

09/10/2018

FASCICULE DE TECHNOLOGIE DES APPAREILLAGES ET SCHEMAS ELECTRIQUES

Ingénieur GUELMBAYE IVES

Table de matières

Chapitre 1. LES SYMBOLES ELECTRIQUES.....	5
I. LES DEFINITIONS	5
1. Schéma Electrique	5
2. Technologie d'appareillage.....	5
II. STANDARDISATION DES SYMBOLES ELECTRIQUES.....	6
Chapitre 2. LES APPAREILS D'ISOLEMENT.....	8
I. SECTIONNEUR	8
Chapitre 3. LES APPAREILS DE PROTECTION DE CIRCUIT	9
I. LES FUSIBLES	9
II. LE DISJONCTEUR	10
Chapitre 4. LES APPAREILS DE COMMANDE	16
I. LES APPAREILS DE COMMANDE MANUELLE	16
1. Les interrupteurs	16
2. Boutons poussoirs	17
3. Les commutateurs :.....	18
II. LES APPAREILS DE COMMANDE AUTOMATIQUE	18
1. Détecteurs	18
2. Capteur.....	19
III. LES ORGANES DE COMMANDE	20
1. Les contacteurs.....	20
2. Relais électriques	21
3. Discontacteur	24
Chapitre 5. SCHEMAS DE BASE	24
I. Commande de contacteur	24
1. Commande manuelle	24
II. Commande semi-automatique par bouton-poussoir : marche – arrêt.....	24
1. Source d'alimentation alternative	24
2. Source d'alimentation continue	25
Chapitre 6. VERROUILLAGE DE CONTACTEUR.....	26
I. Verrouillage électrique de deux contacteurs	26
II. Verrouillage mécanique de deux contacteurs	27
Chapitre 7. DEMARRAGE DE MOTEURS ASYNCHRONES.....	28
I. PRINCIPE	28
II. PROCEDES DE DEMARRAGE	28
III. BRANCHEMENTS DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES	28
IV. SOLUTIONS GENERALES AUX PROBLEMES DE DEMARRAGES :	29
V. DEMARRAGE DIRECT	30

1.	Principe :	30
2.	Démarrage manuel, un sens de marche.....	30
3.	Démarrage manuel 2 sens de marche.....	31
VI.	DEMARRAGE ETOILE – TRIANGLE	33
1.	Principe	33
2.	Caractéristiques techniques.....	33
3.	Démarrage étoile/triangle semi-automatique un sens de marche :	34
4.	Démarrage étoile/triangle semi-automatique 2 sens de marche.....	37
VII.	DEMARRAGE PAR ELIMINATION DES RESISTANCES STATORIQUES : ...	40
1.	Principe :	40
2.	Caractéristiques techniques :.....	40
3.	Démarrage statorique, semi-automatique un sens de marche :	40
4.	Démarrage statorique, semi-automatique, deux sens de marche :	43
VIII.	Démarrage par élimination de résistances rotoriques :	45
1.	Principe :	45
2.	Caractéristiques techniques :	45
3.	Démarrage rotorique, semi-automatique un sens de marche :	46
IX.	DEMARRAGE PAR AUTOTRANSFORMATEURS:	50
1.	Principe :	50
2.	Caractéristiques techniques :	50
3.	Démarrage semi-automatique par auto-transformation, un sens de marche :	51
Chapitre 8. PROCÉDES DES FREINAGES DES MOTEURS ASYNCHRONES		
TRIPHASES 54		
I.	FREINAGE A CONTRE-COURANT :	54
1.	Principe	54
2.	Schémas :	55
3.	Inconvénients :	55
4.	Avantage:	55
II.	FREINAGE PAR INJECTION DU COURANT CONTINU	56
1.	Schémas :	56
2.	Avantage :	56
3.	Inconvénients :	56
III.	Freinage mécanique :	56
1.	Schéma :	57
Chapitre 9. CALCUL DES TEMPS DES DIFFERENTS PROCÉDES DE DEMARRAGE		
57		
1.	Temps de démarrage direct	57
2.	Emarrage Etoile Triangle	58

3.	Démarrage par élimination de résistances statoriques	58
4.	Démarrage par élimination des résistances rotoriques.....	58
5.	Démarrage par autotransformateur	58
Chapitre 10. PROTECTION DES MACHINES ELECTRIQUES		58
I. PROTECTION INTERNE DU MOTEUR		59
II. PROTECTION EXTERNE DU MOTEUR		59
1.	Sectionnement.....	59
2.	Protection contre les surcharges.....	59
3.	Coupure de sécurité ou arrêt d'urgence	59
4.	Protection contre les courts-circuits	59

Chapitre 1. LES SYMBOLES ELECTRIQUES

I. LES DEFINITIONS

1. Schéma Electrique

Le schéma électrique est une représentation symbolique et conventionnelle des installations électriques. Il représente les différentes liaisons entre les éléments d'une installation, d'un appareil ou d'un ensemble d'appareil.

On distingue plusieurs catégories de schémas :

- le schéma fonctionnel,
- le schéma de circuit ou de principe
- le schéma d'équivalence.

Cependant il y a une différence entre le schéma, le diagramme et le tableau.

- ✓ Diagramme: il aide la compréhension d'un schéma en donnant des informations complémentaires. il facilite l'analyse d'action nécessaire en précisant la valeur des intervalles de temps entre celles-ci.
- ✓ Tableau : un tableau complète ou remplace un schéma, il permet de préciser :
 - l'emplacement des parties d'une installation
 - le raccordement électrique entre les différents éléments

2. Technologie d'appareillage

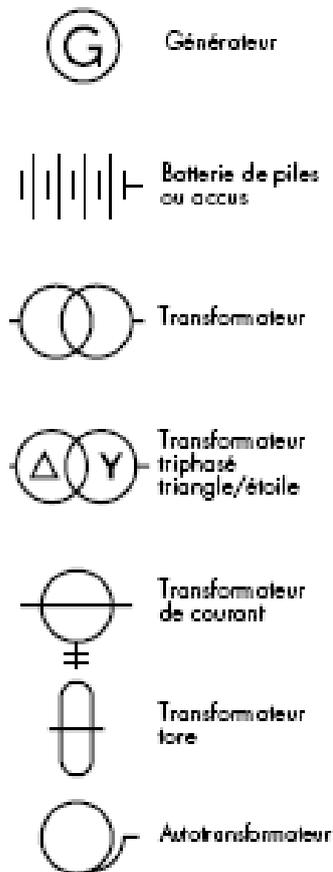
C'est l'étude des matériels utilisés pour les installations comme protecteur électrique dans les réseaux électriques, les usines

Un appareil doit assurer les quatre (4) fonctions de base suivantes :

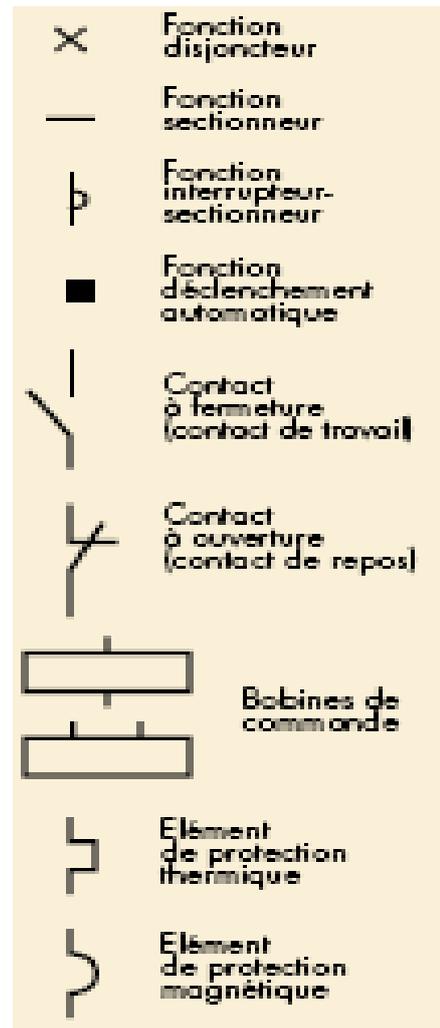
- a) le sectionnement : réalise les connexions entre les circuits,
- b) la commande : établit ou coupe le courant,
- c) la protection : protège les personnes, les animaux et biens,
- d) le contrôle : règle, mesure des grandeurs électriques.

II. STANDARDISATION DES SYMBOLES ELECTRIQUES

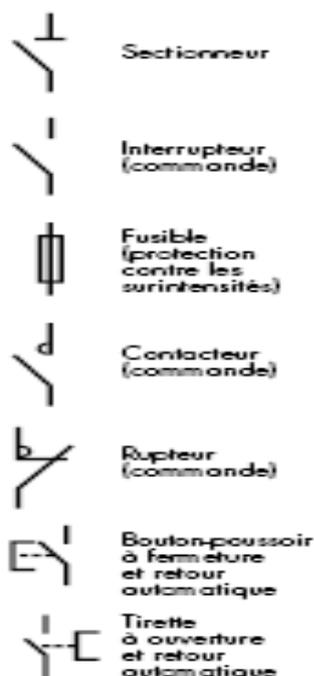
Appareils de production et de transformation Fonctions de l'appareillage

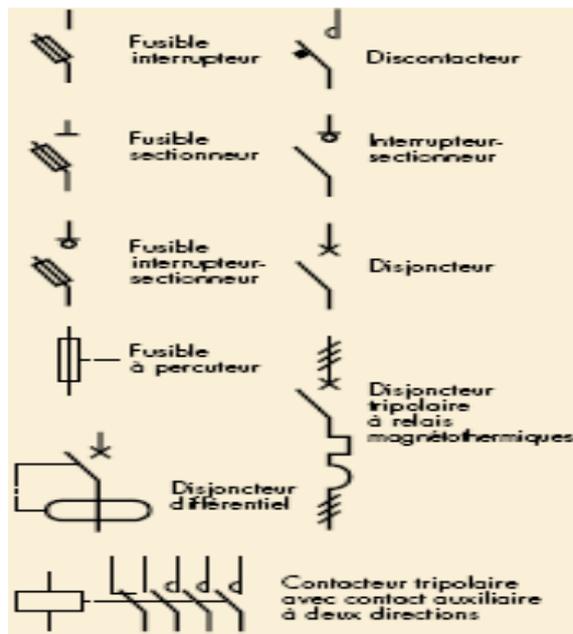


Appareillage à fonction simple



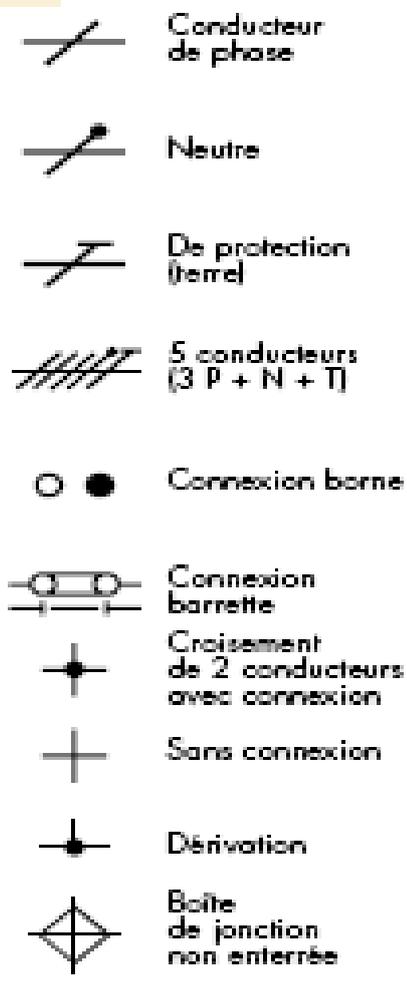
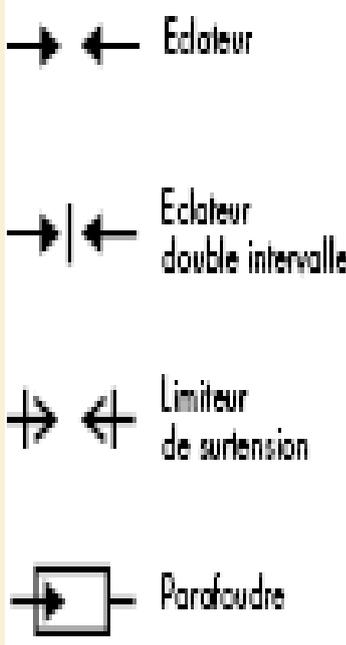
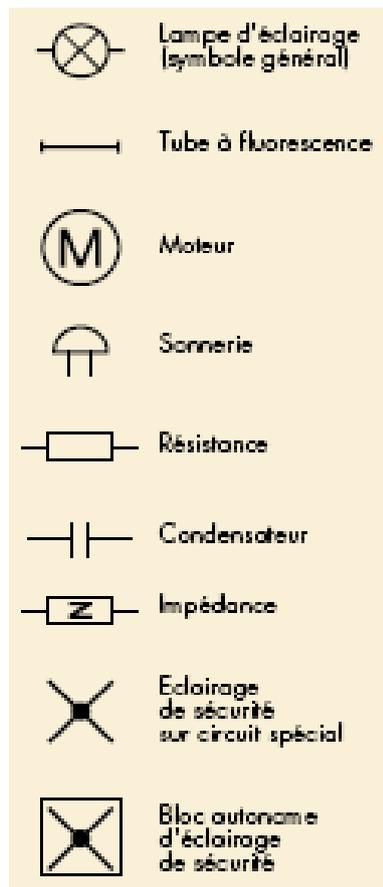
Appareillage à fonction multiple





Appareils

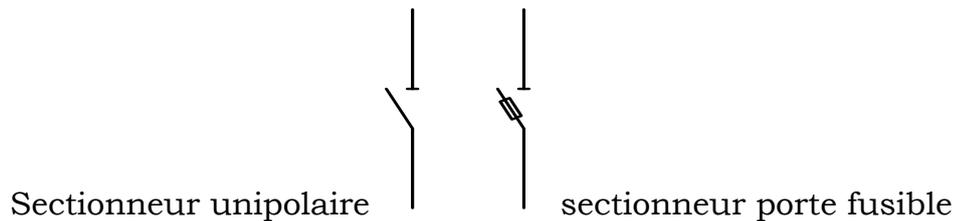
d'utilisation



Chapitre 2. LES APPAREILS D'ISOLEMENT

I. SECTIONNEUR

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsque le courant est nul ou pratiquement nul afin d'isoler la partie en aval du sectionneur. La fonction sectionneur est d'assuré en même temps que la protection avec fusible ce qui garantit simultanément le sectionnement avec toutes les fonctions de sécurité telles que le cadenas et le verrouillage. Son symbole est le suivant :



- Conséquence :
 - le sectionneur n'a pas le pouvoir de coupure ou de fermeture, il manœuvre sous tension mais hors charge.
 - La coupure doit être visible soit directement par observation de la séparation des contacts soit par indicateur de position si les contacts ne sont pas visibles.
- Verrouillage : le sectionneur peut être verrouillé par un cadenas en position ouverte.
- Dénomination d'un sectionneur :
 - le nombre de pôles
 - la tension assignée
 - le courant assigné
 - le contact auxiliaire
 - la nature de la commande
 - le système de fixation

Rôle des différents organes d'un sectionneur

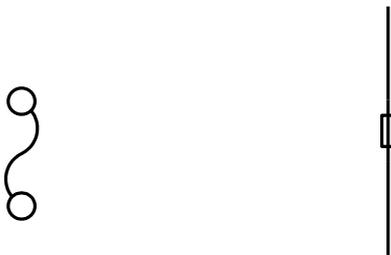
- les contacts principaux permettent d'assurer le sectionnement de l'installation monophasé ou triphasé.
- Les contacts auxiliaires permettent de couper le circuit de commande de contacteur avant l'ouverture des pôles du sectionneur, ce qui évite la coupure en charge.

Chapitre 3. LES APPAREILS DE PROTECTION DE CIRCUIT

I. LES FUSIBLES

Le fusible est un appareil de protection dont la fonction est d'ouvrir par la fusion d'un de ses éléments. Le circuit dans lequel il est inséré et d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps suffisant une valeur assignée. Son symbole est :

Symbole général



I - Constitution des fusibles

a) coupe-circuit

Un coupe - circuit à fusible comporte :

- un socle qui permet le raccordement à l'installation,
- une porte fusible qui supporte les éléments de remplacement,
- une cartouche fusible cylindrique ou couteau qui contient l'élément fusible.

b) Différents types de fusibles

Selon l'utilisation, on peut choisir entre 2 classes principales l'élément de remplacement : la classe aM et la classe gG.

Les fusibles de classe aM (accompagnement moteur) sont prévus uniquement pour la protection contre les courts-circuits. Ils sont prévus pour la protection à courant alternatif. Tandis que ceux de classe gG (fusible d'usage général) protègent contre les surcharges et les courts-circuits.

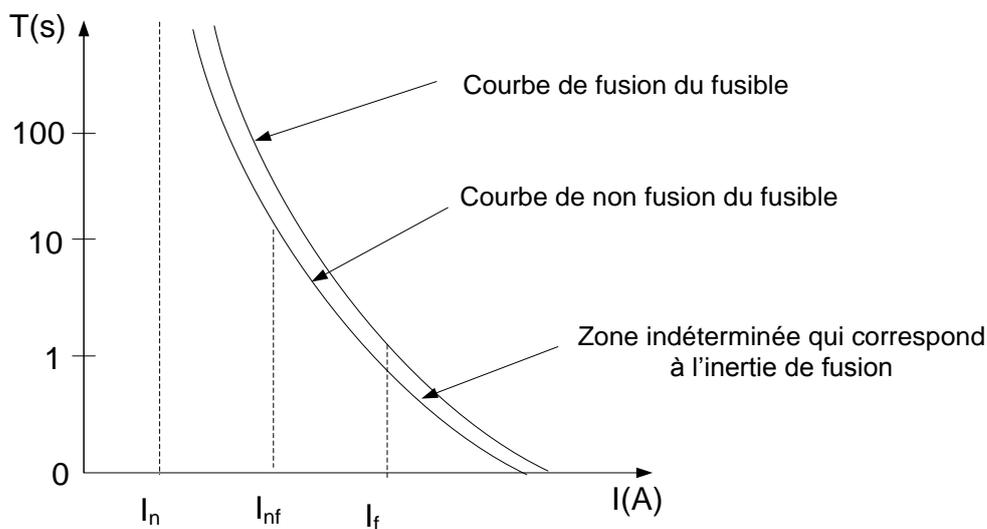
c) Caractéristiques d'un fusible

Le fusible est caractérisé par :

- sa tension nominale U_n ,
- son courant nominal I_n ,
- son courant de non fusion I_{nf} ,
- son courant de fusion I_f ,
- sa durée de coupure.

Courbe de fonctionnement d'un fusible :

$$T = f(I)$$

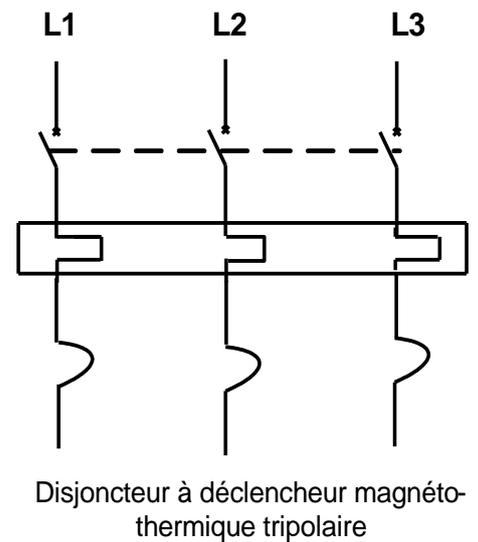
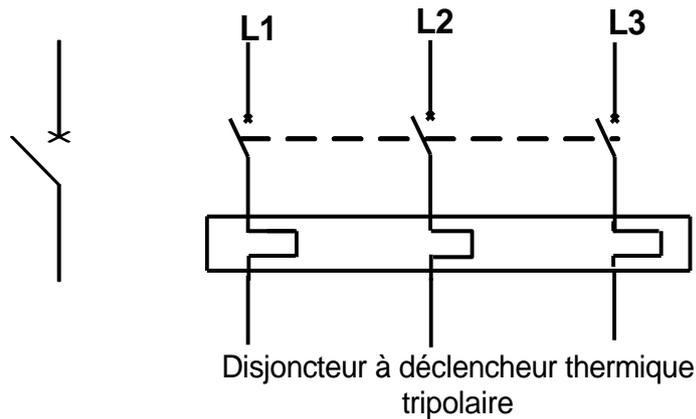


II. LE DISJONCTEUR

Le disjoncteur est un appareil capable d'établir, de supporter et d'interrompre le courant dans les conditions normales. L'ouverture se produit automatiquement lorsque l'intensité atteint une valeur trop élevée. L'action de déclenchement est instantanée lorsque le dispositif qui le provoque est magnétique et différée (temporisée) lorsque le dispositif qui le provoque est thermique. Le réenclenchement se fait manuellement. Le disjoncteur a pour rôle d'assurer :

- la protection des circuits contre les surintensités dues aux surcharges ou aux courts-circuits,
- la protection des personnes contre les contacts indirects (fuites à la terre de courant).

Son symbole est :



1- Constitution : le disjoncteur est constitué :

a) des pièces enveloppes :

Coquilles, couvercle

b) des pièces spécifiques :

- chambre de coupure,
- tôle d'arc,
- vis de réglage,
- sous-ensemble serrure,

c) d'ensembles variables :

- sous-ensemble thermique,
- sous-ensemble magnétique.

d) des pièces de finition :

- clips de marquage,
- ressort et loquet bistable.

La position bistable du loquet (système de fermeture fondé sur le basculement ou le glissement d'une barre fixée sur la porte) facilite le montage et le démontage du disjoncteur sur le relais.

Remarque : certains disjoncteurs ne comportent pas de sous-ensemble thermique mais uniquement magnétique. Ils sont destinés à la protection des canalisations électriques alimentant les moteurs de désenfumage

contre le court-circuit. Il ne déclenche pas en cas de surcharge et accepte le point de courant lié au démarrage de ce moteur.

2 - choix disjoncteurs :

Le choix d'un disjoncteur est fait en fonction de :

- la norme d'installation : installation domestique, type de récepteur, intensité d'emploi, courbe de fonctionnement,
- l'environnement : local, température ambiante, sélectivité et nature de câble en aval,
- caractéristique du réseau,
- impératif d'installation : auxiliaire de commande.

2.1 – tension nominale :

C'est la tension maximale d'utilisation en courant continu ou en courant alternatif. C'est la tension à laquelle se rapporte le pouvoir de coupure et de fermeture du disjoncteur. Un disjoncteur peut avoir plusieurs tensions nominales dont chacune d'elles correspond à un pouvoir de coupure différent.

2.2 – courant nominal :

C'est le courant que le disjoncteur est capable de supporter dans les conditions d'essais spécifiés en service ininterrompu tout en respectant les limites d'échauffement (température ambiante 30°C). Le courant nominal est déterminé en fonction du courant admissible passant par le conducteur à protéger.

2.3 – pouvoir de coupure (PDC)

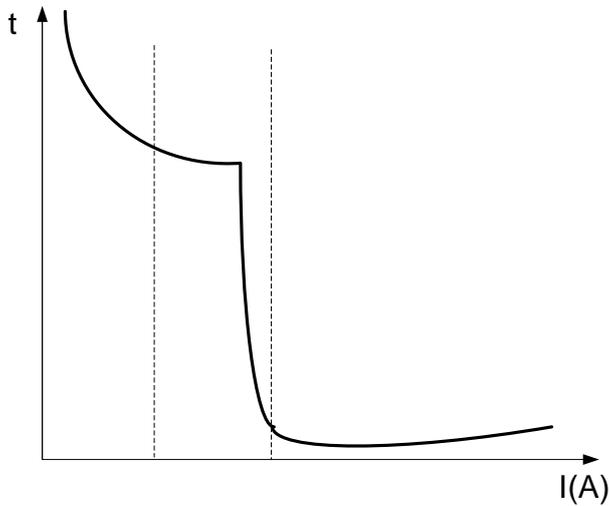
C'est l'intensité maximale de court-circuit que peut couper le dispositif de protection sans se détériorer, sans mettre en danger l'entourage dans les conditions de tension, de $\cos \varphi$ et de court-circuit déterminé par les normes, c'est-à-dire : **$I_{ccmax} < PDC$** .

2.4 – courbe de fonctionnement

Les normes imposent au moins 3 courbes B, C et D. on choisira la courbe de fonctionnement du disjoncteur en fonction du type de récepteur (résistive, inductive) et la ligne à protéger.

- courbe B :

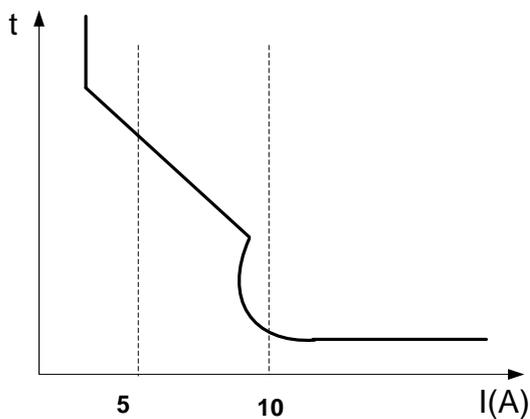
Le disjoncteur a un déclenchement magnétique entre 3 et 5 fois le courant nominal.



Cette courbe permet d'éliminer le courant continu de faible valeur et également pour les circuits ayant de câble de longueur importante.

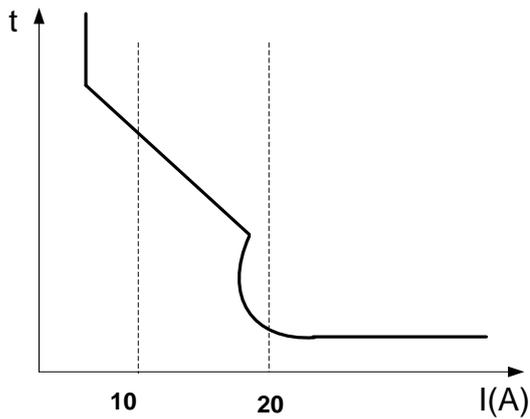
- **courbe C :**

Ce type de disjoncteur couvre une grande majorité de besoin. Il est utilisé notamment dans les installations domestiques et son déclenchement magnétique se situe entre 5 à 10 fois le courant nominal.



- **courbe D :**

Ce disjoncteur est utilisé pour la protection des circuits où il existe une très forte pointe de courant dès la mise sous tension. Le déclenchement magnétique de ce disjoncteur se situe entre 10 à 20 fois le courant nominal.



- **intensité crête :**

C'est la valeur maximale de l'intensité atteinte pendant l'essai. Elle détermine la contrainte électrodynamique subie par la ligne, c'est-à-dire les contraintes mécaniques exercées sur le conducteur, les connexions et les jeux de barre.

2.5 - Disjoncteur limiteur de courant :

Comme son nom l'indique ce disjoncteur a la capacité de limiter le courant de court-circuit en amplitude et en temps.

2.6 – Catégorie de limitation

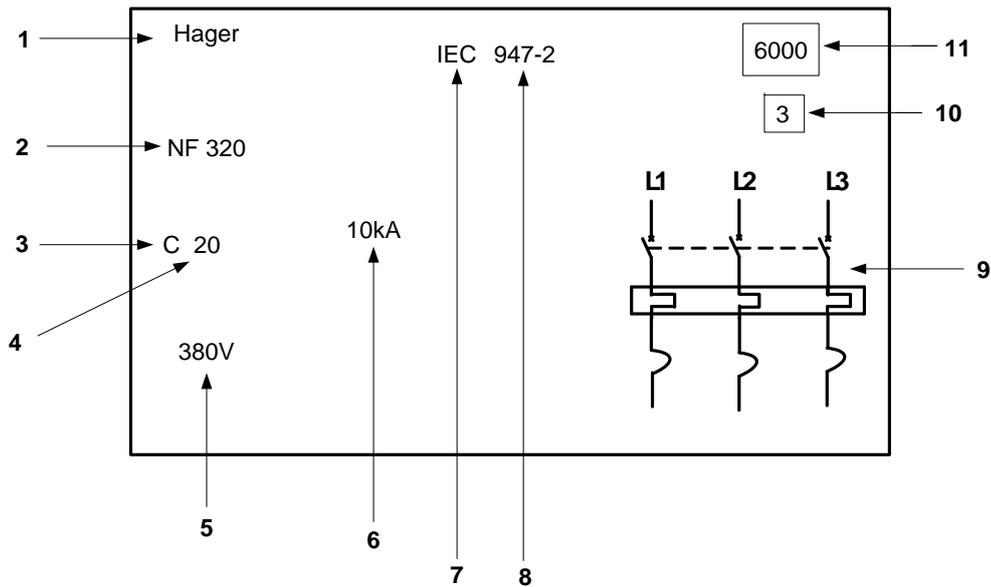
Les disjoncteurs ayant des courants assignés jusqu'à 32A et un PDC de 3, 4, 6, 10kA sont classés en classe de limitation de l'énergie (1, 2 ou 3). Ces classes donnent pour les courants assignés les valeurs limites de la contrainte thermique d'un disjoncteur. Ces valeurs permettent de définir les performances de sélectivité.

- classe 1 : disjoncteur peu sélectif,
- classe 2 : disjoncteur moyennement sélectif,
- classe 3 : disjoncteur très sélectif.

2.7 – Aptitude au sectionnement

Elle est destinée à assurer la mise hors tension de façon sûre de toute ou une partie de l'installation par rapport à sa source d'énergie.

Caractéristiques d'un disjoncteur :



1 – marque ; **2** – désignation commerciale et numérique; **3** – type de courbe, **4** – tension assignée d’emploi, **5** – tension nominale, **6** – pouvoir de coupure selon IEC, **7** – norme IEC (commission électrotechnique internationale), **8** – numéro de série, **9** – disjoncteur magnétothermique, **10** – classe de sélectivité, **11** - pouvoir de coupure selon la norme NF 60.

2.8 – Tension assignée d’emploi : U_e

Pour les disjoncteurs multipolaires, elle correspond à la tension d’utilisation :

- tension d’isolement (U_i) : c’est la tension de référence pour les essais électriques,
- tension détenue de choc (U_{imp}) : c’est la valeur de la tension crête détenue à l’onde de choc (protection contre les surtensions d’origines atmosphérique ou de manœuvre) que le disjoncteur peut supporter sans dommage.

2.9 – Le courant

- Le courant thermique conventionnel à l’air libre (I_{th}) est la limite de fonctionnement de la zone thermique.

$$I_{th1} = 1,13I_n ; I_{th2} = 1,45I_n.$$

- courant nominal (I_n) est le courant indiqué par le constructeur comme étant le courant que le disjoncteur peut supporter en service normal.

2.9 – Fréquence assignée :

C’est la fréquence d’alimentation pour laquelle un matériel est établi. Un matériel peut avoir plusieurs fréquences assignées, les valeurs de

déclenchement thermique ne sont pas influencées par contre celles de déclenchement magnétique devront être réajustées.

2.10 – Services assignés :

- service continu (8h) : service dans lequel les contacts principaux d'un matériel demeurent fermés tout en étant parcouru par un courant est pendant une durée assez longue pour qu'il puisse atteindre l'équilibre thermique.

2.11 – Caractéristique de court-circuit :

- pouvoir de fermeture assigné en court-circuit (I_{cm}) : c'est la valeur de pouvoir de fermeture en court-circuit pour la tension assignée d'emploi, la fréquence assignée et pour un facteur de puissance spécifié.

- pouvoir assigné de coupure ultime en court-circuit (I_{ccm}) : c'est la valeur de pouvoir de coupure en court-circuit fixé par le constructeur pour la tension nominale et dans les conditions spécifiées. Ce courant correspond au cycle d'essai **O – t – CO** avec :

O : ouverture de l'appareil en cas de court-circuit ;

t : durée de temps de repos entre une fermeture et ouverture de court-circuit ;

CO : fermeture de l'appareil en cas de court-circuit.

- pouvoir assigné de service en court-circuit (I_{cs}) : c'est la performance de coupure en service pour le courant inférieur à I_{cc} .

Chapitre 4. LES APPAREILS DE COMMANDE

I. LES APPAREILS DE COMMANDE MANUELLE

1. Les interrupteurs

a) Définition : l'interrupteur est un appareil de commande manuelle capable de couper et de fermer un circuit en service normal. Il possède deux états stables. Les interrupteurs à usage domestique sont utilisés pour les circuits d'éclairage tandis que les interrupteurs industriels sont montés dans le tableau de distribution d'énergie électrique.

b) Fonctionnalité :

Il remplit la fonction de commande d'un circuit comme ce qui permet à l'utilisateur d'intervenir volontairement sur le fonctionnement de l'installation.

On distingue trois modes de commande d'un interrupteur :

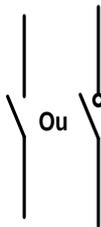
- la commande fonctionnelle : elle est destinée à assurer le service normal de la mise hors et sous tension d'une installation ;
- commande par coupure ;
- commande coupure pour l'entretien mécanique.

d) Différents types d'interrupteurs :

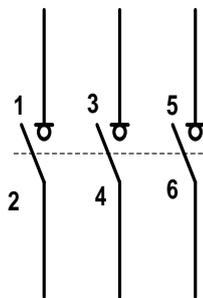
On distingue 3 types d'interrupteurs :

Interrupteur simple, interrupteur avec fusible et interrupteur sectionneur avec ou sans fusible.

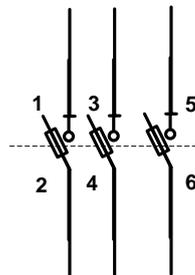
Symboles :



Interrupteur simple



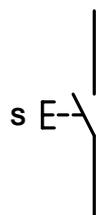
Interrupteur sectionneur



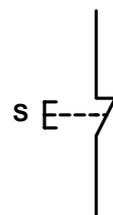
interrupteur sectionneur porte fusible

2. Boutons poussoirs

C'est un appareil qui ne possède qu'une position stable. Son symbole est :



A fermeture



à ouverture

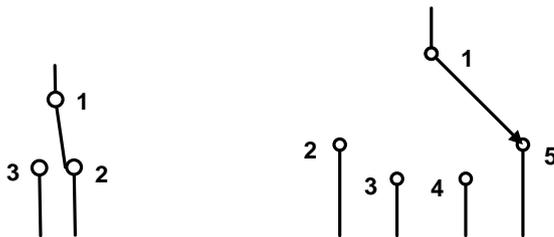
Une action manuelle le fait changer d'état et dès que celle-ci cesse il revient à sa position initiale. Du point de vue technologique, le bouton poussoir est fabriqué avec un ou plusieurs contacts électriques indépendants les uns des autres.

3. Les commutateurs :

C'est un appareil qui permet de sectionner un mode de fonctionnement parmi ceux proposés. La quantité de choix possibles détermine son nombre d'états stables. En général sa constitution n'autorise que la coupure d'une seule polarité. Son symbole est :

Commutateur unipolaire à 2 positions :
 positions :

Commutateur unipolaire à 5



II. LES APPAREILS DE COMMANDE AUTOMATIQUE

1. Détecteurs

En plus de leur capacité de percevoir la présence de quelque chose, les détecteurs sont des appareils capables de mesurer ou contrôler des grandeurs électriques telles que : tension, courant, fréquence, réactance, etc. Pour que le schéma soit compréhensible il faut impérativement indiquer le fonctionnement du détecteur en utilisant les symboles :

1) $>$; 2) $<$; 3) \lesseqgtr ; 4) $= 0$; 5) ≈ 0

1) fonctionnement du détecteur lorsque la grandeur contrôlée est supérieure à la valeur de référence (réglage) ;

2) fonctionnement du détecteur lorsque la grandeur contrôlée est inférieure à la valeur de référence ;

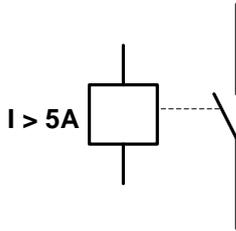
3) fonctionnement du détecteur lorsque la grandeur contrôlée est inférieure ou supérieure à la valeur de référence ;

4) fonctionnement du détecteur lorsque la valeur contrôlée atteint 0;

5) fonctionnement du détecteur lorsque la grandeur contrôlée diffère de la valeur de référence d'une quantité très faible.

On utilise des relais sensibles à la grandeur à surveiller, ils sont composés :

- d'une bobine qui s'excite ou se déexcite suivant sa valeur de référence et la valeur contrôlée,
- d'un contact à fermeture ou à ouverture qui change d'état lorsque la bobine est excitée.



Changement d'état du contact pour une valeur de courant $>$ à 5A.

2. Capteur

Le capteur est un dispositif capable de mesurer ou de contrôler des grandeurs telles que la température, la pression, la vitesse, le niveau d'un fluide ou d'un gaz. Il est représenté par :

- un contact à ouverture ou à fermeture qui change d'état lorsque la valeur contrôlée correspond à une valeur de référence donnée,
- un symbole qui indique le mode de fonctionnement du contact (même symbole que le détecteur),
- la valeur de référence, de réglage ou la position du capteur par rapport à l'état contrôlé.

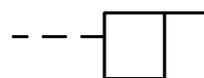
Symbole de grandeur :

θ : représente la température ;

P : représente la pression ;

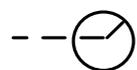
n : représente la vitesse de rotation ;

v : la vitesse angulaire ;



Commande par le débit gazeux

commande par une horloge



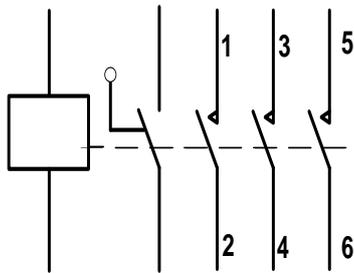
III. LES ORGANES DE COMMANDE

1. Les contacteurs

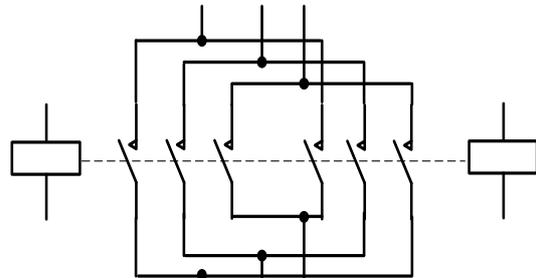
Ce sont des appareils mécaniques de connexion ayant une seule position au repos manœuvrable à la main et qui sont capable d'établir, de supporter, et d'interrompre le courant dans les conditions normales de circuit, y compris dans les conditions de surcharge en service. Un contacteur dont les contacts principaux sont fermés en position repos est appelé **rupteur**.

1. Symbole

Son symbole est :



Contacteur tripolaire avec contacts auxiliaires



Contacteur inverseur tripolaire

2. Constitution

Le contacteur est constitué de :

- socle ;
- partie de l'électroaimant ;
- bobine ;
- repère de tension bobine ;
- bague de déphasage ;
- ressort de rappel ;
- partie mobile de l'électroaimant ;
- contact fixe ;
- contact mobile ;
- système d'accrochage pour contact additif.

3. Différents organes

a. les pôles aux contacts principaux

Les pôles sont des éléments de contact qui permettent d'établir et d'interrompre le courant principal. Le pôle est défini par les valeurs nominales de courant et de tension qui définissent en partie le contacteur. On utilise des contacts à soufflage magnétique pour le circuit ayant des intensités allant de 200 à 300A. Le soufflage de l'arc électrique a pour but d'éviter l'usure prématurée des contacts par électro-érosion.

b. Organes des manœuvres : électroaimant

Le circuit magnétique de ce type d'électroaimant est feuilleté de manière à réduire les pertes de courant de Foucault dû à la présence d'un flux alternatif. Lorsque l'électroaimant est ouvert la reluctance du circuit magnétique est élevée, ce qui rend la reluctance de la bobine faible. Il en résulte dans ces conditions un appel de courant très important par rapport au courant permanent et consomme la bobine à circuit magnétique fermé. L'électroaimant peut être alimenté en courant continu ce qui permet d'avoir une plus grande force d'attraction.

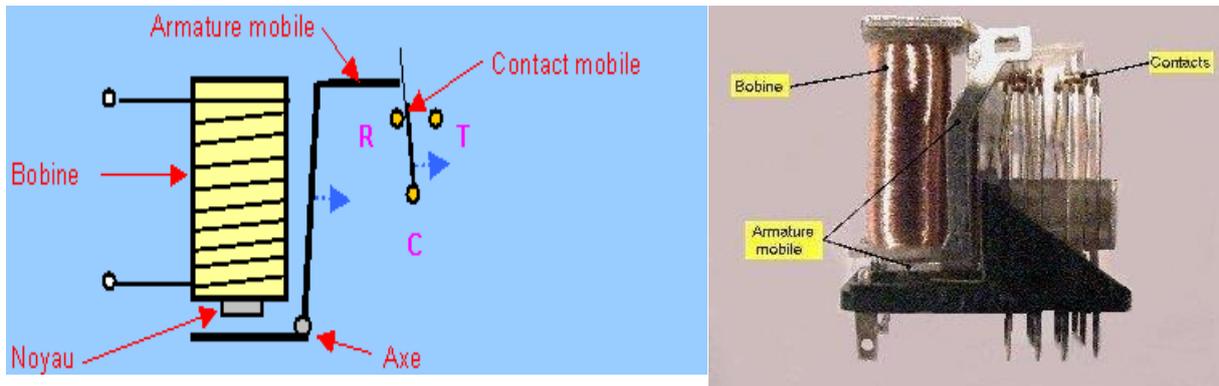
2. Relais électriques

1) Définition :

Comme son nom l'indique, il sert en tout premier lieu à " relayer ", c'est à dire à faire une transition entre un courant faible et un courant fort. Mais il sert également à commander plusieurs organes simultanément grâce à ses multiples contacts synchronisés. Il permet également la transition entre deux sources différentes en isolant ces dernières. Il autorise des temporisations, des verrouillages, des impulsions... bref, les fonctions d'un relais sont aussi nombreuses que différentes.

2) Constitution :

Un relais " standard " est constitué d'une bobine ou solénoïde qui lorsqu'elle est sous tension attire par un phénomène électromagnétique une armature ferromagnétique qui déplace des contacts, voir figure et photo ci-dessous.



3) Caractéristiques

Un relais est caractérisé par :

- La tension de sa bobine de commande, 5V à 220V.
- Le pouvoir de coupure de ses contacts, qui est généralement exprimé en Ampère, 0,1A à 50A. C'est le courant maximal qui pourra traverser les contacts. Ce courant est fonction de plusieurs paramètres : Constitution des contacts, (cuivre, argent, or, etc.), du temps d'ouverture des contacts, de la température ambiante, etc. Il pourra être continu, alternatif, haché, pulsé, seule la Haute Fréquence (HF) peut poser problème.
- Le nombre de contacts souhaités.
- Son emplacement, circuit imprimé, à visser, embrochable, à souder.
- Le type de courant de sa bobine, en général du continu.
- La tension d'isolement entre la bobine et les contacts.
- La gamme de temps pour un relais temporisé.
- Son ambiance, vibrations, humidité, poussières, température.

4) Contacts

On appelle contact, les parties métalliques qui transmettent ou interrompent le courant en fonction de la commande de la bobine.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, il existe différentes sortes de contacts.

En règle générale les contacts sont dits inverseurs, c'est à dire qu'ils peuvent à partir d'un point commun **C**, établir un contact **R** lorsque le relais est au repos, qui deviendra **T** lorsque le relais sera au travail (bobine sous tension).

On appellera donc ce contact inverseur : **RT**.

Un contact établi sans action est appelé contact Normalement Fermé : **NF**.

Un contact établi avec action est appelé contact Normalement Ouvert : **NO**.

Le nombre de contacts d'un relais est fonction de son utilisation, à savoir qu'il augmente sensiblement son prix.

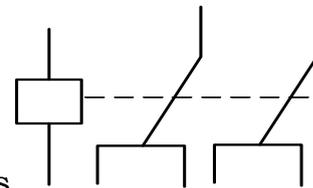
Fonctionnement :

Le passage du courant dans la bobine d'un électro-aimant provoque l'attraction d'une armature mobile laquelle actionne les contacts.

Son symbole est :



Symboles graphiques d'un relais
(2 variantes possibles)



Relais avec deux contacts inverses

5) Différents types de relais

Il existe différents types de relais à savoir :

- **RELAIS MONOSTABLE** : C'est le plus courant des relais, lorsque sa bobine est sous tension, l'armature mobile actionne les contacts qui changent d'état. Lorsque le courant cesse, l'armature revient à la position initiale ainsi que les contacts.

- **RELAIS BISTABLE** : Ce relais comporte généralement deux bobines montées en opposition ; l'une pour l'enclenchement et l'autre pour le déclenchement. La mise sous tension d'une bobine déplace l'armature mobile et ses contacts qui restent en position par un système magnétique ou mécanique quand la bobine n'est plus alimentée (accrochage magnétique ou accrochage mécanique). Pour changer la position il faut alimenter brièvement l'autre bobine.

- **RELAIS TEMPORISE** : Il existe deux sortes de relais temporisés, à la fermeture et à l'ouverture.

A la fermeture : Lorsque le relais est alimenté, sa bobine n'actionne les contacts qu'au bout d'un temps défini, (souvent réglable), ils reviennent en position initiale dès que le relais n'est plus alimenté.

A l'ouverture : Lorsque le relais est alimenté, sa bobine actionne les contacts aussitôt, par contre le changement de position des contacts ne se fait qu'au bout d'un certain temps.

- **RELAIS STATIQUE** : D'un emploi particulier, ce type de relais entièrement électronique ne fait appel à aucune partie mobile.

3. Discontacteur

Le discontacteur est un appareil mécanique de connexion constitué d'un relais et d'un contacteur.

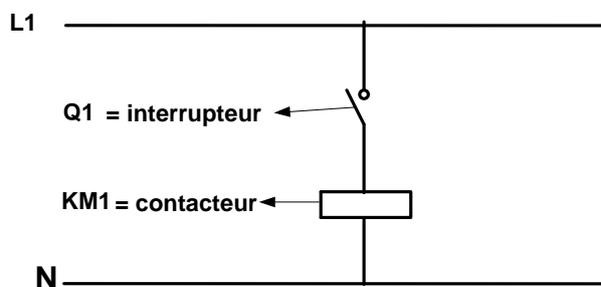
Chapitre 5. SCHEMAS DE BASE

I. Commande de contacteur

1. Commande manuelle

Elle permet de mettre en ou hors service un récepteur de puissance alimenté par plusieurs potentiels en utilisant un interrupteur à un pôle.

Schéma développé rangé du circuit de commande :

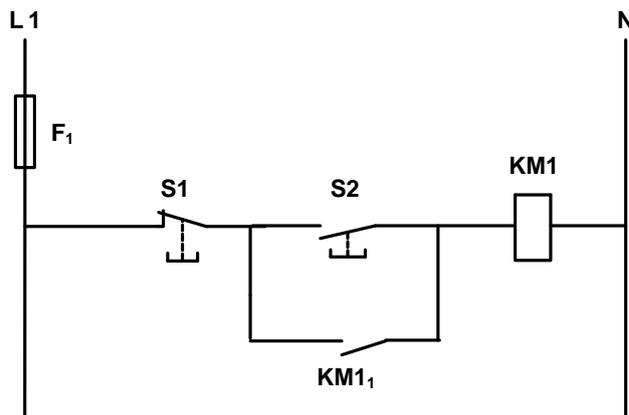


Fonctionnement : lorsque l'interrupteur est ouvert, la bobine du contacteur KM1 n'est pas excitée. Si l'on ferme l'interrupteur celle-ci s'excite.

II. Commande semi-automatique par bouton-poussoir : marche – arrêt

1. Source d'alimentation alternative

Schéma développé :



Légende :

F₁ : fusible de protection du circuit de commande ;

S₁ : bouton poussoir marche (BP) ;

S₂ : bouton poussoir arrêt (BP) ;

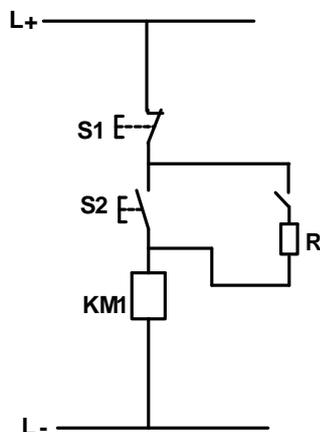
KM1 : bobine ;

KM1₁ : contact de la bobine ou contact d'auto-alimentation.

Fonctionnement : une action sur le BP marche S₁ excite la bobine KM1 et son contact change de position, et le BP se trouve court-circuité et son relâchement n'a aucune influence sur le fonctionnement. Pour désexciter la bobine, il faut appuyer sur le BP arrêt S₂.

2. Source d'alimentation continue

Schéma développé rangé



Fonctionnement :

C'est un fonctionnement en marche prioritaire car, si on appuie en même temps sur les boutons poussoirs la bobine KM1 du contacteur s'excite.

Chapitre 6. VERROUILLAGE DE CONTACTEUR

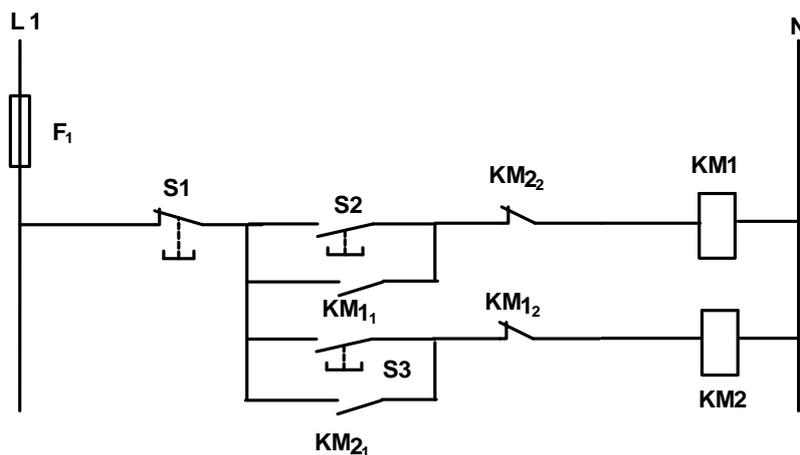
Dans certains montages, si deux (2) contacteurs s'excitent en même temps, la fermeture de leur contact de puissance crée un court-circuit dans les circuits de puissance. C'est pourquoi il faut rendre impossible la fermeture simultanée des contacts de puissance de deux contacteurs. Cette action s'appelle le **Verrouillage**.

Le verrouillage est réalisé :

- électriquement ce qui empêche l'excitation de la bobine du 2^{ème} contacteur lorsque celle du 1^{er} est déjà excitée.
- Mécaniquement ce qui empêche la fermeture du 2^{ème} contacteur par une action manuelle de celui-ci lorsque le 1^{er} est déjà fermé.

I. Verrouillage électrique de deux contacteurs

Schéma développé du montage :



Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir la bobine KM1 qui :

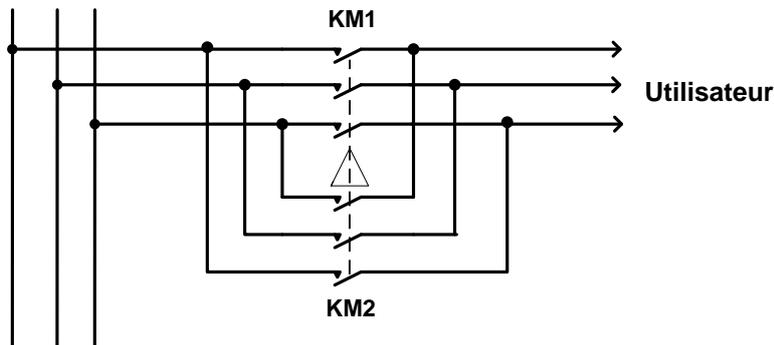
- par son contact KM1₁ s'autoalimente
- par son contact KM1₂ coupe le circuit d'alimentation de KM2 (même si on appuie sur le BP S2, la bobine KM2 ne peut pas s'exciter).

Ce contact $KM1_2$ est le contact de verrouillage de $KM2$ par le contacteur $KM1$.
Il en est de même pour le contacteur $KM2$, le contact $KM2_2$ est le contact de verrouillage de $KM1$ par le contacteur $KM2$.

Les 2 contacts $KM1_2$, $KM2_2$ composent le verrouillage électrique entre les contacteurs $KM1$ et $KM2$.

II. Verrouillage mécanique de deux contacteurs

Schéma développé du montage :



Fonctionnement :

Dans ce cas le contacteur $KM2$ inverse l'ordre des phases par rapport au contacteur $KM1$.

Si ces contacteurs se ferment en même temps, il y aura un court-circuit ; il faut donc un verrouillage mécanique.

Le verrouillage mécanique est représenté comme :

- la liaison mécanique entre les deux contacteurs (traits fins continus)
- par le triangle placé sur cette liaison mécanique.

Chapitre 7. DEMARRAGE DE MOTEURS ASYNCHRONES

I. PRINCIPE

Le dispositif de démarrage doit satisfaire aux exigences suivantes :

✓ Mécaniquement :

- 1- le moteur doit pouvoir démarrer ($T_d \gg T_r$)
- 2- les conditions d'accélération doivent être compatibles avec la charge.

✓ Electriquement :

- 1- le courant de démarrage ($I_d \gg I_n$) doit être compatible avec l'alimentation électrique du moteur,
- 2- le courant au démarrage ne doit pas provoquer les déclenchements des protections.

✓ Economiquement : robustesse et fiabilité.

II. PROCÉDES DE DEMARRAGE

Lors du démarrage d'un moteur asynchrone (MA), un courant très important est absorbé, celui-ci est limité par différents procédés de démarrage qui agissent :

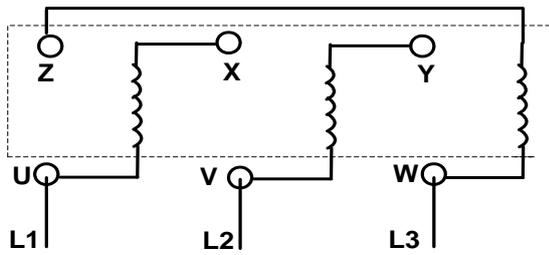
- soit sur la tension d'alimentation
- soit sur une augmentation de la résistance du rotor.

Les différents procédés sont : le démarrage direct, démarrage étoile-triangle, démarrage étoile-triangle par résistance etc.

III. BRANCHEMENTS DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

PLAQUE A BORNES

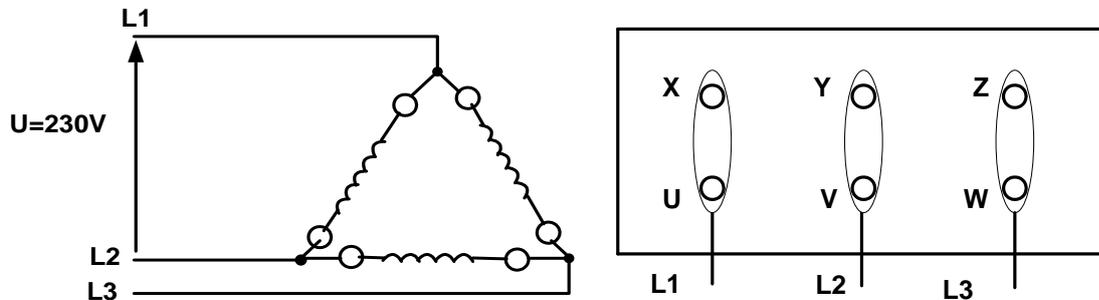
Les moteurs standards sont équipés d'une plaque de 6 bornes repérées. Lorsque le moteur est alimenté en U, V et W par un réseau L1, L2, L3 il tourne dans le sens horaire pour un observateur placé face au bout d'arbre. En permutant deux (2) phases d'alimentation le moteur change de sens de rotation.



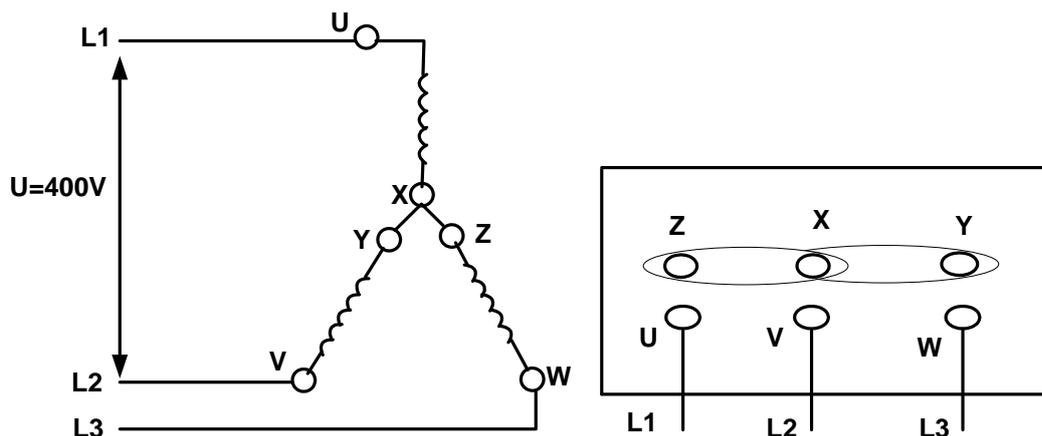
La plaque signalétique d'un moteur précise toujours 2 tensions d'alimentation possibles :

- en triangle : lorsque la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension de fonctionnement la plus basse ;
- en étoile : lorsque la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension de fonctionnement la plus élevée.

Branchement en triangle Δ



Branchement en étoile Y



IV. SOLUTIONS GENERALES AUX PROBLEMES DE DEMARRAGES :

Mis à part le démarrage direct, les différents procédés de démarrage ont pour objectif fondamental de limiter l'intensité absorbée tout en maintenant les

performances mécaniques de l'ensemble « moteur - machine entraînée » conformes au cahier des charges.

Dans le cas du moteur asynchrone cette limitation de courant est obtenue par :

Une réduction de la tension d'alimentation, le courant étant proportionnel à la tension :

Action sur le circuit primaire (stator):

On peut réaliser le démarrage par :

- Couplage étoile - triangle.
- Eliminations de résistances statoriques
- Autotransformateurs.

Inconvénient : le couple moteur qui est proportionnel au carré de la tension est réduit dans le même rapport.

-- Une augmentation de la résistance rotorique :

Action sur le circuit secondaire (rotor):

On peut réaliser le démarrage par :

- Elimination de résistances rotoriques
- Moteurs à cage multiples.

Cette seconde façon de procéder ne présente pas d'inconvénient sur le plan fonctionnel, l'augmentation de la résistance du rotor se traduit par :

- Une augmentation du couple de démarrage.
- Une diminution du courant de démarrage.

V. DEMARRAGE DIRECT

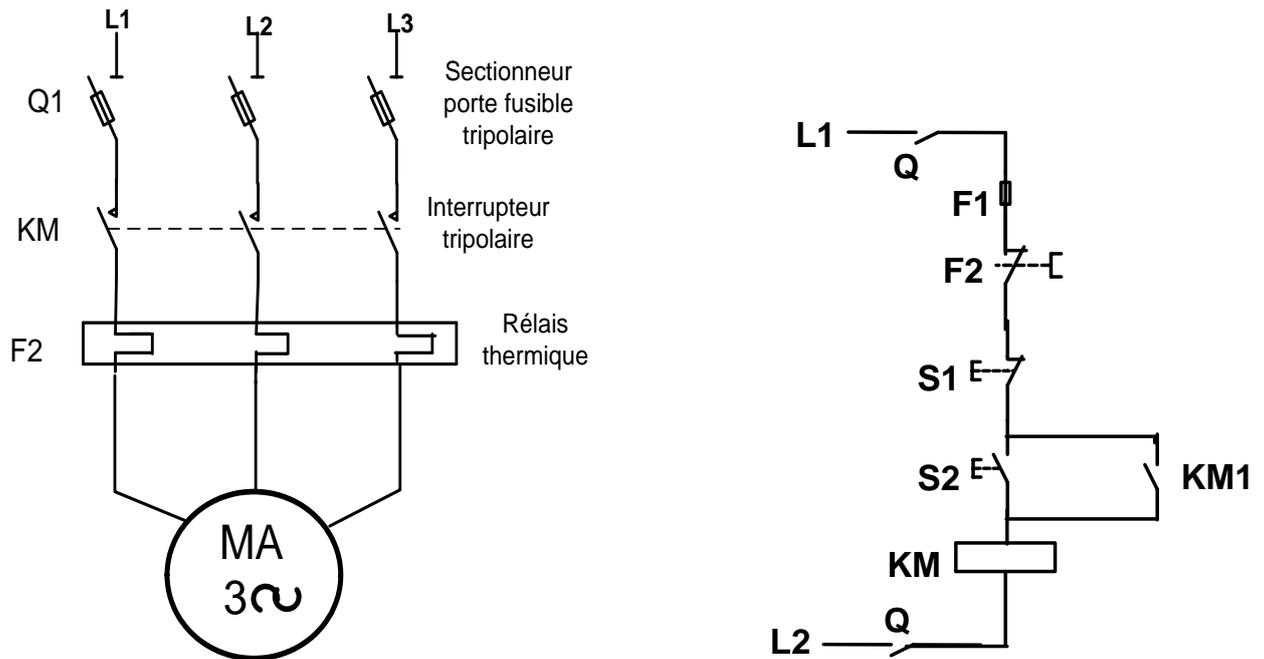
1. Principe :

Dans ce procédé les enroulements du stator sont branchés directement sur le réseau. Le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale.

2. Démarrage manuel, un sens de marche

Moteur à un seul sens de rotation dont les enroulements sont couplés en étoile, son démarrage est réalisé par un interrupteur tripolaire. Seuls les moteurs asynchrones triphasés avec rotor en court-circuit ou rotor à cage d'écureuil peuvent être démarrés suivant ce procédé.

Circuit de puissance circuit de commande



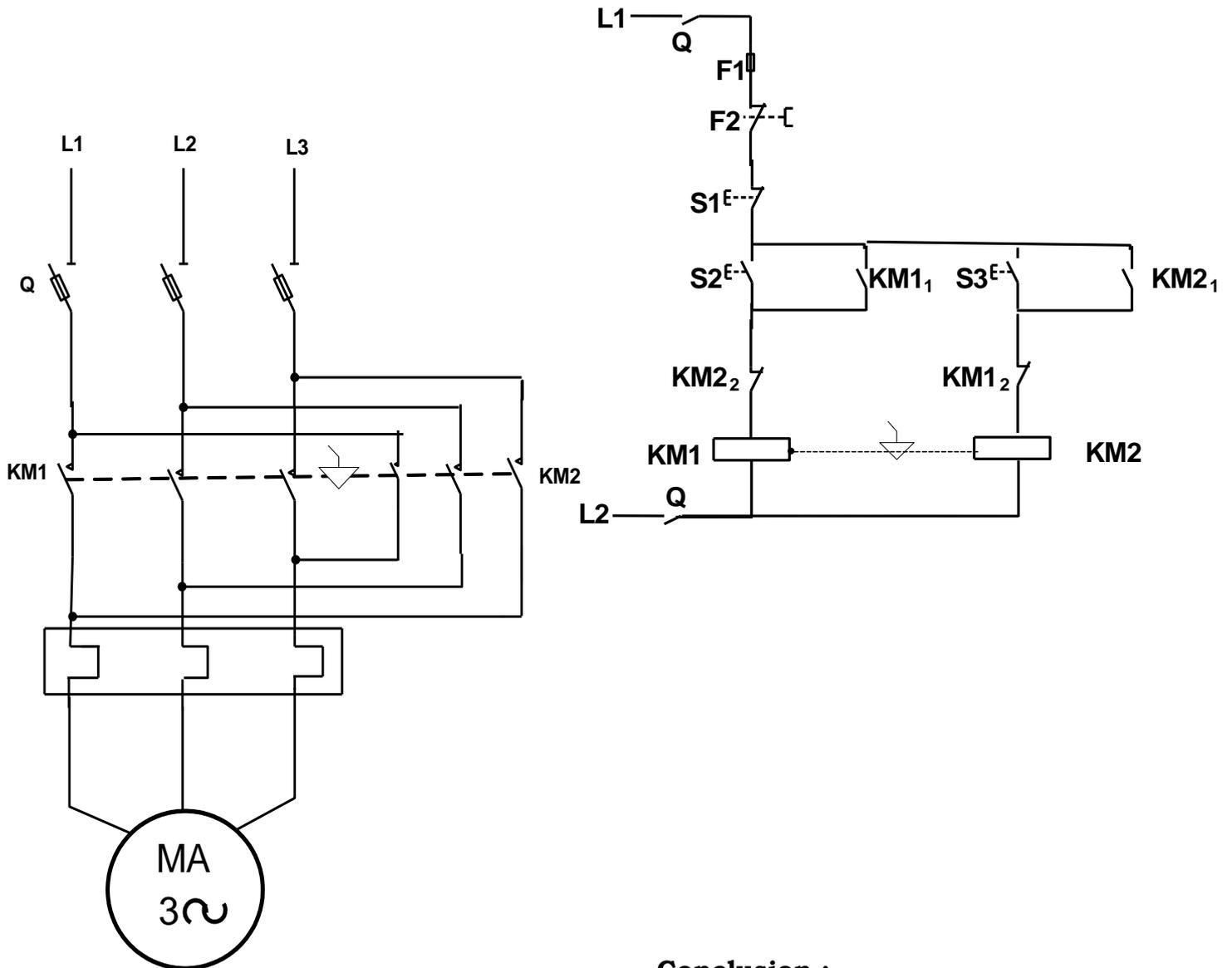
FONCTIONNEMENT :

Après avoir fermé le sectionneur Q1, une action sur le bouton poussoir S2, la bobine KM s'excite et s'autoalimente par le biais de son contact de maintien KM1 ; alors le moteur démarre à sa vitesse nominale. L'arrêt du moteur est provoqué par S1 ou le déclenchement de F2.

3. Démarrage manuel 2 sens de marche

L'inversion du sens de marche se fait au niveau du circuit de puissance et, elle est obtenue en croisant deux (2) des conducteurs de phases d'alimentation, le troisième restant inchangé. On inverse ainsi le sens du champ tournant et, par conséquent le sens de rotation. Un verrouillage mécanique est nécessaire pour éviter le court-circuit entre les 2 phases dans le cas où les contacteurs KM1 et KM2 seraient fermés ensemble. Au niveau du circuit de commande (C-C) un verrouillage électrique par les contacts KM1 et KM2 permet de compléter le verrouillage mécanique dans le cas où ce dernier serait défaillant.

Circuit de puissance Circuit de commande



Conclusion :

a) Avantage

- simplicité de l'appareillage,
- couple important $T_d = 0,5 \text{ à } 1,5T_r$,
- temps de démarrage minimal pour un moteur à cage.

b) Inconvénients

- Appel de courant très important de l'ordre de 4 à $8I_n$,
- Démarrage brutal.

c) Emploi

- moteurs de petites puissances ($P = 7,5CH$) ou puissance faible par rapport à la puissance du réseau,
- machines ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive,

- machines nécessitant un bon couple de démarrage.

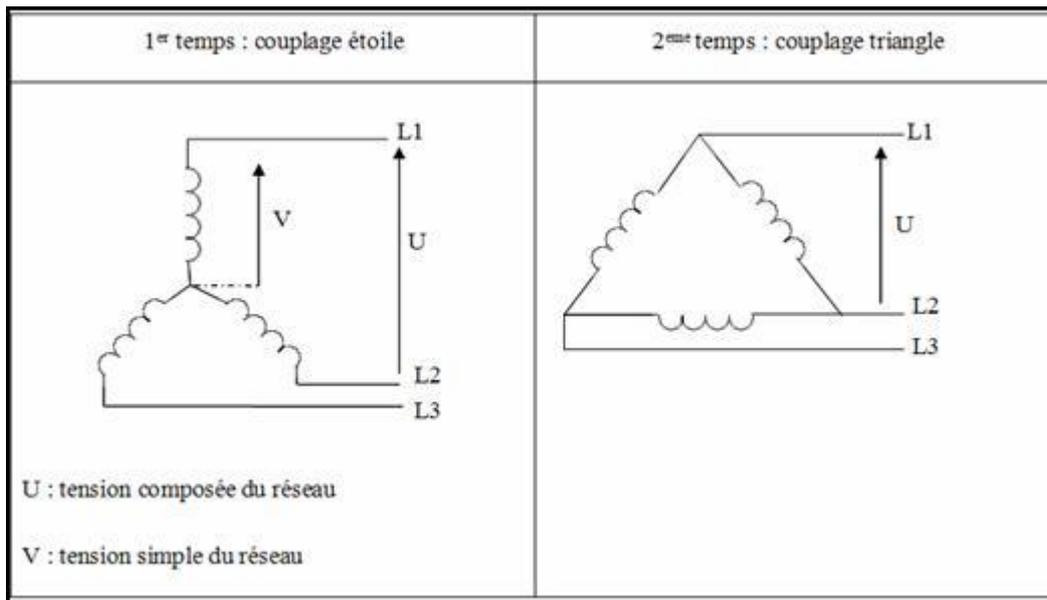
VI. DEMARRAGE ETOILE – TRIANGLE

1. Principe

Ce procédé de démarrage ne peut être utilisé que pour les moteurs conçus pour supporter en fonctionnement normal et pour un couplage triangle la tension composée du réseau.

Le démarrage s'effectue en deux (2) temps. Dans un premier temps, la tension appliquée à chacun des enroulements du moteur couplé en étoile est une tension simple ($V = U / \sqrt{3}$), le moteur démarre à tension réduite : $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$.

A l'issue de ce 1^{er} temps, au couplage étoile est substitué le couplage triangle dans lequel est appliquée à chacun des enroulements la tension composée ($U = V\sqrt{3}$) et le moteur démarre à pleine tension.



2. Caractéristiques techniques

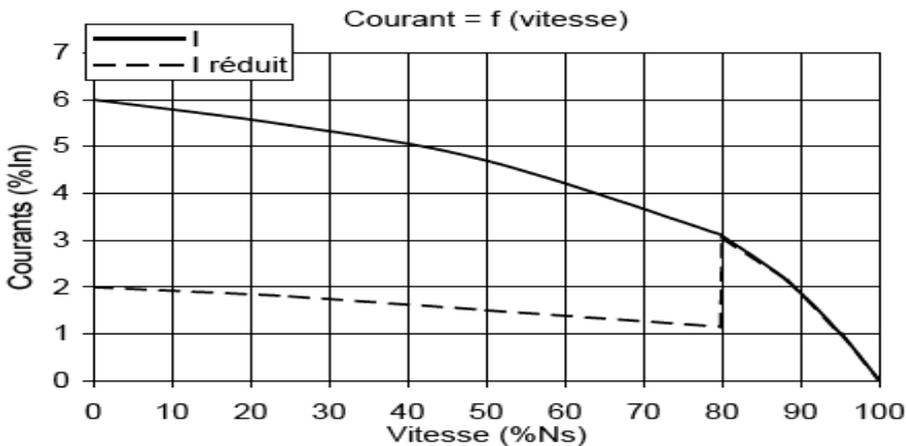
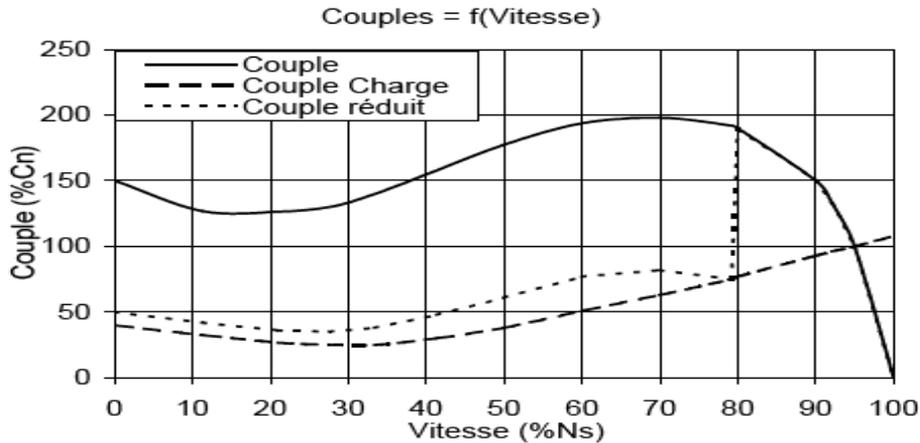
La tension réduite dans le rapport $\sqrt{3}$ qui est appliquée au moteur dans le 1^{er} temps du démarrage entraîne une réduction du tiers des grandeurs couple et intensité par rapport au démarrage direct.

Seuls les moteurs asynchrones triphasés avec rotor en court-circuit ou rotor à cage peuvent être démarrés en étoile-triangle.

Ce procédé de démarrage ne peut être utilisé que pour des moteurs conçus pour supporter en fonctionnement normal et pour un couplage triangle la tension composée du réseau.

Exemple :

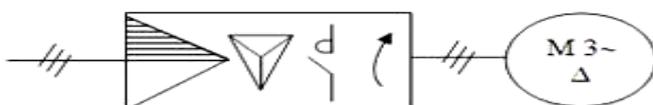
- Un moteur 380v/ 660v sur un réseau 220v/ 380v,
- Un moteur 220v/ 380v sur un réseau 110v/ 220v.



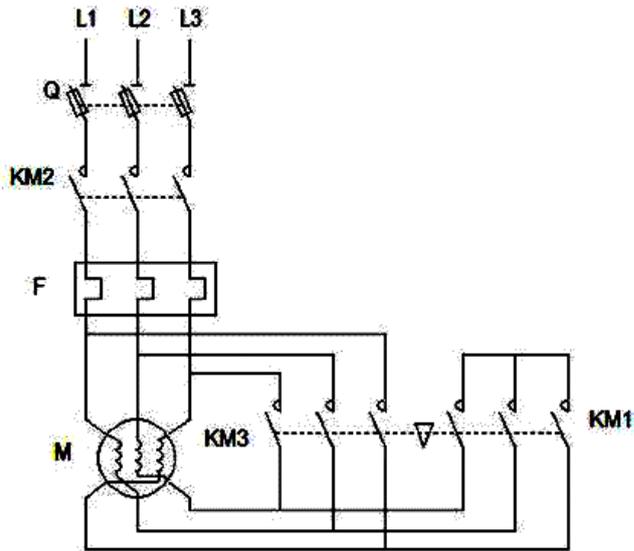
3. Démarrage étoile/triangle semi-automatique un sens de marche :

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé en étoile-triangle dans un sens de rotation par un bouton poussoir S₁ et l'arrêter par l'appui sur un bouton poussoir S₀.

Schéma fonctionnel :



Circuit de puissance :



Légende :

L1, L2, L3 : alimentation triphasée

Q : fusible sectionneur

KM1 : contacteur couplage étoile

KM2 : contacteur de ligne

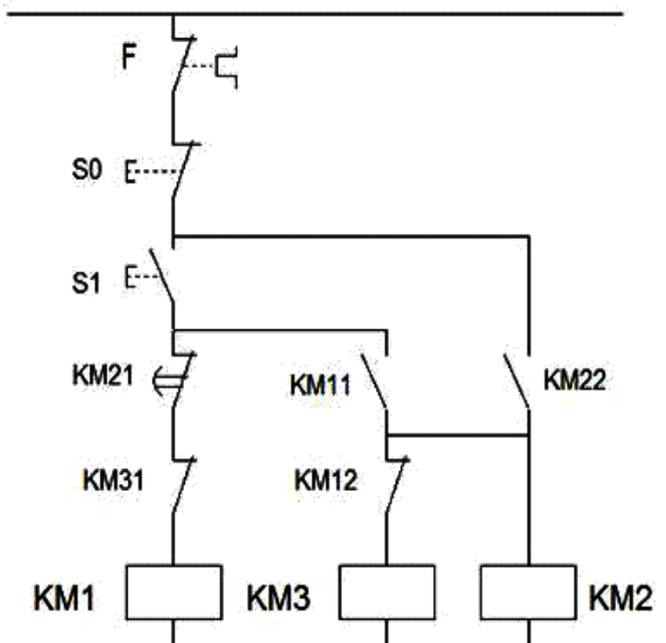
KM3 : contacteur couplage triangle

F : relais thermique

M : moteur triphasé

Circuit de commande :

Solution 1 :



Légende :

F : contact auxiliaire du relais thermique

S₀ : bouton poussoir arrêt

S₁: bouton poussoir marche

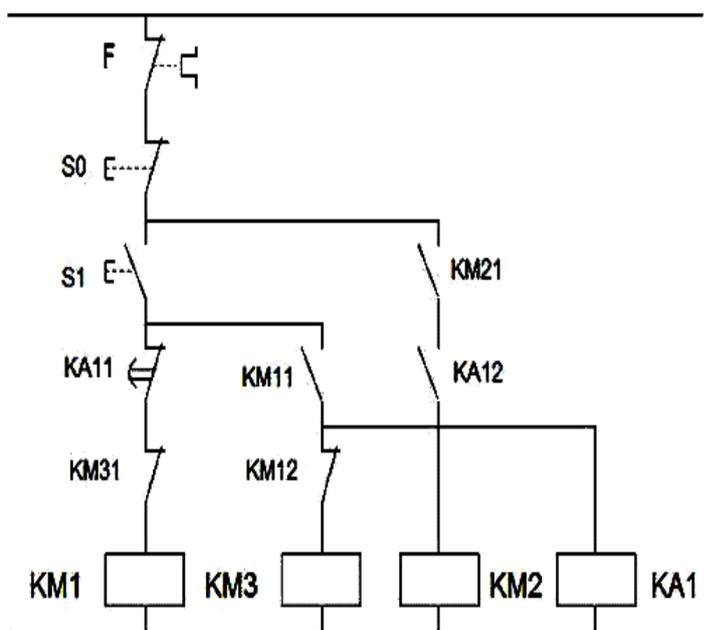
KM1 : bobine du contacteur couplage étoile

KM2 : bobine du contacteur ligne

KM3 : bobine du contacteur couplage triangle

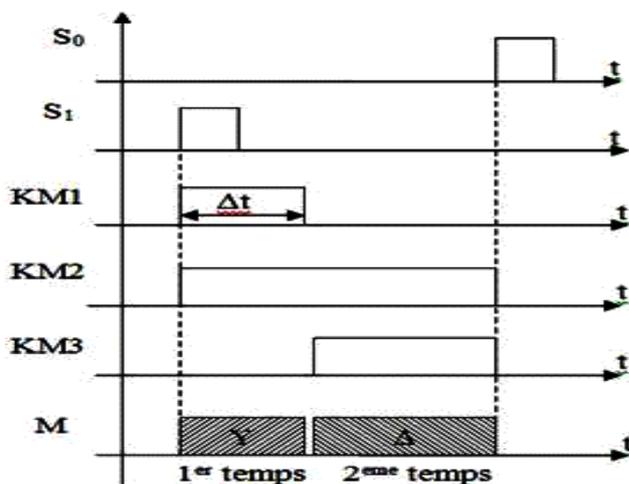
KM21 : contact auxiliaire à ouverture **retardé** à l'ouverture

Solution 2 : utilisation d'un relais différé



KA1 : relais auxiliaire qui possède un contact temporisé retardé à l'ouverture KA11

Chronogramme de fonctionnement :



Δt : durée de la temporisation du contact KM21 et KA11

Equations :

Solution 1 du circuit de commande :

$$KM1 = \overline{FS0}(S1 + KM22)\overline{KM21}KM31$$

$$KM2 = \overline{FS0}(S1KM11 + KM22)$$

$$KM3 = \overline{FS0} KM22 \overline{KM12}$$

Fonctionnement de la partie commande :

Une impulsion sur S1 alimente le relais KM1. Le contacteur KM1 se ferme et le relais KM2 et KA1 sont activés : il y a auto alimentation (KM21 est fermé). Les contacteurs de puissance KM1 et KM2 étant fermés, on a un couplage étoile.

Au bout de 2 secondes, le contacteur à ouverture temporisée KA11 s'ouvre, entraînant avec un léger retard la fermeture du contacteur KA12: Le relais KM3 est alors alimenté. Les contacteurs KM2 et KM3 sont donc fermés : c'est le couplage Triangle et le moteur démarre à pleine tension.

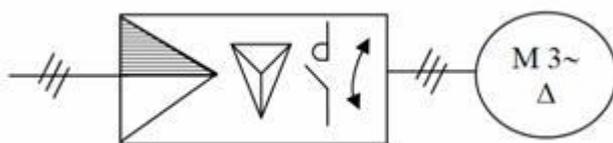
Note : le léger retard à la fermeture du contacteur KA12 est nécessaire afin d'éliminer tout risque de court-circuit des phases (KM3 et KM1 ne doivent jamais être fermés en même temps). Pour arrêter le moteur on appuie sur S0.

Deux points importants sont à souligner :

- le contacteur KM1 est mis hors tension après un temps $t = t_1 - t_0$ correspondant à la temporisation du contacteur KA11,
- l'alimentation du moteur est interrompue au changement de couplage afin d'éviter le court-circuit entre phase. Compte tenu de l'inertie du système, cette coupure momentanée d'alimentation est sans conséquence.

4. Démarrage étoile/triangle semi-automatique 2 sens de marche

Schéma fonctionnel :



Légende :

S1 – bp d'arrêt, S2 – bp de marche avant, S3 – bp de marche arrière,

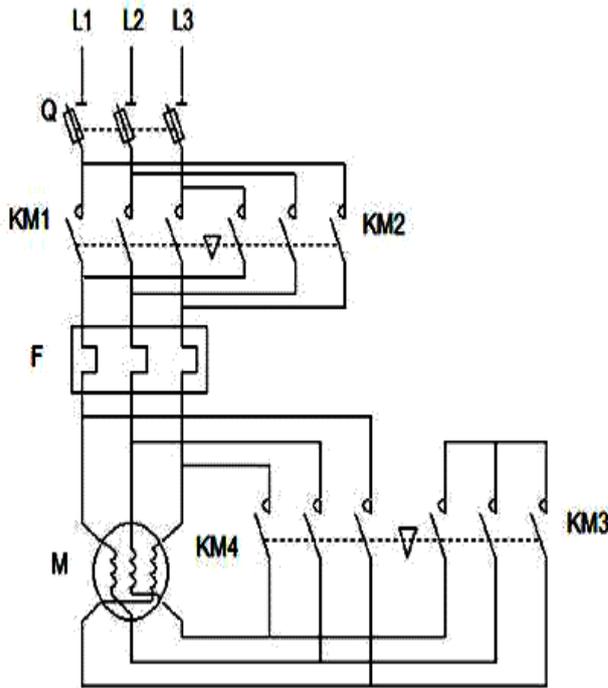
KM1 – contacteur de marche avant,

KM2 – contacteur de marche arrière,

KM3 – contacteur couplage étoile,

KM4 – contacteur couplage triangle.

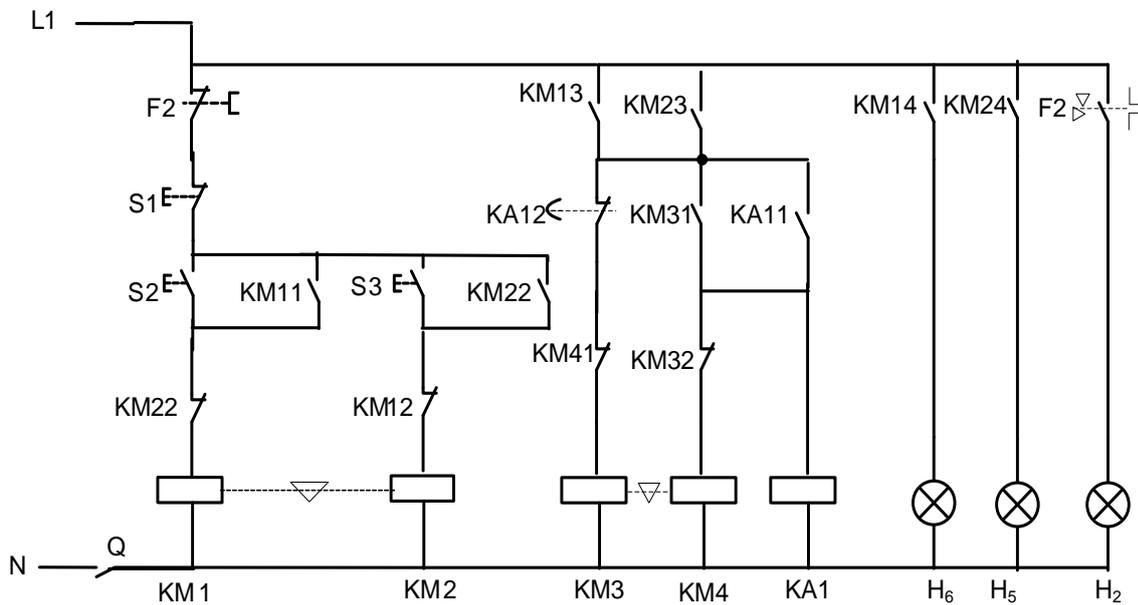
Circuit de puissance :



Légende :

- Q : fusible sectionneur
- KM1 : contacteur marche avant
- KM2 : contacteur marche arrière
- KM3 : contacteur couplage étoile
- KM4 : contacteur couplage triangle
- F : relais thermique
- M : moteur triphasé

Circuit de commande:



Fonctionnement :

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine KM1 ce qui provoque :

- son auto alimentation

- l'excitation des bobines KM3 (couplage étoile) et KA1 (relais auxiliaire temporisé) qui font agir leurs contacts
- le moteur démarre en couplage étoile.

Une fois la temporisation finie (quelque seconde), KA12 s'ouvre, ce qui entraîne :

- la désexcitation de la bobine KM3
- l'excitation de la bobine KM4, alors le couplage du moteur passe de l'étoile en triangle et le démarrage est terminé sous une tension pleine.

Une action sur le bouton poussoir S1 ou un fonctionnement du relais thermique F2 désexcite toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir S3 excite la bobine KM2 qui fait agir tous ses contacts (NO et NF) et provoque le même cycle décrit précédemment avec seulement une inversion de sens de rotation du moteur (en effet il y a inversion de 2 phases L1 et L3 dans le circuit de puissance).

N.B : il faut verrouiller mécaniquement et électriquement les contacteurs KM1 et KM2 ainsi que KM3 et KM4 pour éviter un court – circuit.

Démarrage en trois temps :

Pour diminuer la surintensité au passage étoile – triangle, on ajoute un troisième temps dans lequel des résistances sont mises en série avec les enroulements couplés en triangle pendant environ 3 secondes.

- 1^{er} temps : étoile,
- 2^{em} temps : triangle + résistances,
- 3^{em} temps : triangle.

a) Avantages de ce type de démarrage :

- Démarreur relativement peu onéreux
- Le courant de démarrage est plus faible qu'en direct et donc moins perturbant pour le réseau.

b) Inconvénient :

- Couple de démarrage faible
- Coupure de l'alimentation et courants transitoires importants au passage Etoile/triangle

c) Utilisation :

Réservé essentiellement aux machines démarrant à vide.

VII. DEMARRAGE PAR ELIMINATION DES RESISTANCES STATORIQUES :

1. Principe :

Ce démarrage s'effectue en deux temps :

1. Alimenter le stator sous une tension réduite par insertion dans chacune des phases du stator d'une ou plusieurs résistances
2. Alimenter le stator par la pleine tension du réseau en court-circuitant les résistances lorsque la vitesse du moteur atteint 80% de la vitesse nominale.

2. Caractéristiques techniques :

Pendant la phase de démarrage :

- l'intensité en ligne est proportionnelle à la tension appliquée au moteur,
- le couple de décollage est proportionnel au carré de la tension appliquée.

Malgré un couple de décollage assez faible, de l'ordre de $0,75T_n$, la pointe d'intensité reste importante de l'ordre de 4 à $5I_n$.

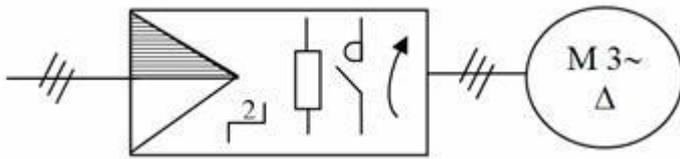
Ce procédé de démarrage est souple : la tension d'alimentation réduite par les résistances ne reste pas constante mais croît au fur et à mesure que le moteur s'accélère. En effet, l'intensité maximale au décollage diminue dans le temps, ce qui entraîne une chute de tension de plus en plus importante dans les résistances.

De ce qui précède, il faut retenir que ce procédé de démarrage :

- permet une mise en vitesse plus rapide et sans à-coups,
- provoque une surintensité acceptable au moment du court – circuitage des résistances,
- supprime les phénomènes transitoires (les enroulements du moteur ne sont jamais déconnectés du réseau)

3. Démarrage statorique, semi-automatique un sens de marche :

Schéma fonctionnel :



Deux solutions peuvent être envisagées :

- a) le contacteur est en série avec les résistances : il met ces dernières en service au 1^{er} temps de démarrage (schéma 1)
- b) le contacteur est en parallèle avec les résistances : il assure le court – circuitage des résistances (schéma 2).

Circuit de puissance :

Schéma 1

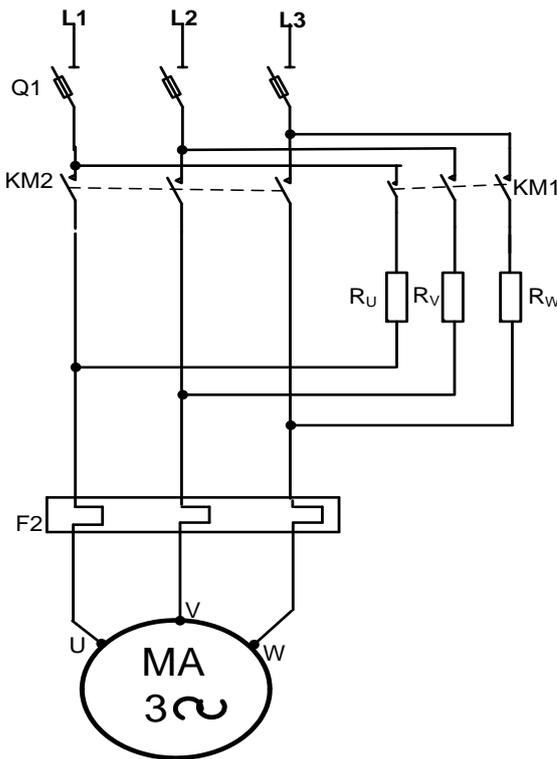
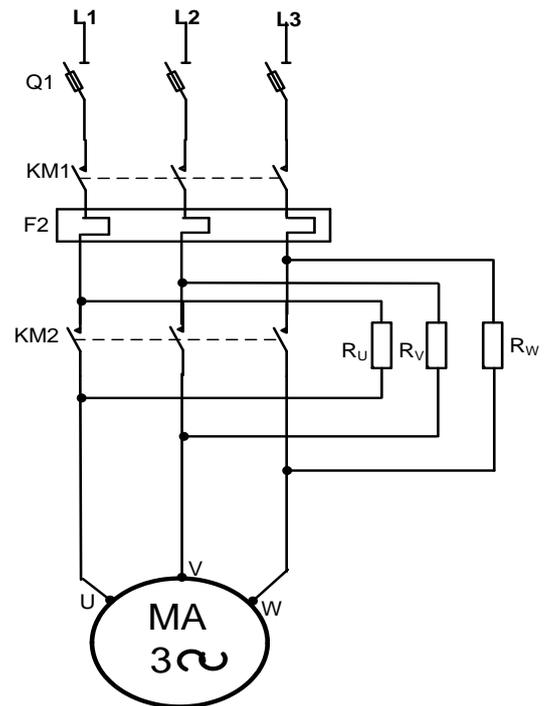


Schéma 2



Circuit de commande :

Légende :

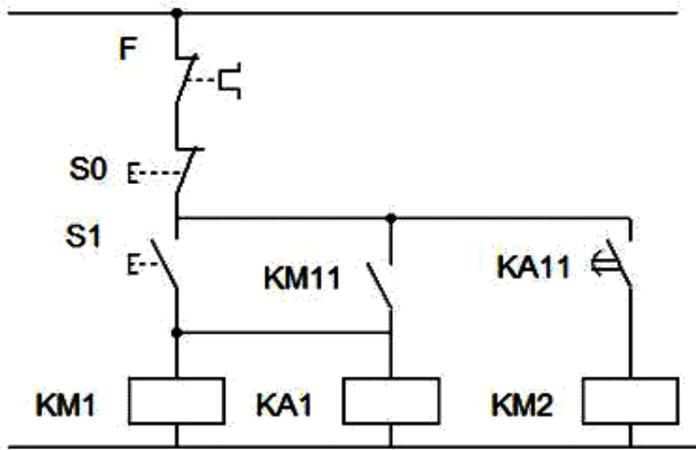
Q1 : sectionneur porte fusible

KM1 : contacteur de ligne

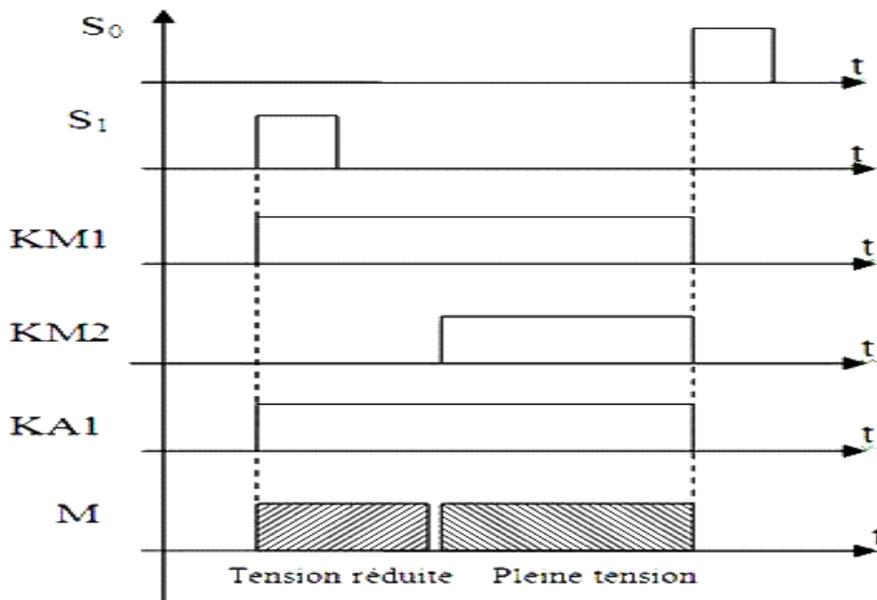
KM2 : contacteur de court-circuit
des résistances

Ru, Rv et Rw : groupe de résistances

F : contact auxiliaire du relais



Chronogramme de fonctionnement :



Equations :

$$KM1 = \overline{F} \overline{S0} (S1 + KM11)$$

$$KM2 = \overline{F} \overline{S0} KA11$$

$$KA1 = KM1$$

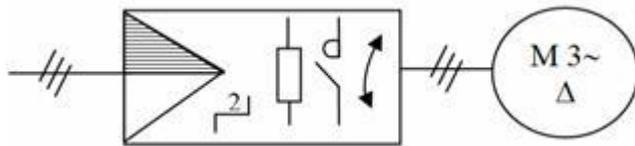
Fonctionnement :

Le sectionneur Q1 étant fermé, une impulsion sur le bouton poussoir S2 excite la bobine KM1 qui ferme son contacteur KM1 pour son auto alimentation, le moteur démarre avec les résistances en série sur le stator.

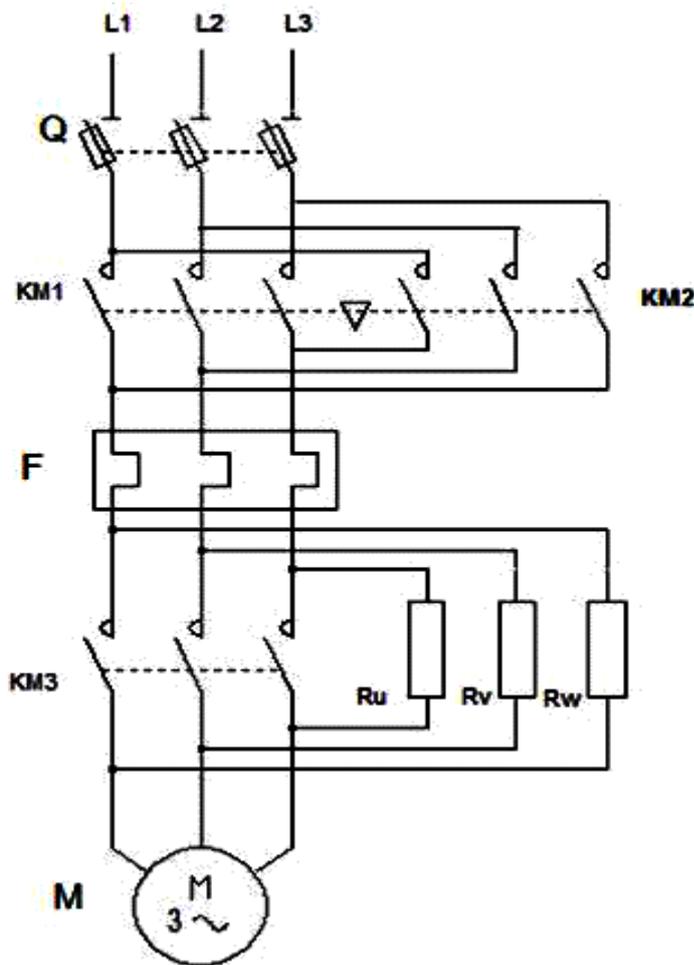
Lorsque le contact temporiser KA11 se ferme, le contacteur KM2 s'enclenche et court-circuite les résistances et le moteur démarre à pleine tension.

4. Démarrage statorique, semi-automatique, deux sens de marche :

Schéma fonctionnel :



Circuit de puissance :



Légende :

KM1 : contacteur de marche avant

KM2 : contacteur de marche arrière

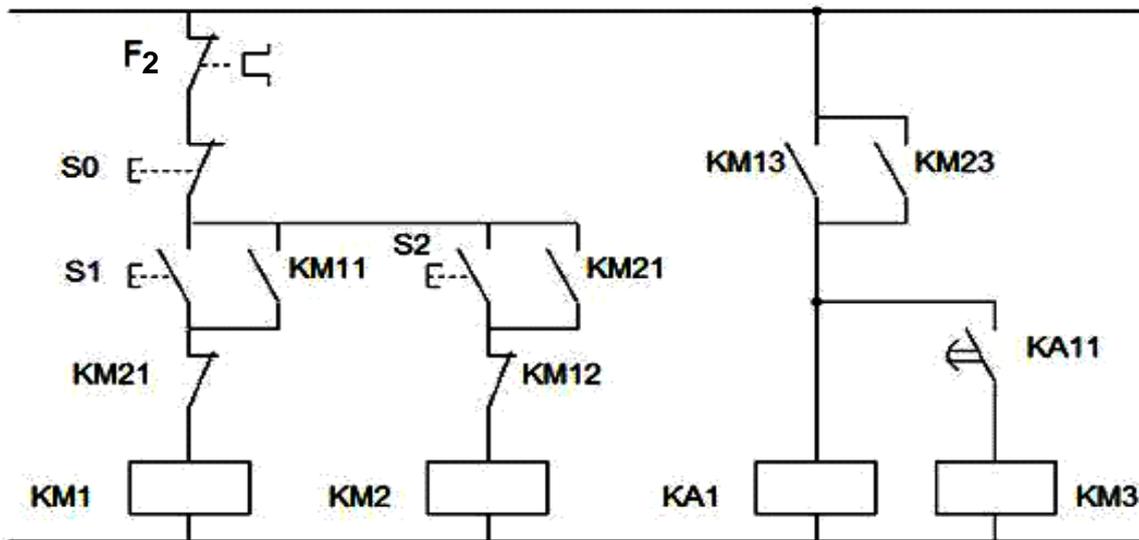
KM3 : contacteur de court-circuit des résistances

Ru, Rv et Rw : groupe de résistances

Remarque :

- Lorsqu'on augmente l'insertion de groupes de résistances, on augmente les temps du démarrage statoriques.

Circuit de commande :



Equations :

$$KM1 = \overline{FS0} (S1 + KM11) \overline{KM21}$$

$$KM2 = \overline{FS0} (S2 + KM21) \overline{KM12}$$

$$KA1 = (KM13 + KM23)$$

$$KM3 = (KM13 + KM23) KA11$$

Fonctionnement :

Une impulsion sur S1 excite la bobine KM1 qui ferme son contacteur KM11 pour son auto alimentation et KM13 pour excité KA1 pour la temporisation, le moteur démarre avec les résistances mises en série sur le stator. Lorsque le contact temporisé KA11 se ferme, KM3 sera excité et entraîne le court-circuitage des résistances.

Une impulsion sur le bouton poussoir S0 ou un fonctionnement de F2 désexcite toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine KM2 qui fait agir tous ses contacts et provoque le même cycle décrit précédemment avec seulement une inversion de sens de rotation du moteur.

Conclusion :

A) Avantages :

- il y a aucune coupure d'alimentation du moteur pendant le démarrage,
- la tension d'alimentation est très fortement réduite au moment du démarrage, car l'appel du courant reste important. Lorsque le moteur s'accélère, l'intensité dans les résistances statoriques diminue ceci entraîne

une réduction de la chute de tension aux bornes de ces résistances, donc un meilleur couple qu'avec une tension constante comme ce le cas dans un montage étoile – triangle,

- démarrage progressif.

B) Inconvénients :

- l'intensité de démarrage reste élevée car elle est proportionnelle au carré de la tension appliquée, **$I_d = 4 \text{ à } 5I_n$** .

- le couple de démarrage est diminué par rapport à un démarrage direct, **$T_d = 0,75T_m$** .

- le temps de démarrage est assez long, d'où nécessité d'un appareillage de démarrage.

C) Emplois :

Ce procédé de démarrage convient aux machines dont le couple de démarrage est plus faible que le couple normal de fonctionnement (machines à forte inertie). C'est le cas des machines à bois, machines-outils, les ventilateurs. On peut adapter la valeur des résistances au couple de démarrage à obtenir.

VIII. Démarrage par élimination de résistances rotoriques :

1. Principe :

Ce démarrage consiste à alimenter directement les enroulements du stator sous leur tension nominale et à coupler les enroulements du rotor en étoile.

Ce démarrage s'exécute en plusieurs temps (minimum 3 temps) :

1. 1^{er} temps : on limite le courant dans les enroulements du rotor en insérant des résistances.
2. 2^{eme} temps : on diminue la résistance du circuit rotor en éliminant une partie des résistances.
3. 3^{eme} temps : on supprime toutes les résistances rotoriques ce qui donne un rotor court-circuité (couplage étoile).

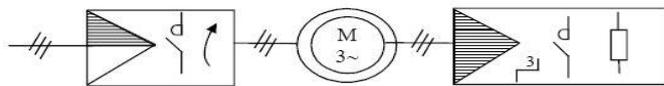
2. Caractéristiques techniques :

Dans ce procédé de démarrage en trois temps, l'intensité et le couple de démarrage sont réduits proportionnellement au carré de la tension, ce qui est

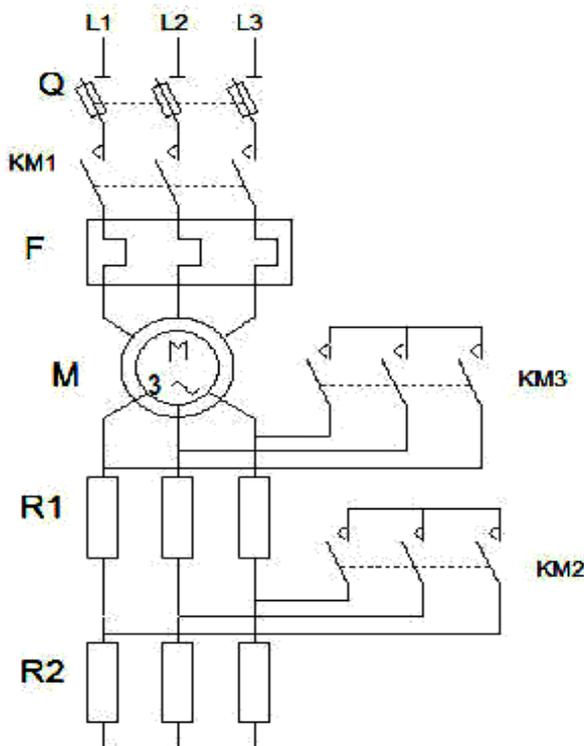
un avantage comparativement au démarrage statoriques. Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni ou très peu supérieur. On obtient fréquemment des couples de démarrage égaux à **2,5In** sans surintensité excessive. On peut encore réduire les pointes de surintensités en augmentant le nombre de temps de démarrage.

Le moteur doit être du type rotor bobiné avec les sorties reliés à des bagues.

3. Démarrage rotorique, semi-automatique un sens de marche :
Schéma fonctionnel :



Circuit de puissance :

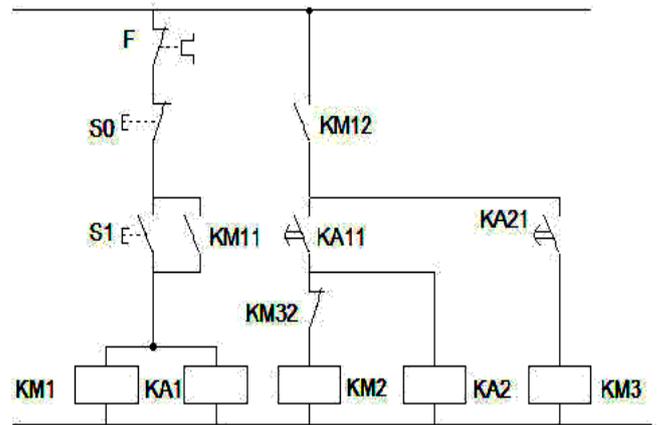
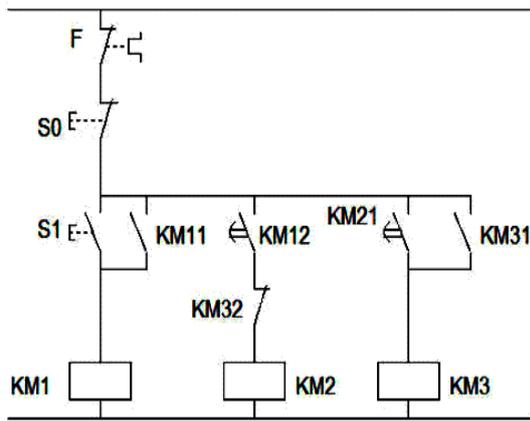


Légende :

- Q : fusible sectionneur
- KM1 : contacteur de ligne
- KM2 : contacteur 2^{eme} temps
- KM3 : contacteur 3^{eme} temps
- R1 et R2 : 2 groupes de résistances
- F : relais thermique
- M : moteur à rotor bobiné

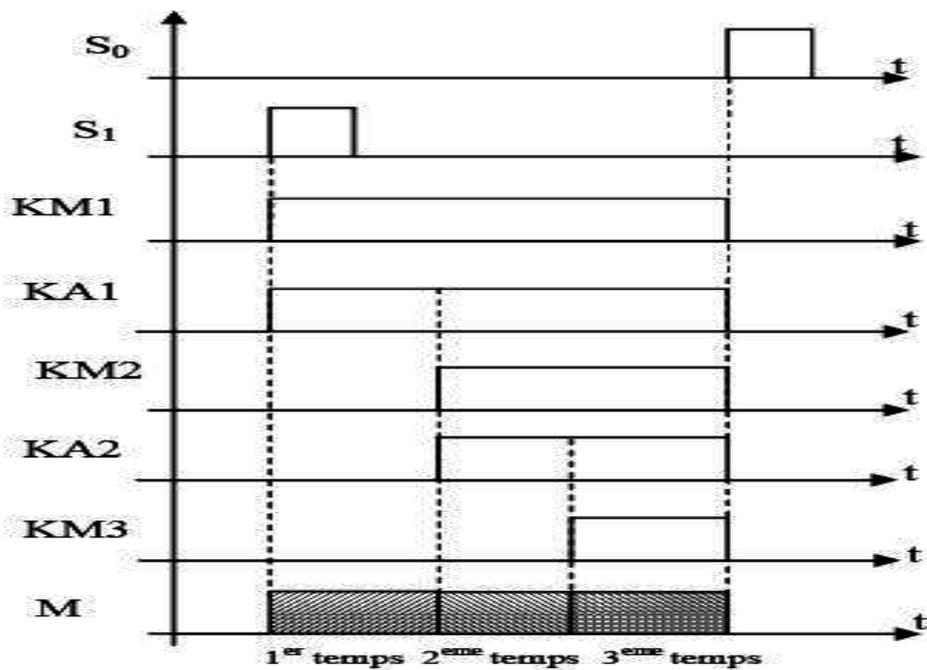
Circuit de commande :

Solution1 :



Solution2 :

Chronogramme de fonctionnement :

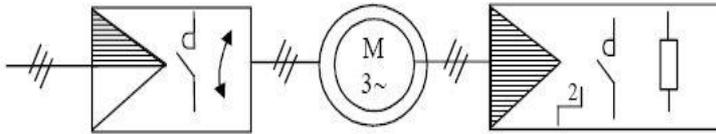


Fonctionnement :

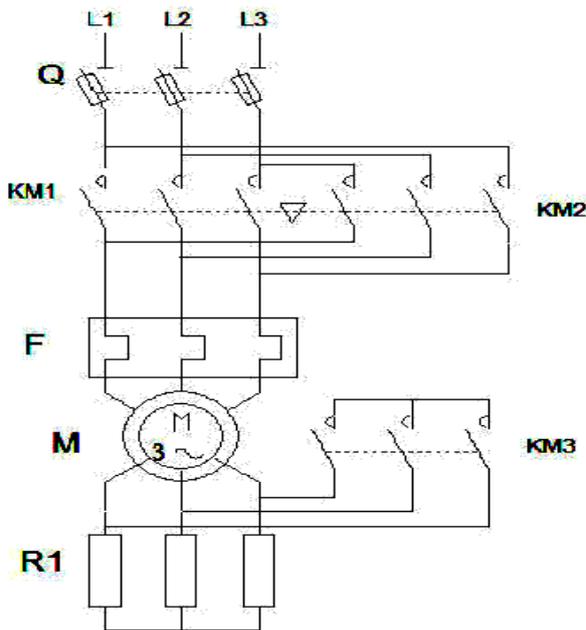
Une impulsion sur S1 enclenche KM1 qui s'autoalimente et alimente KA1. La fermeture du contact temporisé KA11 enclenche KM2 qui court-circuite une partie des résistances et en même temps KA2 s'excite. Une fois KA2 excitée son contact temporisé KA21 enclenche KM3 qui court-circuite la totalité des résistances et le moteur démarre à pleine tension.

VII_{7.4} - Démarrage rotorique, semi-automatique deux sens de marche :

Schéma fonctionnel :



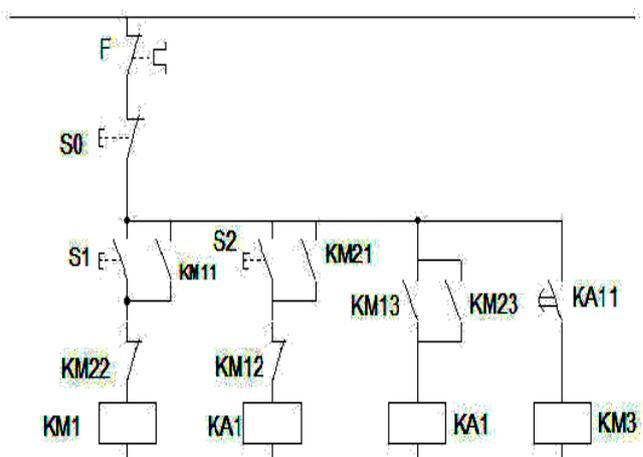
Circuit de puissance :



Légende :

- Q : fusible sectionneur
- KM1 : contacteur sens 1
- KM2 : contacteur sens 2
- KM3 : contacteur 2^{ème} temps
- R1 : groupe de résistances
- F : relais thermique
- M : moteur à rotor bobiné

Circuit de commande :



Fonctionnement :

Une impulsion sur S1 excite la bobine KM1 qui ferme son contact d'auto-alimentation KM11 et excite le relais auxiliaire KA1 par son contact KM13 et le moteur est sous tension. Quelque instant après, KA11 se ferme et excite la bobine KM3 et ferme son contact dans le circuit de puissance court-circuitant une partie des résistances et en même temps excite le relais auxiliaire temporisé KA2. Quelque instant après KA21 se ferme et enclenche KM4 qui court-circuite totalement les résistances.

Une impulsion sur S0 ou un fonctionnement de F2 désexcite toutes les bobines et ainsi le moteur s'arrête. Pour faire démarrer le moteur en marche arrière, on appuie sur le bouton poussoir S2 qui fait agir tous ses contacts et provoque le même cycle décrit précédemment.

Conclusion :

d) Avantages

- L'appel de courant est, pour un couple donné, le plus faible par rapport à tous les autres modes de démarrages **$I_d = 2,5I_n$** ,
- Possibilité de choisir, par construction, le couple et le temps de démarrage **$T_d < 2,5T_n$** ,
- Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.

e) Inconvénients

- Nécessite un moteur à rotor bobiné plus onéreux et moins robuste qu'un moteur à cage,
- Equipement nécessitant autant des contacts et des résistances que le temps de démarrage,
- Moteur très cher,
- Temps de démarrage assez long (de l'ordre de 3 à 10s)

f) Emploi

Ce démarrage extrêmement souple (possibilité d'ajuster la valeur et le nombre des résistances) convient pour les machines démarrant à pleine charge et dans les cas où les pointes de courant doivent être de faible amplitude. Dans tous les cas difficile nécessitant des démarrages longs et fréquents et aux machines demandant une mise en vitesse progressive.

IX. **DEMARRAGE PAR AUTOTRANSFORMATEURS:**

1. Principe :

Ce démarrage consiste à utiliser un autotransformateur, qui est un appareil dont le circuit primaire est alimenté par le réseau et qui délivre à son secondaire une tension pouvant varier linéairement de 0 à 100% de la tension primaire.

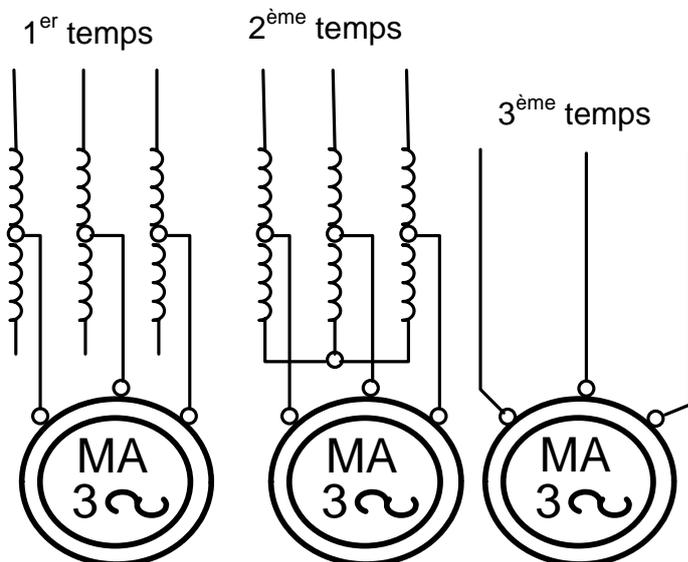
Un moteur alimenté par un tel dispositif n'est donc jamais séparé du réseau d'alimentation et tous les phénomènes transitoires sont supprimés. Les conditions technologiques exigent que le moteur asynchrone doit être de type rotor en court-circuit ou à cage d'écureuil.

Ce type de démarrage s'effectue aussi en trois temps

Au moment du démarrage, la tension est réduite au moyen d'un autotransformateur:

1. 1^{er} temps : l'autotransformateur est monté en étoile et le moteur par une tension réduite.
2. 2^{ème} temps : ouverture du point étoile, seule la self de la partie supérieure de l'enroulement limite le courant,
3. 3^{ème} temps : alimentation du moteur sous pleine tension.

Schémas :

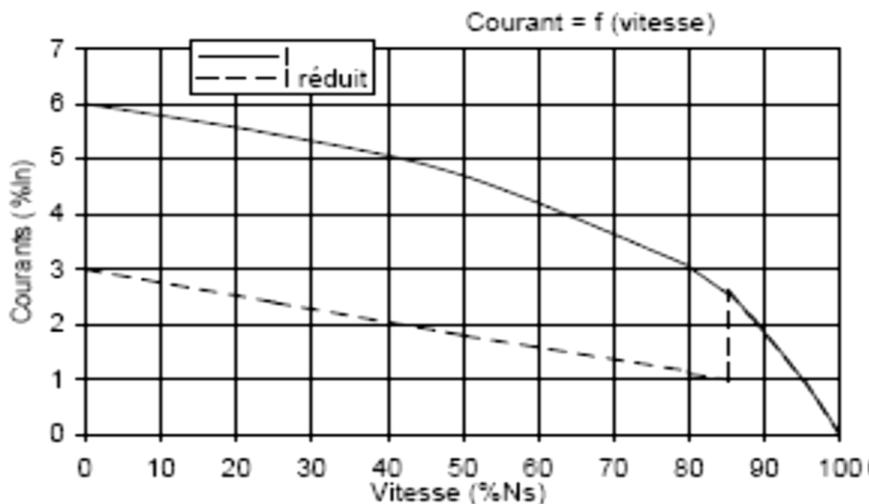
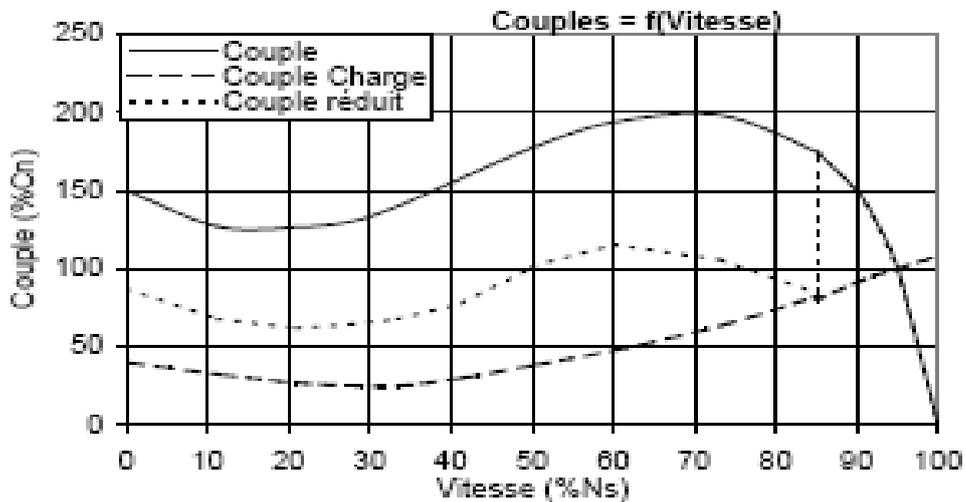


2. Caractéristiques techniques :

Le courant à l'intérieur de chaque enroulement est réduit dans le rapport de la tension. Souvent plusieurs prises sont prévues sur l'autotransformateur ce

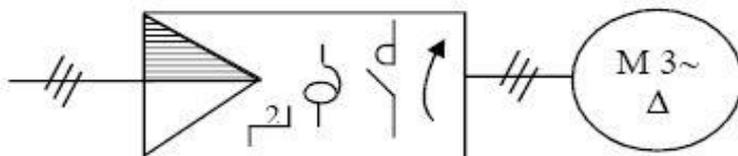
qui permet d'ajuster la tension de démarrage, donc l'intensité en fonction de la machine entraînée.

Le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension. On obtient un couple élevé avec une pointe d'intensité plus faible que pour les autres procédés de démarrage.

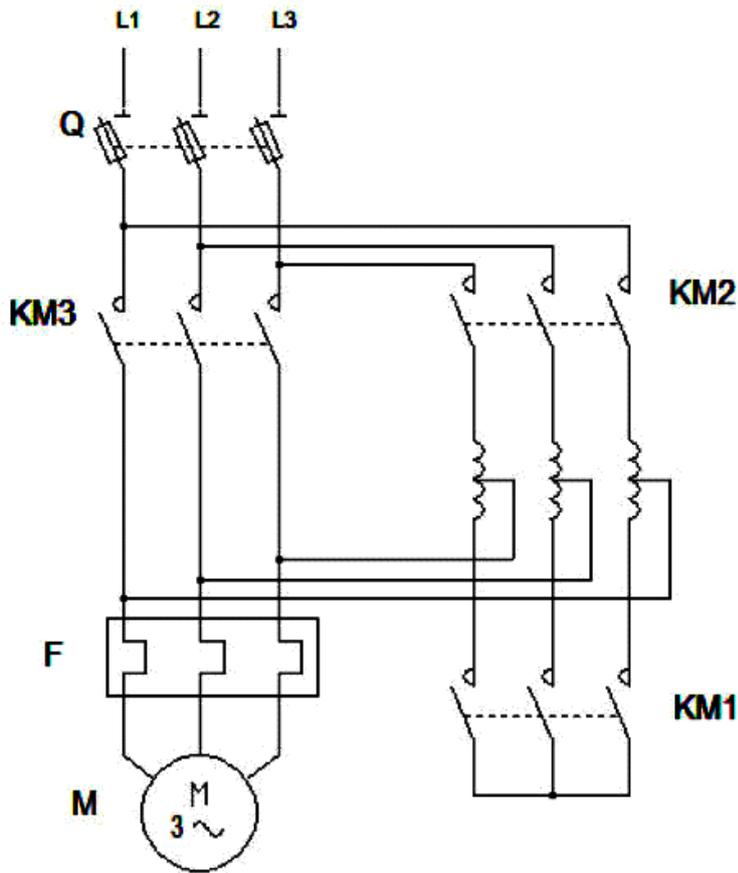


3. Démarrage semi-automatique par auto-transformation, un sens de marche :

Schéma fonctionnel :



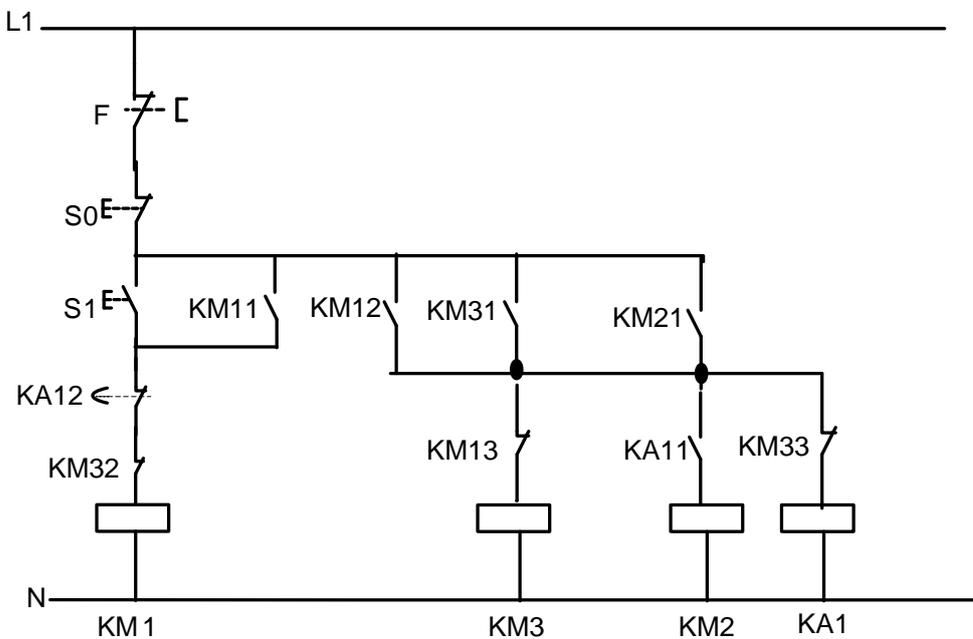
Circuit de puissance :



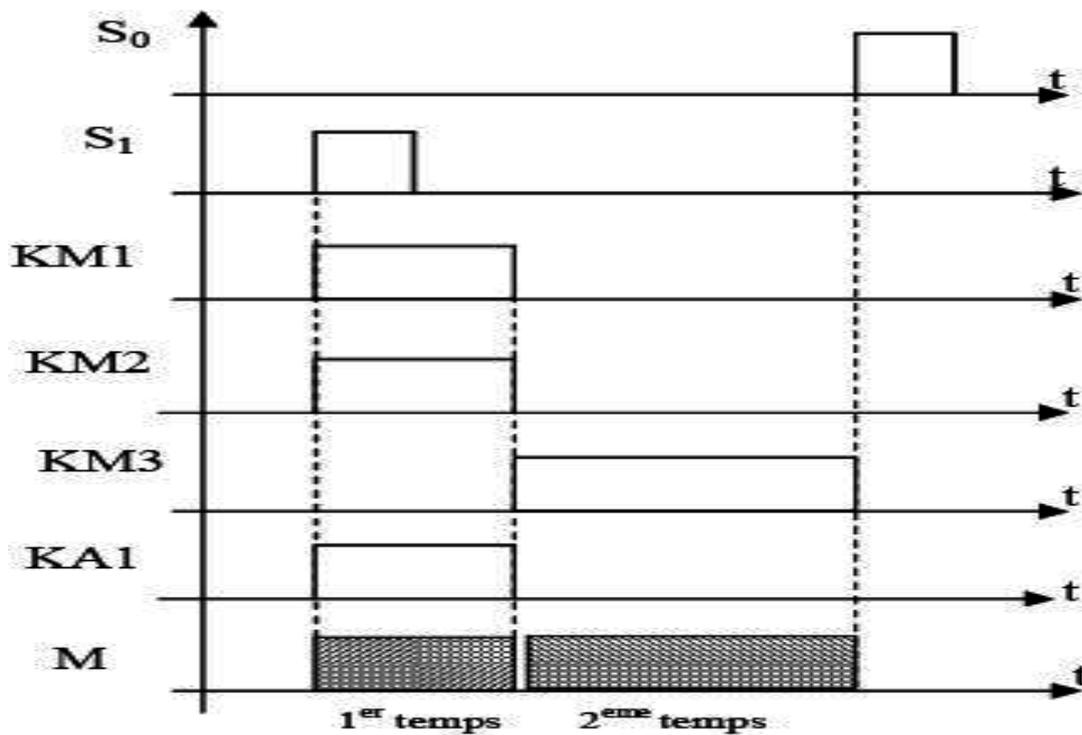
Légende :

- Q : fusible sectionneur
- KM1 : contacteur moteur
- KM2 : contacteur alimentation de l'autotransformateur
- KM3 : contacteur couplage étoile de l'autotransformateur
- KA1 : relais auxiliaire temporisé retardé à l'action.
- F : relais thermique

Circuit de commande :



Chronogramme de fonctionnement :



Fonctionnement :

On appuie sur le bouton poussoir S1 KM1 s'excite, fait agir tous ses contacts, couple l'autotransformateur en étoile au niveau du circuit de puissance. En fermant son contact KM12, KA1 s'excite et son contact KM13 met KM3 hors service. Du moment où KA1 est excité, il ferme son contact KA11 qui excite KM2, ce dernier ferme à son tour son contact KM21 pour son auto alimentation et en même temps KM2 du circuit de puissance alimentant ainsi l'autotransformateur et le moteur démarre. Quelques instants après KA12 s'ouvre et désexcite KM1 ramenant ainsi tous ses contacts à l'état de repos, ce qui élimine le couplage étoile de l'autotransformateur branchant ainsi le moteur en série avec l'inductance. Quand KM13 revient à son état initial, il excite KM3 d'où l'alimentation directe du moteur et KM32 verrouille KM1, KM31 autoalimente KM3, KM33 coupe KA1. Quand KA1 est désexcité, il ouvre son contact KA11 qui désexcite lui aussi KM2 éliminant ainsi l'autotransformateur par son contact KM2 du circuit de puissance et le moteur démarre à pleine tension.

Conclusion

a) Avantage

- Possibilité de choisir le couple de décollage,
- Réduction, dans le même rapport, du couple et de l'appel de courant,
- Démarrage en trois temps sans coupure.

b) Inconvénients

- Trop cher,
- Nécessite un autotransformateur spécial et trois contacts.

c) Emplois

Ce système présente le plus d'avantage techniques. Il est utilisé, en général, pour les machines de puissance supérieure à 100kW et convient bien pour les compresseurs rotatifs à piston, les pompes, les ventilateurs.

Chapitre 8. PROCÉDES DES FREINAGES DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

Il existe divers types de freinage pour les moteurs asynchrones, cependant les plus utilisés sont :

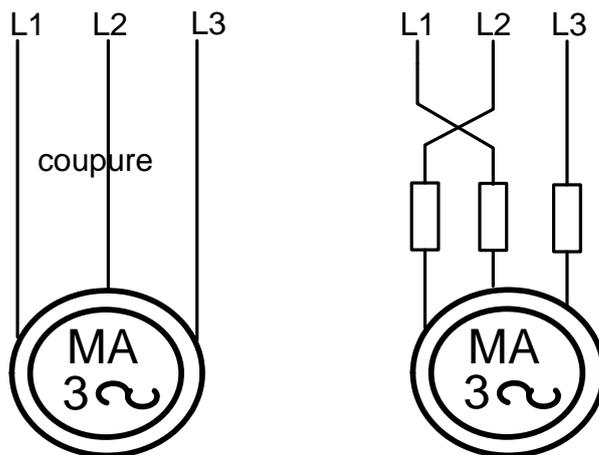
- Freinage à contre-courant ;
- Freinage par injection de courant continu ;
- Freinage mécanique.

I. FREINAGE A CONTRE-COURANT :

1. Principe

Ce procédé consiste à inverser le branchement du stator alors que le moteur est encore en rotation, c'est-à-dire après la coupure de l'alimentation du moteur, pendant la période de ralentissement, un courant en sens inverse est envoyé dans les enroulements par inversion de deux phases.

2. Schémas :



3. Inconvénients :

- le dégagement de la chaleur dû à l'augmentation du courant dans le rotor est important
- le courant dans les enroulements du stator augmente lors du freinage, pour le limiter, on peut insérer dans son circuit des résistances.
- Energie importante à dissiper dans le rotor et dans le réseau

4. Avantage:

Ce type de freinage est très efficace, la tension inverse d'alimentation doit être coupée lorsque le moteur est à l'arrêt. Aucune pièce mécanique en contact.

La détection de la vitesse nulle est obtenue par des dispositifs à frictions, centrifuge ou chronométrique. Pour réduire le couple au freinage on peut :

- insérer des résistances statoriques pour les moteurs à rotor en court-circuit
- utiliser les résistances rotoriques de démarrage pour les moteurs à bagues.

Il faut également veiller au contrôle de l'arrêt pour éviter que le moteur ne tourne pas en sens inverse. Ce contrôle est assuré :

- soit par dispositif chronométrique
- soit par relais de mesure de vitesse (contact centrifuge)
- soit par relais de mesure de tension rotorique
- soit par relais de mesure d'intensité statorique

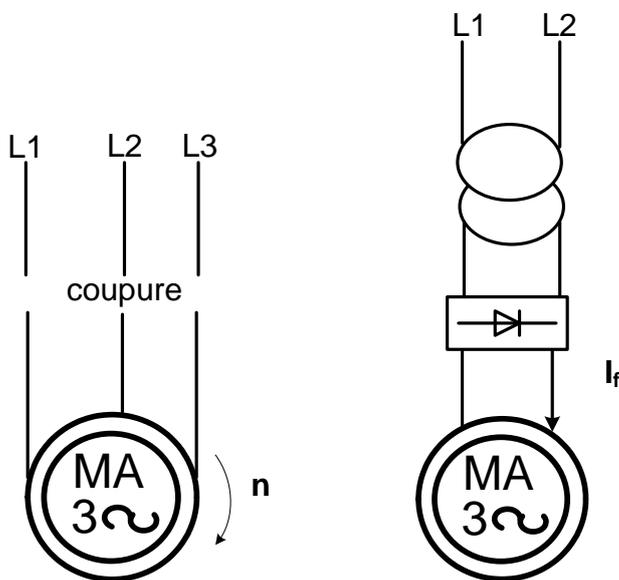
Les 2 derniers procédés donnent une image très fidèle à la vitesse

II. FREINAGE PAR INJECTION DU COURANT CONTINU

Ce procédé consiste après avoir déconnecté le moteur du réseau d'alimentation, à brancher sur 2 bornes du stator une source du courant continu très basse tension (20 à 24v). C'est-à-dire le stator est alimenté par une tension redressée afin de créer un champ magnétique fixe. Cependant le rotor du moteur tend à suivre le champ fixe et tend à s'immobiliser.

Ce procédé de freinage peut être utilisé indifféremment sur le moteur à rotor en court-circuit ou à rotor bobiné. Il est aussi souvent intégré dans les variateurs de vitesses électroniques.

1. Schémas :



2. Avantage :

- faible énergie prise au réseau
- couple de freinage réglable (réglage de I_f) $1,3 \leq I_f \leq 1,5 I_n$
- aucun risque de démarrage en sens inverse
- faible énergie dissipée au rotor
- aucune pièce mécanique en contact

3. Inconvénients :

- Nécessite de couper le courant continu dans le stator du moteur afin d'éviter l'échauffement.

III. Freinage mécanique :

Ce dispositif de freinage fait appel à une machine supplémentaire associée ou intégrée au moteur principal.

On distingue: les électro freins, les moteurs freins et les ralentisseurs à courant de Foucault.

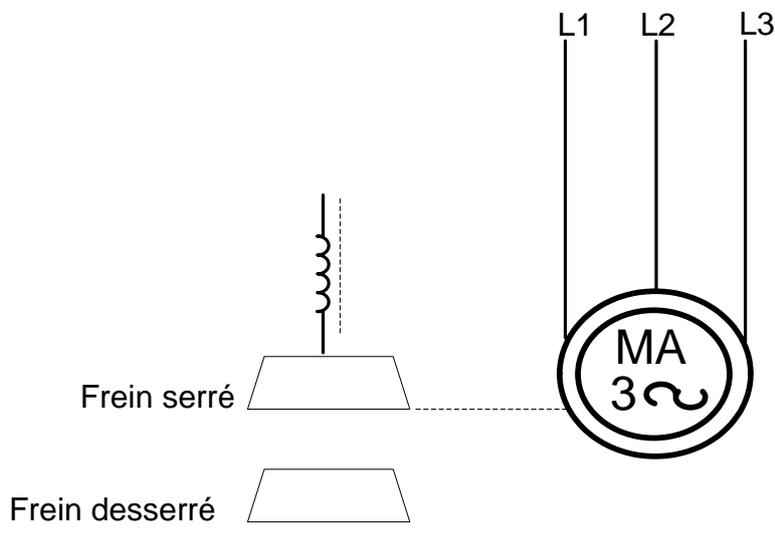
L'électro frein est le dispositif mécanique généralement le plus utilisé vu son prix et son gabarit.

L'électro frein est un dispositif mécanique de freinage qui est composé de :

- d'une bande
- des mâchoires
- des disques

Il est commandé par un électro-aimant alimenté par le réseau soit directement, soit par l'intermédiaire d'un dispositif redresseur. Le serrage du frein s'effectue par manque de tension.

1. Schéma :



Ce procédé est un freinage d'arrêt à action rapide et brutale.

L'inconvénient de ce procédé est que le freinage est brusque.

Chapitre 9. CALCUL DES TEMPS DES DIFFERENTS PROCEDES DE DEMARRAGE

1. Temps de démarrage direct

La formule est :

$$T_{dD} = 2,67.10^{-3} \frac{MD^2.n}{C_n} \text{ avec:}$$

T_{dD} : temps de démarrage direct en seconde (s)

MD^2 : moment d'inertie ou de giration ramené à la vitesse nominale (kgm^2)

n : fréquence de rotation finale (tr/min)

C_a : couple ou moment d'accélération (mkg)

2. Emarrage Etoile Triangle

La formule est :

$$T_y = 2,67.10^{-3} \frac{MD^2.n}{C_a}$$

3. Démarrage par élimination de résistances statoriques

Sa formule est :

$$t_{dt} = \alpha \frac{MD^2.n^2}{10^6.P_n}$$

t_{dt} : temps de démarrage total

α : constance à relever

P_n : puissance du nominal moteur (kW)

4. Démarrage par élimination des résistances rotoriques

$$t_{dt} = \alpha \frac{MD^2.n^2}{10^6.P_n}$$

5. Démarrage par autotransformateur

$$T_{at} = 2,67.10^{-3} \frac{MD^2.n}{C_a}$$

Chapitre 10. PROTECTION DES MACHINES ELECTRIQUES

Il existe deux types de protection de machines électriques :

- une protection interne
- une protection externe.

I. PROTECTION INTERNE DU MOTEUR

Certains constructeurs fabriquent les moteurs avec leur protection intégrée, c'est-à-dire qu'ils possèdent une protection isotherme (maintenus à une température constante). C'est un thermostat qui est placé sur un enroulement du moteur. En cas d'échauffement interne le contact du thermostat se ferme, ce qui provoque la coupure de source d'alimentation.

En général il y a trois protections isothermes (une par enroulement) qui possèdent leurs contacts raccordés en parallèles.

II. PROTECTION EXTERNE DU MOTEUR

Cette protection est assurée généralement par : le sectionneur, coupe circuit, le relais thermique et le bouton poussoir d'arrêt d'urgence.

1. Sectionnement

Cette fonction est assurée généralement par un sectionneur. Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit lorsque le courant est nul.

Ce sectionneur doit être manœuvré à la main et il doit agir sur tous les contacts actifs.

2. Protection contre les surcharges

Cette fonction est assurée dans la plus part des cas par le relais thermique. Il permet la protection du circuit et du moteur contre Les

3. Coupure de sécurité ou arrêt d'urgence

C'est un bouton d'arrêt d'urgence qui assure le plus souvent cette fonction. C'est un organe unique rapidement reconnaissable et accessible facilement, mettant hors tension la machine.

4. Protection contre les courts-circuits

Le coupe circuit à fusible est l'organe de protection contre les courts-circuits. Son pouvoir de coupure est généralement égal ou supérieur à 50kA, l'emploi d'un disjoncteur est possible, si son pouvoir de coupure est supérieur au courant de coupe circuit. Le coupe circuit à fusible comporte :

- un socle qui permet le raccordement à l'installation,
- une porte fusible supporte les éléments de remplacement,
- une cartouche fusible cylindrique ou à couteau qui contient l'élément fusible.

Selon l'utilisation, on choisira entre deux classes principales, l'élément de remplacement :

- classe **aM** (accompagnement moteur) : ces fusibles sont prévus uniquement pour la protection contre les courts circuits
- classe **gG**(usage général) : ils protègent contre les surcharges et les courts circuits.