

---

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Mohamed Khider de Biskra



Faculté des Sciences et de la  
Technologie Département De Génie  
Electrique

Filière : Electromécanique

---

**Matière : *Machines Spéciales***

*Partie 2 : moteur universel*  
*Partie 3 : Moteur pas à pas*

---

1<sup>er</sup> Année Master Electromécanique

*2019\_2020*

## Partie 2 : UN MOTEUR UNIVERSEL.

Un **moteur universel** est un moteur électrique fonctionnant sur le même principe qu'une machine à courant continu à excitation série : le rotor est connecté en série avec l'enroulement inducteur, ce qui permet que les courants du rotor et du stator soient toujours dans le même sens. Le couple de cette machine est indépendant du sens de circulation du courant et est proportionnel au carré de son intensité. Il peut donc être alimenté indifféremment en courant continu ou en courant alternatif, d'où son nom.

Le moteur universel est un type de moteur électrique pouvant fonctionner à la fois en courant continu et en courant alternatif monophasé.

Sa constitution est similaire à celle d'un moteur de la série à courant continu, avec toutefois quelques modifications:

Les noyaux polaires et l'ensemble du circuit magnétique sont construits avec des plaques de fer au silicium isolées et empilées afin de réduire les pertes d'énergie par les courants parasites. Ces courants sont dus aux variations du flux magnétique lorsqu'ils sont connectés à un réseau à courant alternatif.

Il a un nombre plus faible de tours dans l'inducteur pour ne pas saturer magnétiquement le noyau et ainsi réduire les pertes dues aux courants de Foucault et à l'hystérésis, augmenter l'intensité du courant et donc le couple et améliorer le facteur de puissance.

Le moteur universel a un plus grand nombre de tours dans l'induit pour compenser la diminution de débit due au plus petit nombre de tours de l'inducteur.

### II.1 CONSTRUCTION DU MOTEUR UNIVERSEL



La construction d'un moteur universel est très similaire à la construction d'une machine à courant continu. Il consiste en un stator sur lequel sont montés des pôles de champ. Les bobines de champ sont enroulées sur les pôles de champ.

Cependant, tout le chemin magnétique (circuit de champ stator et armature) est laminé. La stratification est nécessaire pour minimiser les courants de Foucault induits lors du fonctionnement en courant alternatif.

L'armature rotative est du type à enroulement ayant fentes droites ou obliques et collecteur avec brosses reposant dessus. La commutation sur AC est plus faible que celle pour DC. en raison du courant induit dans les bobines d'induit. Pour cette raison, les brosses utilisées ont une résistance élevée.

## II.2 FONCTIONNEMENT DU MOTEUR UNIVERSEL

Un moteur universel fonctionne en courant continu ou simple alimentation en courant alternatif. Lorsque le moteur universel est alimenté en courant continu, il fonctionne comme un moteur série. (voir le fonctionnement d'un moteur à courant continu ici). Lorsque le courant circule dans l'enroulement du champ, il produit un champ électromagnétique. Le même courant provient également des conducteurs d'induit. Lorsqu'un conducteur sous tension est placé dans un champ électromagnétique, il subit une force mécanique. En raison de cette force mécanique, ou couple, le rotor commence à tourner. La direction de cette force est donnée par la règle de la main gauche de Fleming.

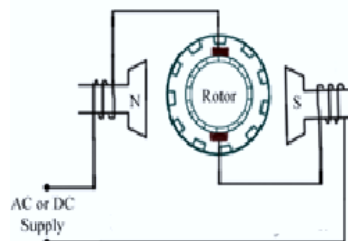


Figure II.1 : Structure du moteur

Lorsqu'il est alimenté en courant alternatif, il produit toujours couple unidirectionnel. Parce que l'enroulement d'induit et l'enroulement de champ sont connectés en série, ils sont dans la même phase. Par conséquent, lorsque la polarité de l'AC change périodiquement, le sens du courant dans les enroulements d'induit et de champ s'inverse en même temps.

Ainsi, la direction du champ magnétique et la direction du courant d'induit s'inverse de telle sorte que la direction de la force subie par les conducteurs d'induit reste la même. Ainsi, quelle que soit l'alimentation CA ou CC, le moteur universel fonctionne sur le même principe que le moteur série DC.

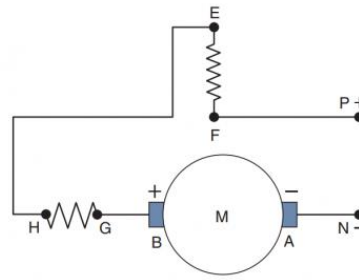


Figure II.2 : Bobinage du moteur

Le moteur de la série à courant continu se caractérise par un fort couple de démarrage et sa vitesse est inversement proportionnelle à la charge. De cette manière, il est facile d'atteindre des vitesses très élevées lorsqu'on travaille dans le vide. Au moment où le moteur universel fonctionne en courant alternatif, cet inconvénient est réduit car son application s'applique généralement aux moteurs de petite puissance et les pertes dues au frottement, aux paliers, etc., sont élevées par rapport au total, de sorte que ils présentent le danger d'une telle accélération, même s'ils atteignent des vitesses atteignant 20 000 tours par minute (tr / min). Pour cette raison, ils conviennent tout à fait aux petits appareils.

Pour qu'un moteur électrique de ce type puisse fonctionner avec du courant alternatif, il est nécessaire que l'empilement de son inducteur (le noyau des électroaimants) soit constitué d'une feuille magnétique pour éviter les pertes dans le fer.

Le bobinage inducteur des moteurs universels est généralement bipolaire, avec deux bobines inductives. Le moteur universel fonctionne en courant continu exactement comme un moteur série. Si le moteur est alimenté par un courant alternatif, il démarre tout seul, car le courant circulant dans l'enroulement de l'inducteur présente une centaine d'alternances par seconde, tout comme il arrive au courant parcouru par l'enroulement induit, ainsi le moment de rotation le sens de rotation reste constant.

### II.3 COMPOSANTS D'UN MOTEUR UNIVERSEL

Les composants de ce moteur sont:

- ✚ Les champs (stator)
- ✚ La masse (rotor)
- ✚ Pinceaux (excitateurs)
- ✚ Couvertures (couvercles latéraux du moteur)

Le circuit est très simple, comportant un seul chemin de passage du courant, car le circuit est connecté en série. Son potentiel est plus grand pour une plus grande flexibilité pour surmonter l'inertie

quand il est au repos, à savoir, a un couple d'excellente entrée, mais a une difficulté, et qui ne sont pas conçu pour une utilisation continue ou permanente (pendant de longues périodes de temps ).

## II.4 CARACTERISTIQUES VITESSE / CHARGE

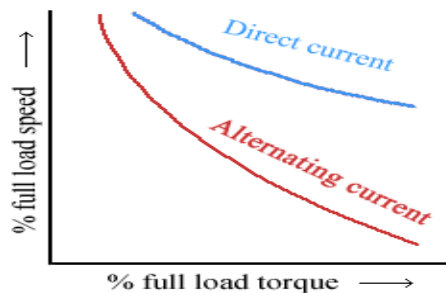


Figure II.3 : La courbe vitesse en fonction de la charge

Les caractéristiques de vitesse / charge d'un moteur universel sont similaires à celles d'un moteur à courant continu. Le vitesse d'un moteur universel est faible à pleine charge et très élevée à vide. Habituellement, les trains d'engrenages sont utilisés pour obtenir la vitesse requise sur la charge requise. La caractéristique vitesse / charge sont les suivantes (pour les alimentations en courant alternatif et en courant continu).

## II.5 UTILISATION D'UN MOTEUR UNIVERSEL

L'utilisation de ces moteurs en courant alternatif est très répandue en raison du couple de démarrage plus élevé par rapport à celui des moteurs à induction et de sa vitesse de rotation élevée, ce qui permet de réduire sa taille et son prix. Le moteur universel est sans aucun doute le moteur électrique le plus utilisé dans l'industrie des appareils électroménagers.

Généralement utilisé dans les machines-outils portables de toutes sortes, petits appareils tels que les scies électriques, perceuses, ustensiles de cuisine, des ventilateurs, des ventilateurs, des mélangeurs et d'autres applications où avec des charges faibles ou petites forces de résistance est nécessaire à grande vitesse. Ces moteurs à courant alternatif et à courant continu, y compris universel, se distinguent par leur enroulement et brosses collecteur.

## II.5 AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Le moteur universel à courant alternatif présente les avantages suivants:

- Le moteur universel présente un couple de démarrage élevé au démarrage.

- Ce type de moteur électrique peut atteindre des vitesses plus élevées (jusqu'à environ 25 000 tr / min) par rapport aux vitesses possibles avec des moteurs asynchrones à la fréquence du réseau.
- Comme avec un moteur à courant continu normal, la vitesse peut être facilement ajustée en faisant varier la tension du moteur.

D'autre part, le moteur universel présente les inconvénients suivants:

- Le commutateur présent dans le moteur électrique est sujet à l'usure et provoque souvent des étincelles sous l'influence de la réaction d'ancrage résultante. Pour limiter les perturbations CEM, le moteur peut être équipé de condensateurs de suppression, placés en parallèle de l'ancre et des inductances en série couplées dans les lignes d'alimentation du commutateur.
- Le moteur universel a un faible rendement d'environ 80%, ce qui génère une grande quantité de chaleur. Pour éviter des pertes élevées dues aux courants de Foucault, il faut non seulement stratifier le rotor, mais également le stator.
- L'utilisation de machines à moteur universel nécessite un entretien régulier. En utilisation normale, il serait bon de souffler périodiquement le carter du moteur avec un compresseur. Cela peut prolonger considérablement la vie utile.
- En raison de la paire d'impulsions, ce type de moteur électrique produit de nombreuses vibrations et, par conséquent, beaucoup de bruit.

---

### Partie 3 : MOTEUR PAS A PAS

Un moteur pas à pas est un moteur électrique synchrone sans frotteurs qui convertit les impulsions numériques en rotation de l'arbre mécanique. Chaque révolution du moteur pas à pas est divisée en un nombre de pas distincts, 200 pas dans la majorité des cas, et le moteur doit recevoir une impulsion distincte pour chaque pas. Le moteur pas à pas ne peut avoir qu'un seul pas à la fois, et chaque pas est de la même taille. Puisque chaque impulsion fait tourner le moteur à un angle précis, généralement de  $1,8^\circ$ , la position du moteur peut être contrôlée sans aucun mécanisme de rétroaction. Lorsque les impulsions numériques augmentent en fréquence, le mouvement de pas se transforme en rotation continue, avec une vitesse de rotation directement proportionnelle à la fréquence des impulsions. Les moteurs pas à pas sont utilisés quotidiennement dans les applications industrielles et commerciales en raison de leur faible coût, de leur haute fiabilité, de leur couple élevé à basse vitesse et de leur construction simple et robuste qui fonctionne dans presque n'importe quel environnement.

Les nombreuses applications de la commande numérique ont remis en faveur le moteur pas à pas, appelé aussi moteur à impulsions qui était utilisé depuis déjà longtemps. Les moteurs pas à pas ont été créés en 1930. Leurs développements ont commencé au début des années soixante grâce à l'apparition des microprocesseurs, microcontrôleurs et aux énormes progrès de l'électronique de puissance à transistor. Et encore, pendant des années, l'apparition essentielle fût celle de la commande numérique des machines outil ayant besoin d'un tel type de moteur. Puis avec le développement de la recherche spatiale, de nouveaux moteurs pas à pas firent leur apparition (dimensions réduites et pas angulaires plus grand) et furent largement utilisés grâce à leurs avantages importants de fiabilité et de simplicité de commande qu'ils offraient sur les autres moteurs. Les moteurs pas à pas sont très utilisés dans toutes les applications mécaniques où on doit contrôler la position ou la vitesse d'un système. Ces moteurs sont par exemple utilisés en robotique (positionnement des axes, vitesse variable du robot), en informatique (déplacement d'une tête de lecture d'une lecture, déplacement de la tête d'impression, avance du papier pour les imprimantes), en astronomie (positionnement du télescope pour suivre un astre) et dans la réception TV par satellites (positionnement d'une parabole).

#### III.1 DEFINITION

Le moteur pas à pas constitue un convertisseur électromécanique destiné à transformer le signal électrique (**impulsion** ou) en déplacement (**angulaire** ou **linéaire**) mécanique. Au point de vue électrotechnique, le moteur classique ressemble à la machine synchrone, dont le stator (le plus souvent à pôles saillants) porte les enroulements de pilotage et le rotor (presque toujours à pôles saillants) est soit muni d'aimants permanents (structure dite polarisée ou active), soit constitué par une pièce ferromagnétique dentée (structure dite réluctante ou passive).

Entre le moteur et son alimentation, sont intercalés trois éléments essentiels

- ✚ une unité de calcul, qui élabore les impulsions de commande.
- ✚ un modulateur PWM, qui génère les commandes des contacteurs électroniques de commutation.
- ✚ une électronique de commutation (puissance), qui, à partir d'une alimentation, fournit l'énergie vers les enroulements appropriés du moteur.

### III.2 FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR PAS A PAS 4 PHASES

La circulation d'un courant électrique dans un bobinage entraîne l'apparition d'un champ magnétique, comme le détaille la figure de gauche dans le cas du solénoïde, et donc la présence de pôles Nord et Sud (deux pôles de même nature se repoussent, deux pôles Nord et Sud s'attirent) ;

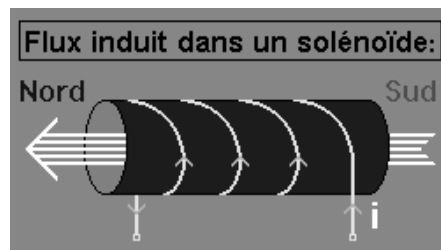


Figure III.1 : flux induit de moteur pas à pas

c'est sur ce principe de base que repose le fonctionnement de tout moteur électrique, et, de manière plus générale, de bon nombre de dispositifs électromécaniques : relais, compteurs, galvanomètres, certains hautparleurs ou microphones, gâches électriques de porte, etc.

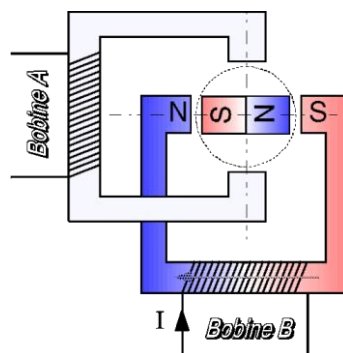


Figure III.2 : La position de moteur pas à pas

Le moteur pas à pas, représenté à droite, est constitué d'un rotor aimanté (en gris) avec deux pôles, Nord et Sud, ainsi que d'un double-stator (une partie en bleu, l'autre en vert) : à chacune de ces deux parties, est associé un bobinage avec un point milieu et deux phases ; en alimentant l'une ou l'autre des



phases, on peut ainsi inverser l'aimantation au niveau du stator correspondant.

La flèche noire représente l'aiguille d'une boussole qui serait disposée en place et lieu du rotor ; elle indique l'orientation du champ magnétique (elle pointe vers le nord, qui attire donc le pôle Sud du rotor) et se décale alors d'un quart de tour à chaque étape :

### Etape 1, position 1

- **Premier bobinage (stator bleu) :**
  - Phase 1 (inter gauche) non alimentée.
  - Phase 2 (inter droit) alimentée.
- **Second bobinage (stator vert) :**
  - Phase 1 (inter gauche) alimentée.
  - Phase 2 (inter droit) non alimentée.

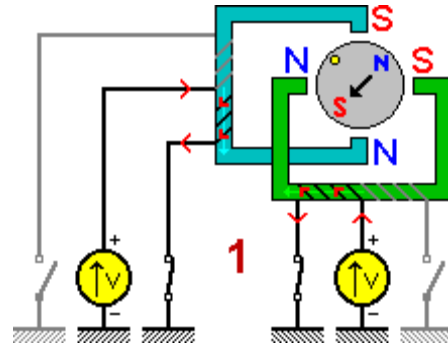


Figure III.3: position 1

### Etape 2, position 2 :

- **Premier bobinage :**
  - Phase 1 alimentée.
  - Phase 2 non alimentée.
- **Second bobinage :**
  - Phase 1 alimentée.
  - Phase 2 non alimentée.

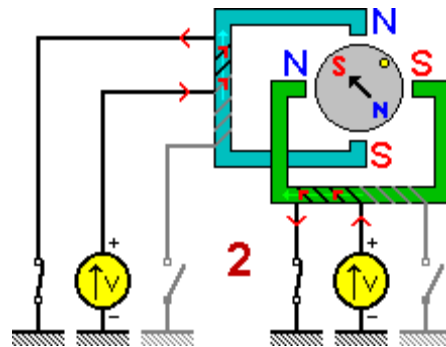


Figure III.4: position 2

### Etape 3, position 3 :

- **Premier bobinage :**
  - Phase 1 alimentée.
  - Phase 2 non alimentée.
- **Second bobinage :**
  - Phase 1 non alimentée.
  - Phase 2 alimentée.

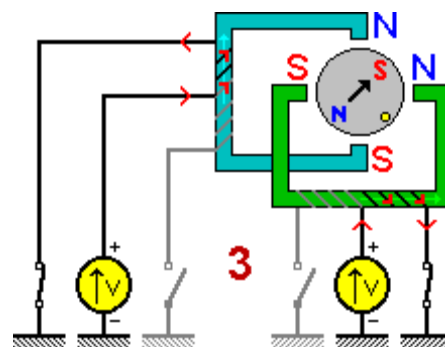


Figure III.5: position 3

**Etape 4, position 4 :**

- **Premier bobinage :**
  - Phase 1 non alimentée.
  - Phase 2 alimentée.
- **Second bobinage :**
  - Phase 1 non alimentée.
  - Phase 2 alimentée.

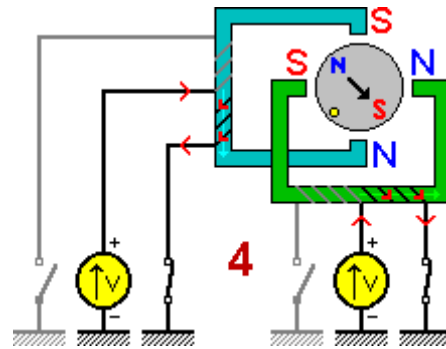


Figure III.6: position 4

**III.2.1 FONCTIONNEMENT DU MOTEUR PAS A PAS A AIMANT PERMANENT**

Le nom de ce type de moteur pas à pas est lié à la conception de son stator : une tôle magnétique découpée et emboutie. Sur un diamètre intérieur, les tôles composent une série de dents qui symbolise les pôles du stator tout en laissant un espace torique pour une bobine.

Chaque sous-ensemble représente une phase stator (cf. schéma). Le rotor est un barreau aimanté radialement ayant plusieurs paires de pôles N-S.

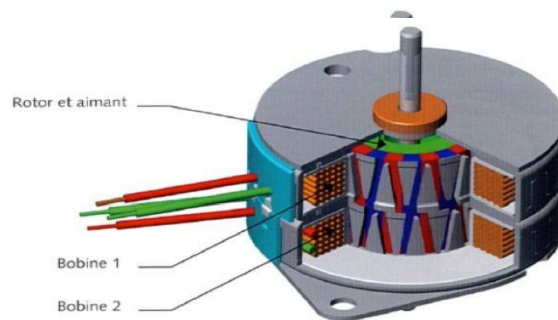


Figure III.7 : moteur pas a pas à aimant permanent

**III.2.2 FONCTIONNEMENT DU MOTEUR PAS A PAS A RELUCTANCE VARIABLE**

Le principe de fonctionnement de ce type de moteur pas à pas est proche de celui du moteur hybride, avec une structure dentée au rotor et au stator. Il n'y a pas d'aimant au rotor pour renforcer l'action du flux et donc pas de couple résiduel sans courant.

Ce type de moteur pas à pas n'est presque plus utilisé ni fabriqué.

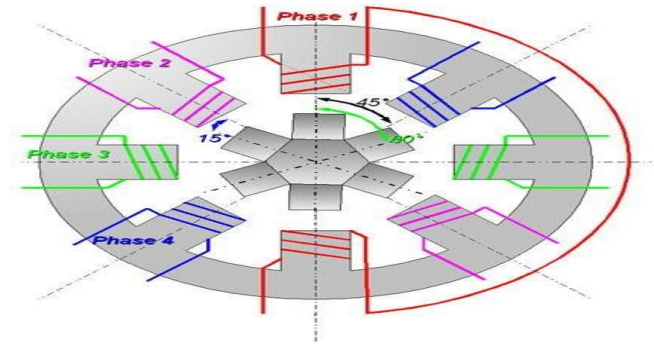


Figure III.8 : moteur pas à pas Réluctance variable

### III.3. L'ALIMENTATION DES BOBINAGES

#### 6.1.1 : Le moteur bipolaire

Les bobinages d'un moteur bipolaire sont alimentés une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire

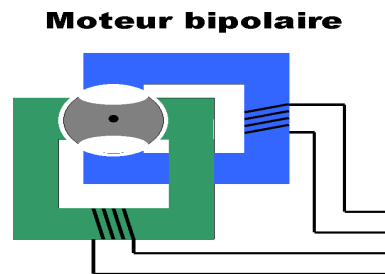


Figure III.12 : bobinage du moteur bipolaire

#### 6.1.2 : Le moteur unipolaire

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire(6).

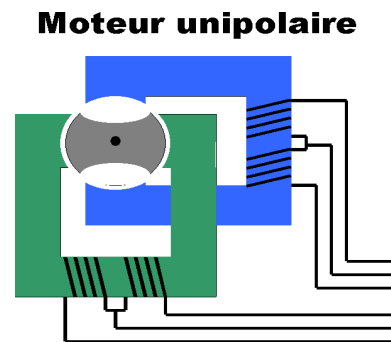


Figure III.13 : bobinage du moteur unipolaire

### III.4.1 COUPLE ET VITESSE

Le couple du moteur dépend de l'intensité traversant les bobines de sa position angulaire à un instant donné quand il passe d'une bobine à l'autre de la vitesse de pilotage.

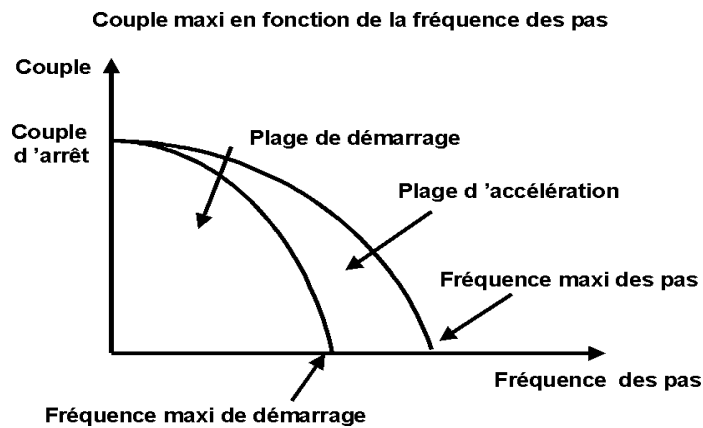


Figure III.14 : couple maxi en fonction de la fréquence des pas

On définit une vitesse limite au démarrage et une vitesse limite de fonctionnement, vitesses au-delà desquelles le moteur décroche. Cette limitation de vitesse est surtout due à l'effet de self des bobines.

La valeur du couple est généralement donnée pour 5 pas à la seconde

Le couple de maintien est le couple mesuré à l'arrêt, les bobines étant alimentées. Le couple de détente est le couple quand les bobines ne sont pas alimentées.

Le couple dépend aussi du mode fonctionnement. En mode biphasé, le champ créé dans les bobines est 1,4 fois plus grand quand mode monophasé, le couple résultant est donc plus grand.

Le positionnement angulaire présente une oscillation à chaque pas. Le rotor dépasse la position souhaitée puis revient en oscillant de part et d'autre de la position. Ce défaut est gênant à certaines vitesses.

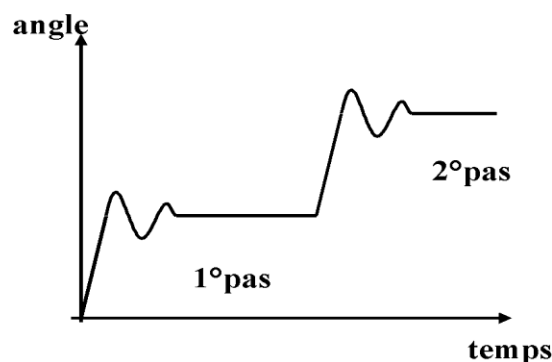


Figure III.15.a : le couple des pas

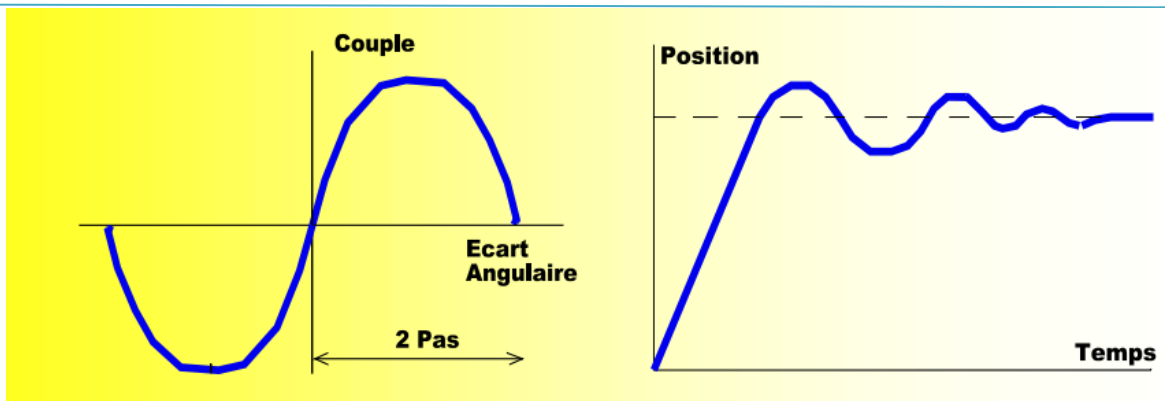


Figure III.15.b : couple et position

Le couple exercé par un Pap est fonction du décalage entre la position idéale du moteur et sa position réelle (angle entre le champ électrique généré par les bobines et l'aimant tournant). • Un moteur pap (en charge) n'est jamais positionné sur un pas, • Lors d'une commande d'un pas, le moteur atteint sa position d'équilibre après une oscillation amortie. Il y a risque de résonance et perte complète de puissance (en général vers 100 à 200 pas/seconde).

### III.5. MOTEURS PAS A PAS MOTEURS HYBRIDES

Pour tirer profit des avantages des moteurs pas à pas à aimants permanents et à réluctance variable, on utilise des moteurs hybrides. La commande est similaire à un moteur pas à pas à aimant permanent mais la constitution du rotor permet d'obtenir beaucoup plus de pas.

#### III.5.1 DEFINITION

C'est un moteur réluctant polarisé. Il superpose le principe de fonctionnement des moteurs à aimant permanent et à réluctance variable et combine leurs avantages.

Le rotor est constitué de deux disques dentés décalés mécaniquement. Entre ces deux disques est inséré un aimant permanent.

#### III.5.2 FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE

En mode pas entier, les bobines sont alimentées une par une alternativement, dans un sens puis dans l'autre. On voit bien ici l'intérêt d'avoir un rotor polarisé : quand on coupe l'alimentation de la bobine verte et qu'on alimente la bobine rose, en l'absence de polarisation du rotor on n'aurait aucun contrôle sur le sens de rotation, les deux dents bleues et rouges étant attirés de la même façon par la bobine. Avec un rotor polarisé, on peut choisir une de ces deux dents en agissant sur le sens du courant dans la bobine. Il en résulte le mouvement décrit sur l'animation suivante.

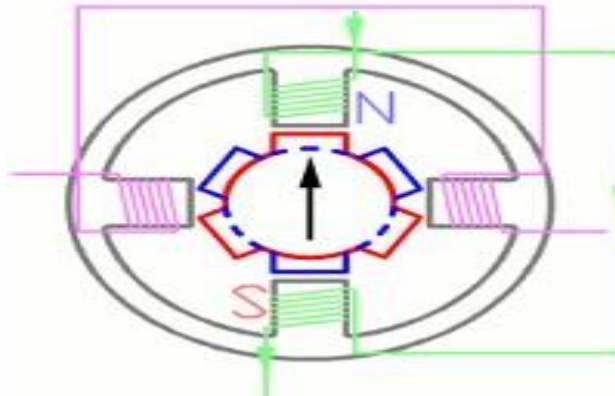


Figure III.16: Moteur pas à pas hybride en fonctionnement

### III.7.3 AVANTAGES DU MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE :

- ✚ Couple important
- ✚ Plus de puissance
- ✚ Rendement assez bon
- ✚ Courbe Start/stop assez élevée
- ✚ Bon amortissement
- ✚ Adapté au fonctionnement micro pas
- ✚ Roulement à billes pour une meilleure charge radiale et plus longue durée de vie
- ✚ Petit angle de pas

### III.7.4 INCONVENIENTS DU MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE :

- Inertie élevée
- Couple résiduel sans courant
- Plus couteux
- Plus volumineux

On combine un couple élevé dû à l'action de l'aimant avec une bonne résolution. On obtient ainsi couramment 200 ou 400 pas par tour et même nettement plus pour des modèles spécifiques. La machine présente un couple de détente comme tout moteur ayant des aimants et des pôles saillants. Le prix est évidemment supérieur à celui des types précédents, mais les excellentes performances en font un des moteurs pas-à-pas les plus utilisés.

### III.8 .COMPOSITION D'UN MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE

Le rotor présente plusieurs dents comme pour un moteur pas à pas à réluctance variable, mais chaque dent est polarisée comme pour un moteur pas à pas à aimants permanents. Physiquement le rotor est composé de deux éléments identiques à un rotor de moteur à réluctance variable (rouge et bleu ici), reliés ensemble par un aimant permanent (noir), avec un déphasage d'une 1/2 dent. De ce fait ces deux éléments ont une polarisation différente (nord et sud) et vont réagir à la polarisation de chacune des dents du stator. C'est cette polarisation qui permet de n'utiliser que 2 bobines, qui forment en réalité 4 états différents puisque le sens du courant entre ici en jeu

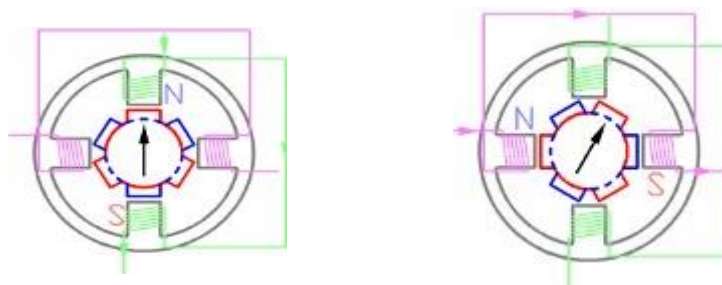


Figure III.17 : Fonctionnement du moteur pas à pas hybride

### III.9.TECHNOLOGIE DES MOTEURS PAS A PAS HYBRIDES :

Les moteurs pas à pas hybrides réunissent, au moins en partie, les avantages des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimants permanents, à savoir:

- Un grand nombre de pas par tour,
- Une fréquence propre mécanique importante,
- Un couple massique élevé,
- Un amortissement interne important,
- Un memoir de position.

Dans sa configuration de base le moteur pas à pas hybride comporte un stator en fer feuilleté à plots saillants et deux couronnes rotoriques dentées en matériau ferromagnétique, géométriquement identiques être unies par un aimant permanent cylindrique magnétisé axialement. Les lignes de champs de l'aimant se ferment à travers les dents du rotor. Vu du stator, les rotors présentent autant de pôles magnétiques actifs qu'il possède de dents. Les dents sur une des couronnes sont décalés par rapport aux dents de l'autre d'un demi pas dentaire  $1/2\tau_{dr}$ . Le nombre de pôles vu au stator est lié au nombre de dents d'une couronne rotorique par la relation :  $P = Nd_r$

Le nombre de pas par tour prend donc la forme :

L'augmentation du nombre de plots statoriques alimentés simultanément permet d'augmenter le nombre de dents du rotor, et donc de diminuer le pas angulaire du rotor. Le même résultat s'obtient par la subdivision des plots en plusieurs dents.

Les moteurs pas à pas hybrides comptent parmi les moteurs pas à pas les plus fabriqués. Ils existent aussi bien en structure à circuits simples (single stack), moteurs pas à pas hybrides comptent parmi les moteurs pas à pas les plus fabriqués. Ils existent aussi bien en structure à circuits simples (single stack).

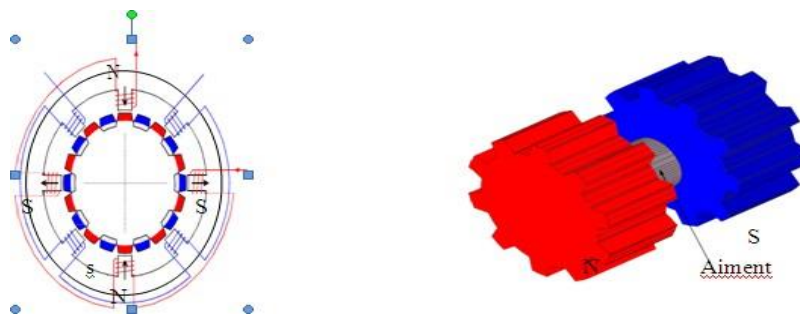


Figure III.18 : Moteur hybride (M)

Le couple est constitué par la variation des perméances mutuelles bobinages – dents aimantées du rotor (couple électromagnétique) et par un couple réluctant créé principalement par la variation de la perméance propre vu par les aimants (couple de détente).

Les dents aimantées de chaque couronne rotorique sont perçues par le stator comme autant d'aimants permanents, l'interaction de ces aimants avec les courants statoriques engendre un couple électromagnétique identique à celui du moteur pas à pas à aimants permanents, la relation (5) reste donc valable.

### III.9. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU MOTEUR HYBRIDE

- ✓ La présence de couple en l'absence du courant.
- ✓ Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation.
- ✓ Sens du courant.
- ✓ La proportionnalité du terme principal du couple au courant.
- ✓ Une inertie élevée (pour les moteurs à aimant rotorique).
- ✓ Une grande précision du positionnement.



le moteur hybride le plus performant possède une résolution de  $0.1^\circ$  et 3600 pas par tour.

### III.10 COMPARAISON DES TROIS CATEGORIES DES MOTEURS PAS A PAS

	<b>Aimant permanent</b>	<b>Hybride</b>	<b>Reluctance variable</b>
<b>Coût</b>	Bas	Haut	Moyen/Haut
<b>Vitesse</b>	Bas	Très haut	Haut
<b>Couple résiduel</b>	Haut	Moyen	Minimum
<b>Amortissement</b>	Bon	Moyen /Bon	Mauvais
<b>Inertie rotor</b>	Haut	Bas	Bas
<b>Rendement</b>	Moyen	Très haut	Moyen
<b>Angle de pas</b>	$7.5^\circ/15^\circ/18^\circ$	$0.9^\circ/1.8^\circ$	$1.8^\circ$
<b>N<sup>brs</sup> de pas/tour</b>	48/24/20	400/200	200
<b>Précision du pas</b>	Bas	Haut	Moyen

Tableau III.1 : les différents types de moteurs pas à pas