

II -1 Introduction:

Grâce à leur simplicité, leur robustesse et leur coût attractif, les moteurs à cage sont les moteurs les plus souvent utilisés dans l'industrie. En commutation directe, ils absorbent un courant de démarrage jusqu'à **8** fois plus important que le courant nominal et ils développent donc un couple de démarrage élevé.

Les courants de démarrage élevés ont souvent comme conséquence une chute de tension désagréable et les couples de démarrage élevés nécessitent des éléments mécaniques résistant aux surcharges. C'est la raison pour laquelle les distributeurs d'électricité fixent des valeurs limites pour les courants de démarrage des moteurs, par rapport aux courants de fonctionnement nominaux. Les valeurs permises varient d'un réseau à l'autre, en fonction de la charge. En ce qui concerne la mécanique, des procédés qui diminuent les couples de démarrage sont souhaitables.

II -2 Moteur asynchrone triphasé à rotor en court –circuit:

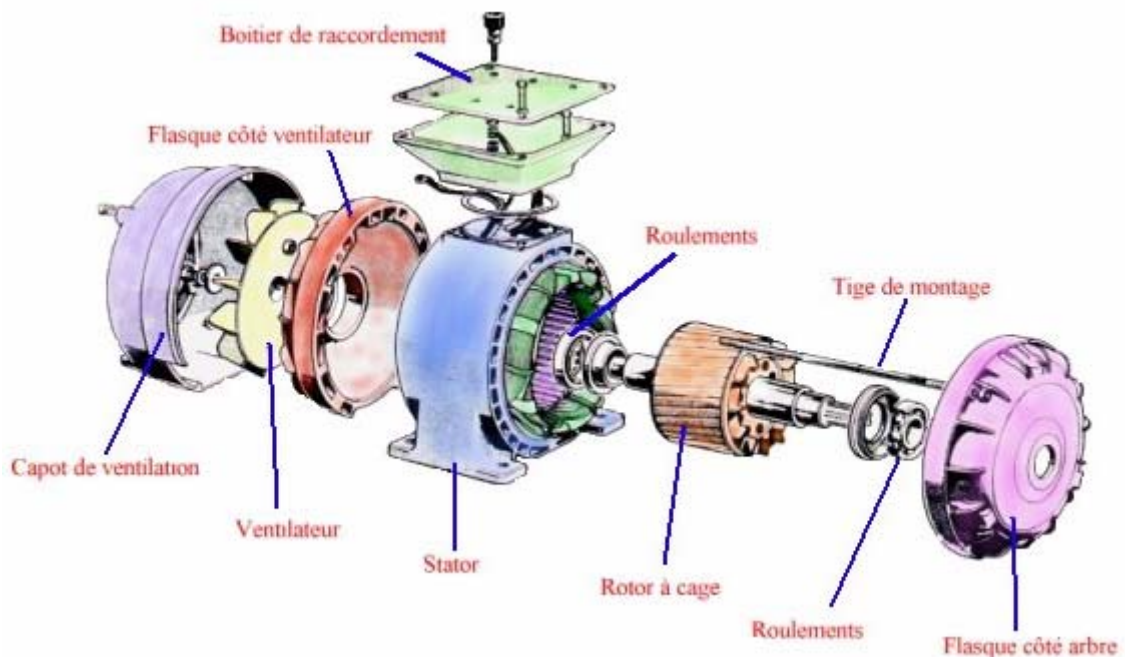


Figure II -1 : moteur asynchrone à cage

II -3 Fonctionnement – constitution:

II -3-1 Constitution:

Le stator est constitué d'une carcasse sur laquelle est fixée une couronne de tôle d'acier de qualité spéciale, munies d'encoches. Des bobinages de section appropriés sont répartis dans ces dernières et forment un ensemble d'enroulements qui comporte trois circuits (trois phases).

Le rotor est constitué d'un empilage de tôles d'acier formant un cylindre claveté sur l'arbre moteur. Dans des tours ou dans des encoches disposées vers l'extérieur du cylindre et parallèlement à son axe, sont placés des conducteurs. A chaque extrémité, ceux-ci sont raccordés sur une couronne métallique. L'ensemble a l'aspect d'une cage d'écureuil, d'où le nom de ce type de rotor. Sur certains moteurs, la cage d'écureuil est entièrement moulée (alliage d'aluminium injecté sous pression).[6]

II -3-2 Fonctionnement:

Les trois champs magnétiques alternatifs produits par les trois bobines se composent pour former un champ tournant (figure II -2).

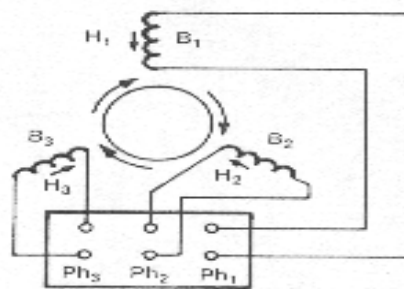


Figure II -2 : fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage

Les barres métalliques constituant la cage d'écureuil sont coupées par le champ tournant produit par le stator, ce qui donne naissance à des courants induits intenses dans ces barres (loi de Lenz). Ces courants réagissent sur le champ tournant en donnant naissance à un couple moteur qui provoque la rotation de la cage. Si la cage tournait à la même vitesse que le champ (vitesse de synchronisme), il n'y aurait plus des courants induits et le couple exercé serait nul. C'est parce que la vitesse de rotor est inférieure à celle du champ tournant que ce type de moteur est dit asynchrone, [6].

II -4 Caractéristique des moteurs à cage :

Les caractéristiques vitesse –couple et vitesse –intensité des moteurs à cage présentent une grande diversité, d'ailleurs bien explicable, car les constructeurs ont dû adapter leur machine à des usages fort différents, et chercher un compromis entre des exigences contradictoires de couple, d'intensité, de rendement et de prix de revient.

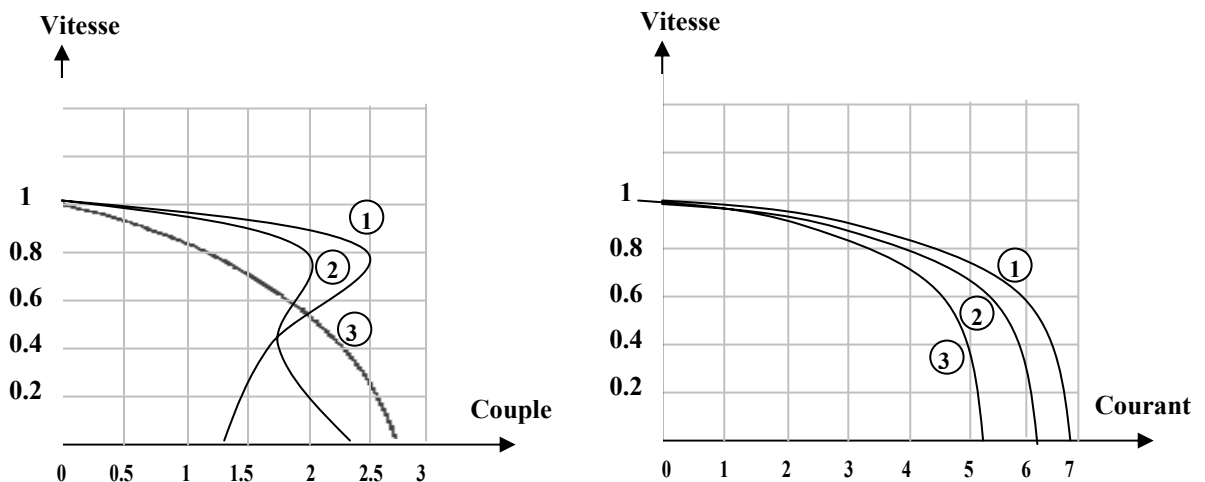


Figure II -3- : caractéristiques vitesse –couple et vitesse –intensité des moteurs à cage

On classe généralement les moteurs à cage en trois familles principales :

1^{ère} famille :

Les moteurs à simple cage suivent les courbes ① de la figure (II -3), le couple au calage n'est pas élevé et la pointe d'intensité est très importante.

2^{ème} famille :

Les moteurs à double cage (également les moteurs à triple cage et ceux à encoches profondes), suivent les courbes ② de la figure (II -3). Le couple est plus élevé pendant le démarrage et la pointe d'intensité est réduite. Par contre le glissement en régime établi est légèrement supérieur.

3^{ème} famille :

Les moteurs à grand glissement, suivent les courbes ③ de la figure (II -3). Par constructeur, la résistance du rotor est nettement plus forte. Le glissement et les pertes en marche normale sont notablement augmentés. Ce type de moteur, beaucoup moins répandu que les deux premiers, est utilisé pour les applications nécessitant des accélérations et des freinages fréquents,[7].

II -5 Démarrage des moteurs à cage triphasé :

Lors de la mise sous tension d'un moteur. L'appel de courant sur le réseau est important surtout si la section de la ligne d'alimentation est insuffisante, provoque une chute de tension susceptible d'affecter le fonctionnement des récepteurs. Parfois cette chute de tension est telle qu'elle est perceptible sur les appareils d'éclairage. Pour remédier à ces inconvénients, les règlements de quelques secteurs interdisent, au-dessus d'une certaine puissance, l'emploi des moteurs à induction démarrant «en direct» , d'autres se contentent d'imposer en fonction de la puissance des moteurs, le rapport entre le courant de démarrage et le courant nominal.

Le moteur à cage est le seul à pouvoir être couplé directement sur le réseau avec un appareillage simple.

Seules les extrémités des enroulements du stator sortent sur la plaque à bornes. Les caractéristiques du rotor ayant été déterminées une fois pour toutes par le constructeur, les divers procédés de démarrage permettent uniquement de faire varier la tension aux bornes du stator. Sur ce type de moteur, la réduction de la pointe de courant s'accompagne automatiquement d'une forte réduction du couple. [1]

II -6 Condition d'un démarrage correct :

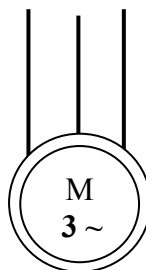
Il faut qu'à toutes les allures, le couple développé par le moteur soit supérieur au couple exercé par la machine entraînée. Cette condition doit être observée même dans le cas fréquent où la tension de réseau d'alimentation subit des chutes importantes. Le couple du moteur étant proportionnel au carré de la tension, l'influence de cette considération sur la détermination du moteur est souvent majeure.

De plus, il est fréquemment nécessaire de réduire le courant au calage, en particulier lorsque le branchement est effectué sur un réseau de distribution basse tension. Dans ce cas, en effet des règlements rigoureux limitent la valeur de courant de démarrage.

Diverses méthodes permettent de réduire artificiellement et momentanément la tension aux bornes du stator. Nous allons décrire successivement les procédés de démarrage les plus courants, [7].

II -7 Démarrage direct :

C'est un procédé de démarrage simple obtenu en un seul temps, le stator du moteur est couplé directement sur le réseau, le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles avec une forte pointe.



Ce procédé est idéal dans la mesure où la pointe de courant est acceptable et si le couple initial de démarrage du moteur (fixé par le type de construction de son rotor et voisin en général de $1.5 C_n$) convient à mise en route de la machine.

La pointe de courant. Lors de la mise sous tension. Est très élevée. De l'ordre de **4 à 8** fois le courant nominal. Le couple pendant le démarrage est toujours supérieur au couple nominal. Surtout pour les moteurs modernes à cages complexes. Il est maximal lorsque le moteur atteint environ **80 %** de sa vitesse : à ce moment. La pointe de courant est considérablement amortie.

Ce dispositif permet de démarrer des machines même à pleine charge. Si le réseau admet la pointe de courant au moment du démarrage. Il est donc particulièrement indiqué pour les machines de petite et moyenne puissance.

Cependant. Le couple à l'instant de la mise sous tension étant voisin de $1.5 C_n$. Ce procédé est déconseillé si le démarrage doit être doux et progressif (certains monte-charge, tapis, transporteurs, etc...). [1]

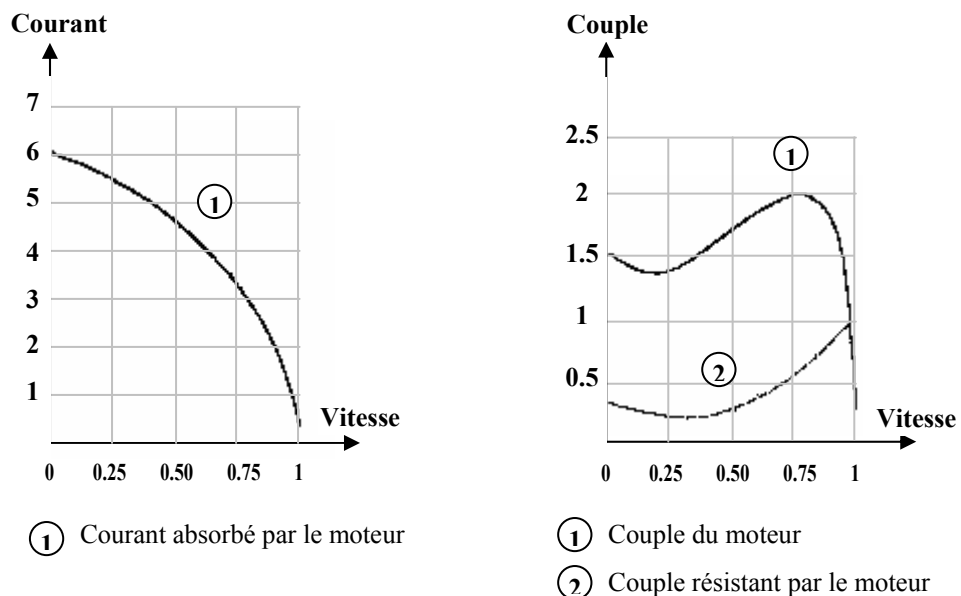
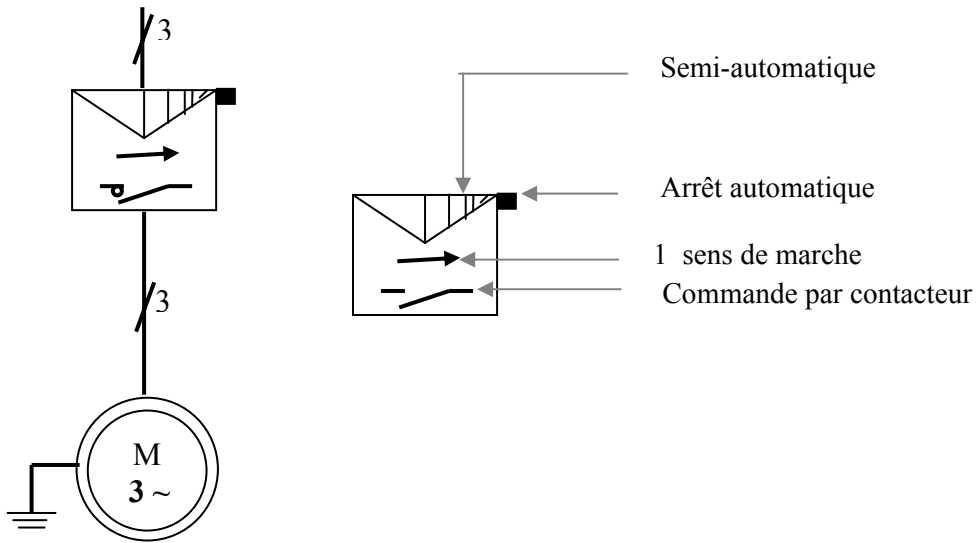


Figure II -4- : caractéristiques naturel du moteur

II -7-1 Démarreur direct (un sens de marche) :**Fonctionnement :**

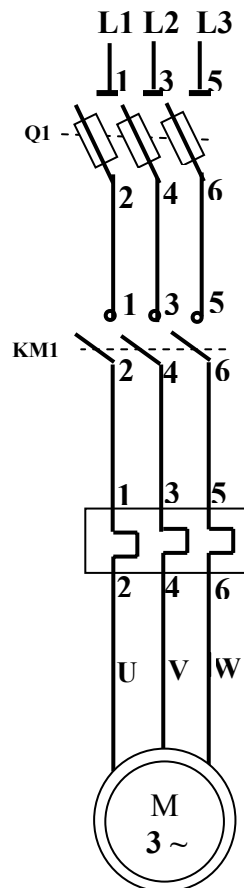
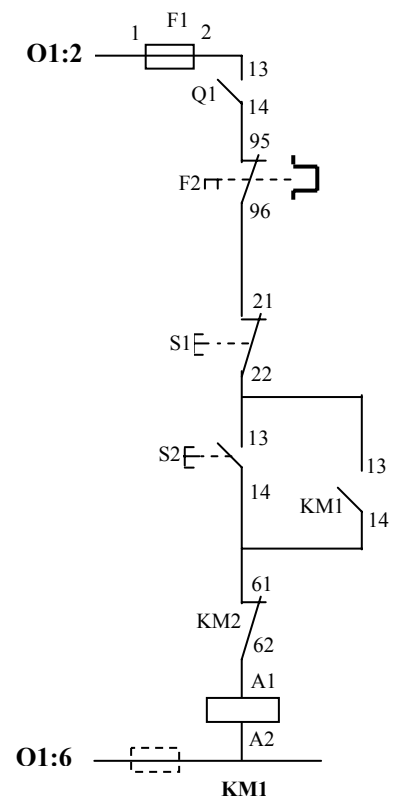
Schéma Fonctionnelle

**Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de **Q1**
- Fermeture de **KM1**, mise sous tension de moteur

Circuit de commande :

- Impulsion sur **S₂**.
- Fermeture de **KM1**.
- Auto maintien de **KM1** (13-14).

- Circuit de puissance**- Circuit de commande**

Arrêt : par impulsion sur **S₁** ou par déclenchement du relais de protection **F2** (95-96).

Protection :

- par fusible contre les court-circuit.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

Emploi :

- petites machines pouvant démarrer à pleine charge.

Avantages :

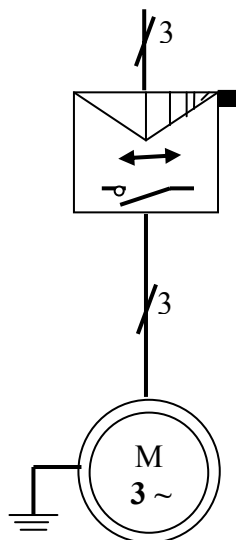
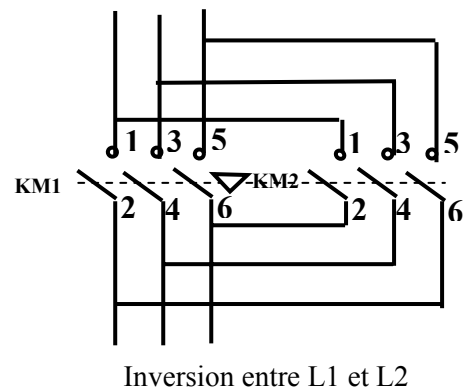
- démarreur simple.
- Economique.
- Couple de démarrage important.

Inconvénients :

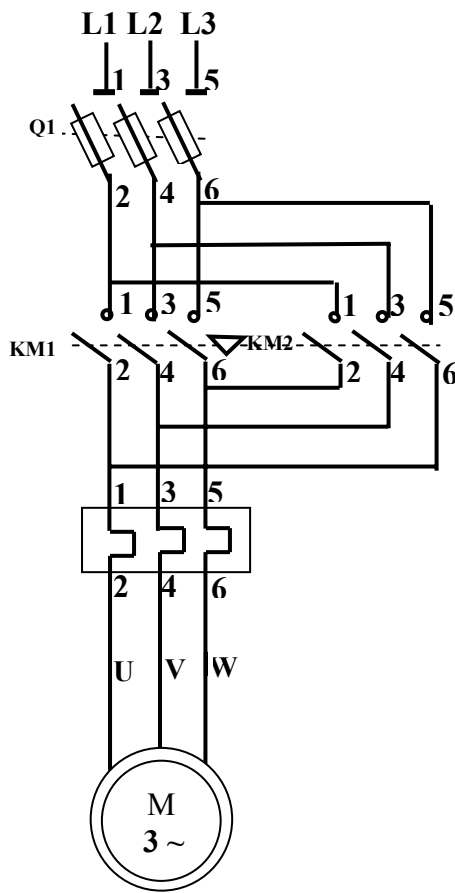
- pointe de courant très importante.
- Le réseau doit pouvoir admettre cette pointe.
- Démarrage brutal. [5]

II -7-2 Démarreur inverseur direct :**II -7-2-1 Inverseur de sens de rotation :**

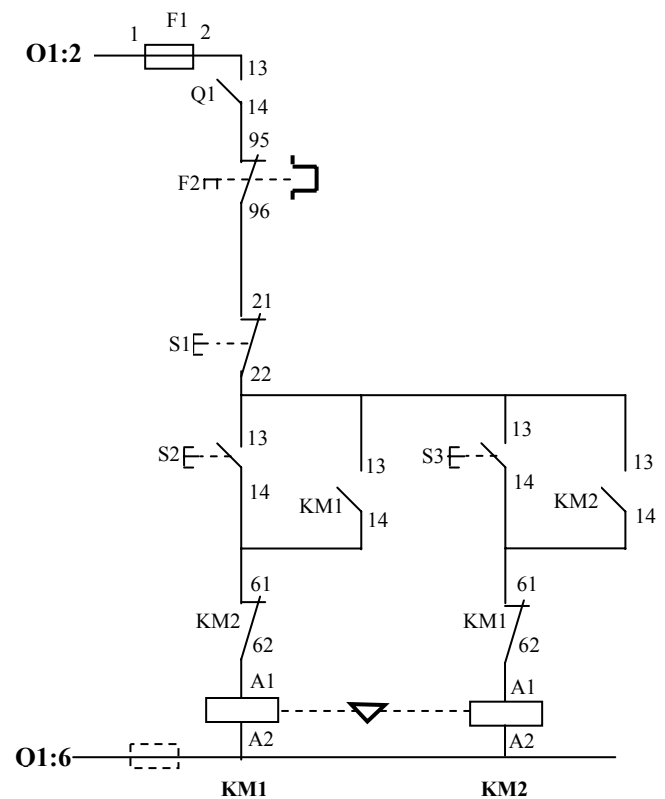
Pour inversé le sens de rotation d'un moteur il faut permuter deux phase de son alimentation,[6].



- Circuit de puissance



- Circuit de commande



- Fonctionnement :

- Circuit de puissance :


- Marche avant :

- Fermeture de **Q1**.
- Fermeture de **KM1** mise sous tension du moteur dans le 1^{er} sens de marche.

- Marche arrière :

- Fermeture de **Q1**.
- Fermeture de **KM2** mise sous tension du moteur dans le 2^{em} sens de marche.

- Circuit de commande :

- Impulsion sur **S₂** (marche avant).
- Fermeture de **KM1**.
- Auto maintien par **KM1** (13-14).
- Arrêt par impulsion sur **S₁** ou par déclenchement de relais thermique **F₂**.
- Impulsion sur **S₃** (marche arrière).
- Fermeture de **KM2**.
- Auto maintien par **KM2** (13-14).
- verrouillage mécanique entre **KM1** et **KM2** matérialisé par .
- verrouillage électrique par **KM1** (61-62) et **KM2** (61-62).

Arrêt : par impulsion sur S_1

Protection :

- Par fusibles contre les court-circuit.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

Emploi :

- machine outils.
- Palans.

Courant :

$$I_d = 4 \text{ à } 8 I_n$$

(II -1)

Couple :

$$C_d = 0.5 \text{ à } 1.5 C_n$$

(II -2)

Le ∇ signifie le verrouillage mécanique entre les deux armateurs (par un système de bielle).
Un seul des contacteurs peut être enclenché (**KM1** ou **KM2**) sinon il y a court-circuit, [5].

- Verrouillage électrique figure (II -5) :
Comme une bobine est excitée par son contact qu'elle ouvre, elle interdit le fonctionnement de l'autre. [6]

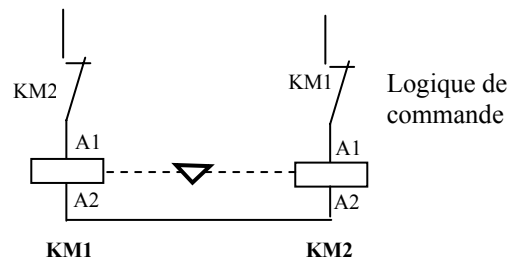


Figure II -5- : Verrouillage électrique

II -7-3 Solution pour diminuer la pointe d'intensité au démarrage :

Les caractéristiques d'un démarrage direct figure (II -4) en des inconvénients. Nous les avons cités. Rappelons simplement que la pointe d'intensité peut provoquer une chute de tension supérieure à **5%** de la tension totale et venir ainsi perturber le fonctionnement des appareils alimentés par le même réseau.

Différents artifices de démarrage ou l'utilisation de moteurs spéciaux permettent de réduire ces inconvénients :

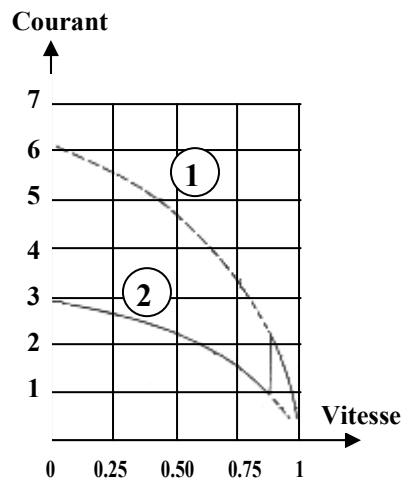
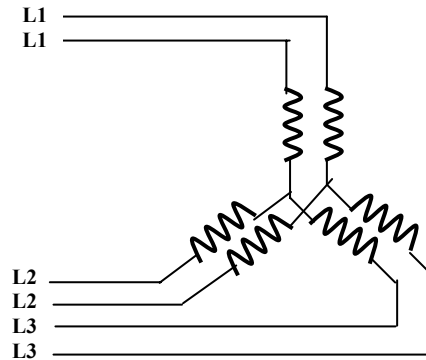
- moteur à double cage.
- Artifices de démarrage sur un moteur ordinaire (étiole –triangle, résistance, autotransformateur.....).
- moteur à rotor bobiné (à bagues) « étudié en chapitre 3 », [6].

II-8 Démarrage des moteurs à enroulements partagés «part-winding»:

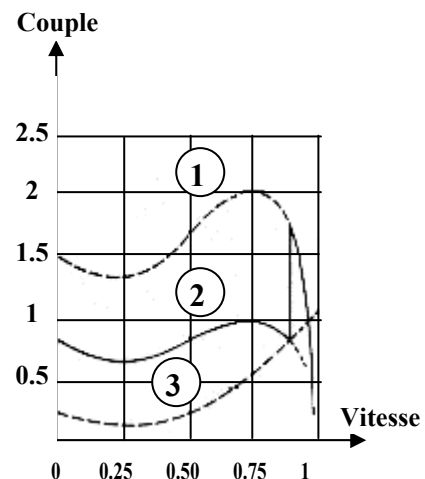
Ce type de moteur comporte un enroulement statorique dédoublé en deux enroulements parallèles avec six ou douze bornes sorties. Il est équivalent à deux « demi moteurs » d'égale puissance.

Lors du couplage du premier enroulement sur le réseau d'alimentation le « demi moteur » démarre en direct sous la pleine tension de réseau, ce qui divise le courant de démarrage et le couple par deux. Ce dernier est néanmoins supérieur au couple que fournirait un moteur à cage de même puissance démarrant en étoile triangle.

En fin de démarrage, un appareillage identique couple le second enroulement sur le réseau. A ce moment, la pointe de courant et faible et de courte durée, car le moteur n'a pas été séparé de réseau d'alimentation et n'a plus qu'un faible glissement. [1]



- ① Courant absorbé par le moteur 2eme temps
- ② 1^{er} temps (1/2 moteur)



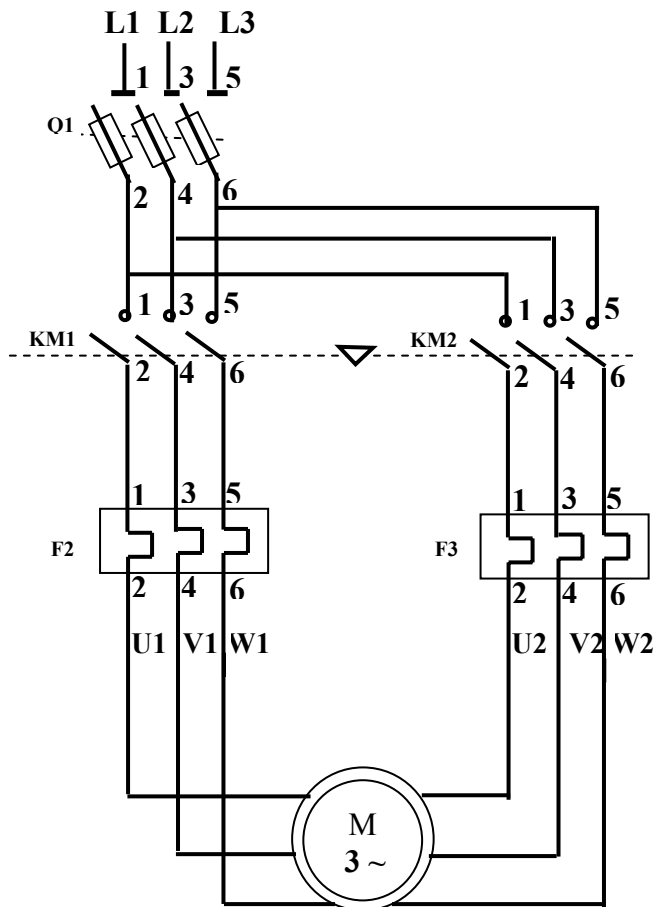
- ① Couple au 2eme temps (direct)
- ② Couple au 1^{er} temps
- ③ Couple résistant de la machine

Figure II -6- : caractéristiques couple/courant en fonction de la vitesse

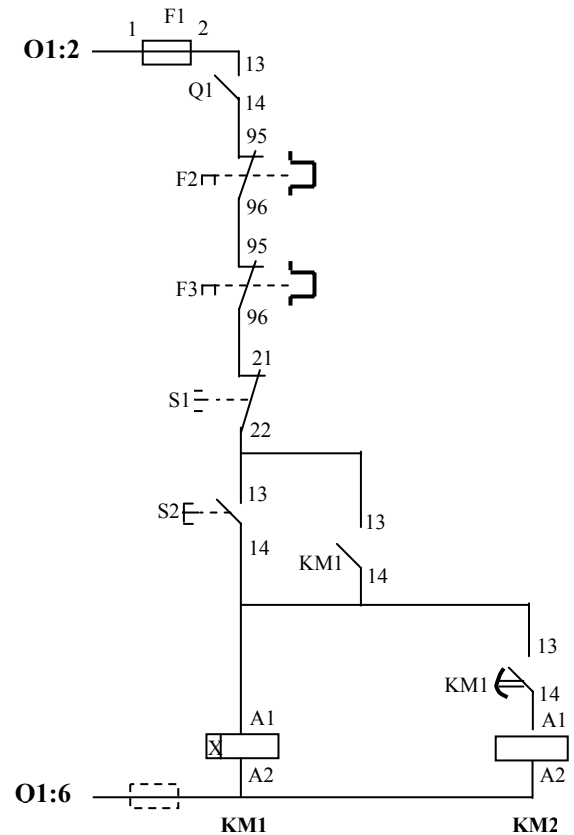
Démarreur part-winding

Avec bloc de contacts temporisé sur le contacteur KM1

- Circuit de puissance



- Circuit de commande

**Fonctionnement :****- Circuit de puissance :**

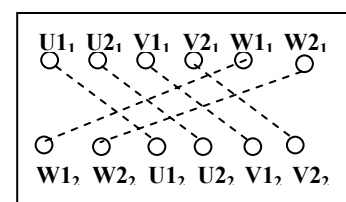
- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM2.

- Circuit de commande :

- Impulsion sur S₂.
- Excitation de KM1.
- Fermeture du contact KM1 (13-14) auto alimentation.
- Fermeture du contact temporisé KM1 (13-14).

- Arrêt :

- Par impulsion sur S₁.
- Par déclenchement du relais thermique F2 ou F3.
- Par fusion des fusibles.



Plaque à borne

- Protection :

- Par fusibles contre les court-circuit.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

- Avantages :

- Pointe d'intensité faible et de courte durée.
- Au moment du 2^{em} couplage le moteur n'est pas séparé du réseau.
- Faible glissement. [5]

II-9 Démarrage étoile –triangle :

Ce démarrage ne peut s'appliquer qu'aux moteurs dont les deux extrémités des trois enroulement du stator sont sorties sur la plaque à bornes et de le couplage triangle correspond à la tension de réseau (exemple : pour un réseau **380 V**, il faut un moteur **380 V** triangle/ **660 V** étoile).

Le procédé consiste à démarrer le moteur en connectant ses enroulements en étoile : ceux –ci se trouvent alors alimentés sous une tension du réseau divisée par $\sqrt{3}$ soit se environ **58%** de la tension nominale. Cette tension est constante pendant tout le premier temps. Le couple qui est réduit dans le rapport du carré de la tension est égal au tiers du couple fourni par le moteur démarrant en direct. Le courant dans la ligne d'alimentation est réduit dans la même proportion. Le courant à l'intérieur même de chaque enroulement est réduit seulement dans le rapport 0.58, mais il n'a pas à être pris en considération du point de vue de l'utilisation.

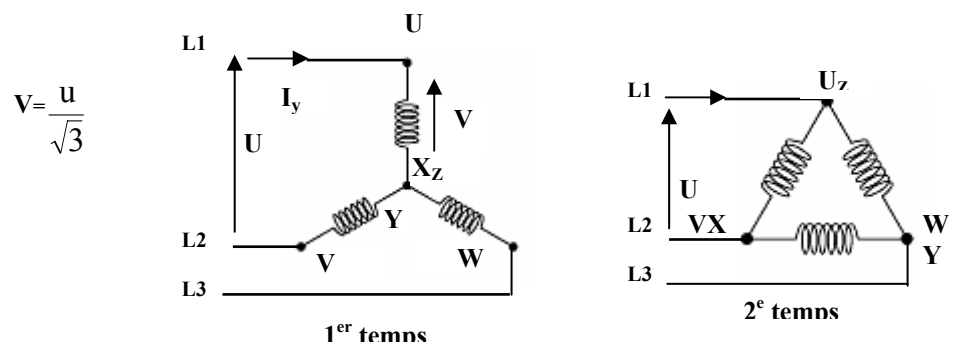
Les valeurs initiales typique sont pour le courant **2 In** et pour couple **0.5Cn**.

Le démarrage étoile- triangle convient donc bien au machines démarrant à vide ou à couple résistant faible.

Au second temps, la suppression de couplage étoile est suivie du couplage triangle. Chaque enroulement est alors alimenté sous la pleine tension du réseau : le moteur rejoint ses caractéristique naturelles.

Le couple moteur reste faible pendant tout le couplage « étoile » et la vitesse, stabilisée à la fin de ce temps. Peut être assez basse si le couple résistant de la machine est relativement élevé (par exemple dans le cas de d'une machine centrifuge). Il en résulte alors des pointes importantes de courant et de couple au passage étoile - triangle. Ces considérations peuvent conduire à renoncer au démarrage étoile–triangle pour des machines à des caractéristiques « centrifuges », surtout au-delà d'une certaine puissance (par exemple **55 KW**).

Par ailleurs, il faut remarquer que le courant qui traverse les enroulement du moteur est discontinu : en effet, il est interrompu au moment de l'ouverture du contacteur « étoile » pour se rétablir brutalement (sous la pleine tension de réseau), leur de la fermeture du contacteur « triangle ».



Etant donné les caractéristiques très inductives de ces enroulements. Le passage en triangle s'accompagne de pointes de courant transitoires très importantes au delà d'une certaine puissance. Il est donc conseillé soit de renoncer au démarrage étoile - triangle. Soit d'utiliser une variante permettant de limiter les phénomènes transitoires parmi ces variantes :

A - Etoile – triangle avec temporisation au passage étoile triangle

Nécessite une machine à couple résistant très faible d'inertie suffisante pour éviter une baisse de vitesse notable pendant la temporisation (en générale 1 à 2).

B - Démarrage en trois temps : étoile –triangle+résistance triangle

La coupure subsiste, mais une résistance est mise en série avec les enroulements couplés en triangle, pendant environ 3 secondes.

C - Démarrage « étoile –triangle sans coupure »

La résistance destinée à se trouver temporairement en série avec le couplage triangle est branchée immédiatement avant l'ouverture de contacteur étoile, afin d'éviter toute interruption du circuit. L'étude détaillée de ses variantes sortirait du cadre de cette présentation. [1]

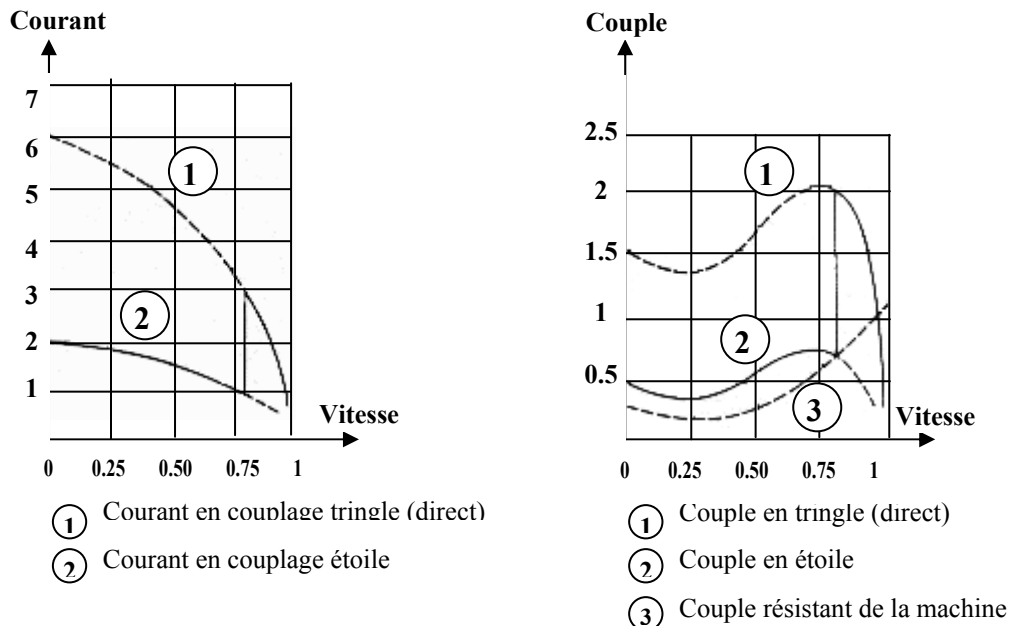
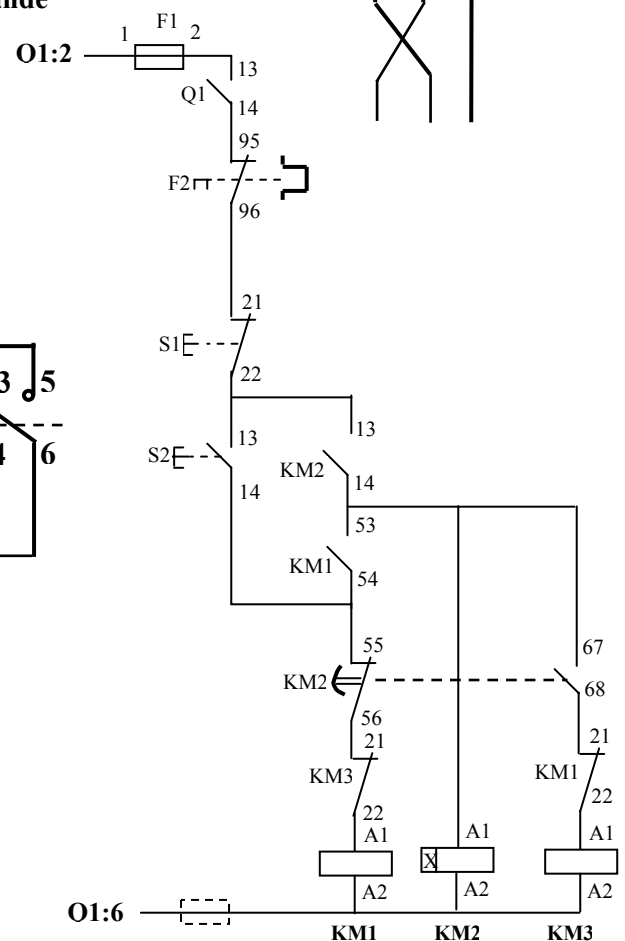
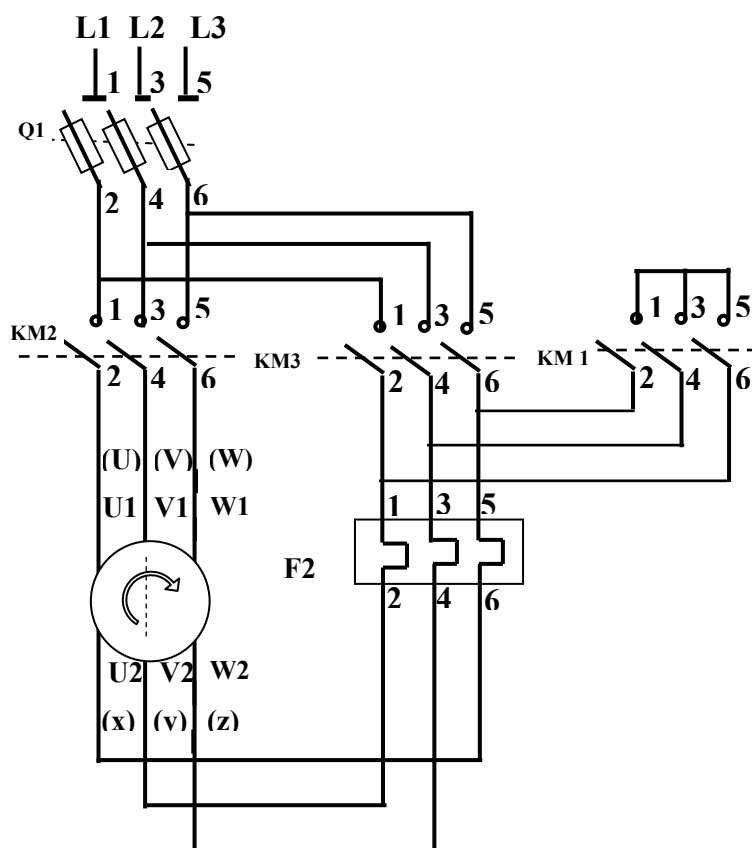


Figure II -7- : caractéristiques couple/courant en fonction de la vitesse

Avec bloc de contact temporisé sur le contacteur KM2

- Circuit de commande



-Fonctionnement :**- Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- fermeture de **KM 1** : couplage étoile.
- fermeture de **KM 2** : alimentation de moteur.
- ouverture de **KM 1** : élimination de couplage étoile.
- fermeture de **KM 3** : couplage triangle.

- Particularités :

La tension admissible dans les enroulements du moteur couplé en triangle doit correspondre à la tension du réseau d'alimentation.

- **Q1** : calibre **In** de moteur.
- **F2** : calibre (**In** moteur / $\sqrt{3}$).
- **KM1** : calibre (**In** moteur /3)
- **KM2-KM3** : calibre (**In** moteur / $\sqrt{3}$).

- Circuit de commande :

- Impulsion sur **S₂**.
- Fermeture de **KM1**.
- Fermeture de **KM2** par **KM1** (53-54).
- Auto alimentation de **KM1-KM2** par **KM2** (13-14).
- Ouverture de **KM1** par **KM2** (55-56).
- Fermeture de **KM3** par **KM1** (21-22) et **KM2** (67-68).

- Arrêt :

- Par impulsion sur **S₁**.
- Par déclenchement du relais thermique **F2** ou **F3**.
- Par fusion des fusibles.

- Protection :

- Par fusibles contre les court-circuit incorporé au sectionneur.
- Par relais thermique **F2** contre les surcharges faibles et prolongées.
- Fusible **F1** pour le circuit de commande.

- Courant :

$I_d = 1.3 \text{ à } 2.6 I_n$

(II -3)

- Couple :

$C_d = 0.2 \text{ à } 0.5 C_n$

(II -4)

- Avantages :

- Bon rapport couple /courant.
- Réduction importante de courant de démarrage

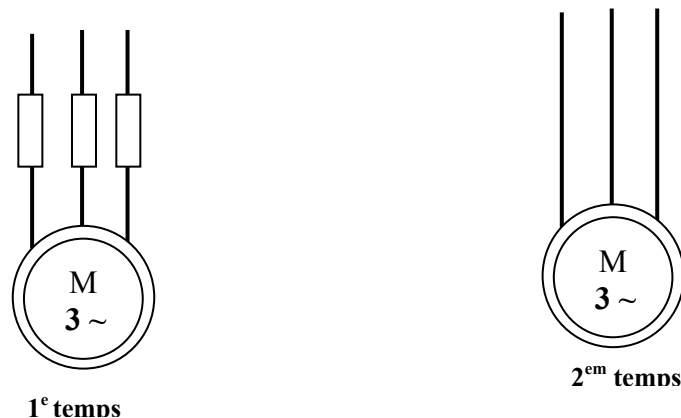
- Inconvénients :

- Couple au démarrage faible réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
- Coupure d'alimentation au changement de couplage, apparition de phénomènes transitoires.
- puissance limitée. [5]

II-10 Démarrage statorique à résistances :

L'alimentation sous tension réduite du moteur le premier temps, est obtenue par la mise en série avec chaque phase au stator d'une résistance qui est ensuite court-circuitée, généralement en un seul temps.

Les couplages électriques des enroulements vis à vis du réseau n'étant pas modifiés au cours du démarrage, le courant de démarrage parcourant la ligne d'alimentation n'est réduit que proportionnellement à la tension appliquée au moteur, tandis que le couple se trouve réduit comme le carré de celle-ci.



Le couple initial de démarrage est relativement faible (valeur typique **0.75 C_n**) pour une pointe de courant encore importante (valeur typique : **4.5 I_n**)

La tension appliquée aux bornes du moteur ne reste pas constante pendant la période d'accélération. Le courant, maximum lorsque le moteur est mis sous tension, diminue au fur et à mesure que le moteur accélère : la chute de tension aux bornes des résistances diminue et la tension aux bornes du moteur augmente progressivement.

Comme le couple est proportionnel au carré de la tension, les valeurs de couple obtenues sont plus élevées, pour un couple initial donné, qu'avec un système délivrant une tension réduite de valeur fixe. Les courbes de démarrage « statorique » et « étoile triangle », tracées pour des couples initiaux de démarrage même ordre, mettent nettement en évidence cette propriété.

Avec un démarrage étoile triangle du moteur entraînant une machine de type centrifuge, la vitesse atteinte à la fin du premier temps est de **80 %** environ de la vitesse nominale : le passage au deuxième temps se traduit par de forts à-coups de couple et de courant.

Avec un démarrage statorique par résistances, le passage sous pleine tension se fait pour une vitesse nettement plus élevée avec des pointes beaucoup plus faibles.

La mise en vitesse est progressive et sans à-coups il est possible d'ailleurs de modifier les valeurs de courant et de couple de démarrage en adaptant la résistance.

Le démarrage statorique à résistances convient donc bien pour démarrer des machines à couple résistant croissant ou voisin de la moitié du couple nominal, y compris les machines puissantes et de forte inertie. [1]

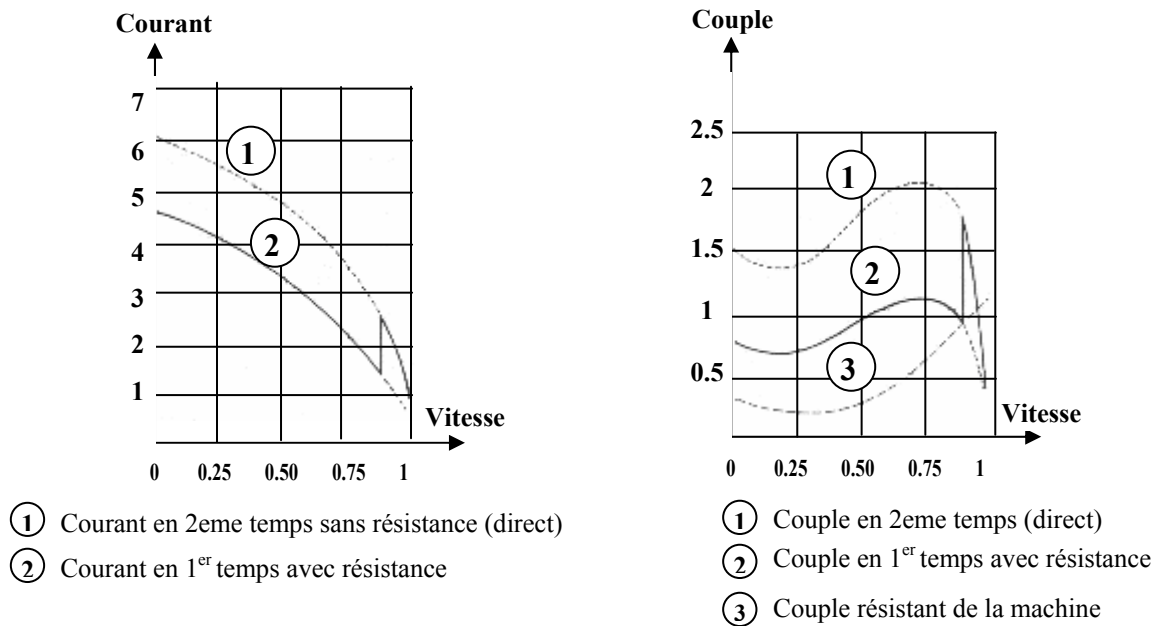
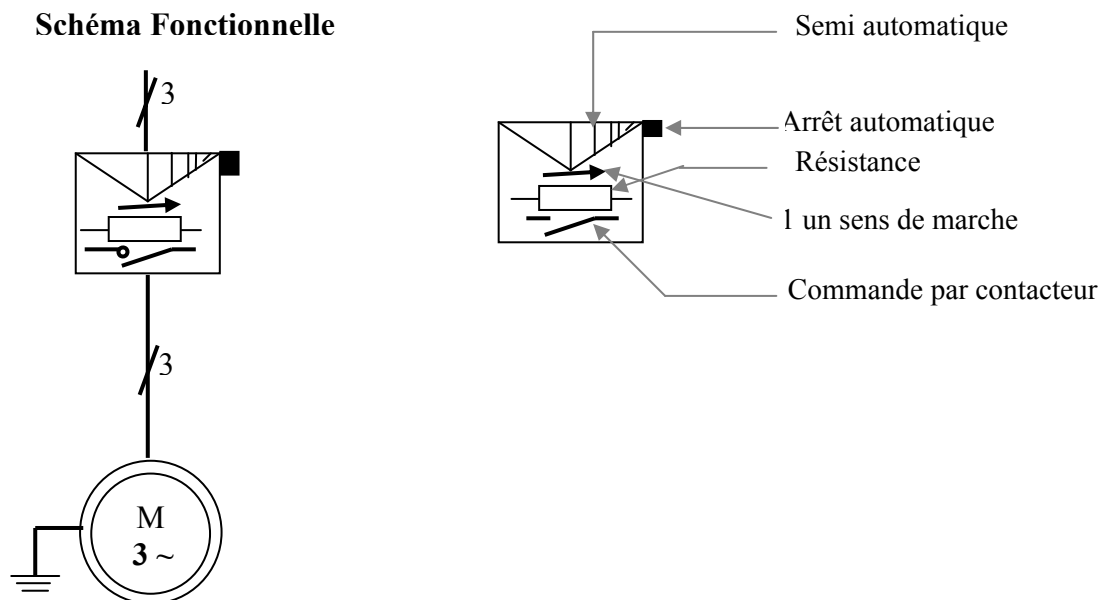


Figure II -8- : caractéristiques couple/courant en fonction de la vitesse

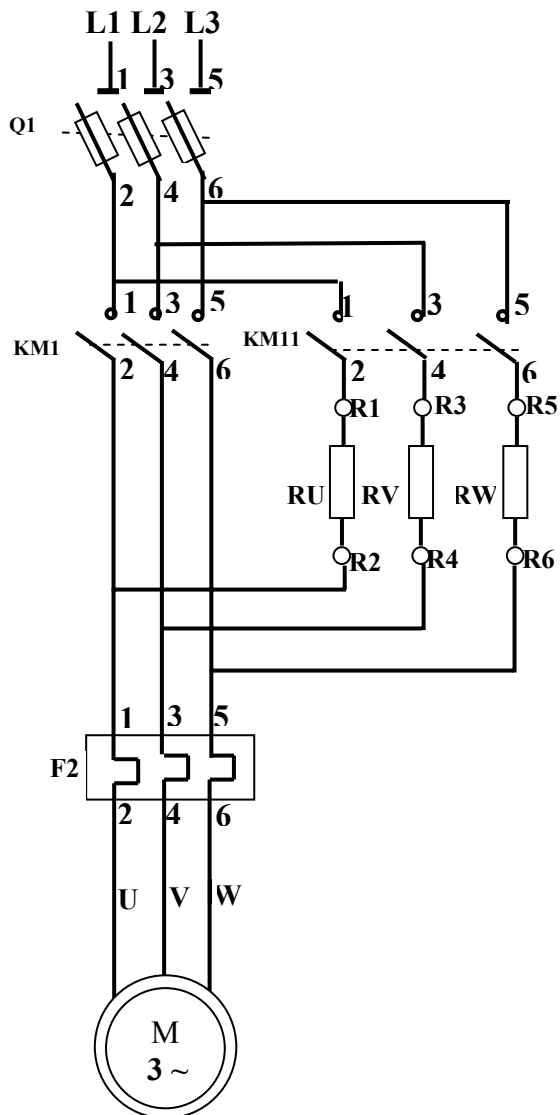
II-10-1 Démarreur statorique (un sens de marche) :

Deux contacteurs de calibre différent

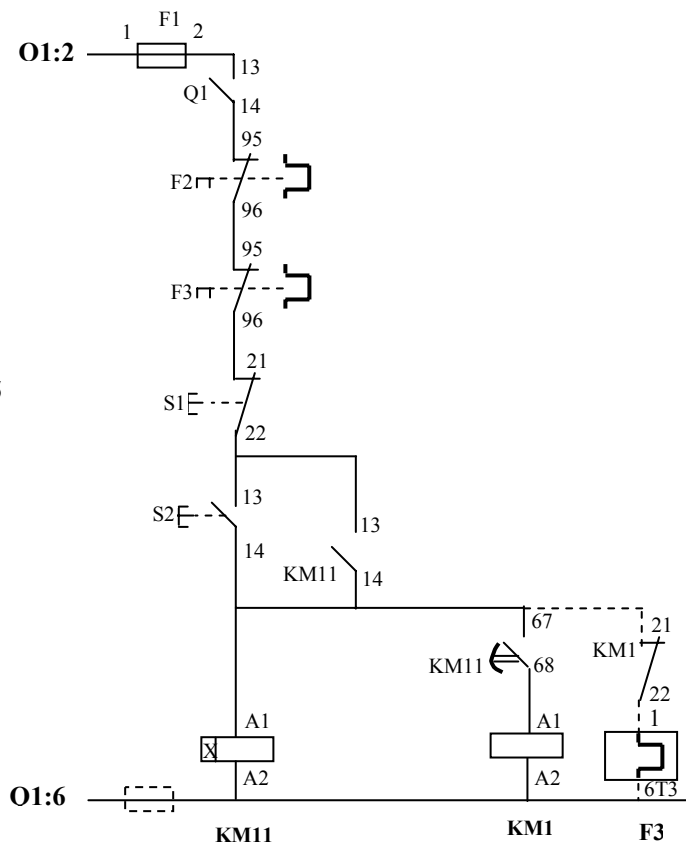
Avec bloc de contacte temporisé sur le contacteur KM11



- Circuit de puissance



- Circuit de commande



-Fonctionnement :

- Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM11** (mise sous tension de moteur et insertion des résistances).
- fermeture de **KM1** (court-circuitage des résistances, couplage direct du moteur)

- Particularités :

- **Q1** : calibre **In** moteur.
- **KM11** : calibre (**In** moteur)/2.
- **KM1** : calibre **In** moteur.
- **F2** : calibre **In** moteur.

- Circuit de commande :

- Impulsion sur S_2 .
- Fermeture de **KM11**.
- Auto alimentation de **KM11** et alimentation de relais temporisateur Thermique **F3**.
- Fermeture de **KM1** par **KM11** (67-68).
- Elimination de **F3** par **KM1** (21-22).

- Arrêt : Impulsion sur S_1 **- Protection :**

- Par fusibles **F1** contre les courts-circuits.
- Par relais thermique **F2** contre les surcharges faibles et prolongées.
- F3 contre les démarrages fréquents et incomplets.

- Courant :

$$I_d = 4.5 I_n$$

(II -5)

- Couple :

$$C_d = 0.6 \text{ à } 0.85 C_n$$

(II -6)

- Avantages et inconvénients :

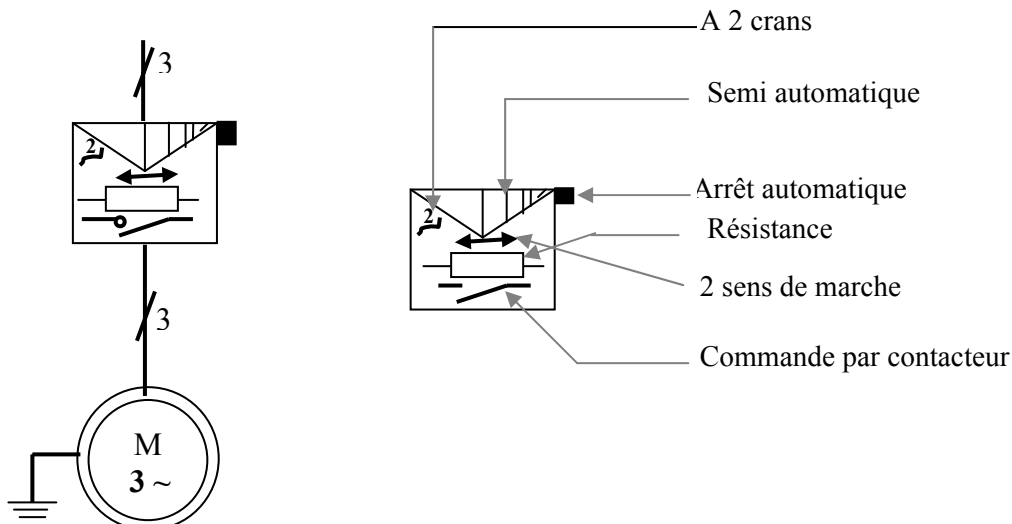
La tension appliquée aux bornes du moteur varie pendant le démarrage, le courant est maximum et diminue au fur et à mesure que le moteur accélère. Le couple est proportionnel au carré de la tension

$$C = K U^2$$

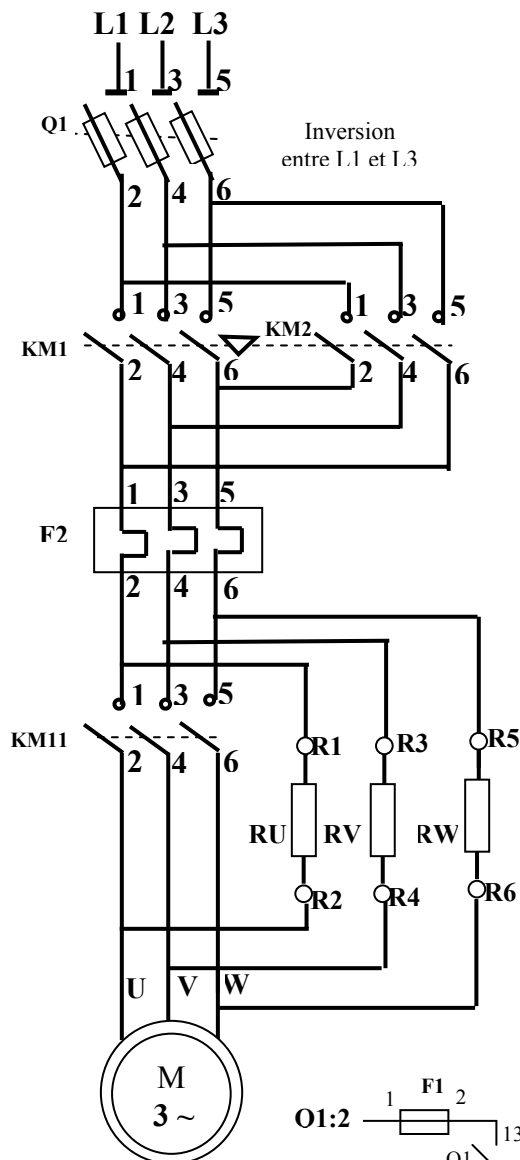
(II -7)

- Emploi :

Il convient aux machines dans lesquelles le couple de démarrage est plus faible que le couple normal de fonctionnement, le cas des machines à bois, machines outils, ventilateur, turbine et levage. [5]

II-10-2 Démarreur inverseur statique :**Schéma Fonctionnelle**

- Circuit de puissance



- **Fonctionnement :**

➤ **Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM1** ou **KM2** (mise sous tension de moteur et insertion des résistances).
- fermeture de **KM11** (court-circuitage des résistances, couplage direct du moteur)

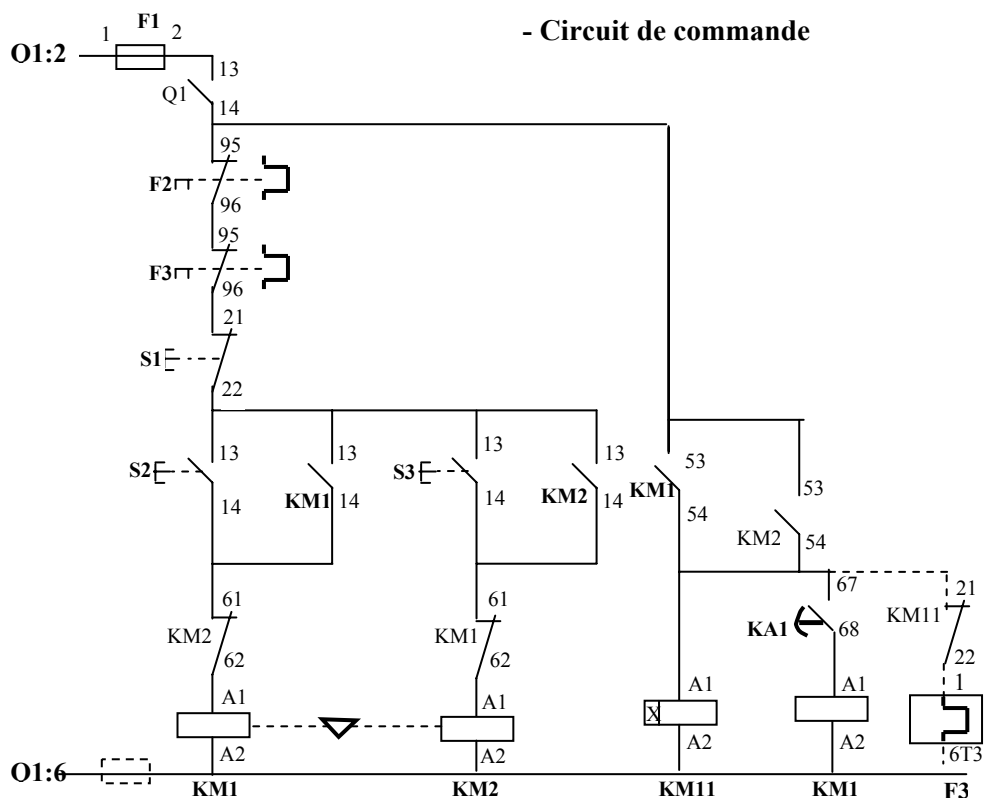
➤ **Particularités :**

- **Q1** : calibre **In** moteur.
- **KM1-KM2** : calibre **In** moteur.
- **KM11** : calibre **In** moteur.
- **F2** : calibre **In** moteur.

➤ **Circuit de commande :**

- Impulsion sur **S2** ou **S3**.
- Fermeture de **KM1** ou de **KM2**.
- Verrouillage de **KM2** ou de **KM1** (61-62).
- Auto –alimentation de **KM1** ou **KM2** (13-14).
- Fermeture de **KA1** par **KM1** ou **KM2** (53-54), et alimentation de relais Temporisateur thermique F3.
- Fermeture de **KM11** par **KA1** (67-68).
- Elimination de **F3** par **KM11** (21-22).

- Circuit de commande



- Arrêt :

- Impulsion sur S_1 .
- Par fusion fusible **F1**.
- Par déclenchement de relais thermique **F2** ou **F3**.

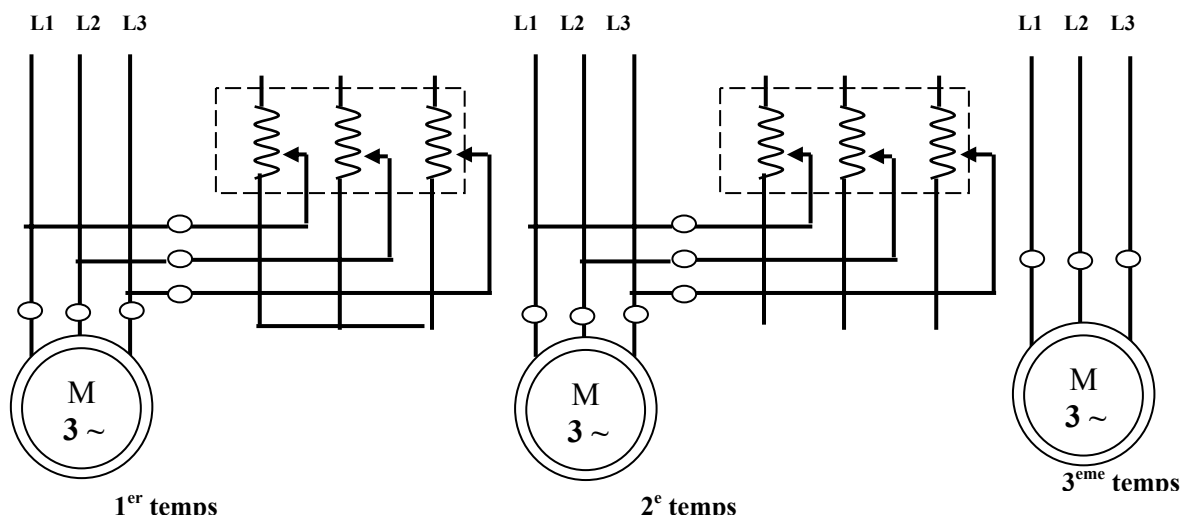
- Protection :

- Par fusibles **F1** contre les courts-circuits.
- Par relais thermique **F2** contre les surcharges faibles et prolongées.
- **F3** contre les démarrages fréquents et incomplets. [5]

II-11 Démarrage par auto- transformateur :

Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire d'un autotransformateur, lequel est mis hors circuit lorsque le démarrage est terminé. Le démarrage s'effectue en trois temps :

- étioilage de l'auto- transformateur, puis fermeture du contacteur de ligne, le moteur démarre sous tension réduite.
- ouverture du point neutre, une fraction d'enroulement de l'autotransformateur, insérée en série avec chaque phase du stator, se comporte comme une inductance.
- un troisième contacteur couple le moteur sous la pleine tension du réseau et provoque l'ouverture des deux premiers contacteurs de démarrage. [1]



Avec ce dispositif, le moteur n'est jamais séparé du réseau d'alimentation : le courant n'est plus interrompu et les phénomènes transitoire sont supprimés, toutefois, afin d'éviter un ralentissement trop important lors du deuxième temps de démarrage, l'inductance des enroulements de l'autotransformateur doit être faible et adaptée au moteur.

Pour obtenir la valeur convenable d'inductance, il est pratiquement nécessaire de prévoir un autotransformateur dont le circuit magnétique comporte un entrefer. Le deuxième temps, principalement destiné à amortir les transition électrique, est généralement choisi de durée très brève (une fraction de seconde).

Au cours du premier temps, le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension et le courant en ligne dans un rapport très voisin, légèrement plus élevé du fait du courant magnétisant de l'autotransformateur. (Le courant à l'intérieur de chaque enroulement c'est-à-dire au secondaire de l'auto transformateur, est réduit seulement dans le rapport de la tension, mais là encore, il n'a pas à être pris en considération du point de vue de l'utilisation).

Ce mode de démarrage est surtout utilisé pour les moteurs de grande puissance, par rapport au démarrage statorique il permet d'obtenir un couple plus élevé avec une pointe de courant plus faible. En outre plusieurs prises étant prévues sur l'auto –transformateur, il est possible d'ajuster la tension de démarrage en fonction de la machine entraînée. [1]

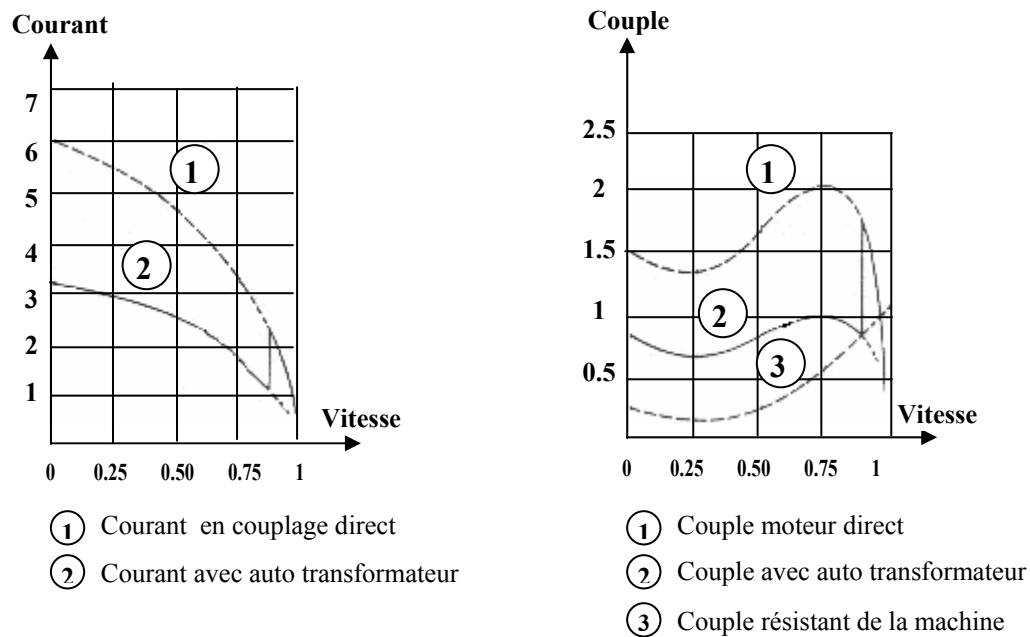
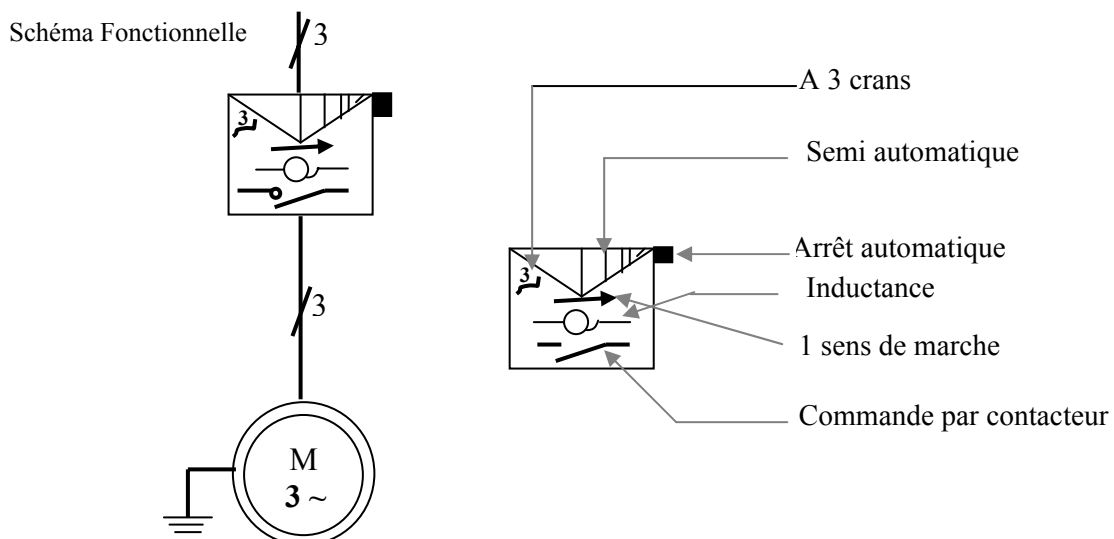
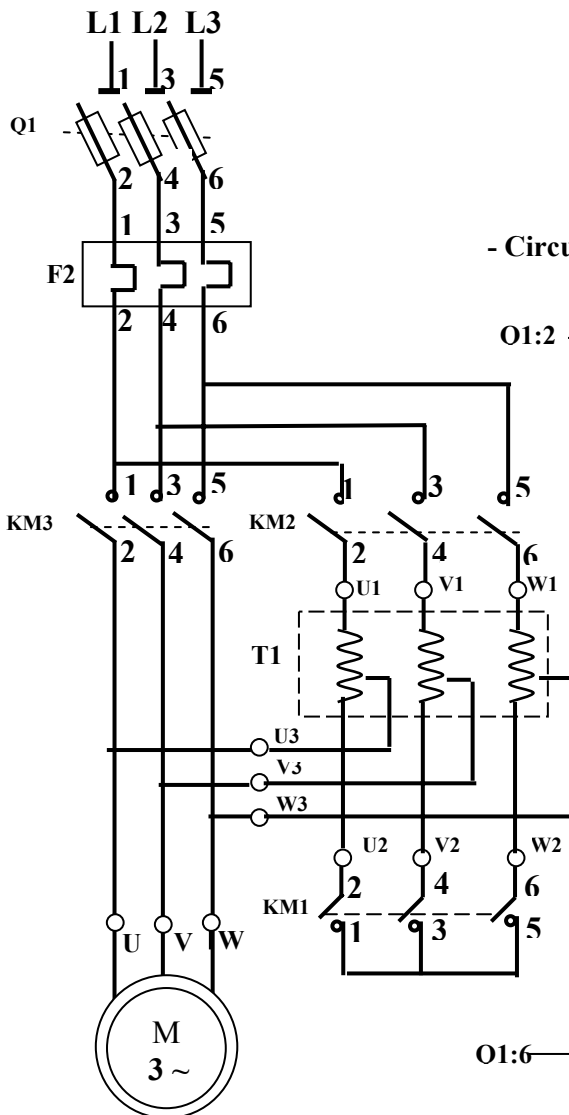


Figure II -9- : caractéristiques couple/courant en fonction de la vitesse

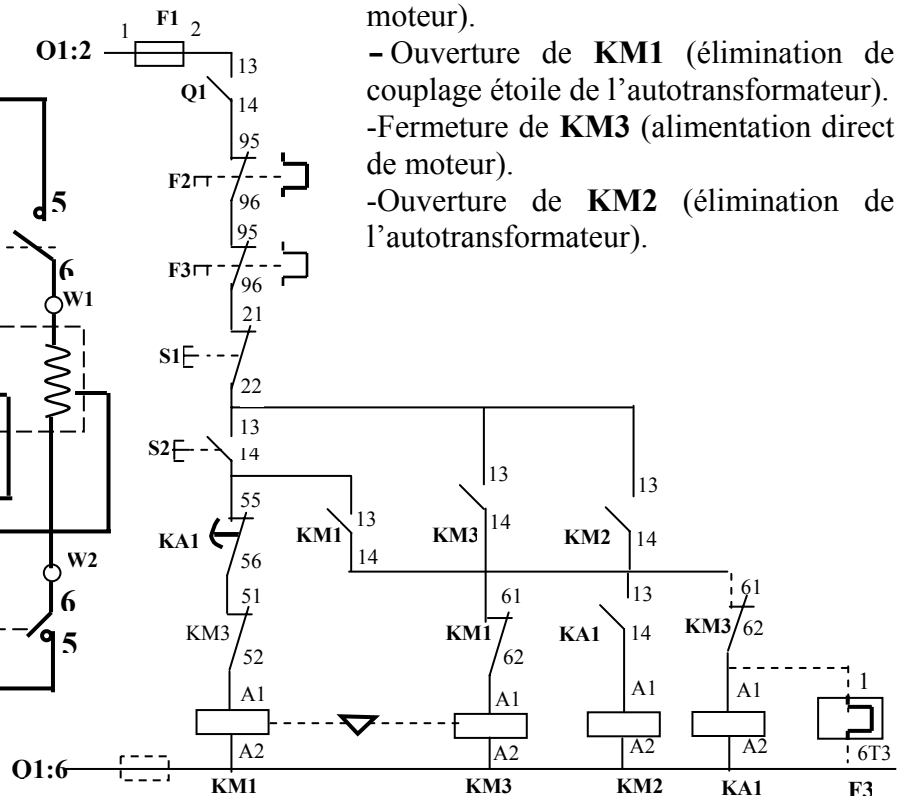
II-11-1 Démarreur par autotransformateur :



- Circuit de puissance



- Circuit de commande



Fonctionnement :

Circuit de puissance :

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM1** (couplage étoile de l'autotransformateur).
- Fermeture de **KM2** (alimentation de l'autotransformateur, démarrage de moteur).
- Ouverture de **KM1** (élimination de couplage étoile de l'autotransformateur).
- Fermeture de **KM3** (alimentation direct de moteur).
- Ouverture de **KM2** (élimination de l'autotransformateur).

Particularités :

- **Q1** : calibre **In** moteur.
- **KM1-KM2-KM3** : calibre **In** moteur.
- **F2** : calibre **In** moteur.

Arrêt :

- Impulsion sur **S1**.

Courant : $I_d = 1.7 \text{ à } 4 I_n$ (II -8)

Couple : $C_d = 0.4 \text{ à } 0.85$ (II -9)

Circuit de commande :

- Impulsion sur **S2**.
- Fermeture de **KM1**.
- Verrouillage de **KM3** par **KM1** (61-62).
- Fermeture de **KA1** par **KM1** (13-14), et alimentation de relais temporisateur Thermique **F3**.
- Fermeture de **KM2** par **KA1** (13-14).
- Auto- alimentation de **KM2** (13-14).
- Ouverture de **KM1** par **KA1** (55-56).
- Fermeture de **KM3** par **KM1** (61-62).
- Verrouillage de **KM1** par **KM3** (51-52).
- Auto alimentation de **KM3** (13-14).
- Ouverture de **KA1** par **KM3** (61-62).
- Elimination de **F3** par **KM3** (61-62).
- Ouverture de **KM2** par **KA1** (13-14).

Avantages :

- Bonne rapport couple / courant.
- Possibilité de réglage des valeurs au démarrage.
- Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.

Inconvénients :

- Auto transfo onéreux pour les puissances **< 37 KW**.
- Encombrement importante.

Emploi :

Il s'emploie généralement pour les grand moteurs.

L'autotransformateur à d'habitude **3** modes de connexion correspondant respectivement à **55,65** et **75%** de la tension nominale.

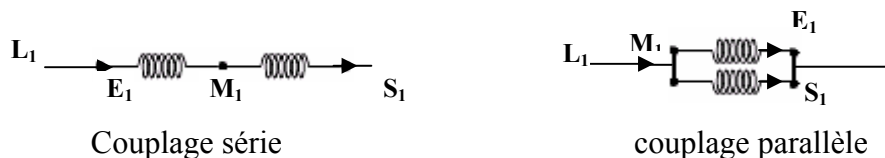
- Machines de forte puissance ou de forte inertie.
- Dans le cas ou la réduction de la pointe de courant est un critère importante.
- Compresseur industriel. [5]

II-12 Réglage de vitesses des moteurs asynchrones à cage :

Nous avons vu que la vitesse d'un moteur à rotor à cage est fonction de la fréquence de réseau d'alimentation et du nombre de pôles, il est donc possible d'obtenir un moteur à deux ou plusieurs vitesse en créant dans le stator des combinaisons de bobinage qui correspondent à des nombres de pôles différents.

II-12-1 Moteur à couplage de pôles :

Chaque enroulement comprend deux bobines couplées en série ou en parallèle.



Il y a deux fois plus de pôles dans le cas de l'association séries des deux bobines de l'enroulement, ce qui donnera une vitesse (**PV**) deux fois plus petite que dans le cas d' une association en parallèle (**GV**) de ces deux même bobines.

Les trois enroulements restent néanmoins couplé entre eux soit en étoile soit en triangle.

Pour chaque vitesse, **2** solutions s'offrent :

PV (petite vitesse)
Triangle série
Etoile série

GV (grande vitesse)
Triangle parallèle
Etoile parallèle

Le couplage le plus utilisé est : triangle série (PV), étoile parallèle (GV). Il porte le nom de couplages « **Dahlander-Lindstrom** » figure (II -10).

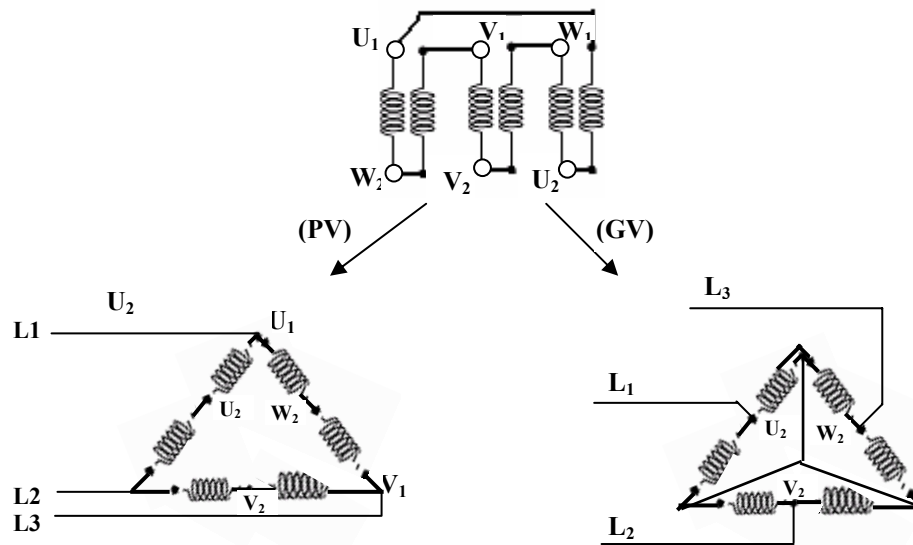


Figure II -10: couplage « **Dahlander-Lindstrom** »

Ce couplage fournit une puissance en grande vitesse deux fois supérieure à la puissance en petite vitesse.

Le couple utile est donc constant, quelle que soit la vitesse utilisée (formule : $P = CW$). Si $P \times 2$ et $W \times 2$ le couple est constant. Il est conseillé, si les conditions d'exploitation le permettent, de démarrer le moteur en PV car le courant est plus faible. [6]

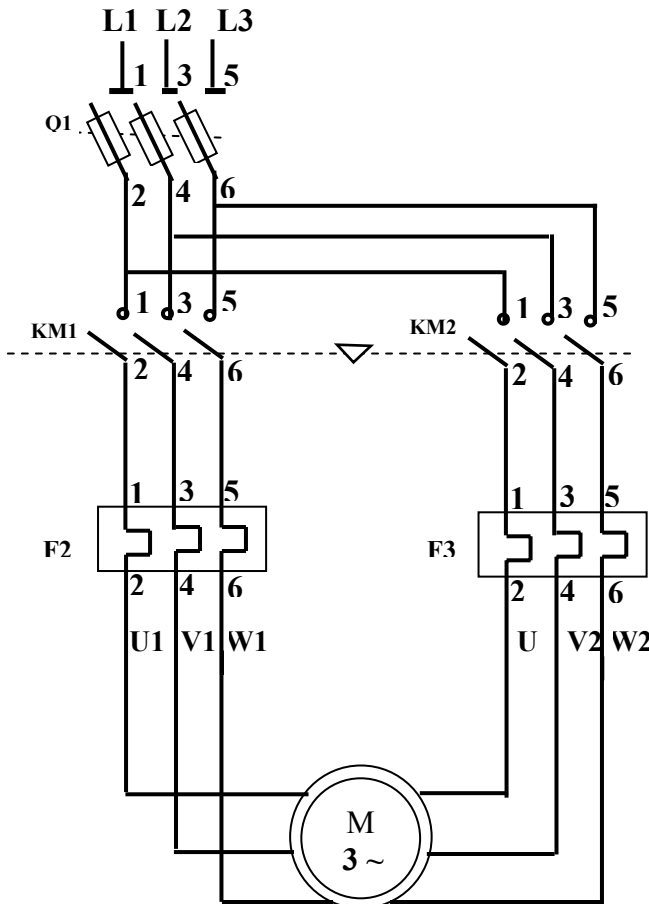
II-12-2 Moteur 2 vitesses à enroulements statoriques séparés :

Ce type de moteur comporte deux ou trois enroulements statoriques électriquement indépendants. Chaque enroulement représente en somme un moteur distinct, auquel correspond une vitesse donnée. Les vitesses sont dans un rapport quelconque. Seule la partie de cuivre correspondant à la vitesse que est mise en service est utilisée, l'autre partie restant inutilisée. L'un des bobinages est nécessairement situé en fond d'encoche, donc éloigné du rotor, ce qui provoque un mauvais rendement. Pour une puissance et une vitesse données, ce moteur a un volume et un poids de 1.5 à 2 fois plus importants qu'un moteur normal. Il a aussi, de ce fait, un mauvais facteur de puissance. [6]

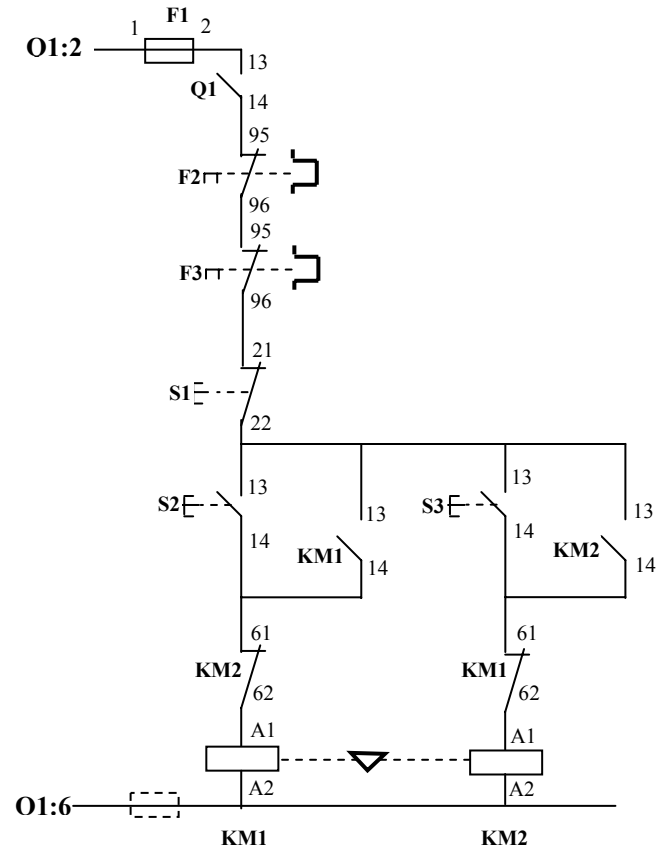
II-12-2-1 Démarreur moteur à deux vitesses à enroulements séparés :

Passage de PV en GV ou inversement, en passant par arrêt

- Circuit de puissance



- Circuit de commande



- Fonctionnement :

- Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 ou KM2.

- Particularités :

- Q1 : calibre In la plus élevée
- KM1 : calibre In moteur en PV
- KM2 : calibre In moteur en GV
- F2 : calibre In moteur en PV
- F3 : calibre In moteur en GV
- Not : par fois In moteur en PV > In moteur en GV

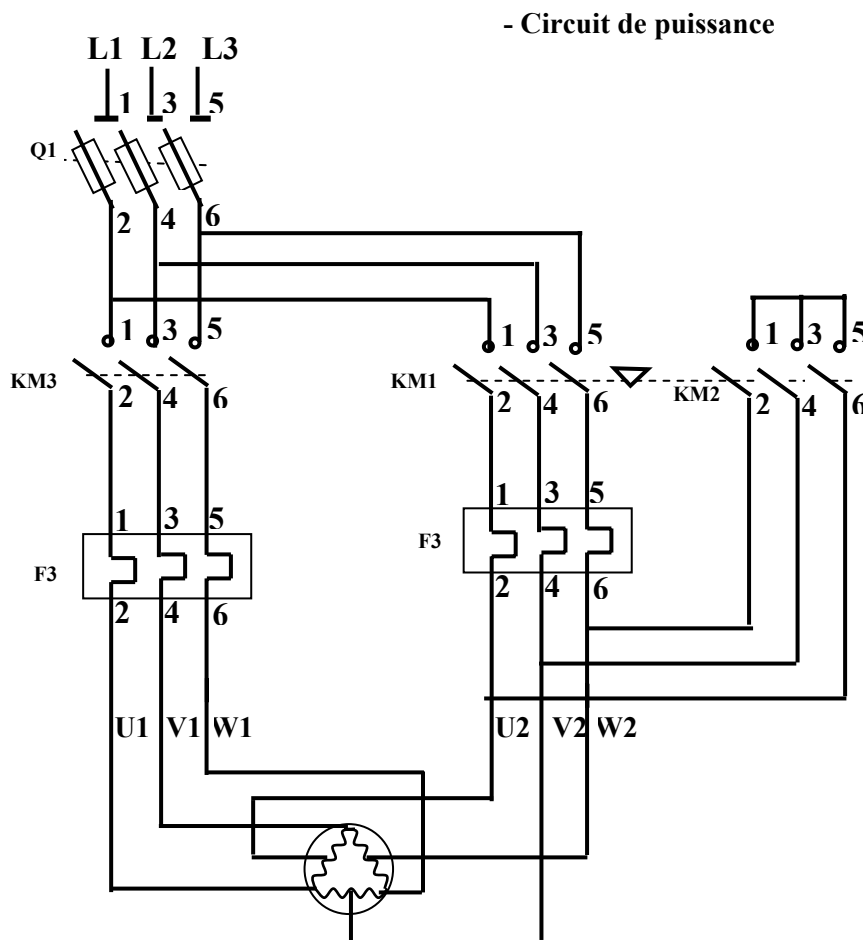
Circuit de commande

- Impulsion sur **S2**.
- Fermeture de **KM1**.
- Verrouillage de **KM2** par **KM1** (61-62).
- Auto – alimentation de **KM1** (13-14).

OÙ

- Impulsion sur **S3**.
- Fermeture de **KM2**.
- Verrouillage de **KM1** par **KM2** (61-65).
- Auto- alimentation de **KM2** (13-14).
- Arrêt : impulsion sur **S1**. [5]

II-12-2-2 Démarreur moteur à deux vitesses, à couplage de pôles Couple constant - dahlander



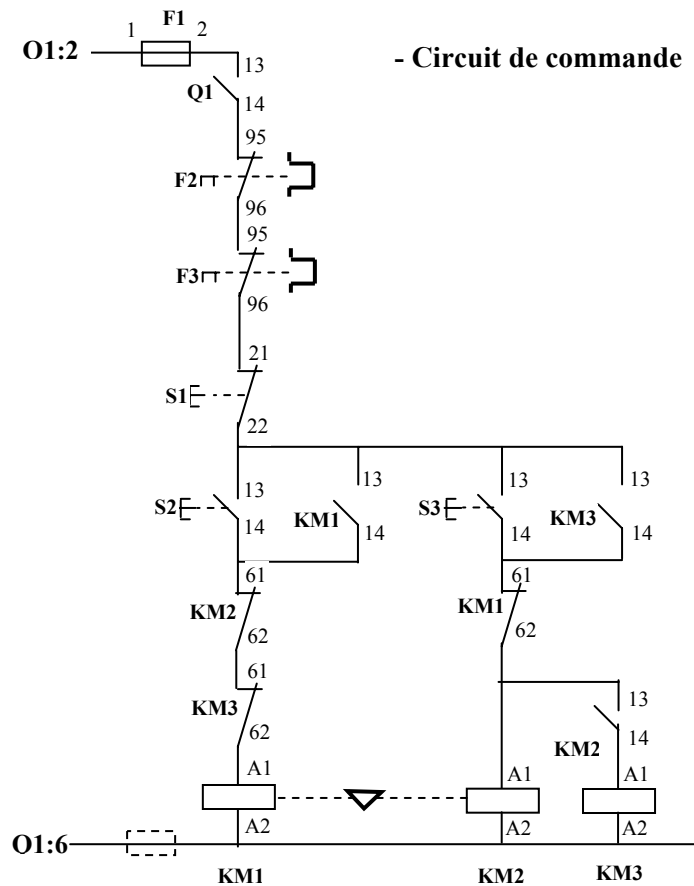
- Fonctionnement :

- Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de **Q1**.
- Fermeture de **KM1** : démarrage du moteur en **PV**
- Fermeture de **KM2** : couplage étoile des bornes **PV** du moteur
- Fermeture de **KM3** : démarrage du moteur en **GV**

- Particularités :

- **Q1** : calibre **In** moteur la plus élevé
- **KM1** : calibre **In** moteur en **PV**
- **KM2-KM3** : calibre **In** moteur en **GV**
- Verrouillage électrique et mécanique entre **KM1** et **KM2**.
- **F2** : calibre **In** moteur en **PV**
- **F3** : calibre **In** moteur en **GV**



- Circuit de commande

- Impulsion sur **S2**.
- Fermeture de **KM1**.
- Verrouillage de **KM2** et **KM3** par **KM1** (61-62).
- Auto – alimentation de **KM1** (13-14).

OÙ

- Impulsion sur **S3**
- Fermeture de **KM2**.
- Verrouillage de **KM1** par **KM2** (61-62).
- Fermeture de **KM3** par **KM2** (13-14).
- Verrouillage de **KM1** par **KM3** (61-62).
- Auto alimentation de **KM2** et **KM3** par **KM3** (13-14).
- Arrêt : impulsion sur **S1**. [5]

II-13 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné les différents types des moteurs à cage, et son principe de fonctionnement. On a plus nous avons étudié les différents modes de démarrage utilisés pour diminuer les courants et les couples de démarrage, il existe différentes commutations et méthodes:

- Démarrage étoile triangle
- Démarrage part-winding
- Démarrage par autotransformateur
- Démarrage statique
- Démarrage multi vitesses

Dans le chapitre suivant on donne les différents procédés de démarrage des moteurs asynchrones triphasés à cage.