

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### ENROULEMENT DES MOTEURS A DEUX VITESSES

*Dans ce chapitre nous allons considérer brièvement que les moteurs d'induction avec rotor à cage d'écureuil et munis d'un enroulement statorique unique, les deux vitesses étant obtenues par la modification du branchement de cet enroulement.*

#### ENROULEMENT AVEC RAPPORT DE VITESSE 2.1

Le principe de cet enroulement réside dans la formation des pôles conséquents qui permet de doubler le nombre de pôles par simple changement des connexions. Considérons, par exemple, un moteur bipolaire monophasé, ayant des bobines. Pour la marche normale, les bobines sont connectées de telle façon, qu'une d'elles produit un pôle nord et l'autre un pôle sud. Ces bobines peuvent être en série ou en parallèle, la seule chose qui importe étant le sens du courant. Avec cette connexion le flux pénètre dans le rotor sous le pôle nord et retourne au stator sous le pôle sud.

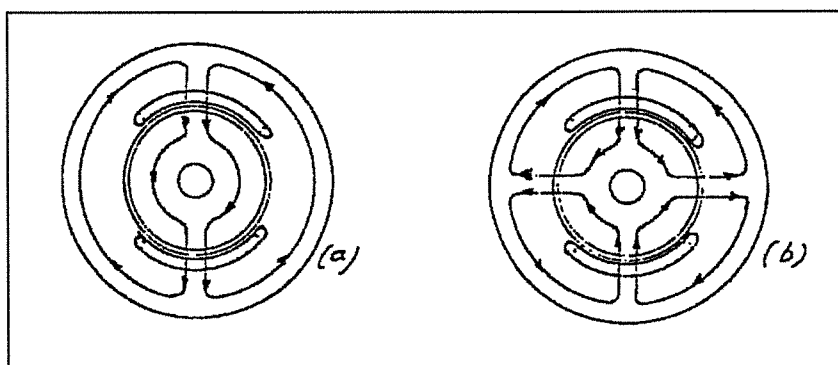


Fig.1 schéma de moteur d'induction monophasé

a) connexion normale à deux pôles alternés

b) connexion à quatre pôles conséquents

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

Si on inverse les connexions du pôle sud, il deviendra lui aussi un pôle nord. Dans ce cas, le flux du premier pôle nord ne peut plus retourner au stator par le même chemin qu'auparavant, car le deuxième pôle s'y oppose. Le flux pénètre maintenant dans le rotor par deux points opposés, et par conséquent, il ne peut retourner au stator qu'entre ces deux points, c'est-à-dire à l'angle droit par rapport à l'axe des bobines (fig.1b). Comme l'aire par où le flux passe du stator au rotor est un pôle nord et du rotor au stator un pôle sud, il y a maintenant deux pôles nord engendrés par les bobines et deux pôles sud engendrés par le retour du flux entre ces deux pôles nord. Ainsi, si les enroulements et les connexions sont établis de façon appropriée, on peut doubler le nombre des pôles en changeant le sens du courant dans la moitié de l'enroulement.

Fig. Formation des pôles conséquents

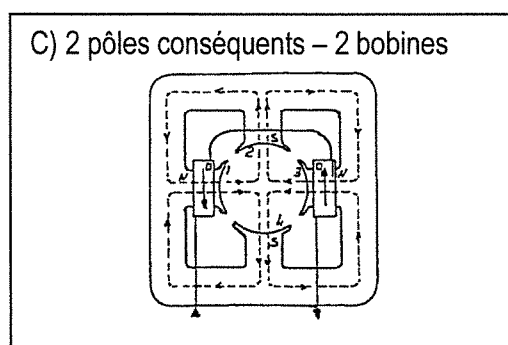
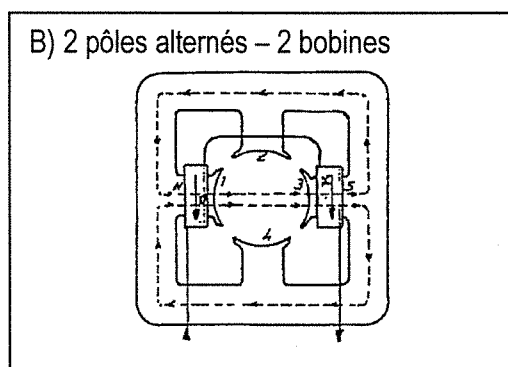
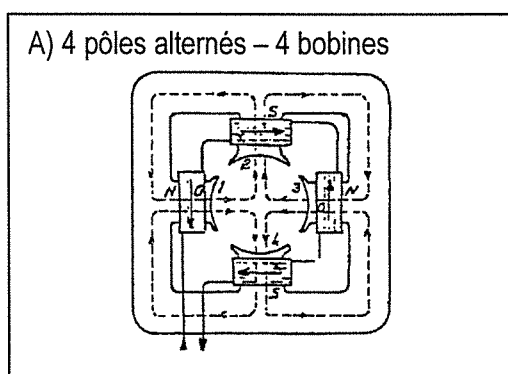


Figure A

Carcasse d'un moteur ordinaire à courant continu, tétrapolaire. Les quatre bobines inductrices produisent 4 pôles, alternativement « nord » et « sud ». Les lignes en pointillés indiquent les trajets du flux inducteur.

Figure B

La même carcasse mais avec deux seules bobines inductrices dont l'une produit un pôle nord et l'autre un pôle sud.

Figure C

En inversant le sens du courant dans la bobine inférieure on a deux bobines inductrices qui produisent toutes les deux un pôle nord. Le retour des flux s'échappant de ces pôles produit deux autres pôles et on a ainsi quatre pôles comme en A. Pour avoir la même densité du flux, les bobines C devront comporter deux fois plus de spires que les bobines A. Ce même principe s'applique aux moteurs d'induction, la seule différence c'est que se sont des groupes de bobines et non des bobines isolées comme dans la figure B.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

Lorsque l'on double la vitesse du moteur, sa puissance se trouve normalement elle aussi doublée. Mais, comme à la vitesse élevée la ventilation est bien meilleure, il est possible (en général) de tripler la puissance développée à la vitesse lente, si les connexions sont établies de façon à développer un bon couple à la vitesse élevée. Pour obtenir un couple élevé et proportionner aussi la section du cuivre à la plus grande puissance, les enroulements sont connectés à deux circuits en parallèle, en étoile, pour la vitesse élevée et en série, soit en étoile, soit en triangle, pour la vitesse lente.

### **GROUPEMENT ET PAS DES ENROULEMENTS A DEUX VITESSES**

Lorsqu'un moteur doit fonctionner à deux vitesses, le groupement des bobines se fait pour la vitesse élevée. Par exemple, soit un moteur avec 72 bobines devant fonctionner avec 4 ou 8 pôles. Le groupement des bobines de l'enroulement se fera pour 4 pôles, ce qui donne  $3 \times 4 = 12$  groupes.

Par conséquent, il y aura  $72 \div 12 = 6$  bobines par groupe.

En général, on donne aux bobines un embrassement tel que l'enroulement à vitesse lente soit à pas normal. Dans le cas ci-dessus, c'est l'enroulement à 8 pôles qui sera à pas normal. Par conséquent, le pas de bobinage sera de  $72 \div 8 = 9$  encoches. Cela donne un facteur de corde égal à l'unité, soit de 100% pour l'enroulement à vitesse lente. Avec cet embrassement des bobines, le pas de l'enroulement à vitesse élevée est la moitié du pas normal. Cela donne un facteur de corde de 0,707. Bien entendu, on peut faire varier ces pas suivant les circonstances mais, ils conviennent très bien aux deux cas les plus communs où on emploie les moteurs à deux vitesses.

Ces cas sont les suivants :

- 1) On veut garder le même couple pratiquement au deux vitesses
- 2) On veut garder la même puissance aux deux vitesses. En utilisant les pas sus mentionnés on peut satisfaire à ces deux conditions avec des connexions très simples. Lorsque l'on calcule la puissance, etc. des enroulements à deux vitesses, on doit tenir compte du facteur de distribution qui est de 0,955 pour l'enroulement à pôles alternés et de 0,827 pour l'enroulement à pôles conséquents.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

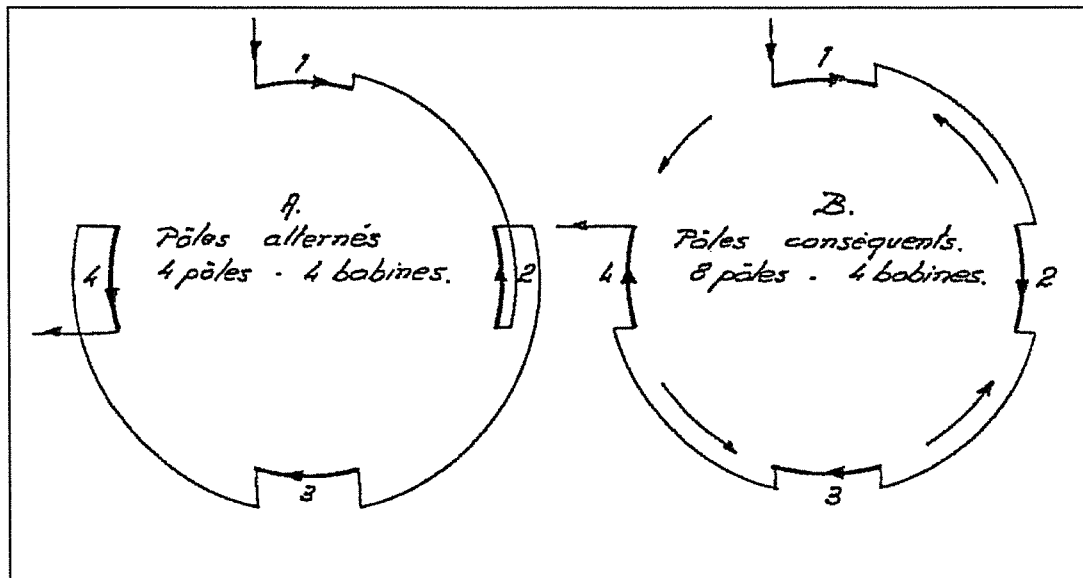


Fig 3.

*A connexion normale des groupes d'une phase dans un moteur tétrapolaire.*

*B connexion des mêmes groupes pour huit pôles consécutifs.*

Un moteur connecté de façon normale pour donner des pôles alternés peut être reconnecté pour donner un nombre double de pôles consécutifs, pourvu que le pas de l'enroulement ne soit pas supérieur à 80% du pas normal. Il est évident qu'avec tout pas inférieur au pas normal on peut, théoriquement, obtenir des pôles consécutifs, mais pas avec un pas qui dépasse les 80% du pas normal.

La disposition à pôles consécutifs donnera comparativement une faible puissance.

Lorsque l'enroulement à pôles alternés a un pas normal, la puissance développée avec la connexion à pôles consécutifs sera nulle.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

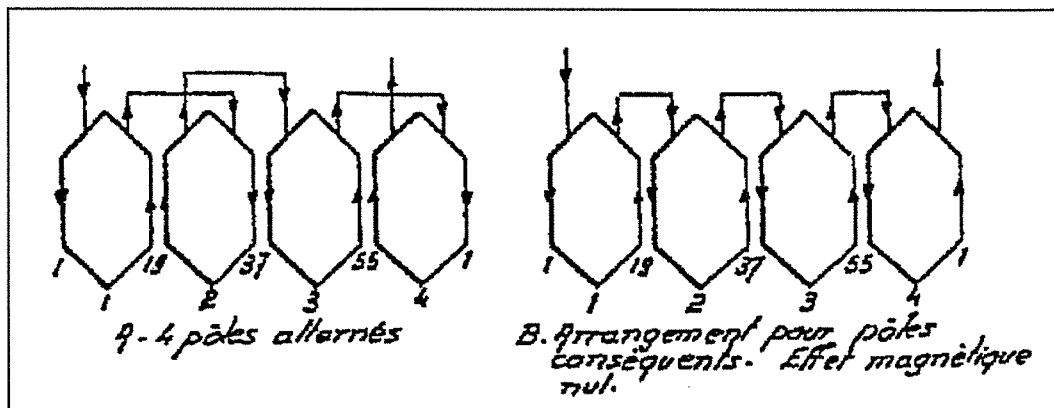


Fig. 4

Cette figure montre qu'un enroulement à pas normal à pôle alternés (A) ne peut être reconnecté à pôles conséquents (B).

Considérons, par exemple, la figure 4A qui représente un bobinage tétrapolaire à 72 encoches. Le pas normal est de  $72 \div 4 = 18$  encoches. Chaque bobine, sur cette figure, représente le groupe d'un pôle. Le côté intérieur de la bobine 1 est dans la même encoche que le côté supérieur de la bobine 2.

De même, les demi-bobines 2 et 3 sont dans la même encoches, ainsi que les demi-bobines 3 et 4 et 4 et 1. Cela donne 4 pôles alternés.

Les courants dans les deux demi-bobines d'une même encoche ont le même sens, comme le montrent les flèches. Si on reconnecte cet enroulement pour 8 pôles conséquents, comme indiqué en B de la figure 4, on inverse le courant dans la moitié des bobines et ainsi les deux demi-bobines d'une même encoche sont parcourues par des courants de sens contraire.

Par conséquent, l'effet magnétisant ainsi obtenu est nul.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### ENROULEMENT A DEUX VITESSES A COUPLE CONSTANT

Un tel enroulement est représenté par la figure 5. La connexion à grande vitesse est à quatre pôles alternés et celle à vitesse lente est à huit pôles conséquents.

Cet enroulement comporte six sorties dont trois sont les prises médianes des trois phases. Une étoile permanente existe à l'intérieur du moteur.

Pour huit pôles, on relie les bornes L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> à la ligne et on laisse libres les bornes L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, L<sub>6</sub>. On réalise ainsi les connexions en étoile de la ligne 5,C.

Pour quatre pôles, on relie les bornes L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, L<sub>6</sub> à la ligne et on court-circuite les bornes L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> pour former une deuxième étoile. On réalise ainsi la connexion en droite à deux circuits en parallèle représentée par la figure 5B.

Dans cet enroulement, lorsque l'on passe de la vitesse lente à la vitesse élevée, on diminue le nombre de bobines en série, donc les spires, de moitié. Mais comme on double la vitesse, la tension de fonctionnement du moteur reste la même.

De même, on double les dérivation par phase et par conséquent, le courant dans les bobines reste le même. De ce qui précède il résulte que le couple restera le même, mais la puissance sera deux fois plus grande à la vitesse élevée qu'à la vitesse lente.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### ENROULEMENT A DEUX VITESSES A PUISSANCE CONSTANTE

Un enroulement à quatre et huit pôles et à puissance constante est représenté par la figure 6. Cet enroulement analogue au précédent, possède comme lui six sorties. Pour 8 pôles, on relie les bornes  $L_1, L_2, L_3$  à la ligne et on laisse libre les bornes  $L_4, L_5, L_6$ . On réalise ainsi la connexion en triangle représentée en F. Pour quatre pôles, on relie les bornes  $L_4, L_5, L_6$  à la ligne et on court-circuite les bornes  $L_1, L_2, L_3$ . On réalise ainsi la connexion en étoile à deux circuits en parallèle de la figure 6E.

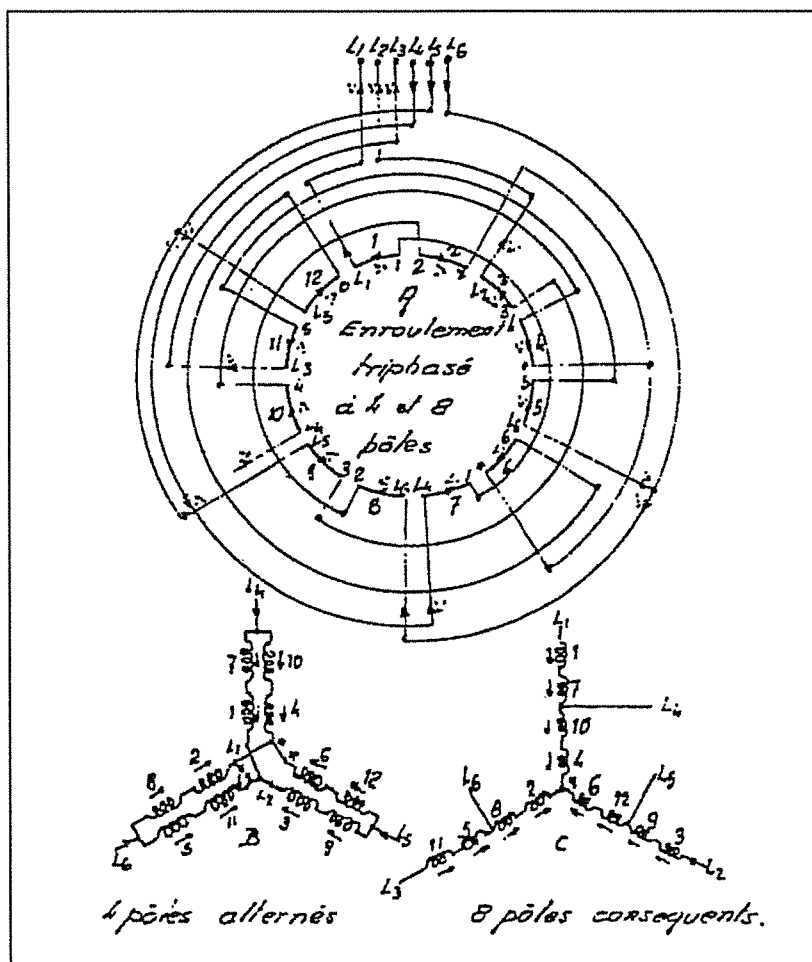


Fig. 5 Enroulement à 4 et 8 pôles développant le même couple aux deux vitesses

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

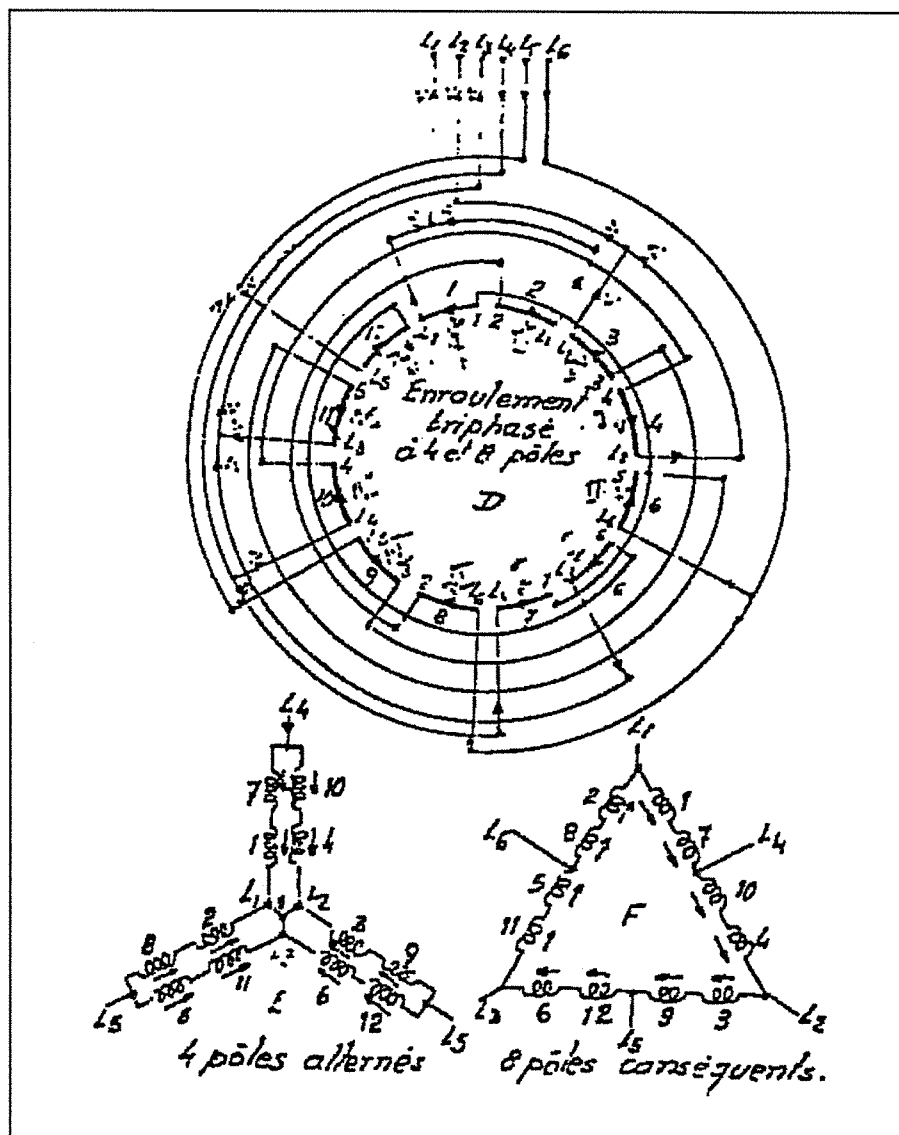


Fig. 6 Enroulement à 4 et 8 pôles développant la même puissance aux deux vitesses



# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### MOTEUR A DOUBLE VITESSE

#### Méthode à utiliser pour trouver le sens du champ tournant

Le sens du champ tournant nous donnera le sens de rotation de la machine. Lorsqu'elle sera alimentée par un réseau dont l'ordre des phase est UVW (phase du réseau correspondant aux phases du moteur (suivant UTE))

1) Chercher l'angle électrique entre deux encoches ; chaque pôle vaut  $180^\circ$

$$- \text{D'où angle électrique entre 2 encoches} = \frac{\text{Nb de pôles} \times 180}{\text{Nb de rainures}}$$

↳ Exemple

- Pour un 6 pôles – 72 rainures

$$- \alpha = \frac{6 \times 180}{72} = 15^\circ$$

2) Choisir le diagramme correspondant

- Chaque diagramme est représenté par un cercle donc  $360^\circ$  ce qui correspond à un 2 pôles et puisque dans l'exemple 1 encoche =  $15^\circ$

$$- \text{Nombre de division du diagramme} = \frac{360}{15} = 24$$

- Soit un diagramme de 24 divisions de  $15^\circ$

- Pour un 4 pôles 72 rainures, nous aurons :

$$\frac{4 \times 180}{72} = 10 \text{ et } \frac{360}{10} = 36 \text{ divisions soit un diagramme de 36 divisions de } 10^\circ$$

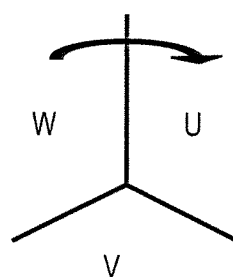
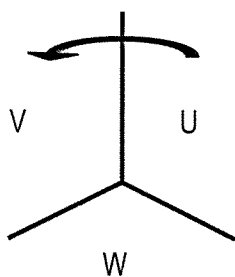
# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

- 3) Numéroté les divisions dans l'ordre 1,2,3, ... jusqu'à ce que l'on ait épuisé toutes les encoches.
- Dans le cas du 6 pôles – 72 rainures, numéroté de 1 à 72 ; il faudra donc faire trois fois le tour du cercle. Porter ensuite en face de chaque rainure la lettre correspondant à la phase dans le cas où on alimente la bobine dans le sens normal (début d'une bobine, début que l'on se fixe arbitrairement).
  - Dans le cas où on alimente par une fin de bobine, il faut porter la lettre correspondante à la phase, dans la rainure qui se trouve diamétralement opposée sur notre diagramme.
  - Procéder de même pour les trois phases sans inverser le sens pour une des phases car cela a déjà été fait pour exécuter le schéma.
- 4) Le sens de rotation du moteur sera donné par le sens de rotation du champ tournant relevé sur notre diagramme

↳ Exemple



# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

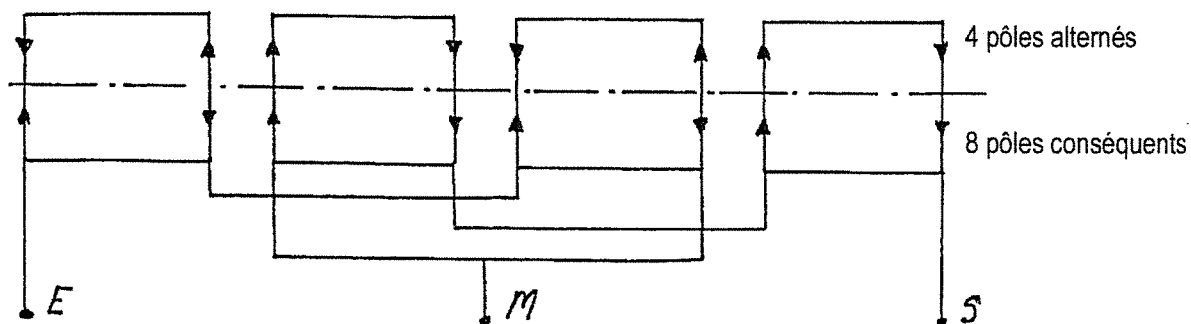
### MOTEURS DEUX VITESSES UN BOBINAGE COUPLAGE « DALHANDER »

#### RAPPEL

Dans ce type de moteur, où la vitesse varie dans le rapport 1 à 2, on couple les bobines de chaque phase, soit à pôles conséquents (petite vitesse – grande polarité), soit à pôles alternés (grande vitesse – petite polarité)  
Ces moteurs sont mono-tension

↳ Exemple : Schéma de principe d'une phase

Moteur 4-8 pôles – vitesse en asynchrone  $f = 50\text{Hz}$  ; 1450 – 720  $\text{tr/mn}$



Marche en 8 pôles : entrée en E, entrée en S, M libre

Marche en 4 pôles : entrée en M, sorties en E et S

#### → Remarques

- 1) Ceci nous donne en triphasé 9 bornes de sortie, donc la possibilité de réaliser le couplage entre phases que l'on veut. Cette disposition n'est pratiquement jamais utilisée.

**En effet, un moteur deux vitesses est prévu pour une utilisation précise, le couplage entre phase est conditionné par les caractéristiques voulues sur chaque polarité.**

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

2) En pratique : On couple entre-elles les phases à l'intérieur ce qui donne 6 bornes de sortie

- Couplage triangle série
  - Couplage étoile série
- } Interne

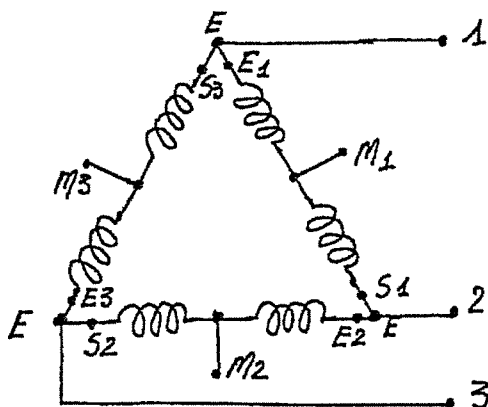
### Calculs de l'enroulement

- 1) Les calculs du bobinage sont effectués sur la grande polarité à pôles conséquents
- 2) Le calcul du décalage entre les entrées de phase est réalisé sur la petite polarité à pôles alternés.

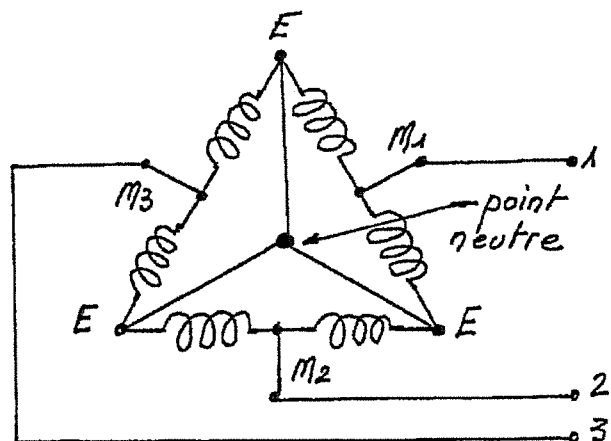
### Couplages

#### 1/ Triangle série, étoile parallèle

##### Schéma de principe



Couplage triangle série réalisé à l'intérieur (grande polarité, petite vitesse)



Couplage étoile parallèle, le triangle série est réalisé à l'intérieur, le point neutre (étoile à l'extérieur, petite polarité, grande vitesse)

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

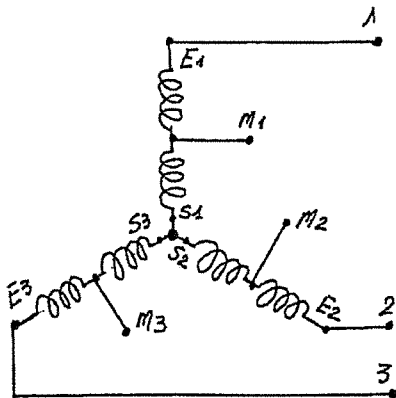
### Fonctionnement

- 1) Petite vitesse : On alimente par les sommets du triangle en 1-2-3 ; les points M sont libres.
- 2) Grande vitesse : On alimente par les points M en 1-2-3 ; les sommets du triangle qui forment le point neutre sont court-circuités à l'extérieur.

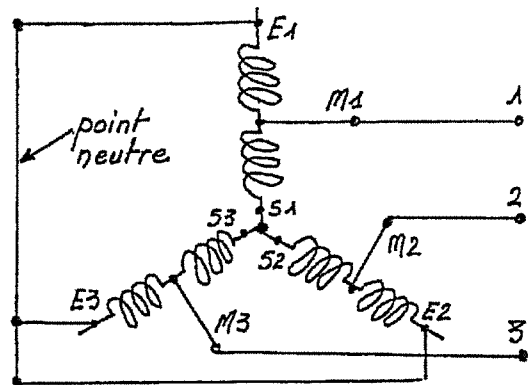
### 2/ Etoile série-étoile parallèle

**Nota** : Ce couplage peu fréquent est dit à « couple constant »

### Schéma de principe



Couplage étoile série réalisé à l'intérieur (grande polarité, petite vitesse)



Couplage étoile-parallèle, l'étoile série est réalisé à l'intérieur, le point neutre (deuxième étoile à l'extérieur) (petite polarité, grande vitesse)

### Fonctionnement

- 1) Petite vitesse : On alimente par les entrées en 1-2-3. Le points M sont libres
- 2) Grande vitesse : On alimente par les points M en 1-2-3 ; les entrées sont court-circuitées à l'extérieur et constituent le deuxième point neutre.

### → **Remarques**

Dans les deux cas, avec 6 bornes de sortie, un couplage est réalisé à l'intérieur.

**Ces principes sont valables quelles que soient les polarités.**

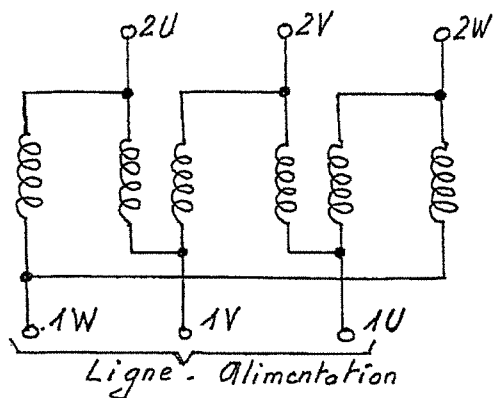
# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

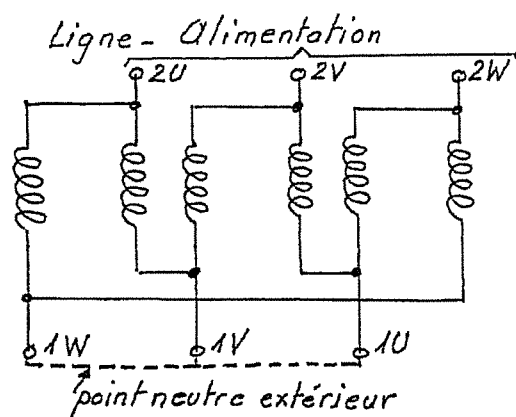
### REPERAGE DES ENTREES, DES POINTS « MILIEU », ALIMENTATION

Suivant la norme NF C 51 118

1/ Couplage à puissance constante (triangle série-étoile parallèle)



Petite vitesse alimentation 1W, 1V, 1U

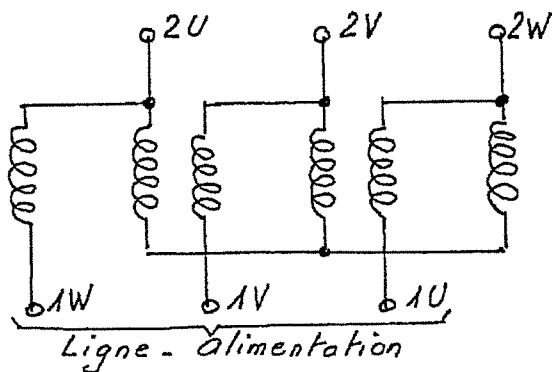


Grande vitesse alimentation 2U, 2V, 2W

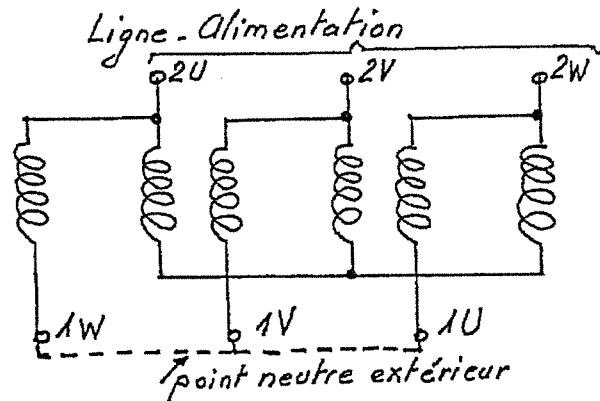
# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### 2/ Couplage à couple constant (étoile série – étoile parallèle)



Petite vitesse alimentation 1W, 1V, 1U



Grande vitesse alimentation 2U, 2V, 2W

#### → **Remarque**

- 1) 1W, 1V, 1U sont les entrées de chaque phase
- 2) 2U, 2V, 2W sont les points milieu de chaque phase.

Cette disposition, ce repérage sur les plaques à bornes permet de respecter le sens de rotation sur les deux polarités.

- 3) Le préfixe numérique le plus bas indique la plus petite vitesse. Le préfixe numérique le plus élevé indique la plus grande vitesse.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

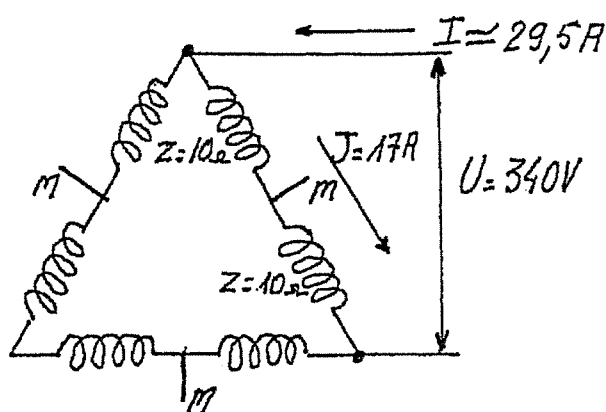
## MOTEURS TRIPHASES

### JUSTIFICATION DES COUPLAGES A « PUISSANCE CONSTANTE » A « COUPLE CONSTANT »

On admet que le moteur dans les deux cas est alimenté sous la même tension, que les caractéristiques de chaque demi-enroulement sont les mêmes (pour simplifier, même impédance par demi-enroulement)

#### 1/ Couplage à puissance constante

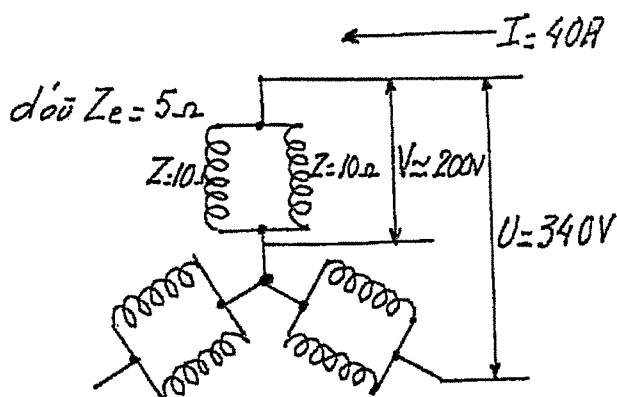
On admet  $\cos \varnothing = 1$



- Triangle série, grande polarité bobinage au pas polaire

- Puissance théorique

$$P = UI\sqrt{3} = 340 \times 29,5 \times 1,732 = 17371 \text{ watt}$$



- Etoile parallèle, petite polarité bobinage au pas raccourci

$$P = UI\sqrt{3} = 340 \times 40 \times 1,732 = 23555 \text{ watt}$$

**Nota :** Comme le coefficient de bobinage est sur la petite polarité plus faible que sur la grande (pas raccourci sur petite, diamétral sur grande) ; la puissance réelle est donc plus faible que la puissance théorique environ 20% plus faible, d'où puissance réelle =  $23555 \times 0,8$  environ 18800 watt.

Les deux puissances sont donc pratiquement égales.



# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

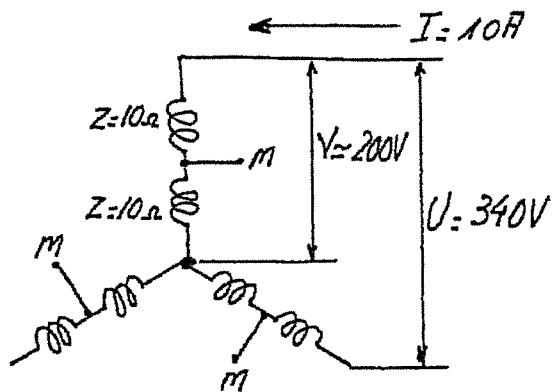
## MOTEURS TRIPHASES

### 2/ Couplage à couple constant

On admet  $\cos \varnothing = 1$

**Rappel** : Le couple est le quotient de la puissance par la pulsation ( $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ ) n en seconde

$$\text{Couple } T_u = \frac{P}{\omega}$$



- Etoile série, grande polarité petite vitesse

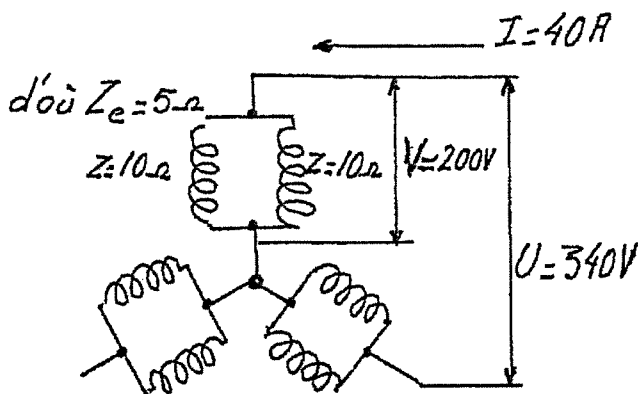
Exemple : 25 tours/seconde

- Bobinage au pas polaire

- Puissance théorique

$$P = UI \sqrt{3} = 340 \times 10 \times 1,732 = 5888 \text{ watt}$$

$$\text{couple : } \eta = \frac{P}{\omega} = \frac{5888}{2 \times 3,14 \times 25} = 38 \text{ Nm}$$



- Etoile parallèle, petite polarité grande vitesse

Exemple : 50 tours/seconde

- Bobinage au pas raccourci

- Puissance théorique

$$P = UI \sqrt{3} = 340 \times 40 \times 1,732 = 23552 \text{ watt}$$

- Puissance réelle

$$P_r = P_{th} \times 0,8 = 23552 \times 0,8 = 18840 \text{ watt}$$

$$\text{Couple : } T_u = \frac{P_r}{\omega} = \frac{18840}{2 \times 3,14 \times 50} = 60 \text{ Nm}$$

Les deux couples sont dans le même ordre de grandeur

**Nota** : Le couplage dit « à couple constant » est rarement utilisé.

### → **Remarque**

Cette démonstration « très simplifiée », justifiant les couplages à puissance constante, à couple constant permet une compréhension, une approche du problème.

En réalité, les calculs sont plus complexes.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### APPLICATIONS – RECHERCHE DE SCHEMAS

#### 1. PROBLEME

- Vous devez réaliser les schéma de bobinage du stator d'un moteur asynchrone triphasé, l'enroulement est à deux polarités 4 et 8 pôles, ce moteur est dit à puissance constante (couplage : triangle série, étoile parallèle) 6 bornes de sortie. Le stator comprend 24 encoches, le bobinage est réalisé en manteau.

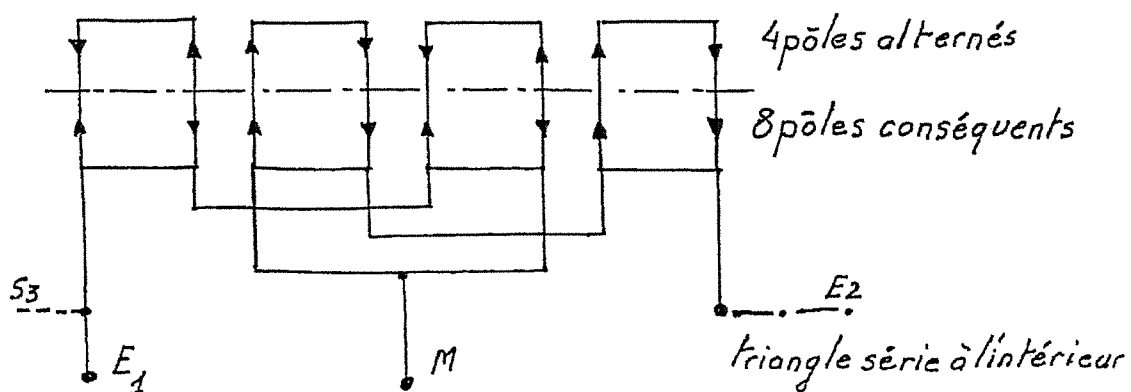
#### Travail demandé

- 1) Schéma de principe
- 2) Calculs de l'enroulement
- 3) Schéma numérique
- 4) Schéma panoramique

#### Solution et explication

Dans ce cas, nous aurons 4 bobines par phase, grande polarité 8 pôles consécutifs. Le couplage par phase entre les bobines est réalisé en série sur la grande polarité, on place un « point milieu »

#### 1) Schéma de principe (1 phase)



# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### 2) Calculs de l'enroulement

#### Rappel

Ils sont effectués sur la grande polarité à pôle conséquents

- 8 pôles conséquents → 4 bobines par phase → 12 bobines au total
- en montée ou 24 encoches → 48 faisceaux
- nombre de faisceaux par bobine :  $\frac{48}{12} = 4$  donc 2 sections par bobine
- nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{24}{2 \times 4} = 3$  donc 1 par pôle et par phase
- pas polaire aux encoches  $Y_{pe} = \frac{N}{2p} = \frac{24}{2 \times 4} = 3$
- pas polaire aux faisceaux  $Y_{pf} = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{48}{2 \times 4} + 1 = 7$

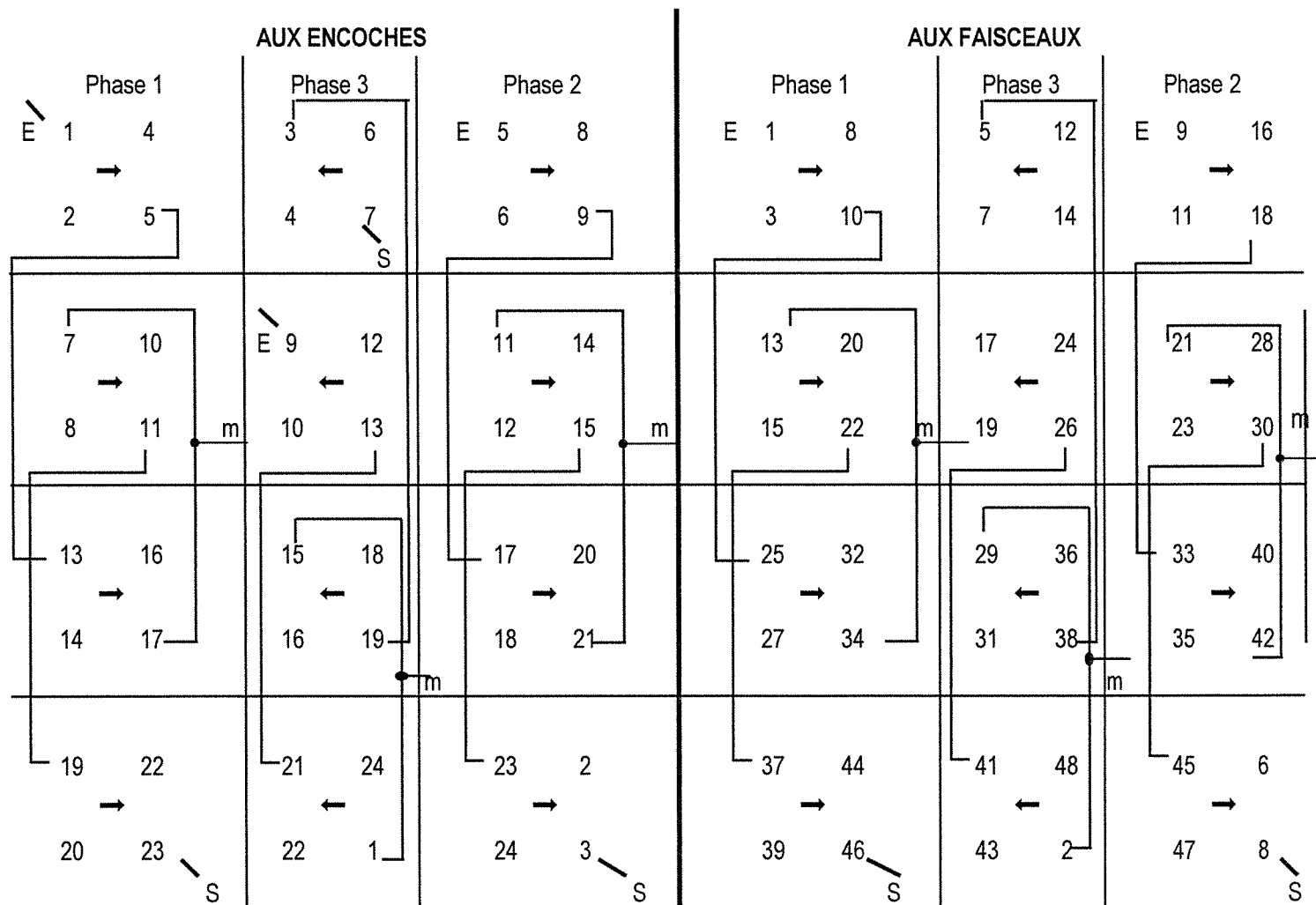
Le décalage entre les entrées de phase, le calcul s'effectue sur la petite polarité :

- 4 pôles. Nombre de degrés électrique  $180 \times 4 = 720^\circ$
- nombre de degrés électrique par encoche  $720/24 = 30^\circ$
- décalage :  $120/30 = 4$

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### 3) Schéma numérique sur grande polarité

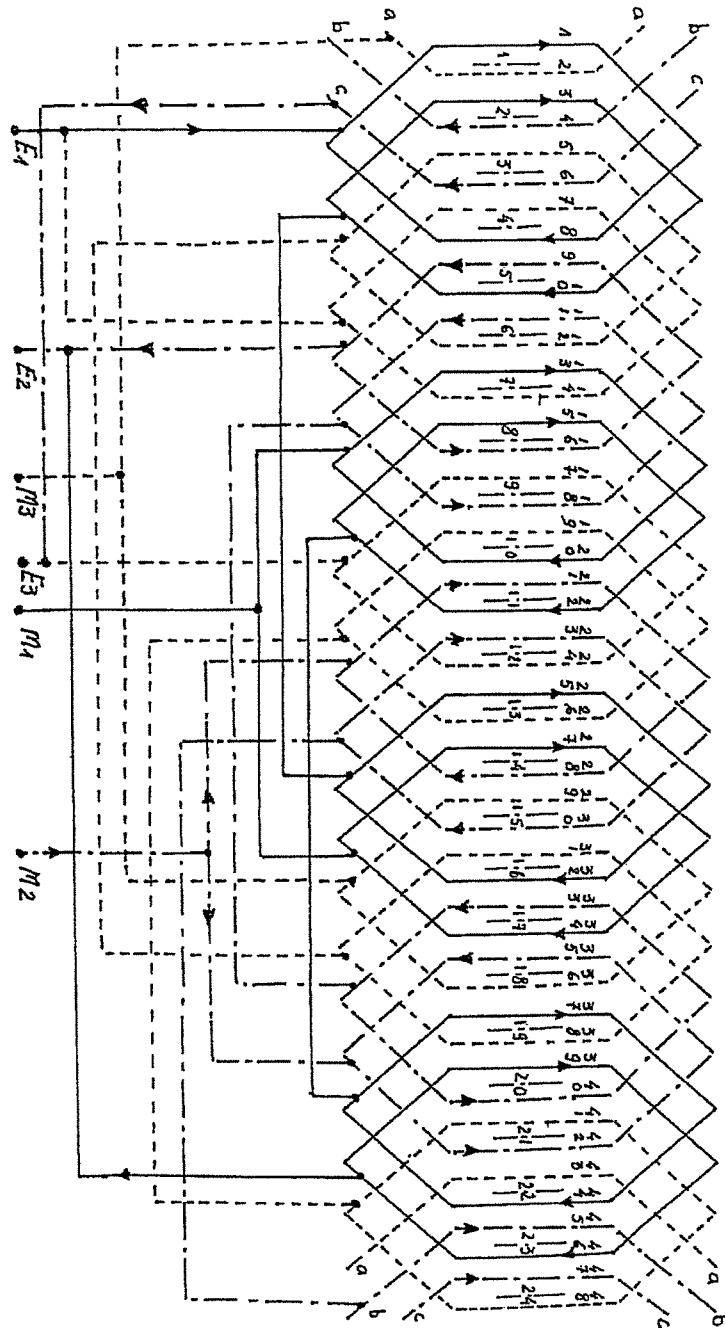


# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### 4) Schéma panoramique

Enroulement stator 24 encoches – bobinage triphasé 4-8 pôles. Couplages triangle série – étoile parallèle



**Nota :** La phase 1 est fléchée en 8 pôles conséquents  
La phase 2 est fléchée en 4 pôles conséquents

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### 2. PROBLEME

- Vous devez réaliser le schéma de bobinage du stator d'un moteur asynchrone triphasé, l'enroulement est à deux polarités 2 et 4 pôles, ce moteur est dit « à couple constant » ; couplage étoile série, étoile parallèle. 6 bornes de sortie. Le stator comprend 24 encoches, le bobinage est réalisé en manteau

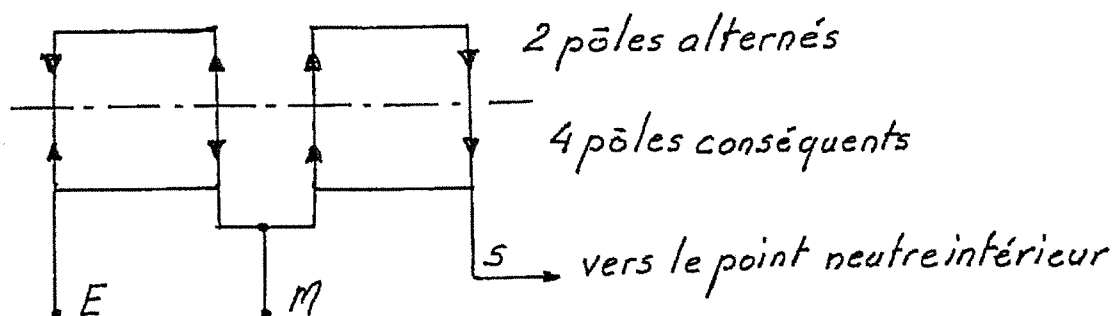
#### Travail demandé

- 1) Schéma de principe
- 2) Calculs de l'enroulement
- 3) Schéma numérique
- 4) Schéma panoramique

#### Solution

Dans ce cas, nous aurons deux bobines par phase

##### 1) Schéma de principe (1 phase)



#### ↳ Rappel fonctionnement

Marche en 4 pôles : alimentation par E sortie en S vers l'étoile interne, M est libre – étoile série

Marche en 2 pôles : alimentation par M sortie en S vers l'étoile interne, en étoile externe « étoile parallèle »

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### 2) Calculs de l'enroulement : sur grande polarité

- 4 pôles conséquents → 2 bobines par phase – 6 bobines au total
- en manteau : 24 encoches → 48 faisceaux
- nombre de faisceaux par bobine  $\frac{48}{6} = 8$  donc 4 sections par bobine
- nombre d'encoches par pôle :  $\frac{N}{2p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6$  donc 2 encoches par pôle et par phase
- pas polaire aux encoches :  $Y_{Pe} = \frac{N}{2p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6$
- pas polaire aux faisceaux :  $Y_{Pf} = \frac{F}{2p} + 1 = \frac{48}{2 \times 2} + 1 = 13$

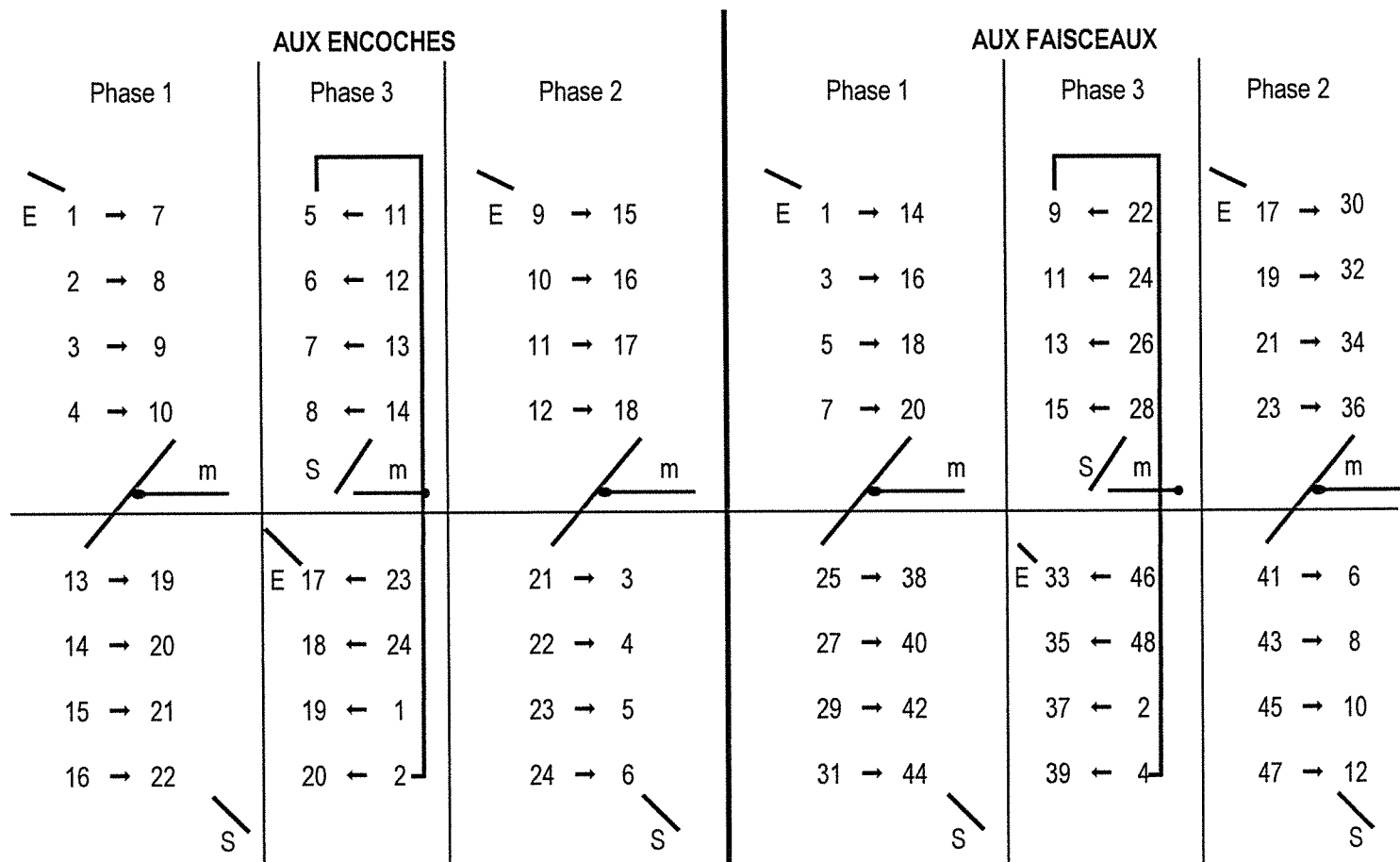
### Décalage des entrées sur petite polarité

- nombre de degrés électrique :  $180 \times 2 = 360^\circ$
- nombre de degrés électrique par encoche :  $\frac{360}{24} = 15^\circ$
- décalage entrées :  $\frac{120}{15} = 8$

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### 3) Schéma numérique

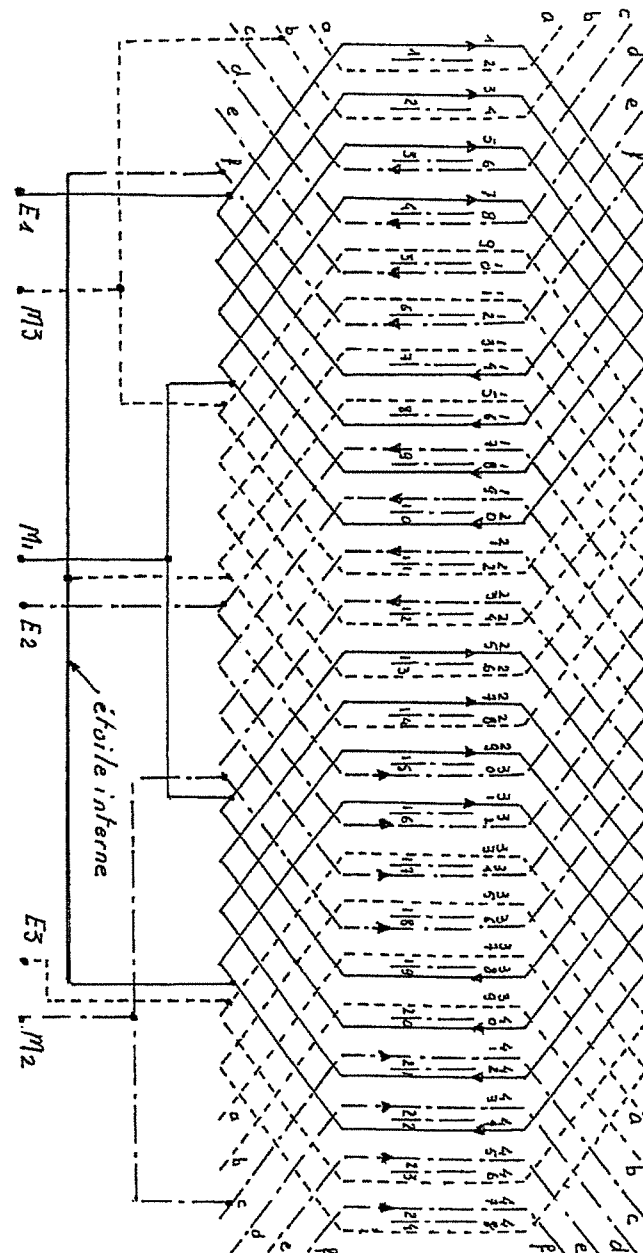




# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### 4) Schéma panoramique



Enroulement en manteau stator 24 encoches – bobinage triphasé 2-4 pôles couplage étoile série – étoile parallèle

Nota : La phase 1 est fléchée en 4 pôles conséquents  
La phase 2 est fléchée en 2 pôles alternés

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

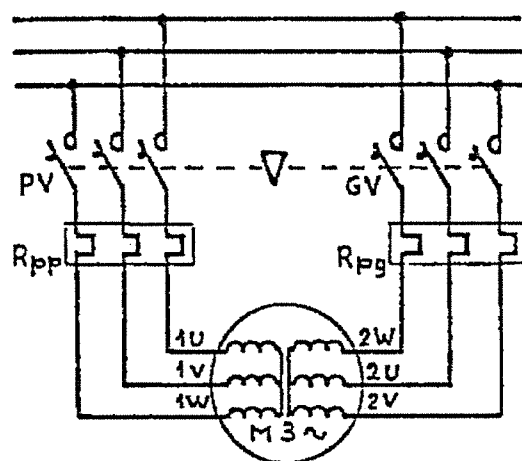
### MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES A 2 VITESSES (A ROTOR EN COURT-CIRCUIT)

Deux vitesses obtenues par deux enroulements séparés

Schéma du circuit de commande

#### Rappel

Le repère et l'ordre des extrémités d'un bobinage de moteur sont  $U_1, V_1, W_1$  d'une part  $W_2, U_2, V_2$  d'autre part.



#### → **Remarque**

Les repères à la plaque à bornes d'un moteur à deux vitesses sont 1u, 1v, 1w (petite vitesse) d'une part, 2w, 2u, 2v (grande vitesse) d'autre part. le sens de rotation est le même si on respecte l'ordre des phases :  $L_1$  à 1u ou à 2w –  $L_2$  à 1v ou à 2u ...

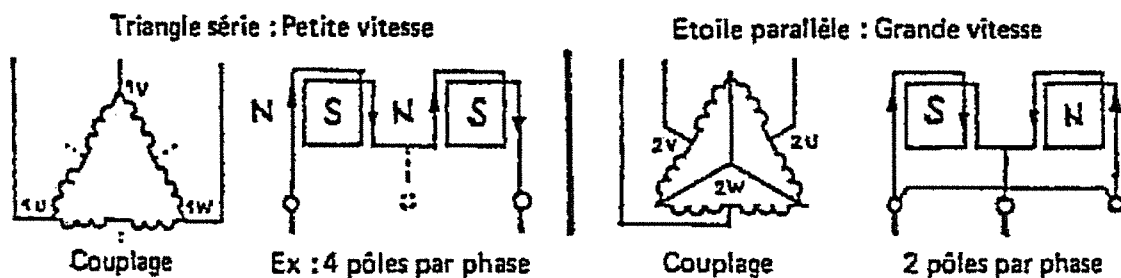
# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### Deux vitesses obtenues par couplage de l'enroulement

On peut doubler la vitesse d'un moteur asynchrone triphasé en diminuant de moitié le nombre de ses pôles (dans ce cas le rapport des vitesses est toujours de 1 à 2). Différents modes de couplage (dont le couplage triangle-série ; étoile-parallèle ; ou Dalhander ci-dessous sont utilisés).

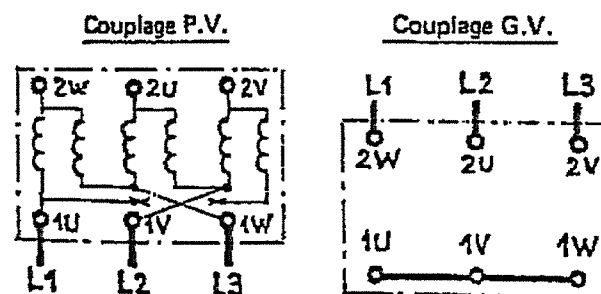
#### Couplage



#### → REMARQUE IMPORTANTE

Si on raccorde un tel type de moteur avec le même ordre des phases, le sens de rotation est inversé. Il faut donc inverser cet ordre des phases. A cet effet 2 fils sont croisés sous la plaque à bornes du moteur.

*Le raccordement extérieur se fait donc, pour avoir le même sens de rotation, en amenant la même phase, sur l'une des deux bornes qui se font face.*



#### → Remarque

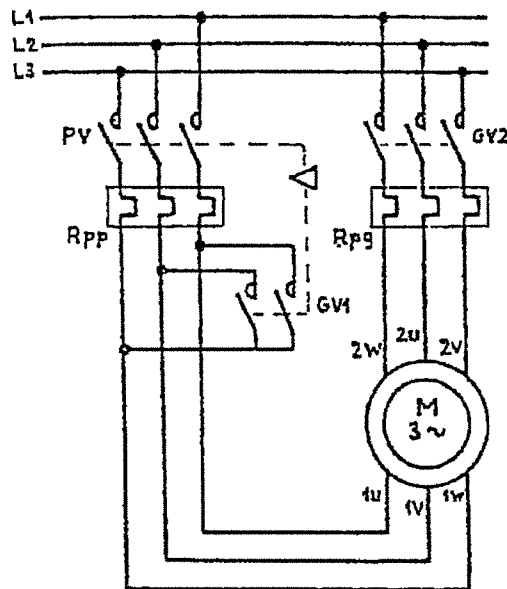
Ci-contre le raccordement à la plaque à bornes pour avoir le même sens de rotation dans les deux vitesses.

On retrouve les mêmes repères que ceux indiqués ci-dessus 1u, 1v, 1w (petite vitesse) 2w, 2u, 2v (grande vitesse). (doc. constructeur)

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

Schéma du circuit de puissance



Note P.V. : contacteur petite vitesse

GV1 et GV2 : contacteurs grande vitesse

↳ Pour les gros moteurs on a un contacteur unique (pôles montés sur barreau)

### → Remarque

Les bornes ont été repérées dans le même ordre que celui de la plaque à bornes du moteur. Le raccordement à réaliser est ainsi le plus facile (c'est celui préconisé par le constructeur)

Il faut se souvenir que dans le cas de décalage des 3 fils en triphasé le sens de rotation reste le même L<sub>1</sub> à 2u ; L<sub>2</sub> à 2v, L<sub>3</sub> à 2w

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

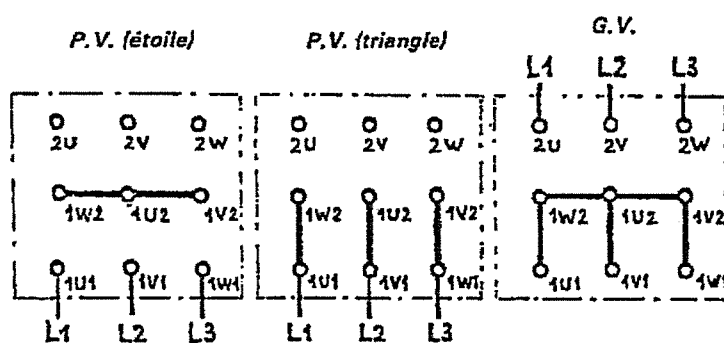
## MOTEURS TRIPHASES

### Autre couplage possible

Il existe d'autres types de bobinages pour moteurs à 2 vitesses.

Exemple ci-dessous : moteur à 2 vitesses, 1 tension, 1 bobinage (9 bornes)

Démarrage étoile-triangle en petite vitesse



Même sens de rotation avec ces couplages et raccordement

### Notes

Il existe également des moteurs à 2 vitesses pouvant fonctionner sous deux tensions différentes. On trouve aussi des moteurs à 3 vitesses.

Le nombre de bornes de ces moteurs est d'autant plus grand qu'ils offrent plus de combinaisons possibles (exemple 12 bornes pour un moteur 2 vitesses bi-tension). Les différents couplages sont indiqués par le fabricant.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

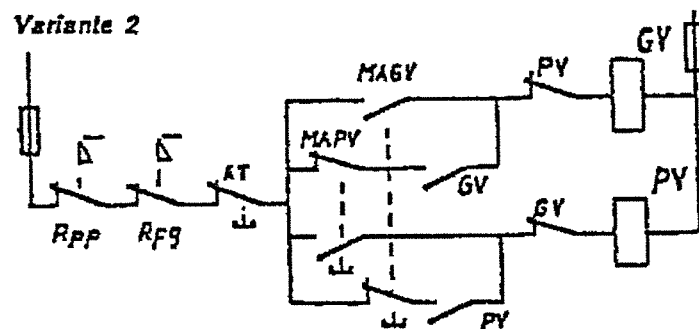
## MOTEURS TRIPHASES

### Schéma développé du circuit de commande

Ces schémas sont valables pour les deux types de moteurs à deux vitesses

**Variante 1** : On ne peut pas passer directement de PV et GV ou inversement. On est obligé de revenir à la position arrêt.

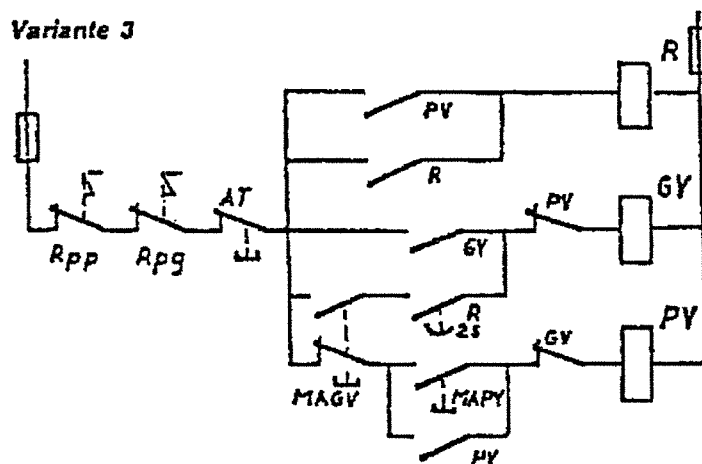
Le schéma est celui du moteur à deux sens de rotation



Le passage de PV en GV ou inversement se fait sans passer par arrêt.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

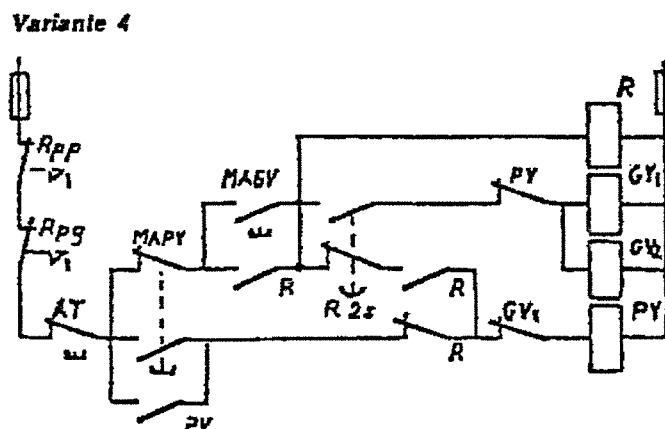
## MOTEURS TRIPHASES



Démarrage toujours en PV

Passage en GV à la demande (après 2s.)

Le retour en PV ne peut se faire qu'en passant par arrêt.



Commande directe PV ou GV avec démarrage toujours en PV.

Le passage de GV en PV se fait sans passer par arrêt.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### PROBLEMES – RECHERCHE DE SCHEMAS

#### Remarque

Le nombre d'encoches pour les recherches est volontairement réduit, le but des recherches étant d'appliquer des principes, des règles.

#### 1<sup>er</sup> Problème

- Vous devez réaliser le schéma de bobinage du stator d'un moteur asynchrone triphasé, stator 12 encoches, enroulement 2-4 pôles, à puissance constante, bobinage en manteau.

#### Travail demandé

- 1) Schéma de principe
- 2) Calculs de l'enroulement
- 3) Schémas numériques
- 4) Schéma panoramique



# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### 2ème Problème

- Vous devez réaliser le schéma de bobinage du stator d'un moteur asynchrone triphasé, stator 36 encoches, enroulement 6-12 pôles, à puissance constante, bobinage en manteau

### Travail demandé

- 1) Schéma de principe
- 2) Calculs de l'enroulement
- 3) Schémas numériques
- 4) Schéma panoramique

### → **Remarque importante**

Les moteurs à plusieurs vitesses sont généralement en court-circuit.

L'utilisation du rotor est très rare, car cela exige que le rotor porte également un enroulement multi-vitesses (plusieurs polarités)

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### MOTEURS A PLUSIEURS VITESSES

#### Nota

Ces moteurs destinés à une utilisation précise sont généralement mono-tension.

#### 1. MOTEURS 2 VITESSES – 2 BOBINAGE.

Ceci est réalisé lorsque la polarité est différentes de 1 à 2 (impossibilité d'utiliser le couplage « Dalhander ») ou dans le cas où l'on désire, pour chaque polarité des caractéristiques (puissance et couple) particulières.

Dans ce cas, il y a deux schémas, 1 par polarité.

En pratique, on place à fond d'encoche l'enroulement à petite polarité, en haut d'encoche l'enroulement à grande polarité.

Les enroulements suivant leurs caractéristiques peuvent être réalisés : à plan, enchevêtré, en manteau, le couplage de chaque enroulement est fonction de ses caractéristiques.

#### 2. MOTEURS 3 VITESSES – 2 BOBINAGES

##### ↳ Exemple

2 – 4 - 6 pôles.

Dans ce cas, on a 1 enroulement 2-4 pôles (couplage « Dalhander ») et 1 enroulement 6 pôles.

#### 3. MOTEURS 4 VITESSES – 2 BOBINAGES

##### ↳ Exemple

4-8 ; 6-12 pôles. Dans ce cas, on a 2 enroulements (couplage Dalhander) 1 enroulement 4-8 pôles ; 1 enroulement 6-12 pôles

##### → **Remarque**

Nous étudierons ensuite, les cas particuliers de moteurs à plusieurs vitesses (plusieurs polarités).

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

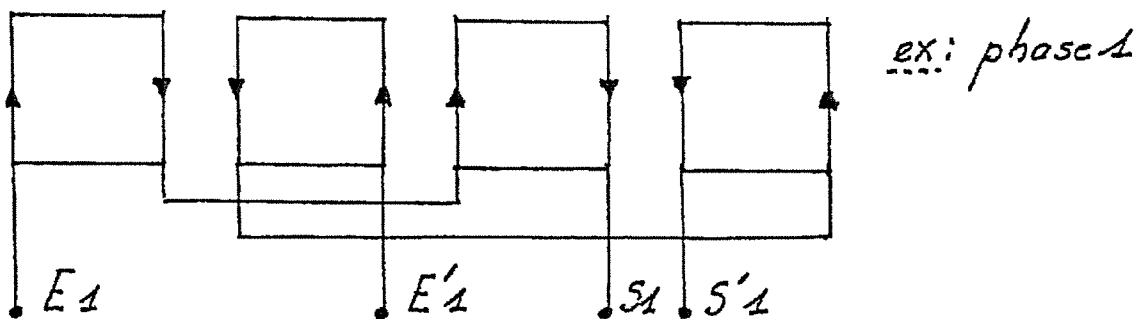
## MOTEURS TRIPHASES

### CAS PARTICULIER – MACHINE A 12 BORNES SORTIES

Dans ce cas, pour chaque phase on sort 4 bornes, donc 2 par demi-enroulement

↳ Exemple : 4 bobines par phase

Schéma de principe 4 pôles



#### → **Remarques**

Cette disposition **très particulière** offre plusieurs possibilités de fonctionnement.

1) Fonctionnement sur 4 pôles en bi-tension rapport  $\frac{1}{2}$

↳ Exemple

(220 – 440 V entre phases) – couplage entre phases étoile ou triangle suivant caractéristiques du bobinage

- en 440V : couplage en série (entrée en  $E_1$  sortie en  $S'_1$  liaison  $S_1 - E'_1$ )
- en 220 v : couplage en parallèle (entrées en  $E_1$  et  $E'_1$  sorties en  $S_1$  et  $S'_1$ )

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

2) Fonctionnement sur 4 pôles en bi-tension (rapport  $\sqrt{3}$  )

↳ Exemple

(220- 380 V entre phases) – couplage par phase en série ou en parallèle suivant caractéristiques du bobinage

■ couplage entre phases

– triangle en 220 V

– étoile en 380 V

3) Fonctionnement en 4-8 pôles, couplage « Dalhander », la machine dans ce cas est mono tension.

– Couplage série par phase, on place le point milieu sur la liaison S1 – E1

Dans ce cas, on a la possibilité de fonctionner :

– Soit à puissance constante (couplage triangle série-étoile parallèle)

– Soit à couple constant (couplage étoile série-étoile parallèle)

→ **Remarque**

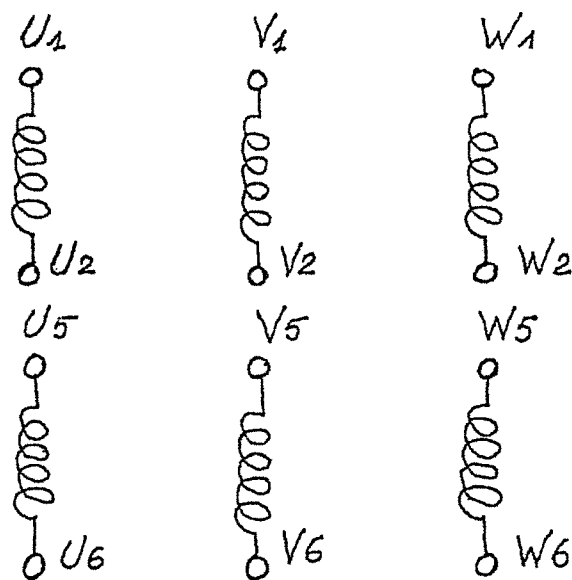
Les demi-enroulements de chaque phase sont identiques.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

Repérage – normalisation mise au bornes (suivant NF C 51-118)



*Enroulement triphasé fractionné à 12 extrémités de sortie possibilité de divers couplages*

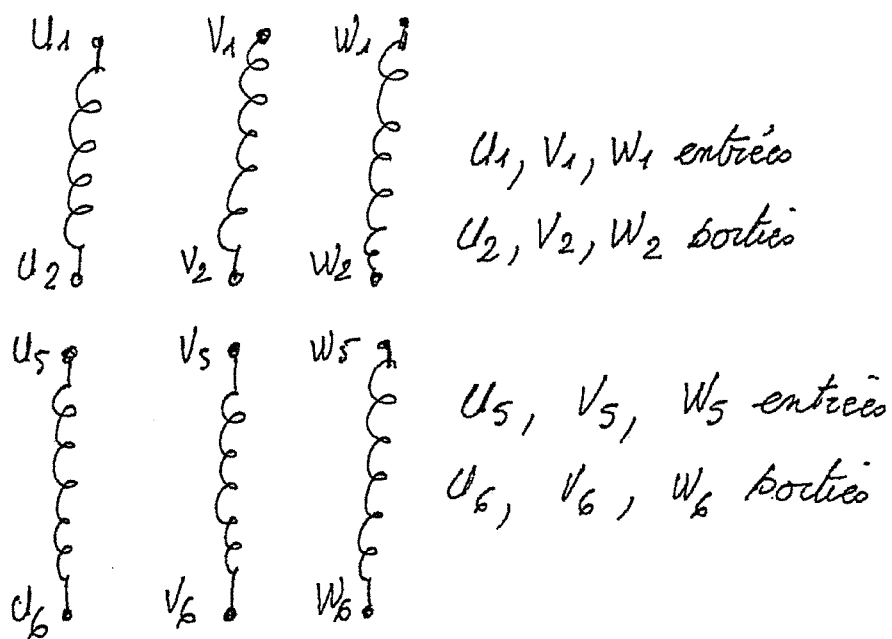
# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### MOTEUR ASYNCHRON TRIPHASE SPECIAL

#### NFC 51 118 REPERAGE

*Enroulement triphasé fractionné pour couplage en série ou en parallèle avec 12 sorties*



# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### ■ Ce type de moteur peut fonctionner sous 4 tensions

- 1) On obtient deux tension aux bornes de chaque phase suivant couplage série ou parallèle des deux demi-enroulements (rapport  $\frac{1}{2}$ )
- 2) On obtient deux tensions suivant couplage entre phases soit  $\Delta$ , soit  $\blacktriangle$

#### ↳ Exemple

- Couplage 2 demi-enroulements en parallèle  $U = 110V$   $U$
- Couplage  $\Delta$   $U = 110 V$   $\blacktriangle$   $U 190 V$
- Couplage 2 demi-enroulements en série  $U 220 v$
- Couplage  $\Delta$   $U 220 V$   $\blacktriangle$   $U 380 V$

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### CAS PARTICULIER – NOTIONS SUR LES MOTEURS PAM (suite)

*En 1957, le professeur Rawcliffe de l'Université de Bristol en Grande-Bretagne commença à mettre au point une méthode (ce procédé fit l'objet de plusieurs communications de 1958 à 1965).*

*Ce procédé est couvert par des brevets pris, par la N.R.D.C. qui accorde des licences permettant moyennant un financement, le doit d'exploiter le procédé PAM*

*Le Procédé PAM en français peut se traduire par Pôle à Amplitude Modulée*

#### → **Remarque**

En France la CEM a mis au point un procédé similaire.

#### Nota

Le procédé PAM permet d'obtenir un changement de polarités (comme en schéma Dalhander) mais cette fois on obtient à peu près n'importe quel rapport des polarités.

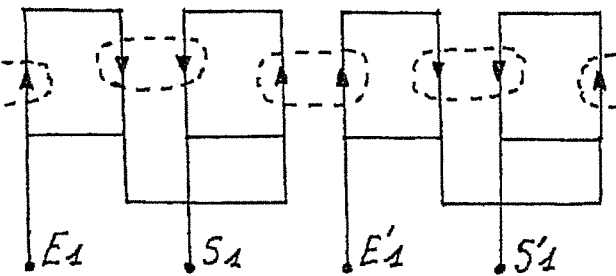
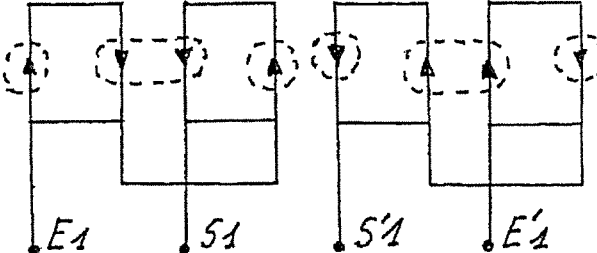


# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### Explication simplifiée de fonctionnement en PAM

Exemple : Moteur 4 – 6 pôles ; 4 bobines par phase

Schéma de principe 4 pôles	Schéma de principe 6 pôles
	
<p>Couplage soit en série on relie S1' et E1' Soit en parallèle on relie E1 et E'1 ; S1 et S'1</p>	<p>On inverse le sens du courant dans une demi-phase. Ensuite le couplage est identique à celui du 4 pôles.</p>

### → **Remarque**

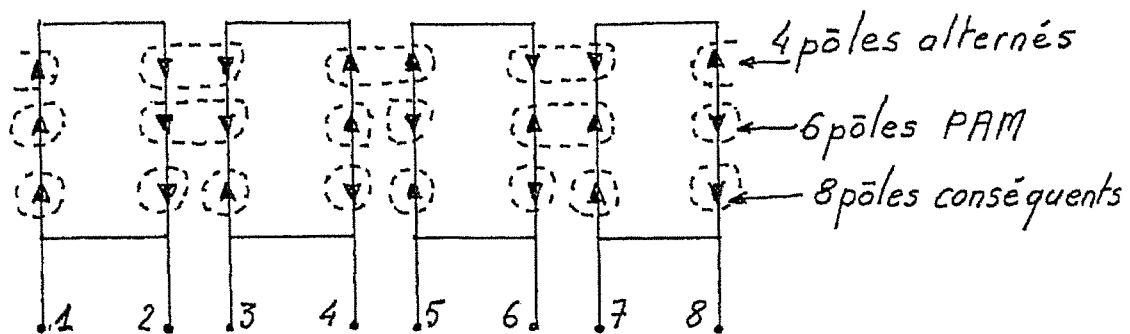
En ramenant les entrées et sorties de bobines à la plaque bornes et en les couplant de diverses manières on obtient un moteur à trois polarités : 4-6-8 pôles

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### Schéma de principe



### Couplages par phase

1) 4 pôles (exemple en série) On relie 2 et 4 ; 3 et 7 ; 6 et 8

— entrée en 1, sortie en 7

2) 6 pôles (exemple en série) on relie : 2 et 4 ; 3 et 7 ; 8 et 6

— entrée en 1 sortie en 5

3) 8 pôles (exemple en série) on relie 2 et 3 ; 4 et 5 ; 6 et 7

— entrée en 1 sortie en 8

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

### Couplage entre phases

On couple en étoile ou en triangle en fonction des caractéristiques de l'enroulement et de la tension entre phases du réseau.

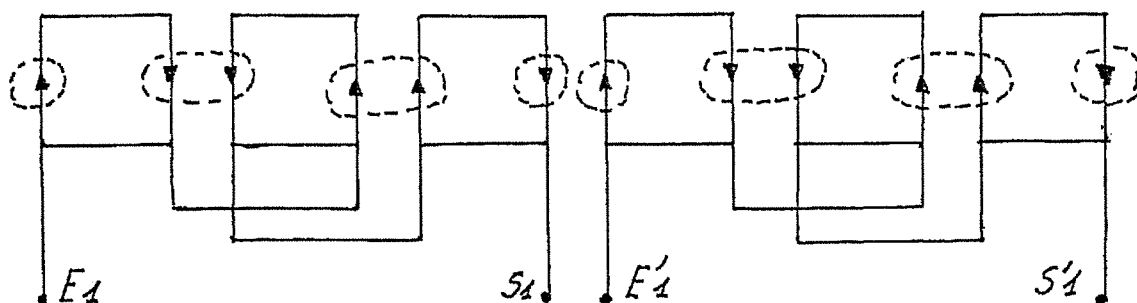
### Nota

Le couplage entre les bobines d'une même phase peut être deux groupes en parallèle ; de deux bobines en série

## AUTRE EXEMPLE EN PROCEDE PAM

Moteur 8-10 pôles – 6 bobines par phase

### Schéma de principe 8 pôles (1 phase)

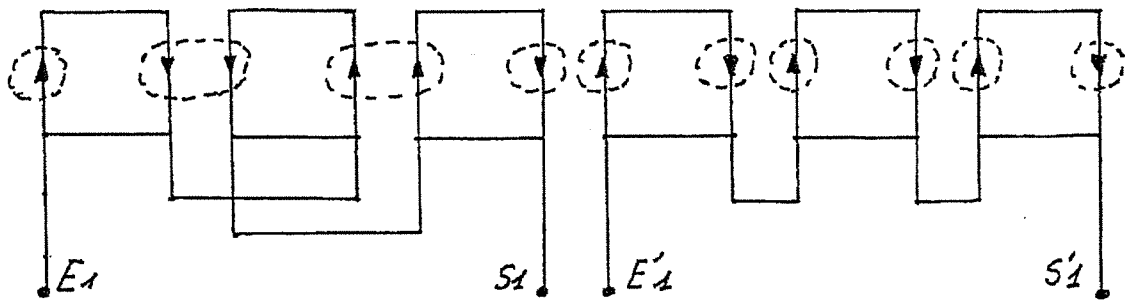


# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### Schéma de principe 10 pôles (1 phase)



### Nota

On inverse les sens du courant dans une demi-phase.

#### → **Remarque**

- Le couplage entre les deux demi phases peut être réalisé en série ou en parallèle.
- Le couplage entre phases en étoile ou en triangle

En ramenant à la plaque bornes, les entrées et sorties de chaque bobine et en les couplant de diverses manières, on obtient un moteur à 4 polarités :

6 – 8 – 10 – 12 pôles (ceci étant théorique)

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT (SIMPLIFIE)

*Il ne faut pas oublier que l'on peut pratiquement passer de la polarité « modulée » à la polarité « non modulée » en inversant seulement le sens du courant dans une moitié du bobinage, (voir les schémas de principe), mais la théorie de l'onde de modulation permet de déterminer les bobines qui doivent figurer dans chaque moitié de chaque phase.*

#### Nota

On constate sur les schémas de principe (1 phase) que nous n'avons pas des pôles égaux (exemple en 6 pôles), mais la combinaison des 3 phases donnera finalement 6 pôles réguliers, en bobinage PAM

#### → **REMARQUE IMPORTANTE**

Tout ce qui précède n'est qu'une approche très sommaire très simplifiée, relative au moteur deux vitesses à bobinage PAM. « Ces bobinages étant couverts par des brevets ».

Ensuite, j'ai extrapolé, et voulu montrer qu'avec un bobinage on pouvait en théorie réaliser des machines à plusieurs polarités, ceci en sortant toutes les entrées et sorties de bobines.

Alors, qu'en bobinage PAM, on a 2 polarités et en général 6 bornes sorties. Les calculs de l'enroulement en bobinage PAM sont réalisés au moyen de calculateur électronique

#### → **DONC EN CONCLUSION**

Ce qui a été dit sur ce sujet, n'est qu'une information très sommaire, sans réalité, de réalisation industrielle concrète.

# MACHINES A COURANT ALTERNATIF

## MOTEURS TRIPHASES

---

### QUELQUES EXEMPLES DE REALISATION INDUSTRIELLE

Moteur de ventilateur	247 kw	à	1000 tr/mn	6 pôles
	109 Kw	à	750 tr/mn	8 pôles
Moteur de ventilateur	617 Kw	à	750 tr/mn	8 pôles
	330 Kw	à	600 tr/mn	10 pôles
Moteur de ventilateur	2080 Kw	à	600 tr/mn	10 pôles
	1260 Kw	à	500 tr/mn	12 pôles
Moteur de série	26 Kw	à	1500 tr/mn	4 pôles
	6,5 Kw	à	375 tr/mn	16 pôles

### Conclusion

**Ces moteurs peuvent être réalisés en basse tension ou en haute tension.**

- On a un seul bobinage avec des bobines de construction normale.
- On peut en théorie obtenir n'importe quelle polarité, mais certains rapports sont plus faciles à réaliser que d'autres.
- Les caractéristiques de rendement et de  $\cos \varnothing$  sont presque identiques à celles du moteur à une seule vitesse correspondante et cela pour les deux polarités.
- Avec un moteur PAM on a deux vitesses, avec un léger surdimensionnement par rapport au moteur à une seule vitesse.
- Ce type de moteur remplace donc avantageusement les moteurs deux vitesses deux bobinages.