniquement des conducteurs avec leurs isolants.
- Moteur très plat, l'induit est un disque.

- Inducteur à aimant permanent, pas de circuit d'excitation
- La disposition des conducteurs supprime la réaction magnétique d'induit, d'où une bonne commutation.
- Grande gamme de vitesse, de 1 à 3000 tr/mn



c) Emploi

Ils permettent des commandes à inversion rapides et fréquentes, tel que les dérouleurs de bandes magnétiques, servomécanisme, ils sont utilisés pour des climatiseurs, ventilateur, etc.

c) Autres moteurs

Il existe une grande variété de moteurs spéciaux:

- Moteur pas à pas
- Moteur à répulsion
- Micro-moteur à courant continu
- Moteur à Hystérésis
- etc..