

# **Ch.I:**

# **Les actionneurs électriques**

# I) Introduction

- Un système automatisé est composé d'une partie commande et d'une partie opérative.
- La partie commande reçoit les consignes de l'opérateur, par ex, l'ordinateur d'un distributeur de billets reçoit les informations (code secret de la carte, montant du retrait) du client.
- Elle adresse des ordres à la partie opérative, par ex, la télécommande d'un portail donne l'ordre au portail de s'ouvrir.
- La partie opérative effectue les opérations, par ex, la barrière de parking se lève et se baisse.
- Pour exécuter les ordres de la partie commande, la partie opérative est équipée d'actionneurs produisant un phénomène physique à partir de l'énergie reçue, par ex:

- Lumière à partir d'un courant électrique: LED, lampe...
- Son à partir d'un courant électrique: Vibreur (Fig.1), avertisseur sonore...
- Champ magnétique à partir d'un courant électrique: Electro aimant (Fig.2).
- Mouvement à partir d'un courant électrique: Moteur électrique (Fig.3).



Fig.1



Fig.2



Fig.3

- Rayonnement IR à partir d'un courant électrique: Diode émissive infra-rouge.
- Chaleur à partir d'un courant électrique: Résistance chauffante.
- Mouvement à partir d'un fluide sous pression: Vérin pneumatique ou hydraulique.

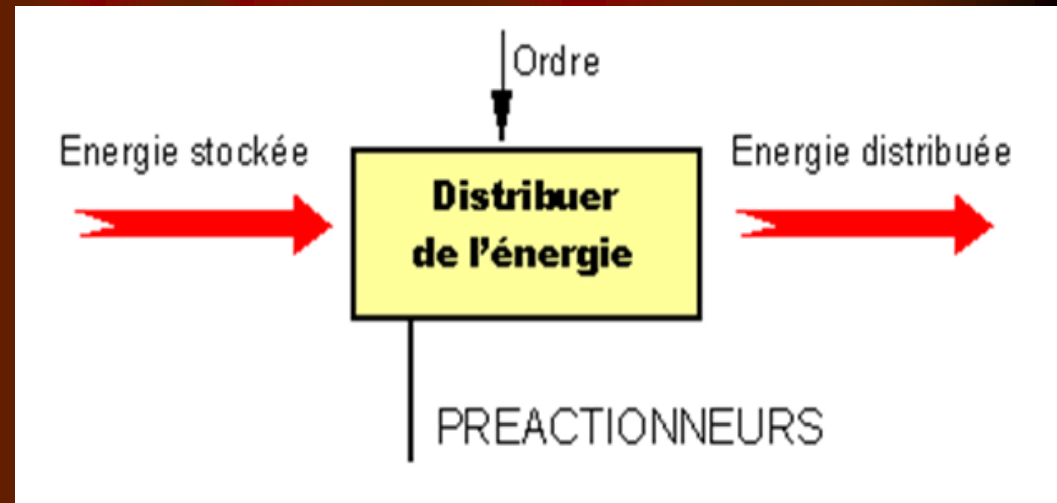
Un actionneur est donc un élément qui produit une action physique (déplacement, émission de lumière....) à partir de l'énergie reçue.

Il appartient donc à la partie opérative d'un système automatisé.

## II) Les pré-actionneurs électriques:

- Un pré-actionneur est un dispositif qui commande un actionneur.
- Il lui fournit un courant fort tout en étant commandé par un courant électrique faible provenant de la partie commande.

Ex: Relais, Transistor.



### 2.1) Le relais

- Le relais est un composant électrique réalisant la fonction d'interfaçage entre un circuit de commande et un circuit de puissance (lampes....).
- Il existe deux types de relais :
  - Le relais électromagnétique
  - Le relais statique.

## 2.2. Relais électromagnétique

- Un relais électromagnétique (Fig.4) est formé d'une bobine alimentée par le circuit de commande, dont le noyau mobile provoque la commutation de contacts pouvant être placé dans un circuit de puissance.
- Le relais électromagnétique est réservé pour les faibles puissances.



Fig.4

## 2.3. Relais statique

- Un relais statique (Fig.4) est un organe comme un relais électromagnétique .
- Il commute de manière statique mais réalisé avec des composants électroniques sans aucune pièce mécanique en mouvement, conférant au composant une durée de vie quasi illimitée.



Fig. 4



## 2.4. Le contacteur

- Un contacteur (Fig.5) est un relais électromagnétique particulier et le fonctionnement est le même.
- C'est donc un dispositif permettant d'établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande électrique.
- Il permet la circulation d'un courant beaucoup plus important et il est utilisé pour de très fortes puissances (moteur).
- Sa commande peut être continue ou alternative.





- Sa constitution est comme suit :
  - Des pôles principaux de puissance ;
  - Un contact auxiliaire (avec possibilité d'ajouter au contacteur un bloc de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés) ;
  - une armature fixe et un autre mobile ;
  - Un ressort de rappel ;
  - Un circuit magnétique ;
  - Une bobine de commande du contacteur. Si la bobine est alimentée elle attire l'armature mobile pour actionner les pôles de puissance ; Si elle n'est pas alimentée, un ressort de rappel ouvre les pôles de puissance.

## 2.4. Le sectionneur

- Le sectionneur (Fig.6) est un appareil de connexion qui permet d'isoler (séparer électriquement) un circuit pour effectuer des opérations de maintenance ou de modification sur les circuits électriques qui se trouvent en aval.
- Ainsi il permet d'assurer la sécurité des personnes qui travaillent sur le reste de l'installation en amont.
- Le sectionneur ne possède aucun pouvoir de coupure, par conséquent, il ne doit pas être manœuvré en charge.

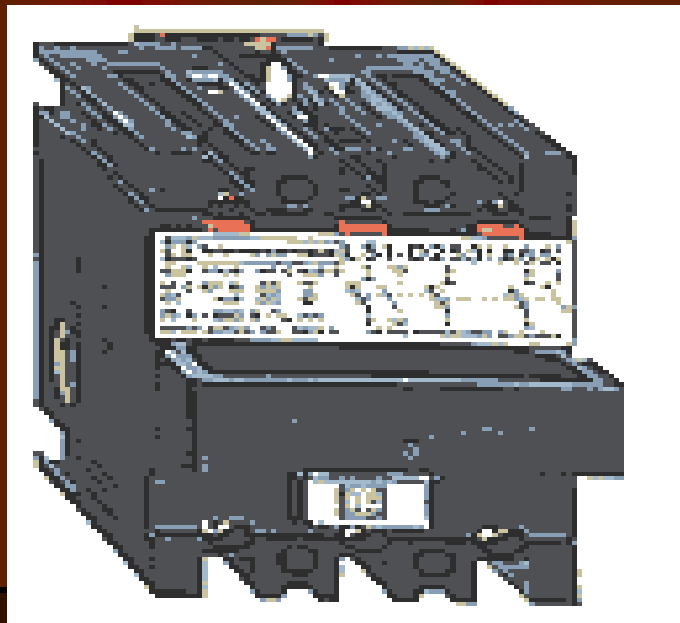


Fig.6

## 2.5) Les fusibles

- Les fusibles (Fig.7) sont des appareils de protection dont la fonction est d'ouvrir un circuit par fusion d'un élément calibré, lorsque le courant dépasse une valeur précise, pendant un temps donné.
- Il existe deux classes:
  - La classe gI ou gG qui sont des fusibles d'usage général et qui protègent contre les surcharges et les courts-circuits.
  - La classe aM qui sont des fusibles d'accompagnement moteur prévus pour la protection contre les courts-circuits et surtout pour la protection des moteurs.

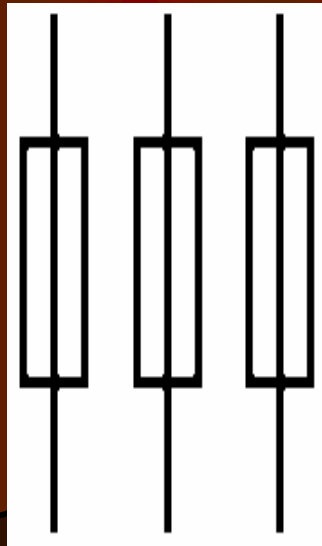


Fig.6

## 2.6) Le relais thermique

- Le relais thermique (Fig.8) est un appareil de protection contre les surcharges prolongées.
- Une surcharge est une élévation anormale du courant consommé par le récepteur, mais prolongée dans le temps, entraînant un échauffement de l'installation pouvant aller jusqu'à sa destruction.
- Le temps de coupure est inversement proportionnel à l'augmentation du courant.



Fig 8

### III) Le convertisseur électromécanique

- Le convertisseur électromécanique (Fig.9) convertit l'énergie électrique (courant continu) en rotation mécanique.
- On l'utilise par ex dans :
  - ▣ L'électronique de faible signaux (radio, video, entraînement en rotation de la parabole, etc.) ;
  - ▣ La traction électrique.



Fig.9

### 3.1) Organisation de la machine

- On distingue dans une machine à courant continu les éléments suivants :
  - ▣ Les pôles inducteurs avec leurs enroulements ou leurs aimants, placés généralement sur le stator (partie fixe), voir Fig.10 a.
  - ▣ L'induit, dont les différentes voies d'enroulements sont connectées au collecteur, l'ensemble est placé sur le rotor (partie tournante), voir Fig. 10 b.
  - ▣ les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous ensembles.



Fig.10 a: Le stator



Fig.10 b: Le rotor



### 3.2) Principe de fonctionnement du moteur à courant continu

- Un moteur à courant continu (Fig.11) est donc formé de deux parties électriques : le stator et le rotor.
- Quand on alimente le moteur, il se crée une interaction magnétique qui le met en mouvement.
- Lorsqu'on inverse le sens de la tension qui alimente le moteur, il tourne en sens inverse.

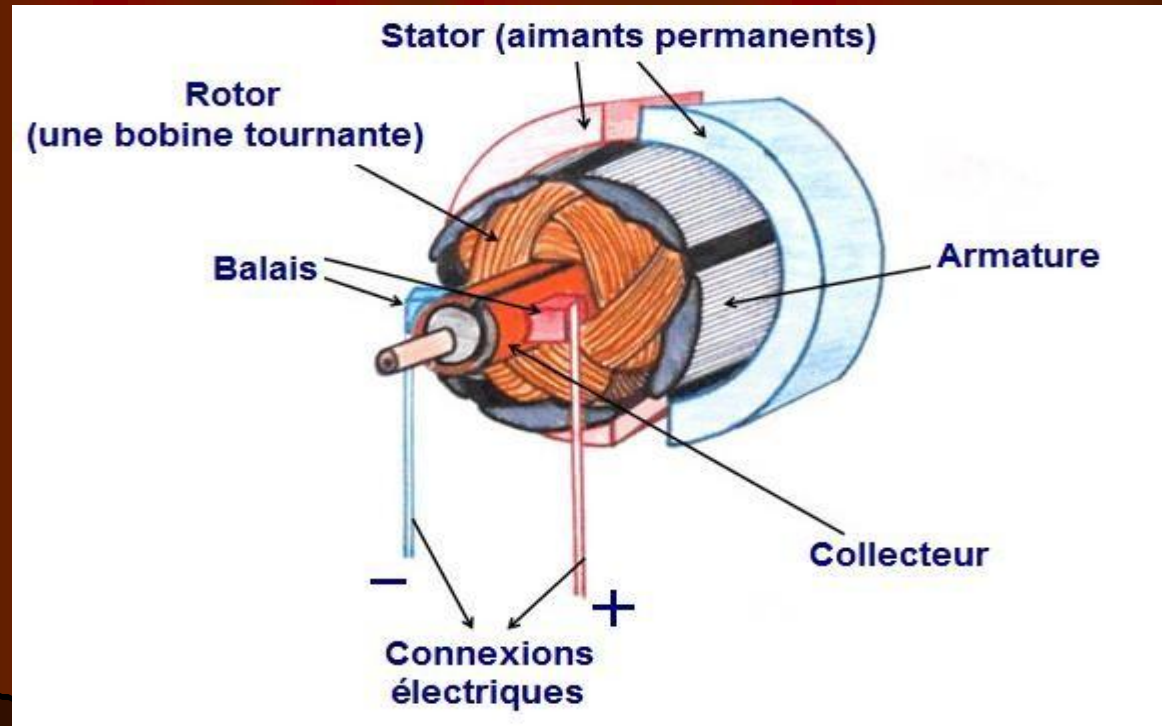


Fig.11: Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu



### 3.2.1. Le stator

- Le stator (l'inducteur ou l'excitation) d'un moteur à courant continu est la partie fixe du moteur.
- On fait passer un courant dans le bobinage du stator et c'est lui qui crée (qui induit) un champ magnétique (Fig.12).
- Le stator pose le décor pour le rotor qui se retrouve ainsi plongé dans ce champ magnétique.
- Il crée un champ magnétique  $B$  appelé champ inducteur (champ statorique).
- Il peut être fait d'aimants permanents ou d'électro-aimants qu'il faut alimenter.

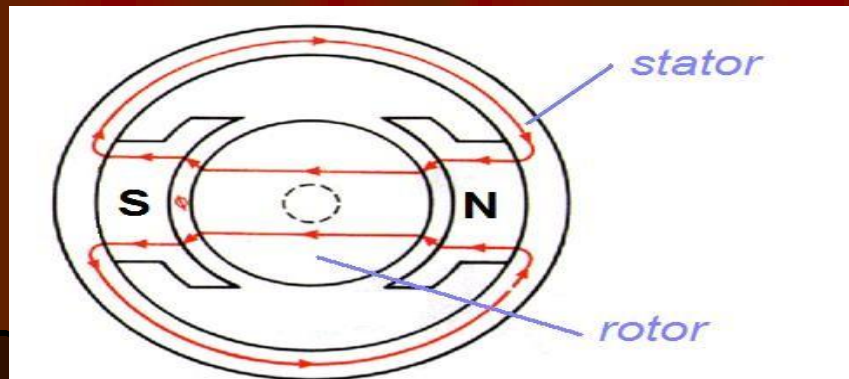
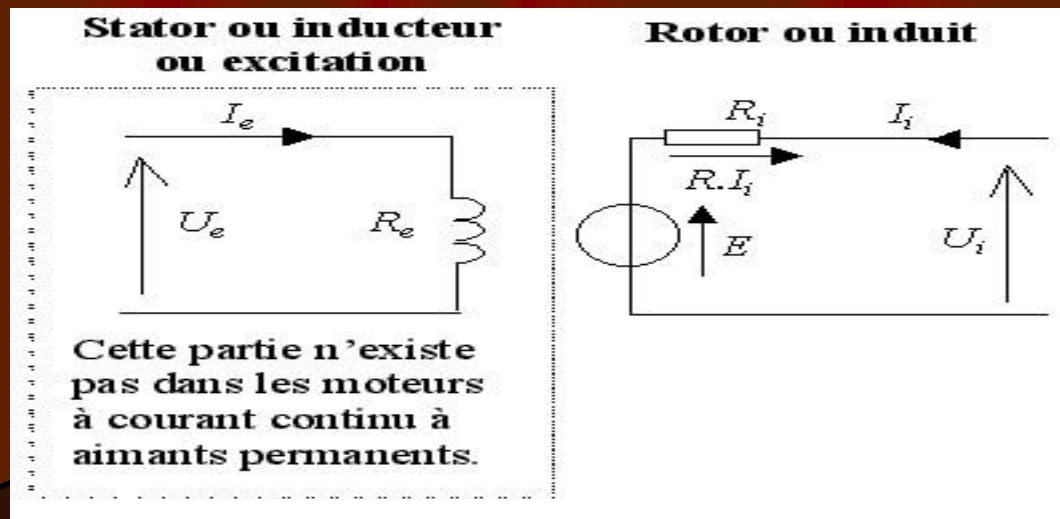


Fig.12: Flux créé par le stator d'un moteur à courant continu

- Dans ce cas, la relation électrique s'écrit :

$$U_e = R_e.I_e$$

- C'est la loi d'Ohm pour le stator du moteur à courant continu.
- En tension et courant continus, l'aspect inductif du stator n'intervient pas.
- Une inductance est un court-circuit en continu.
- Seule la résistance compte.



### 3.2.2. Le rotor

- Le rotor est la partie en rotation du moteur, constitué du bobinage induit.
- Il faut alimenter cette bobine pour la transformer en électro-aimant qui entrera en interaction avec le stator.
- Si on n'alimente pas le rotor, il ne serait l'objet d'aucune force et ne tournerait pas.
- Un système de frottement spécial permet d'alimenter le rotor : des balais (ou charbons montés sur des ressorts) frottent sur les contacts en rotation : le collecteur.



Fig. 13: Charbons de remplacement pour moteur à courant continu

- Le collecteur ( Fig. 14) qui appartient au rotor est un ensemble de plages métalliques qui font contact avec les charbons.
- Le frottement des charbons font qu'ils s'usent.

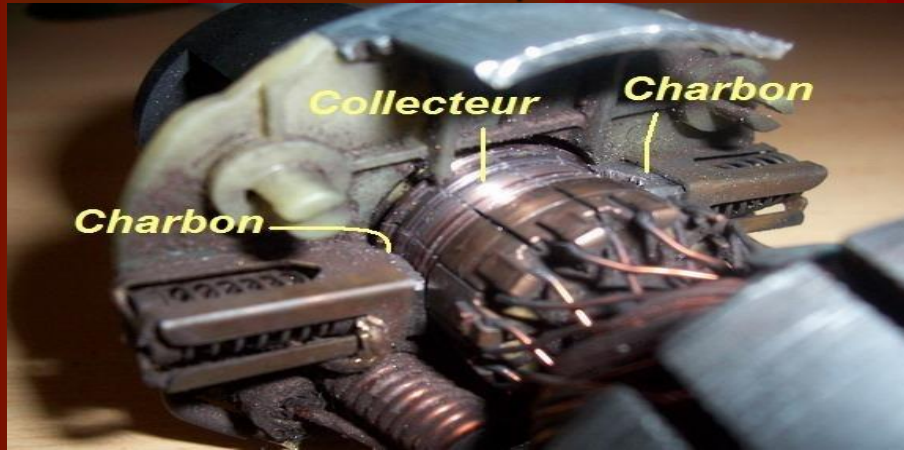


Fig.14: Charbons et collecteur d'un moteur à courant continu

- Le courant du rotor passe par les charbons.
- La tension  $E$  aux bornes du rotor est proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor  $\Omega$  :

$$E = k \Phi \Omega$$

Où  $k$  est une constante liée au moteur lui-même

et  $\phi$  est le flux magnétique.

### 3.2.3. Branchement du moteur à courant continu

- La plupart des moteurs à courant continu ont deux fils : un fil + et un fil-.
- L'inducteur et l'induit peuvent se brancher de 4 façons :
  - Excitation indépendante : l'inducteur et l'induit sont alimentés de façon indépendante.

Le moteur à courant continu a alors 4 bornes.

Le sens du courant dans l'excitation définit le sens du champ magnétique de l'inducteur, et donc le sens de rotation du moteur à courant continu.

- Excitation série : l'inducteur et l'induit sont connectés en série dans le moteur.

Le moteur à courant continu se connecte alors par 2 bornes.

- Excitation parallèle (ou shunt) : l'inducteur et l'induit sont connectés en parallèle dans le moteur qui se connecte par 2 bornes.
- Excitation constante : l'inducteur est formé d'aimants permanents.

Seul le rotor est alimenté.

Le moteur tourne dans le sens contraire si on inverse sa polarité .

### **3.3. Démarrage du moteur à courant continu**

#### **3.3.1. Courant de démarrage**

Au démarrage la vitesse est nulle donc  $\Omega = 0$  et  $E = 0$

On peut alors écrire :

$$U = R.I_D \text{ (} I_D : \text{courant au démarrage)}$$

- Pour les grosses machines,  $R$  est faible (quelques dixièmes d'Ohms) et pour les petits moteurs cette résistance est grande.
- Il faut prévoir un circuit permettant de minimiser ce courant lors de démarrage des grosses machines.



### 3.3.2. Circuit de démarrage

- Pour minimiser  $ID$  on peut :
  - Soit démarrer avec une tension  $U$  faible (Démarrage à tension réduite).
  - Soit ajouter une résistance en série avec l'induit lors du démarrage (Rhéostat de démarrage).

### **3.4. Bilan des puissances**

#### **3.4.1. L'ensemble des pertes**

- Dans un moteur à courant continu on peut distinguer les pertes suivantes :

- Pertes mécaniques : Dues aux frottements et à la résistance aérodynamique du ventilateur.
- Pertes magnétiques : Dues aux pertes dans le circuit magnétique (pertes par hystérésis, pertes par courant de Foucault).
- Pertes Joules : pertes dans les résistances de l'induit et de l'inducteur.

$$P_j = RI^2 + R_e I_e^2 \approx RI^2$$

- La somme des pertes mécanique et des pertes magnétiques s'appelle pertes constantes ( $P_c$ ).

### 3 4.2. Le rendement

- Le rendement le rapport entre la puissance absorbée et la puissance utile.

□ La puissance absorbée est la puissance électrique absorbée par le moteur.

$$P_a = U.I$$

□ La puissance utile est la puissance mécanique disponible sur l'arbre du moteur.

$$P_u = P_a - \text{Somme}(\text{pertes})$$

$$P_u = P_a - (P_c + P_j)$$

□ Le rendement est :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

### 3.5. Réversibilité de la machine à courant continu

- D'après la loi de Faraday, si un conducteur se déplace dans un champ magnétique, il est le siège d'une fem induite représentant la variation du flux dans le temps à travers cette spire.
- Il découle le fonctionnement en génératrice de la machine à courant continu.
- Si l'arbre de la génératrice est entraînée en rotation, entre les bornes de l'induit, on mesure une tension  $U$  proportionnelle à la vitesse de rotation.
- La dynamo d'une bicyclette est un exemple de ce fonctionnement (Fig.15).

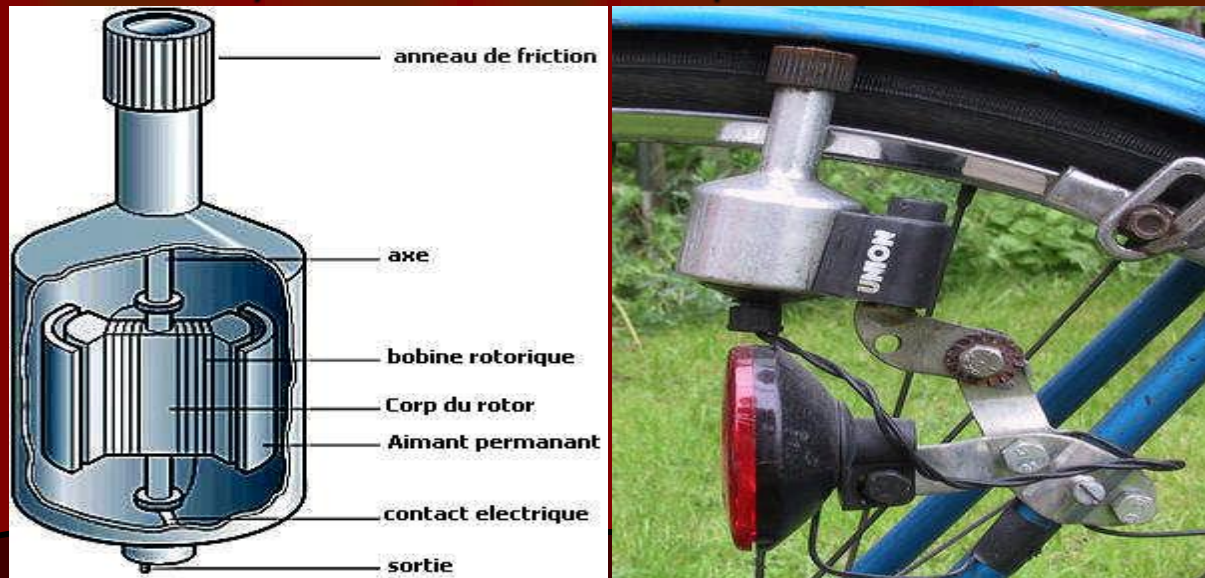


Fig.15

### 3.6. Alimentation du moteur

- Pour inverser le sens de rotation il suffit d'inverser la tension d'alimentation du moteur : selon la position des commutateurs 1 et 2 le moteur tourne soit dans le sens 1 soit dans le sens 2.

### 3.7. Fonctionnement à vitesse variable

- On peut considérer plusieurs cas pour faire fonctionner le moteur à courant continu à vitesse variable.
- Pour cela, une mauvaise solution consiste à mettre une résistance variable en série avec le moteur.

La vitesse maximale est atteinte en prenant  $R_v = 0$ .

- Une deuxième solution consiste à utiliser un hacheur (un convertisseur continu/continu, il permet d'obtenir à partir d'une tension continue fixe, une tension continue réglable) .
- Dans ce cas l'action sur le rapport cyclique permet de varier la valeur moyenne de la tension de commande et par la suite la variation de la vitesse de rotation du moteur.

## IV. Les moteurs pas à pas

- Le moteur pas à pas (Fig.17) permet de transformer une impulsion électrique en une énergie mécanique permettant le déplacement angulaire du rotor, appelé « pas » (angle de rotation minimal entre 2 modifications de ces impulsions).

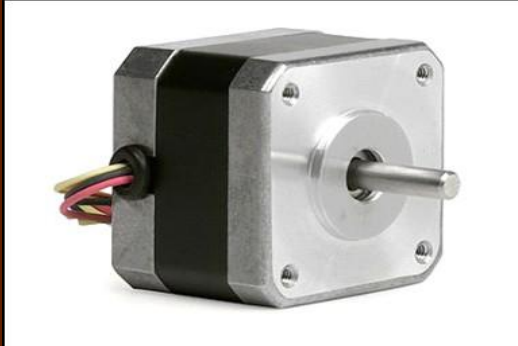


Fig.17

- Un moteur pas à pas est caractérisé par sa résolution ou encore son nombre de pas par tour. Il peut avoir une valeur comprise entre  $0,9^\circ$  et  $90^\circ$ .
- Les valeurs les plus couramment rencontrées sont :
  - $0,9^\circ$  : soit 400 pas par tour
  - $1,8^\circ$  : soit 200 pas par tour
  - $3,6^\circ$  : soit 100 pas par tour
  - $7,5^\circ$  : soit 48 pas par tour
  - $15^\circ$  : soit 24 pas par tour
- Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position, ex: imprimantes, scanners, disques durs ...).



- Il existe trois types de moteur : A aimant permanent, à reluctance variable et hybrides.

#### 4.1) Moteur à aimant permanent

- Un moteur à aimant permanent ( Fig.18) comprend :
  - Un rotor bipolaire constitué d'un aimant permanent (partie mobile)
  - Un stator à deux paires de pôles (partie fixe)
- Les bobines diamétralement opposées constituent les phases.
- Elles sont connectées de façon à créer un pôle Sud et un pôle Nord.
- C'est un moteur pas cher, et de résolution moyenne (jusqu' à 100 pas/tour).

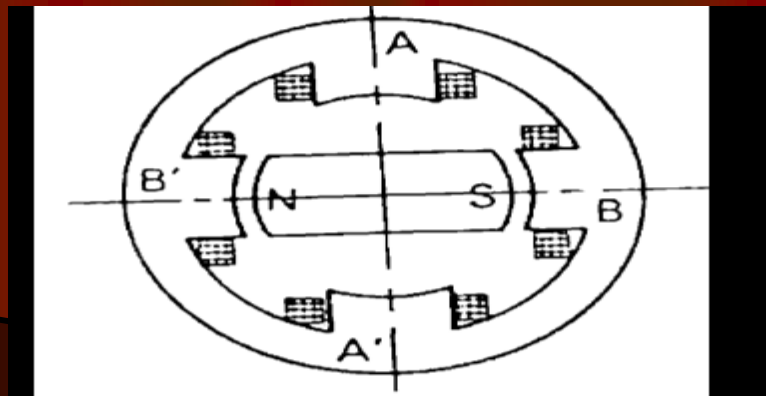


Fig.18

- Un aimant permanent est solidaire de l'axe du moteur (rotor).
- Des bobines excitatrices sont placées sur la paroi du moteur (stator) et sont alimentées chronologiquement.
- Le rotor s'oriente suivant le champ magnétique créé par les bobines.

## 4.2) Moteur à reluctance variable

- Le moteur à reluctance variable (Fig.19) a un rotor qui n'est pas aimanté mais en fer doux et comporte un nombre de pôles différent du stator.
- Le rotor se déplace pour que le flux le traversant soit maximum.
- Ce moteur qui est ancien est moins puissant, mais plus rapide que le moteur à aimant permanent.

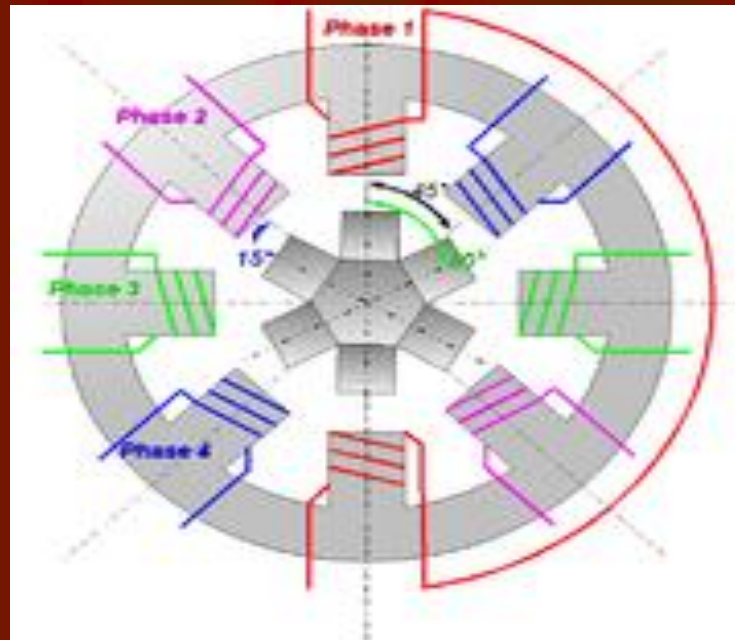


Fig.19

### 4.3) Moteur hybride

- Ce moteur (Fig.20) combine les 2 technologies précédentes, et est plus cher.
- Son intérêt réside dans un meilleur couple, une vitesse plus élevée, et une résolution de 100 à 400 pas/tour.

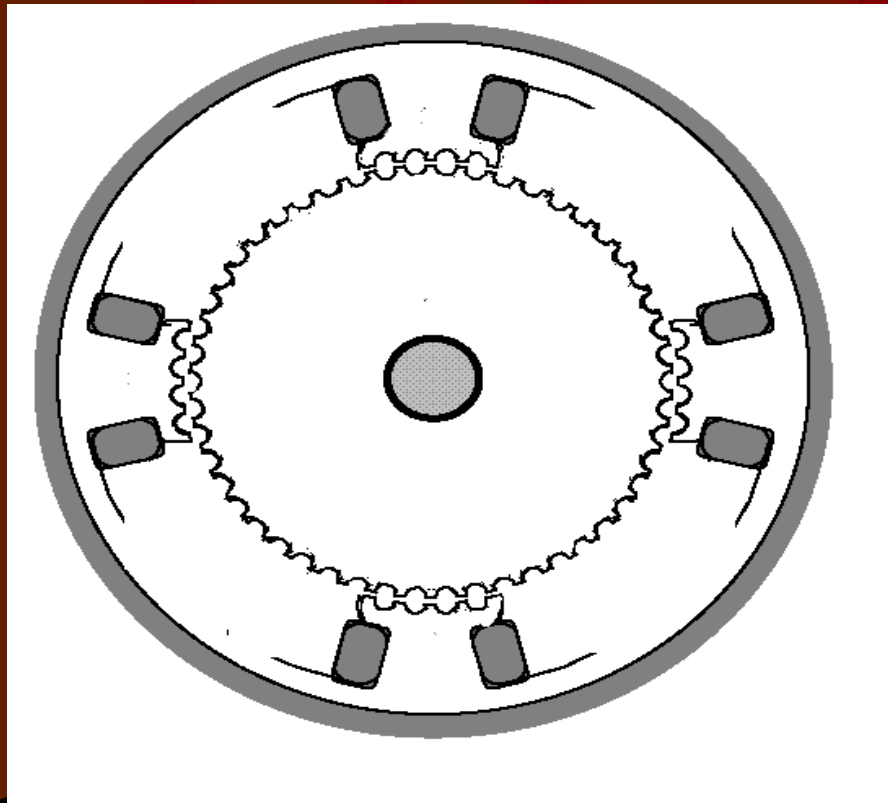


Fig.20

## Conclusion

Les moteurs pas-à-pas sont d'une construction simple, d'un coût relativement bas, fiables et robustes.

Leurs inconvénients majeurs sont la présence de positions d'arrêts préférentielles (limitation de la résolution), la génération de vibrations (bruit) et leur basse vitesse maximale.

Ces inconvénients peuvent être contournés avec une commande sophistiquée utilisant un capteur de position.