

Schémas & Appareillages Électrique

Partie 03 : Élaboration des schémas électriques

5. 1. Normalisation

Un schéma électrique est un moyen de représenter les circuits et les installations électriques, c'est ainsi un langage devant être compris par tout électricien; raison pour laquelle il les règles de représentation doivent être respectées, et donc classifiées dans des normes internationales.

Le but de telle normalisation est d'arriver à un langage commun entre les électriciens facilitant l'écriture, la lecture et la compréhension des schémas électriques. La commission électrotechnique internationale (CEI), appelée aussi IEC (International Electrotechnique Commission). Créée en 1906, elle prépare des normes applicables à l'électricité et l'électronique.

5. 2. Schéma électrique

Il représente, à l'aide de symboles graphiques, différentes parties d'un réseau d'une installation ou d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement; un schéma électrique a pour but :

- d'expliquer le fonctionnement de l'équipement (il peut être accompagné de tableaux et de diagrammes) ;
- de fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation ;
- de faciliter les essais et la maintenance.

5. 3. Classifications des schémas

5.3.1 Classification selon le but envisagé

5.3.1.1 Schéma fonctionnel

Il est explicatif relativement simple, destiné à faire comprendre le fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation, par des symboles ou par des figures simples.

5.3.1.2 Schéma des circuits (de principe)

Il est explicatif destiné à faire comprendre en détail le fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation. Ce type tient compte des connections électriques et des liaisons qui interviennent dans l'installation.

5.3.1 .3 Schéma d'équivalence

Il est explicatif particulier nécessaire à l'analyse et aux calculs des caractéristiques d'un élément de circuit ou d'un circuit.

5.3.1.4 Schéma de réalisation

Celui-ci est destiné à guider la réalisation et la vérification des connexions d'une installation ou d'un équipement; ces connexions peuvent être intérieures à l'équipement ou extérieures aux différentes parties de l'équipement ou installation.

5.3.2 Classification selon le mode de représentation

Mettre en forme un schéma doit tendre vers un objectif de simplification graphique. L'utilisation de ce même schéma doit répondre à un besoin d'information technologique par fois très important. Ces deux facteurs, apparemment contradictoires imposent le choix du mode de représentation graphique le mieux adapté à la nature du problème posé et à la qualification professionnelle de l'utilisateur. Trois facteurs caractérisent le mode de représentation [1-2-12-15] :

- ✓ Le nombre de conducteurs ;
- ✓ L'emplacement des symboles ;
- ✓ La représentation topographique.

5.3.2.1 Nombre de conducteurs

Selon ce nombre, celui d'appareils ou éléments représentés par un symbole, on peut distinguer :

La représentation unifilaire

Deux ou plus de deux conducteurs sont représentés par un trait unique. On indique sur ce trait le nombre de conducteurs en parallèle [8] Cette représentation est surtout utilisée en triphasé

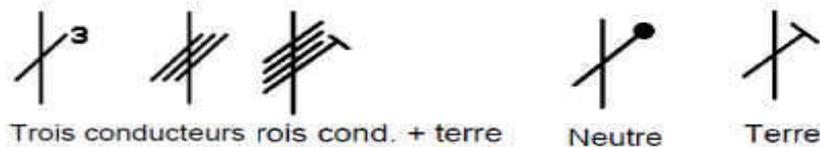
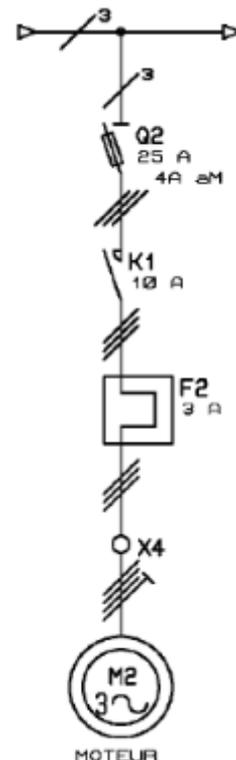


Figure 5.1 Présentation unifilaire[15]

Représentation multifilaire

Tout conducteur est représenté par un trait. Exemple : démarrage direct d'un moteur triphasé (circuit de puissance).



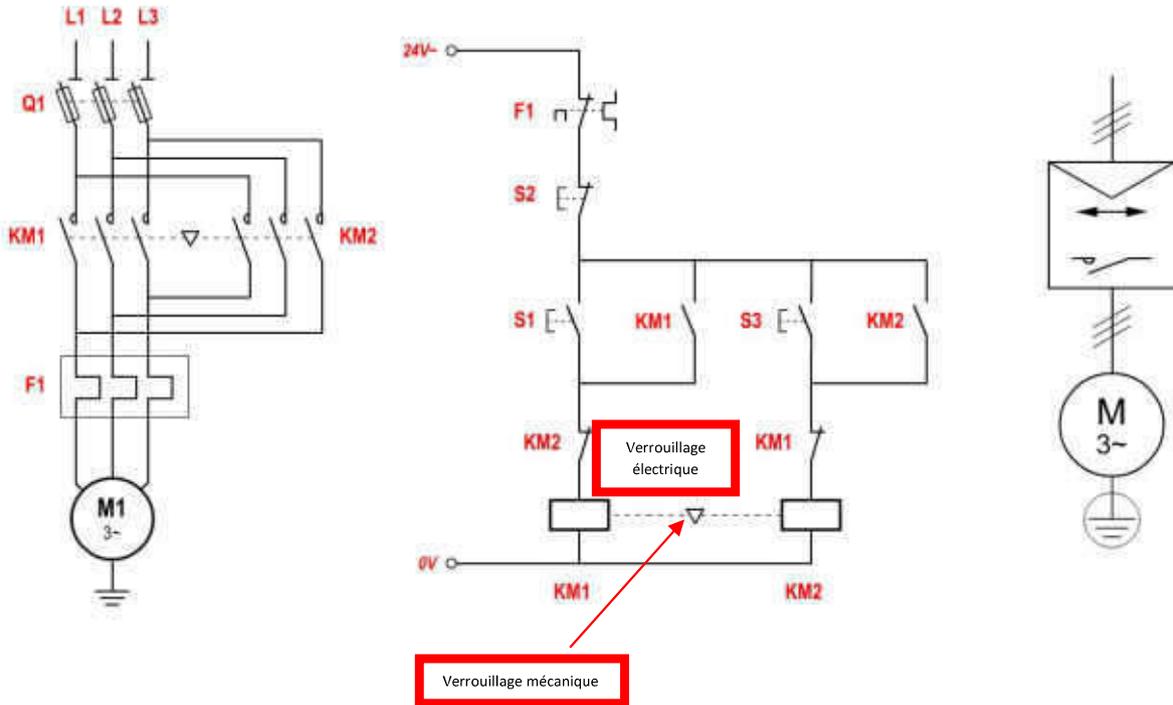


Figure 5.2 Schémas démarrage direct deux sens de rotation

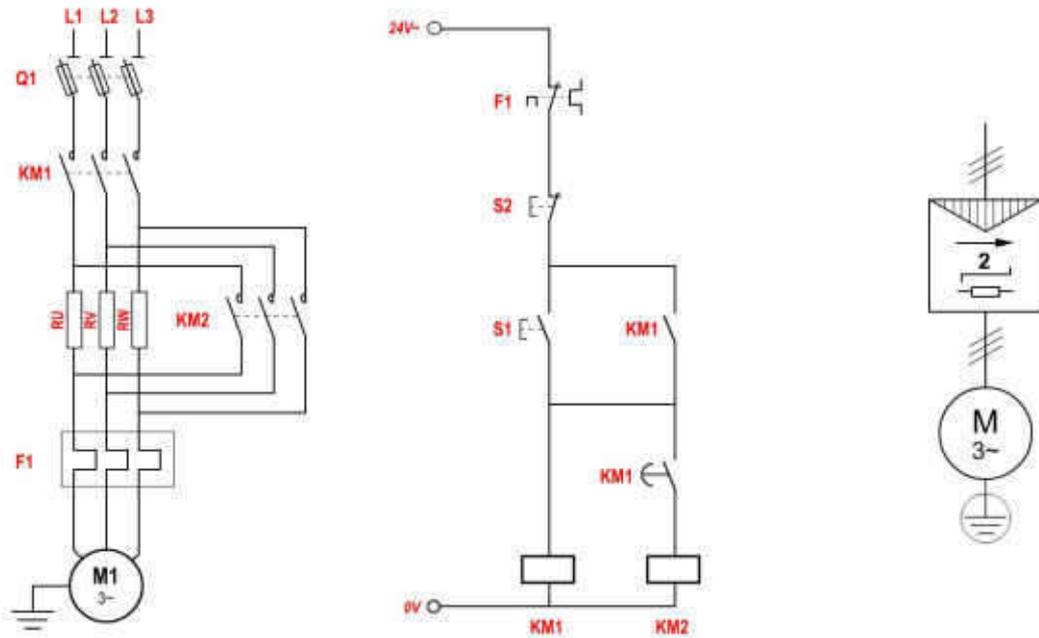


Figure 5.3 Démarrage d'un moteur triphasé

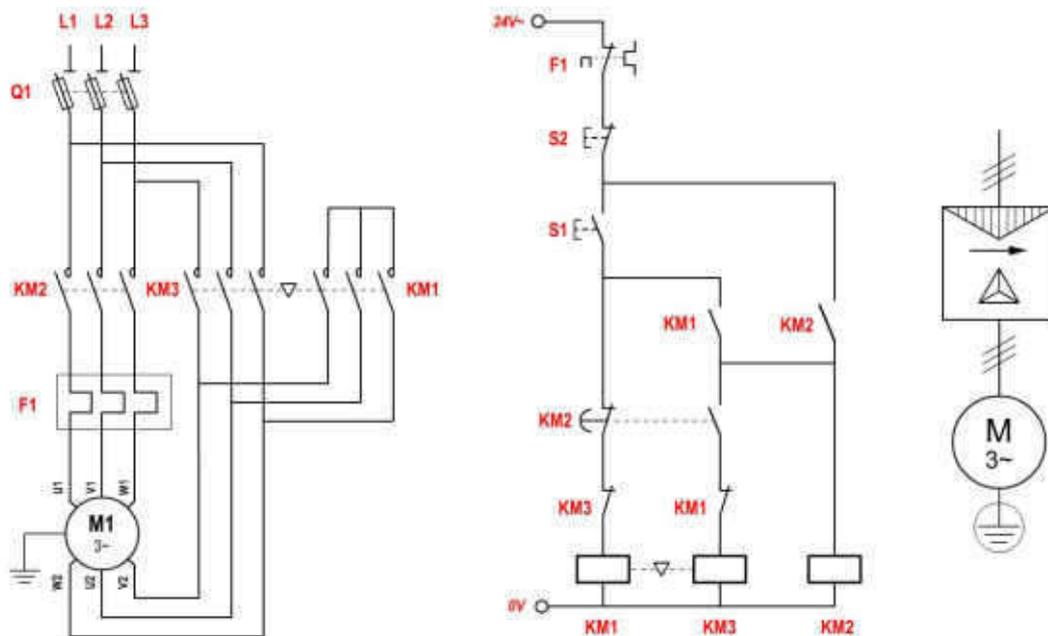


Figure 5.4 Démarrage d'un moteur triphasé

5.3.2.2 Emplacement des symboles

On distingue, selon l'emplacement relatif sur le schéma des symboles correspondant au matériel ou élément:

✚ La représentation assemblée

Une représentation juxtaposée sur le schéma des symboles des différents éléments d'un même appareil, ou d'un même équipement; les diverses représentations sont.

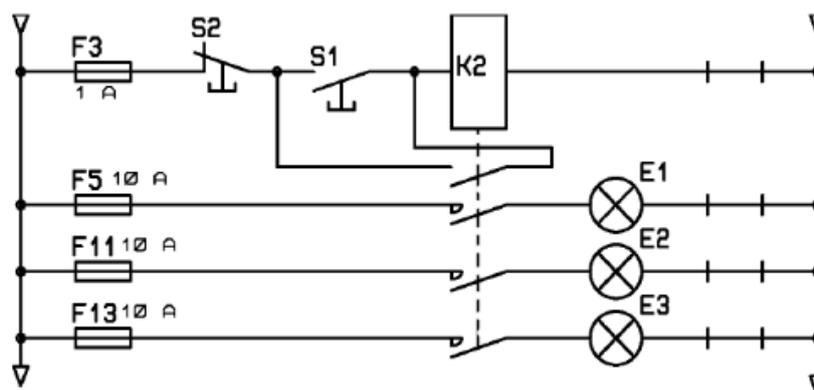


Figure 5.5 Représentation assemblée[15]

✚ Représentation rangée

Les différents éléments d'un même appareil, ou d'une même installation ont leurs symboles séparés et disposés de façon que l'on puisse tracer facilement les symboles des liaisons mécaniques entre différents éléments qui manœuvre ensemble.

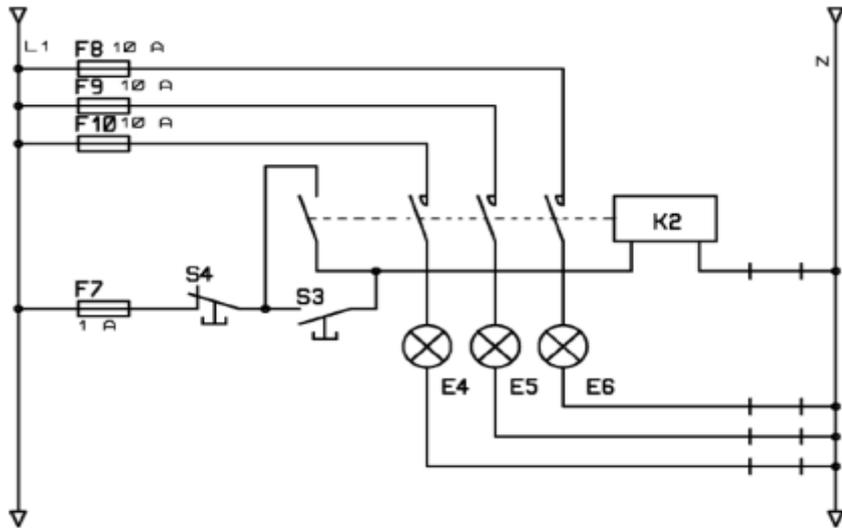


Figure 5.6 Représentation rangée [15]

✚ Représentation développée

Ici, les symboles sont séparés et disposés de manière que le tracé de chaque circuit puisse être facilement suivi. C'est la tendance actuelle dans tous les schémas de commandes. [15]

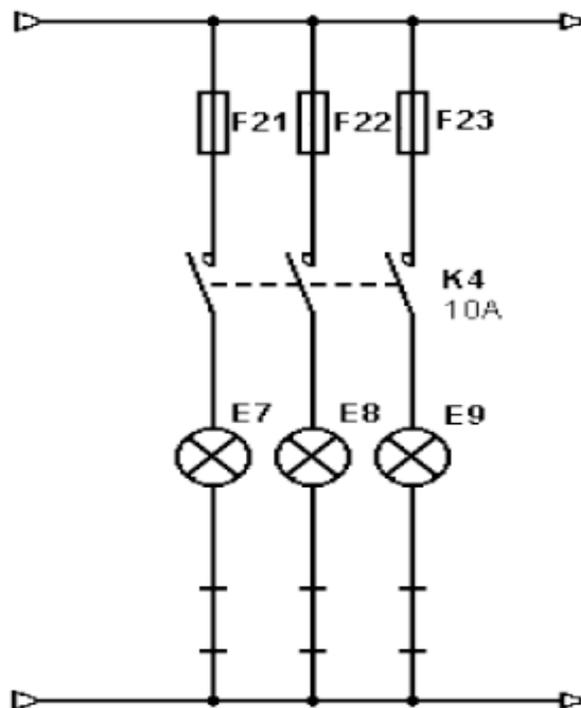


Figure 5.7 Représentation développée [15]

✚ Représentation topographique

Une représentation de symboles fait rappeler la disposition réelle des matériels dans l'espace, exemple: schéma architecturaux, plan ou schéma d'implantation.

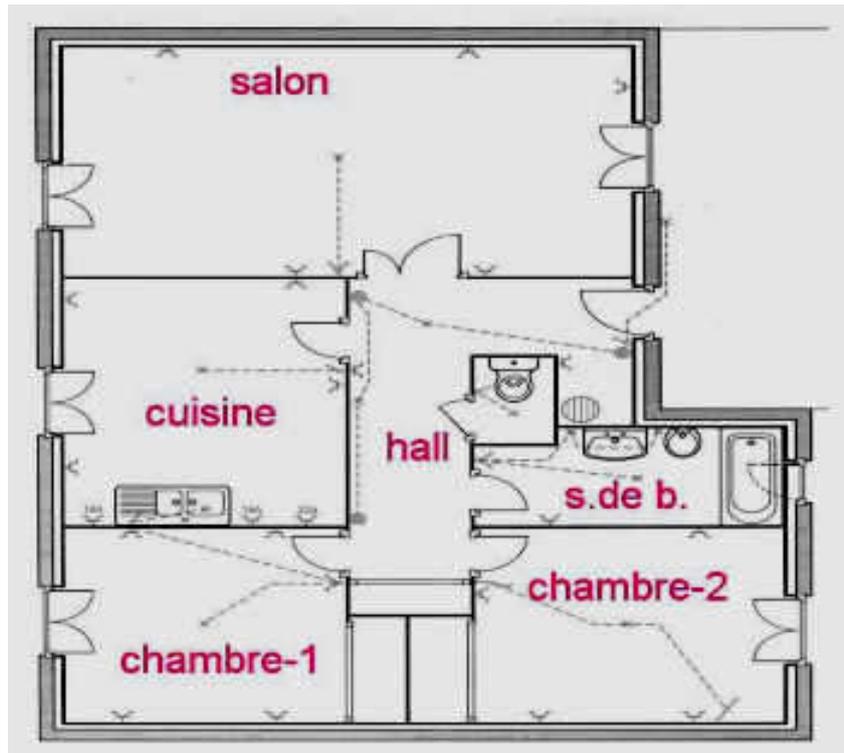


Figure 5.8 Un Schéma architecturaux [1-2-12-15]

5. 4. Identification des éléments

5.4.1 Définition

Un tout indissociable est désigné par 'élément'. Par exemple un contacteur, un sectionneur ou un bouton-poussoir. [1-2-12-15]

5.4.2 Principe d'identification

A	B	C
Sorte de l'élément	Fonction	Numéro de l'élément

Tableau 5. 1 : Principe d'identification

5.4.2.1 Identification de la sorte d'élément

A l'aide de lettre repère, tous les éléments sont identifiés (sur la partie A). Exemple : Une bobine de contacteur : K Un bouton poussoir : S

Repère	Sorte d'élément	Exemple
A	Ensemble sous-ensemble fonctionnel	Amplification
B	Transducteur d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique ou vice versa	Couple thermo-électrique, cellule photo-électrique...
C	Condensateurs	
D	Opérateur binaire, dispositifs de temporisation ou de mise en mémoire	Opérateur combinatoire, ligne à retard, bascule bistable, monostable, mémoire magnétique

E	Materiel divers	Eclairage, chauffage, éléments non spécifiés dans ce tableau
F	Dispositifs de protection	Coupe-circuit, limiteur de surtension, parafoudre...
G	Générateurs (dispositifs d'alimentation)	Génératrice, alternateur, batterie
H	Dispositifs de signalisation	Avertisseur lumineux ou sonores.
K	Relais et contacteurs	
L	Inductances	Bobine d'induction, bobine de blocage.
M	Moteurs	
P	Instrument de mesure, dispositifs d'essai	Appareil indicateur, appareil enregistreur.
Q	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de puissance	Disjoncteur, sectionneur
R	Résistances	Potentiomètre, rhéstat, shunt, persistance
S	Appareils mécaniques de connexion pour circuit de commande	Boutons poussoirs, interrupteur fin de course, sélecteur...
T	transformateur	
U	Modulateur, convertisseur	Convertisseur de fréquence, convertisseur redresseur, onduleur autonome
X	Bornes, fiches, socles	
Y	Appareils mécaniques actionnés électriquement	Frein, embrayage, électrovalve pneumatique

Tableau 5.2 : Tableau des lettres repères pour l'identification des sortes d'éléments

5.4.2.2 Identification de la fonction de l'élément

Un repère choisi doit nécessairement commencer par une lettre (partie B) pouvant être suivie de lettres et/ou chiffres complémentaires nécessaires (partie C). Le code utilisé doit être explicite. [1-2-12-15]Exemple: la protection par relais thermique F₁ pourra être identifiée fonctionnellement par Rth1.(KA₁ pour un contacteur auxiliaire ; KM2 ...)

Repère fonctionnel	Légende	Repère fonctionnel	Légende
AL	Alarme	FE	Fermeture
Auto	Automatique	FR	Freinage
AR	Arrière	GA	Gauche
AT	Arret	GV	Grande vitesse
AV	avant	HA	Haut
BA	Bas	HS	Hort service
CA	Courant alternatif	I	Courant
CC	Courant continu	L	Ligne d'alimentation
D	Triangle (couplage)	MA	Marche
Dcy	Départ cycle	Manu	Manuel
DE	Descente	MI	Minimum
DM	Démarrage	MO	Montrée
DR	Droite	MX	Maximum

EA	Eau	NO	Normal
ES	En service	OU	Ouverture
EX	Excitation	P	Puissance
FC	Fin de course	PV	Petite vitesse
+	Augmentation	SY	Synchronisation
-	Diminution	U	tension
INC	Incrémentation	Y	Etoile (couplage)
DEC	Décrémentation	W	Vitesse angulaire

Tableau 5.3 : Tableau des repères d'identification fonctionnelle. [1-2-12-15]

5.4.2.3 Identification des bornes d'appareils

Cette identification est fondée sur une notation alphanumérique employant des lettres majuscules et des chiffres arabes, où les deux lettres 'I' et 'O' ne doivent pas être utilisées (pour éviter les confusions I avec 1 et O avec 0). [15]

5.4.3 Principe de marquage des bornes

5.4.3.1 Pour un élément simple

Un élément simple doit avoir les deux extrémités distinguées par des nombres de référence successifs, par exemple 1 et 2. S'il existe des points intermédiaires à cet élément, on les distingue par des nombres supérieurs en ordre normalement croissant à ceux des extrémités. [12-15]

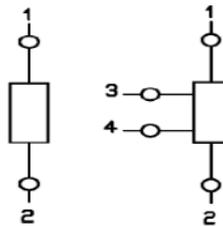


Figure 5.9 Un élément simple. [12-15]

5.4.3.2 Pour un groupe d'élément

Pour un groupe d'éléments semblables, les extrémités des éléments seront désignées par des lettres de référence qui précéderont les nombres de référence indiqués au paragraphe (a). [12-15]
Exemple : U, V, W pour les phases d'un système alternatif triphasé.

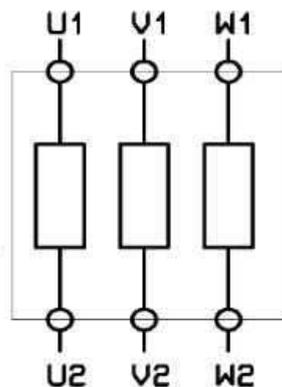


Figure 5.10 Un groupe d'élément [12-15]

5.4.3.3 Pour plusieurs groupes semblables

Si plusieurs groupes semblables d'éléments ont les mêmes lettres de référence, on les distingue par un préfixe numérique devant les lettres de référence.

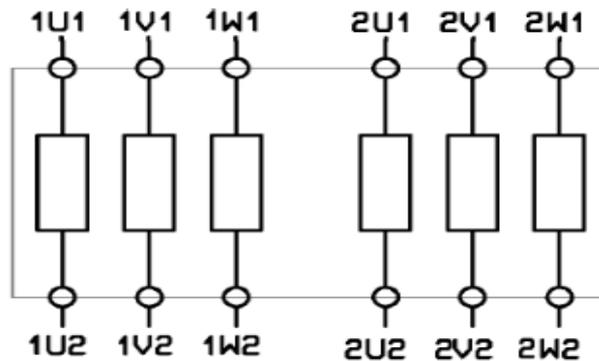


Figure 5.11 Plusieurs groupe semblables [12-15].

5.4.3.4 Lettres de référence

Celles-ci seront choisies en courant :

- ✓ Alternatif : dans la seconde partie de l'alphabet.
- ✓ Continu : dans la première partie de l'alphabet,

5.4.4 Principe de marquage des contacts

5.4.4.1 Contactes principaux

Les bornes de (contacteur, sectionneur, disjoncteur et relais de protection contre surcharges) sont repérées par un seul chiffre de 1 à 6 (tripolaire), de 1 à 8 (tétra-polaires).

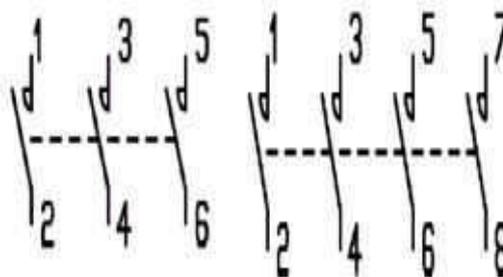


Figure 5.12 Les contactes principaux [12-15]

5.4.4.2 Contactes auxiliaires

Ceux-ci se repèrent par un nombre de deux chiffres. Le chiffre des unités indique la fonction du contact :

- ✓ 1-2, contact à ouverture ;
- ✓ 3-4, contact à fermeture ;
- ✓ 5-6, 7-8, contacts à fonctionnement spécial.

Le chiffre des dizaines indique le numéro d'ordre de chaque contact auxiliaire de l'appareil.

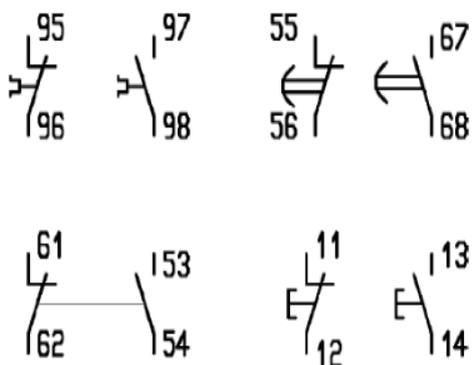


Figure 5.13 les contacts auxiliaires [15]

5.4.4 .3 Organe de commande

Pour ceux-ci, les repères sont alphanumériques, la lettre étant placée en première position; on utilise : A1 et A2 pour une bobine de commande d'un contacteur, et A1-A2 et B1-B2 pour une bobine de commande d'un contacteur à deux enroulements.

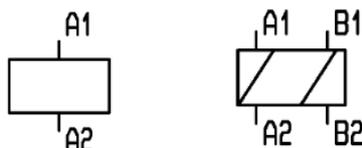


Figure 5.14 Organe de commande [15]

5.4.4 .4 Marquages particuliers

Ils concernent les bornes raccordées à des conducteurs bien définis : Voir tableau suivant.

Bornes d'appareil pour		Marquage	
		Notation alpha-numérique	Symbole graphique
Système alternatif	Phase 1	U	
	Phase 2	V	
	Phase 3	W	
	Neutre	N	
Conducteur de production		PE	
Terre		E	
Terre sans bruit		TE	
Masse (platine, châssis)		MM	

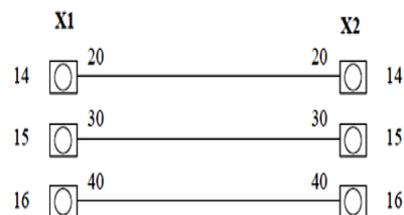
Tableau 5.4: des marquages particuliers des bornes d'appareil [15]

5.5. Repérage des conducteurs de raccordement sur les schémas:

Le repérage des conducteurs très utile pour un dépannage ou modification de l'installation électrique. Il existe plusieurs façons de repérage des conducteurs, les plus répandus sont :

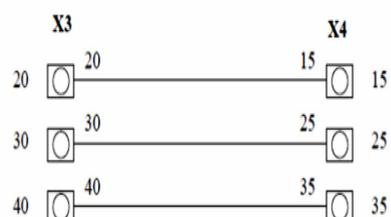
5.5.1. Le repérage indépendant :

Chaque conducteur porte un numéro indépendant du bornier. Il est à noter que ce type de repérage doit être détaillé sur un tableau annexe qui est disponible lors d'une intervention.



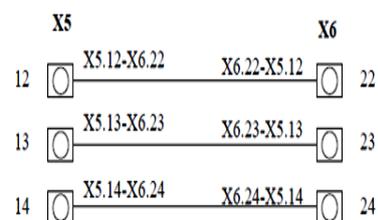
5.5.2. Le repérage dépendant :

Chaque conducteur possède le même numéro que celui de borne ou des équipements auxquelles.



5.5.3. Le repérage composé :

Chaque conducteur porte à son extrémité l'identification de son emplacement et celui de l'autre bout du conducteur.



5.5.4. Repérages particuliers :

Désignation des conducteurs		Marquage	
		Notation alpha-numérique	Symbole graphique
Système d'alimentation alternatif	Phase 1	L1	
	Phase 2	L2	
	Phase 3	L3	
	Neutre	N	
Système continu	Positif	L+	+
	Négatif	L-	-
	Médian	M	
Conducteur de production		PE	
Conducteur de production non mis à la terre		PU	
Conducteur de production et conducteur neutre confondus		PEN	
Terre		E	
Terre sans bruit		TE	

5.6. Repérage dans les folios (Bobine-Contacts) :

Repérer sur un schéma d'installation électrique les positions de la bobine et des contacts de chaque relais (puissance ou commande) et les reports d'alimentation d'une feuille (folio) à une autre.

Ce repérage permet de faciliter la recherche des différents éléments d'un appareil électrique.

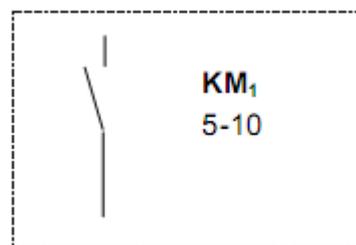
5.6.1 Principe

a) Chaque folio est divisé en **n colonnes** égales repérées par un chiffre ou une lettre. Chaque contact d'appareil électrique intervenant sur **une ligne** de schéma verticale, tracée dans l'axe d'une colonne porte la désignation suivante : cette désignation est comportée de 2 repères :

- repère folio,
- repère colonne.

Exemple : un contact "F" ("NO") d'un relais de puissance, est repéré :

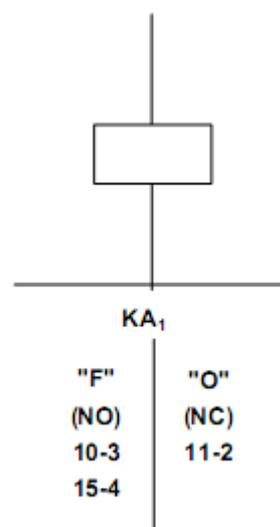
Cela signifie que la bobine du relais KM1 est située sur le folio 5 colonne 10.



b) On retrouve sous chaque bobine les indications correspondant à la technologie de l'appareil et à la position des contacts sur le schéma :

Exemple : **Cela signifie que le relais KA1 comprend trois contacts (2 NO ; 1 NC) positionnés :**

- 1^{er} contact "NO" folio 10 colonne 3
- 2^{ème} contact "NO" folio 15 colonne 4
- 3^{ème} contact "NC" folio 11 colonne 2



Trois modes de commande d'un moteur électrique

IV.1 Démarrage direct à un seul sens de rotation

Seuls les moteurs asynchrones triphasés avec rotor en court-circuit ou rotor à cage peuvent être démarrés en direct. Au démarrage du moteur le courant de démarrage est de l'ordre de 4 à 8 fois le courant nominale. Le couple au démarrage est très important, il atteint environ 1,5 fois le couple nominal.

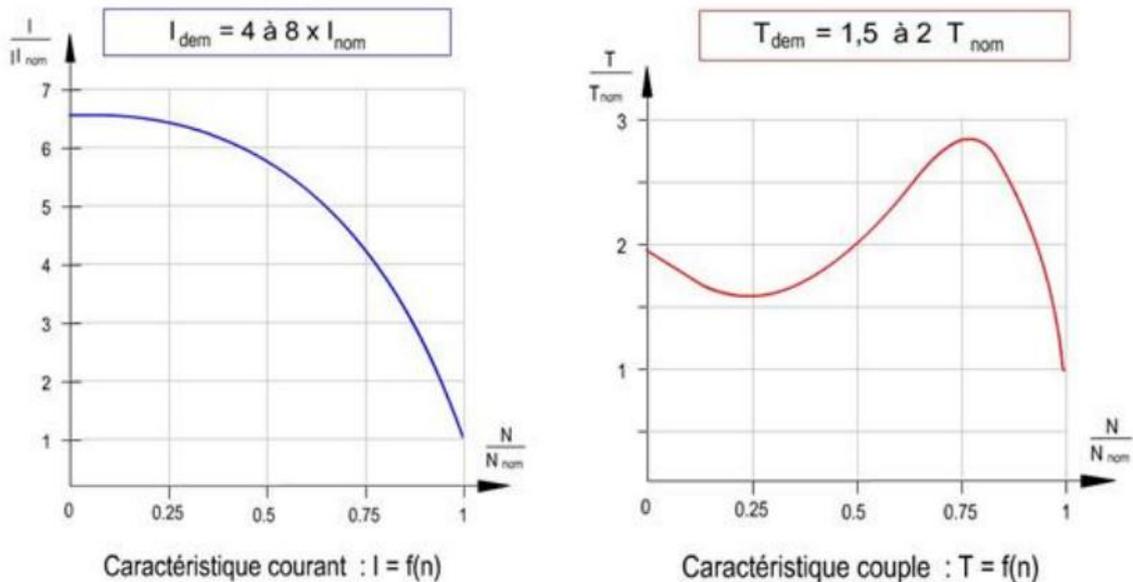


Figure IV.1 : Caractéristiques courant et couple en fonction de la vitesse d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil.

Les schémas explicatifs facilitent l'étude et la compréhension du fonctionnement d'une installation ou d'une partie d'installation.

On distingue:

Le schéma fonctionnel permettant de comprendre le fonctionnement global de l'installation,

Le schéma des circuits électriques permet de comprendre en détail le fonctionnement d'installation,

Le schéma d'équivalence qui permet l'analyse et le calcul des caractéristiques d'un circuit électrique.

Soit le schéma de commande et de puissance d'un moteur triphasé suivant :

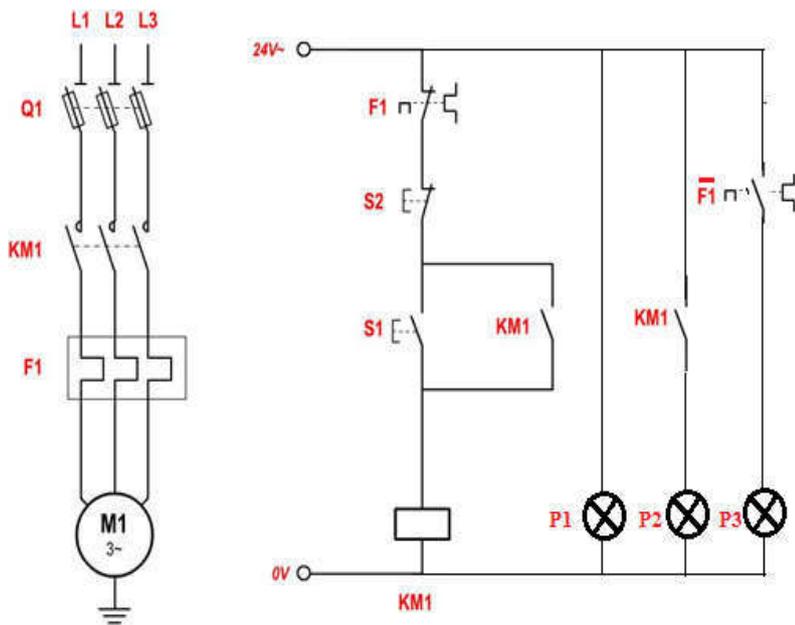


Figure IV.2 : Le schéma développé d'un moteur triphasé

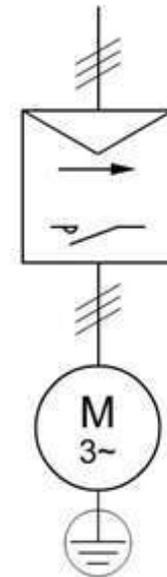


Figure IV.3 : Schéma fonctionnel d'un moteur triphasé

P1 : lampe témoin indiquant la mise sous tension.

P2 : lampe témoin indiquant la mise en marche.

P3 : lampe témoin indiquant défaut de surcharge.

L'équation logique du pré-actionneur KM1 s'écrit comme suit :

$$KM1 = \overline{F1} S2 (S1 + KM1)$$

- Le diagramme fonctionnement

Les Diagrammes ou tableaux explicatifs facilitent la compréhension des schémas et donnant des informations supplémentaires. On distingue:

Le diagramme ou tableau de séquence qui facilite l'analyse des actions se succédant dans un ordre déterminé,

Le diagramme ou tableau de séquence temps qui tient compte de la valeur des intervalles de temps entre les actions successives.

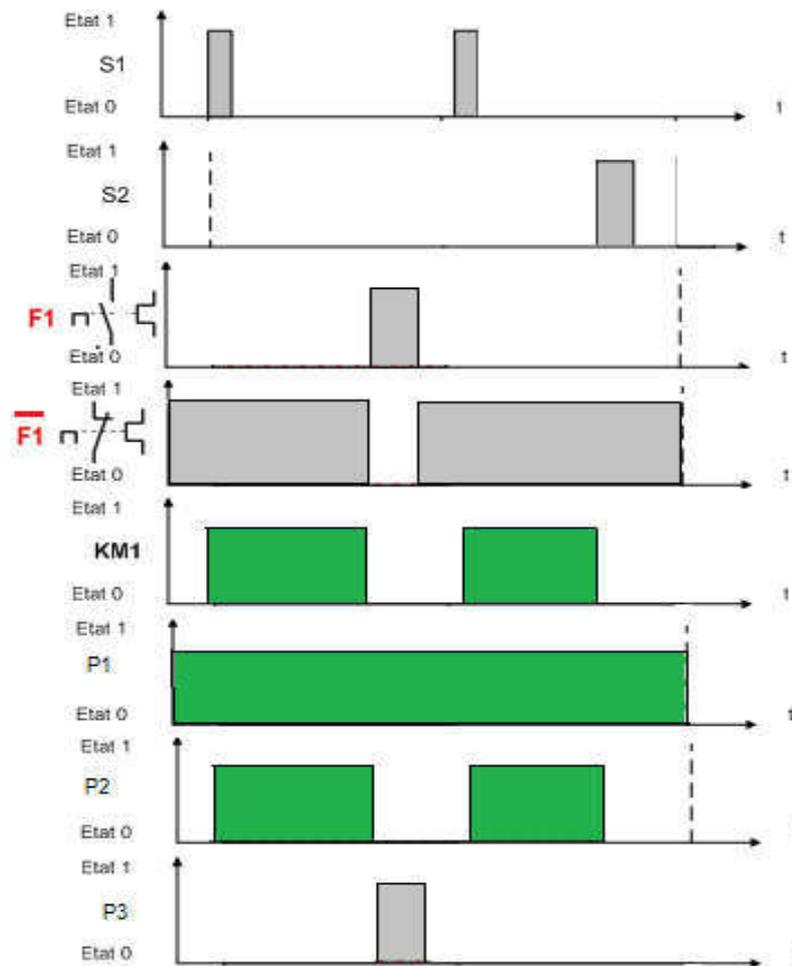


Figure IV.4 : Diagramme de fonctionnement d'un montage à démarrage direct pour moteur asynchrone.

- Intensité de courant

La surintensité au moment du démarrage peut être de 4 & 8 fois l'intensité nominale

$$I_d = 4 \text{ à } 8 I_n$$

- Couple moteur

Au moment du démarrage, le couple moteur est en moyenne de 1,5 à 2 fois le couple nominal.

Conclusions Avantages inconvénients du démarrage direct

Avantages
⇒ Simplicité de l'appareillage.
⇒ Couple important.
⇒ Temps de démarrage court.

Inconvénients
⇒ Appel du courant important
⇒ Démarrage brutal

IV.2 Démarrage direct moteur avec double sens de rotation

1. Rappels

Pour changer le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il faut inverser deux des trois phases du circuit d'alimentation comme illustré à la figure IV. ?

1.1 Détermination du couplage A partir de les indications données par la plaque signalétique du moteur et le réseau d'alimentation l'utilisateur doit coupler adéquatement les enroulements du stator soit en triangle soit en étoile.

- Si la plus petite tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phases du réseau on adopte **le couplage Δ** .
- Si la plus grande tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phase du réseau on adopte **le couplage Y**.

1.2 Couplages des enroulements sur plaque à bornes On utilise des barrettes pour assurer le couplage choisi des enroulements sur la plaque à bornes du moteur.

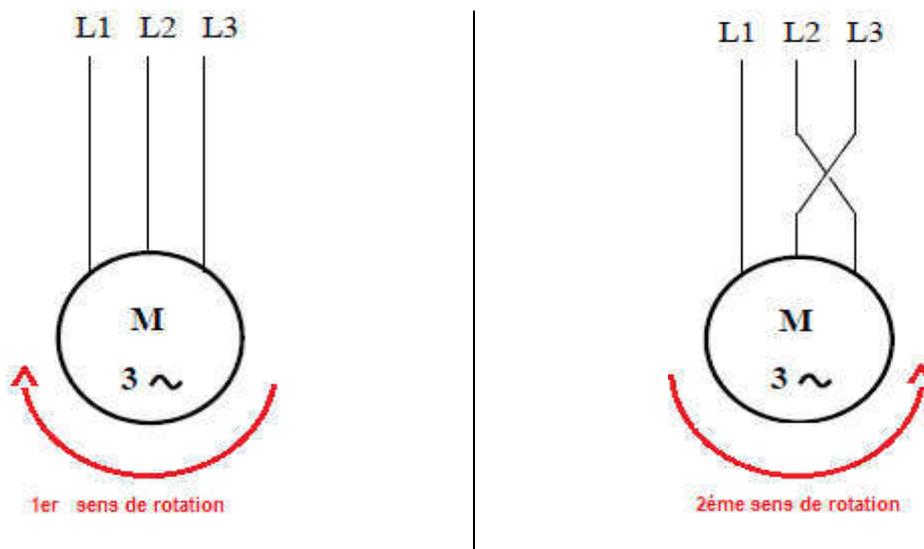
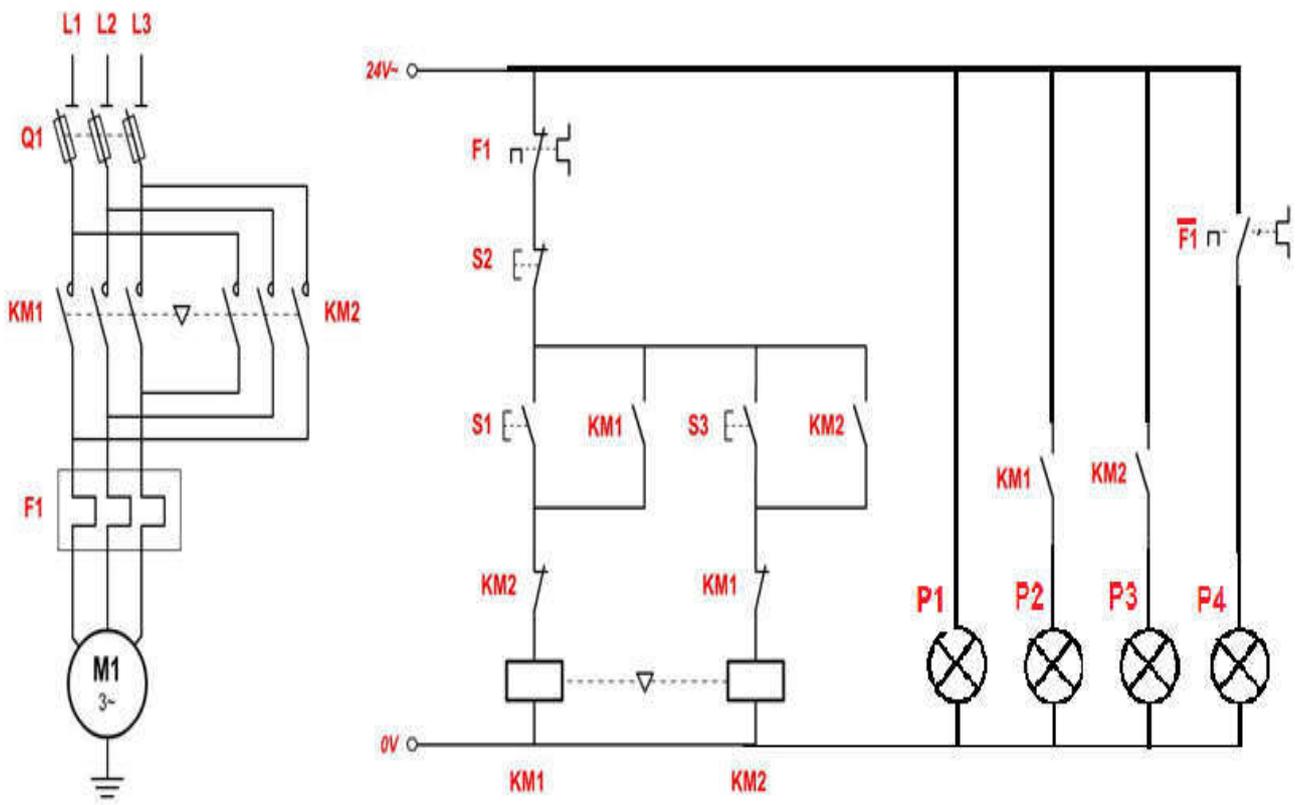


Figure IV.5 : Principe d'inversion de sens de rotation d'un moteur asynchrone

Soit le schéma de commande et de puissance d'un moteur triphasé suivant :



Circuit de puissance

Circuit de commande

Figure IV.6 : Le schéma développé d'un moteur triphasé en deux sens de rotation

P1 : lampe témoin indiquant la mise sous tension.

P2 : lampe témoin indiquant la mise en marche droite.

P3 : lampe témoin indiquant la mise en marche gauche.

P4 : lampe témoin indiquant défaut de surcharge.

L'équation logique des pré-actionneurs KM1 et KM2 s'écrivent comme suit :

$$KM1 = (\overline{F1}) S2 (S1 + KM1) \overline{KM2}$$

$$KM2 = (\overline{F1}) S2 (S3 + KM2) \overline{KM1}$$

Le schéma fonctionnel de la rotation en deux sens pour un moteur asynchrone et le diagramme de fonctionnement sont illustrés dans les figures suivantes :

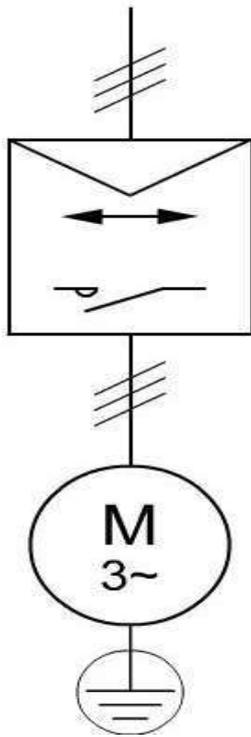


Figure IV.7 : Diagramme fonctionnel

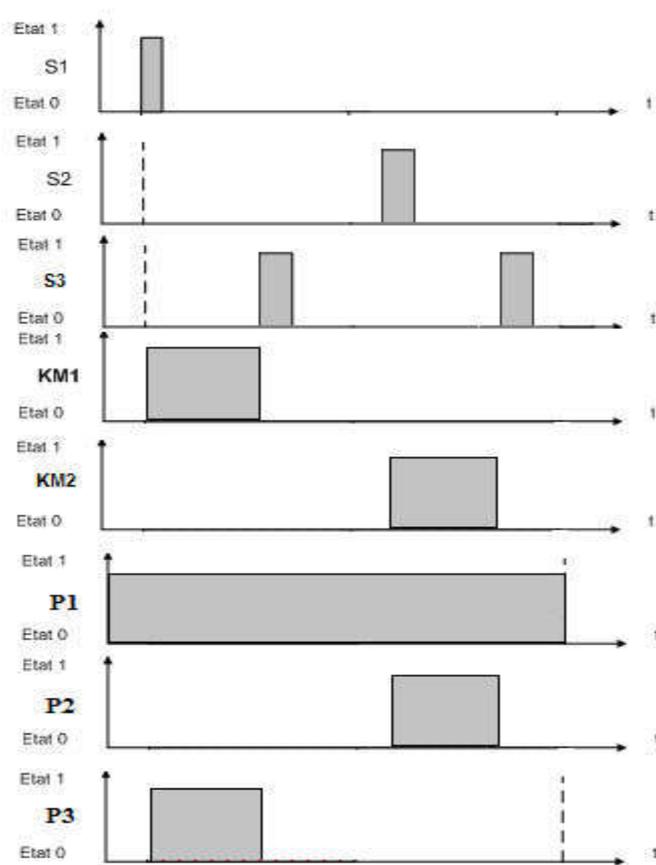


Figure IV.8 : Diagramme de fonctionnement

IV.3. Démarrage étoile triangle

1. Principe de limitation du courant de démarrage

Contrairement au démarrage direct, le démarrage des moteurs de moyennes et fortes puissances nécessite l'utilisation de procédés de limitation de courant de démarrage tout en maintenant les performances mécaniques de l'ensemble « moteur-machine entraînée ».

Il existe deux types techniques d'actions :

- **Action sur le stator** qui consiste à réduire la tension aux bornes des enroulements statoriques et le démarrage peut être réalisé par:
 - Couplage étoile-triangle,
 - Elimination des résistances statoriques,
 - Utilisation d'un auto-transformateur.

Ce type d'action est utilisé pour les moteurs de moyennes puissances.

- **Action sur le rotor** : Consiste à augmenter la résistance rotorique au démarrage et le démarrage peut être réalisé par:
 - Elimination des résistances rotoriques,
 - Utilisation des moteurs à cages multiples ...

Ce procédé de démarrage est accompagné en plus de la réduction du courant de démarrage, d'une augmentation du couple de démarrage. Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs de fortes puissances.

2. Démarrage étoile-triangle

Le démarrage du moteur s'effectue en deux temps :

- **1er temps** : chaque enroulement du stator est alimenté sous une tension réduite $U/\sqrt{3}$ en utilisant le couplage Y.
- t1 est le temps nécessaire pour que la vitesse du moteur atteigne environ 80% de sa vitesse nominale.
- **2ème temps** : chaque enroulement du stator est alimenté par sa tension nominale changeant le couplage au triangle.

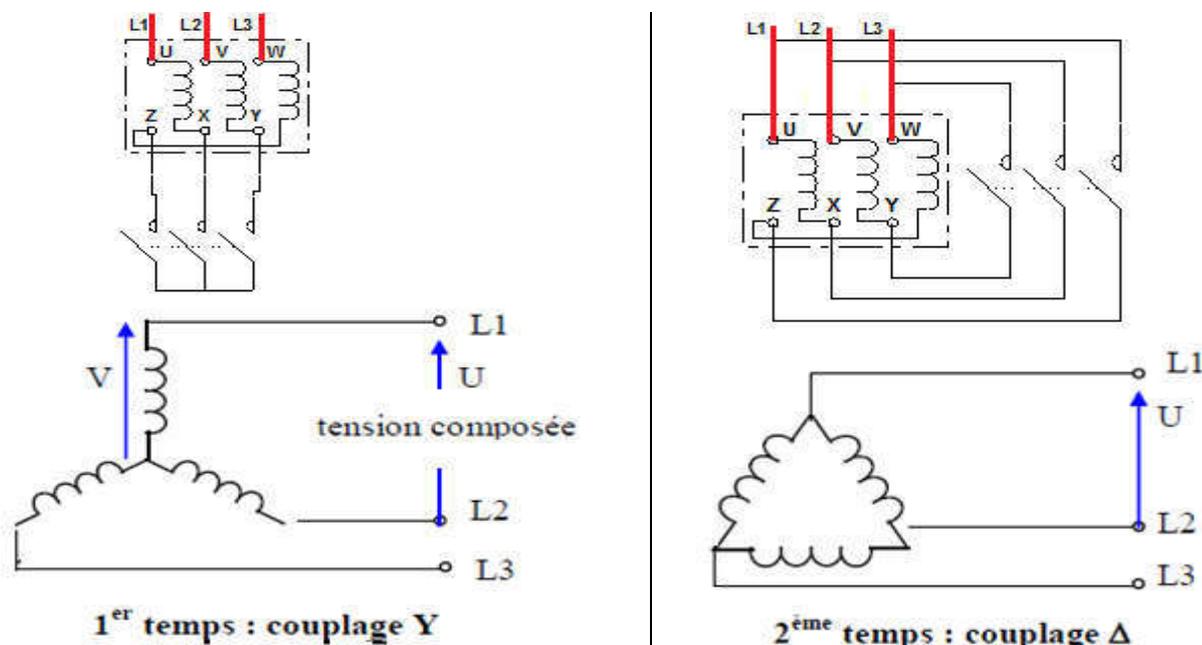


Figure IV.9: Principe de couplage Y-Δ

Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à **couplage** Δ lors de leur fonctionnement normal. **Exemple** :

Un moteur 400V/690V sur un réseau 230V/400V

Un moteur 230V/400V sur un réseau 133V/230V

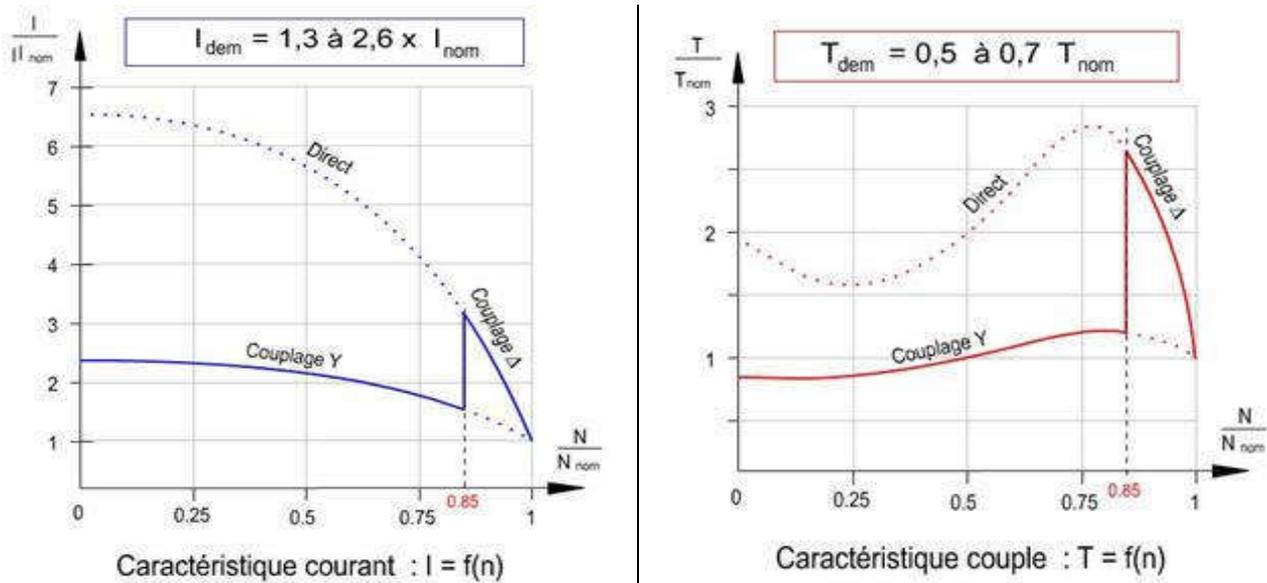


Figure IV.10: Caractéristiques couple-courant en fonction de la vitesse de rotation pour le démarrage Y-Δ

On constate que le couple et l'intensité au démarrage sont réduits d'environ 3 fois par rapport à un démarrage direct.

En raison de la diminution sensible du couple de démarrage le moteur ne peut pas démarrer en charge.

3.3 La temporisation

Pour réaliser la commutation automatisée du couplage Y au couplage Δ, on utilise un contact temporisé qui permet d'établir ou d'ouvrir un contact après certains temps pré réglé de façon à permettre à notre équipement de fonctionner convenablement.

Le contact temporisé permet d'établir ou d'ouvrir un contact un certain temps après la fermeture (au travail) ou à l'ouverture (au repos) du contacteur qui l'actionne.

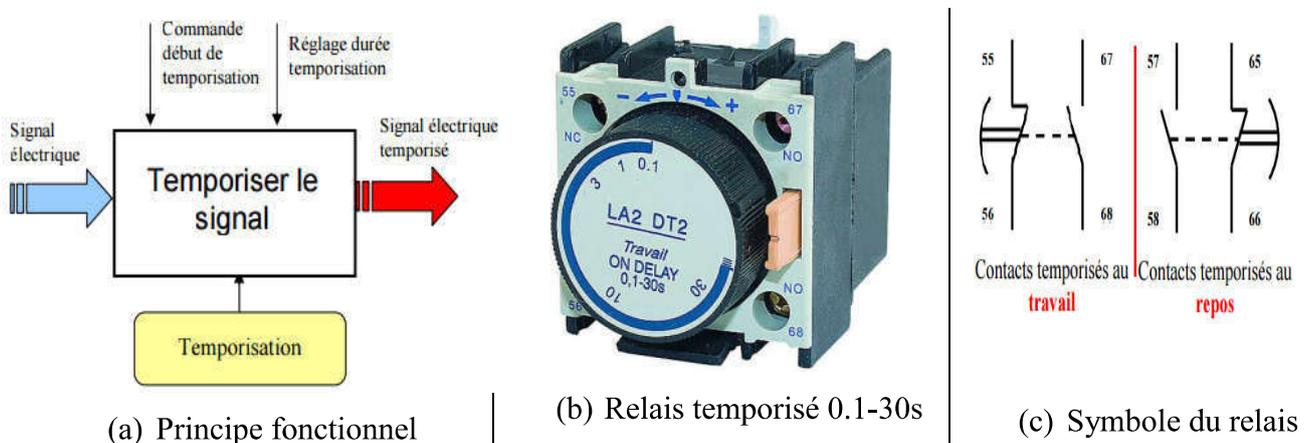


Figure IV.11 : Principe de la temporisation pour le démarrage Y-Δ

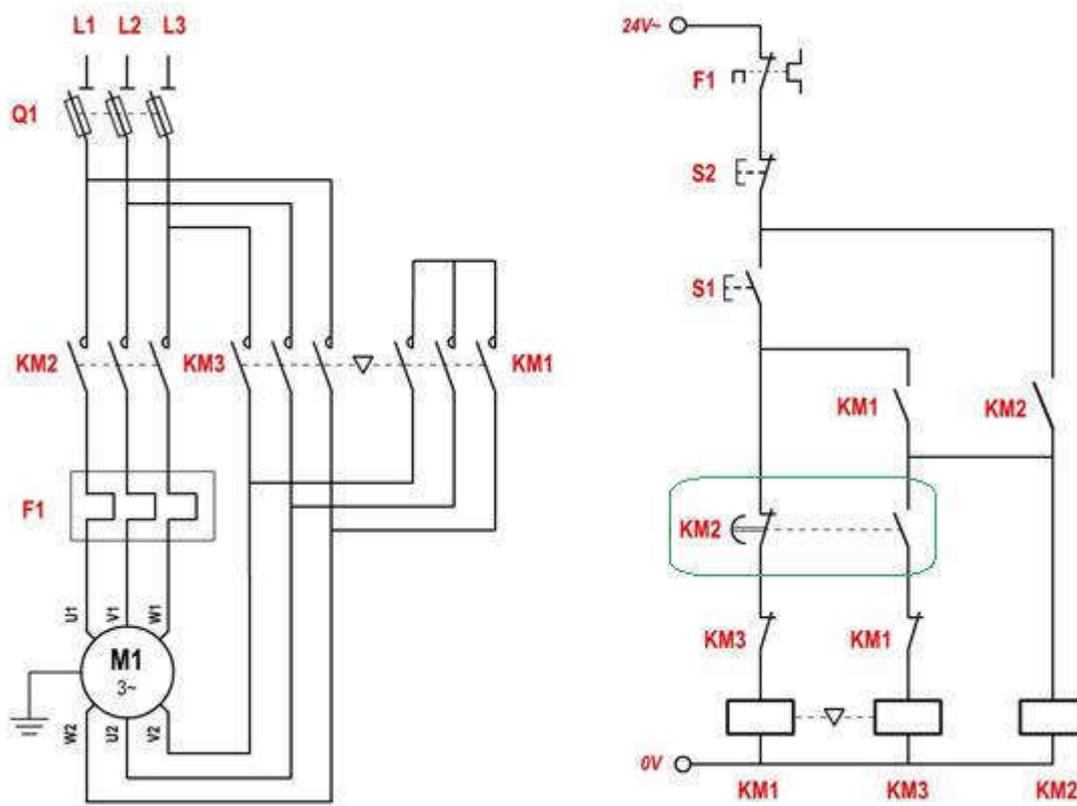
Il existe deux types de relais temporisés :

- Relais temporisé à action retardée
- Relais temporisé à relâchement retardé

Le principe de fonctionnement est illustré au tableau suivant :

		Action retardée	Relâchement retardé
Contacts temporisés	Contact à fermeture		
	Contact à ouverture		

Soit le schéma de commande et de puissance d'un moteur triphasé suivant :



Circuit de puissance

Circuit de commande

Figure IV.12 : Le schéma développé d'un moteur triphasé en démarrage Y- Δ

Le schéma fonctionnel du démarrage Y-Δ d'un moteur asynchrone et le diagramme de fonctionnement sont illustrés dans la figure suivante :

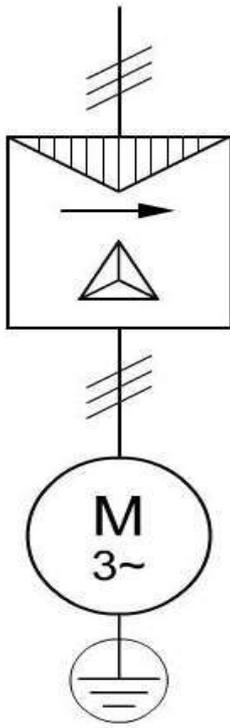


Figure IV.13 : Le Schéma fonctionnel

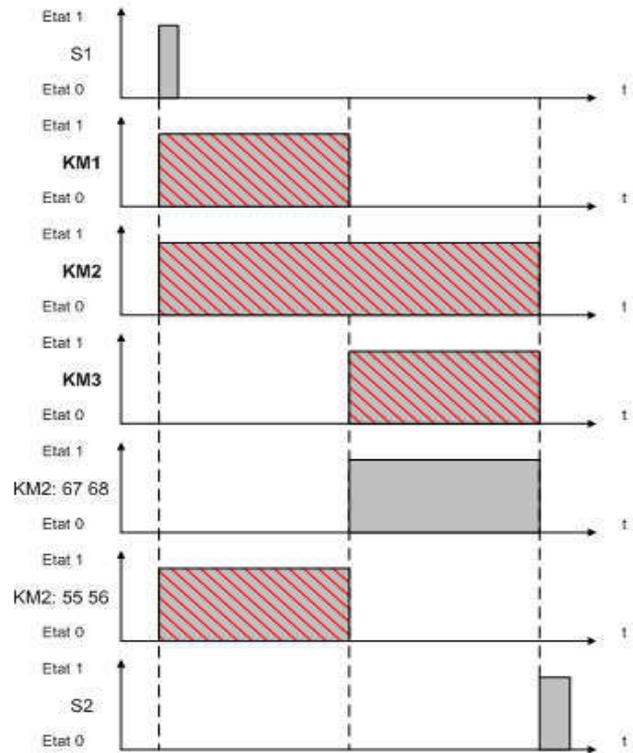


Figure IV.14: Diagramme de fonctionnement

On constate que le couple et l'intensité au démarrage sont réduits d'environ 3 fois par rapport à un démarrage direct.

En raison de la diminution sensible du couple de démarrage le moteur ne peut pas démarrer en charge.