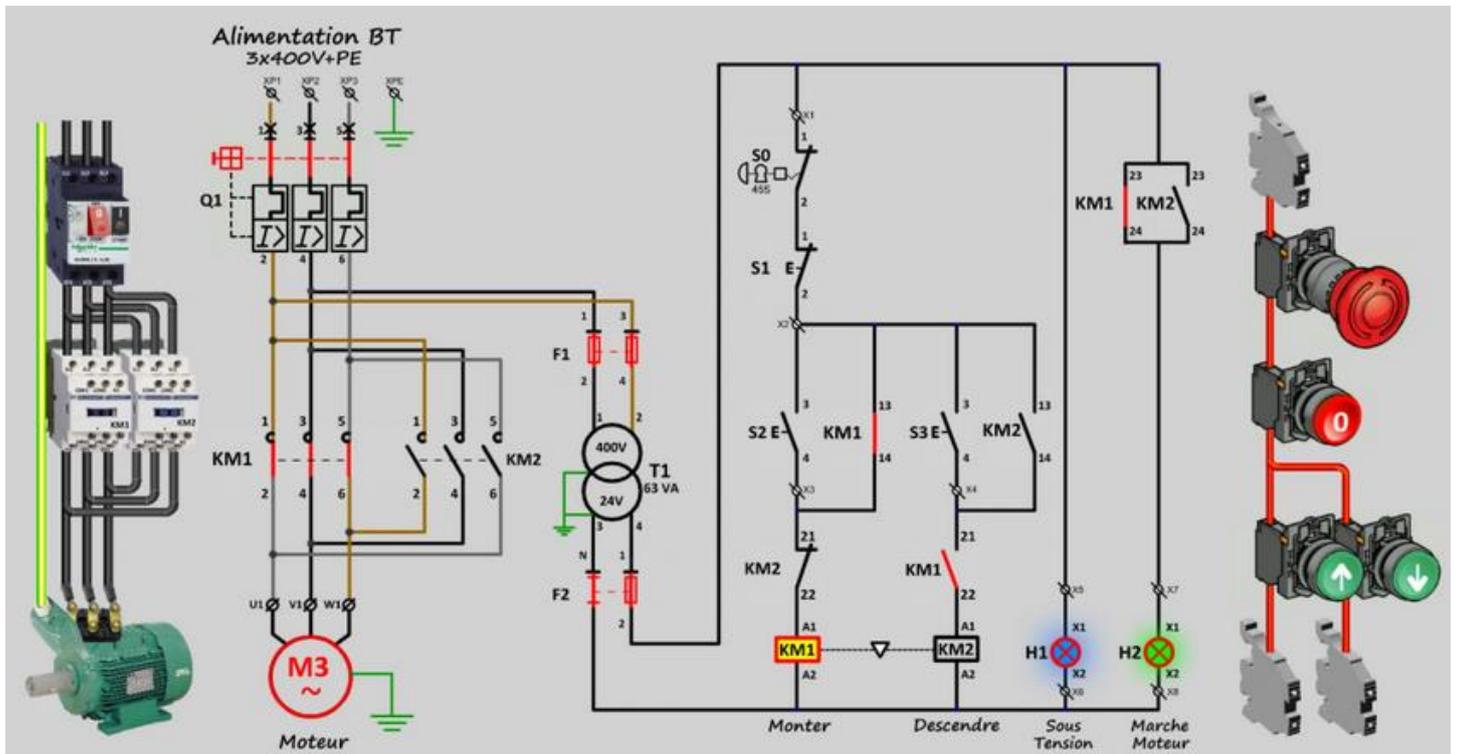


MACHINES A COURANT ALTERNATIF

MOTEUR ASYNCHRONE

ALTERNATEUR

DEMARRAGE ET BILAN DE PUISSANCE



EL KACEM EL MOSTAFA

Les types de moteurs et de génératrices à courant alternatif

Introduction :

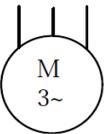
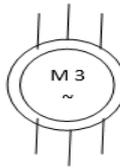
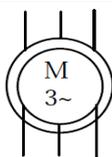
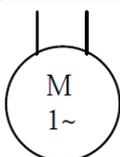
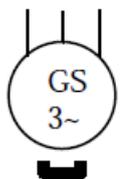
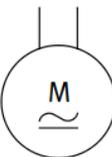
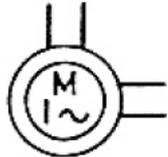
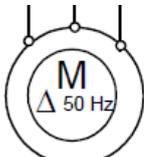
Les machines à courant alternatif sont les machines les plus employées dans l'industrie. Elles possèdent en effet plusieurs avantages par rapport aux machines à courant continu: simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien facile .

On distingue deux types de machines, selon la nature du courant alternatif monophasé ou triphasé :

Les machines asynchrones ($NR < NS$) et Les machines synchrones ($NR = NS$ (réversibles))

NR : vitesse du rotor NS : vitesse du stator ou de synchronisme (champs tournant).

Symbole :

	<p>Moteur asynchrone triphasé à rotor à cage</p>		<p>Moteur asynchrone triphasé à rotor à cage avec 6 bornes de sorties :</p>
	<p>Moteur asynchrone triphasé à rotor à bagues</p>		<p>Moteur asynchrone monophasé à rotor à cage</p>
	<p>Génératrice synchrone triphasé à électroaimant (inducteur)</p>		<p>Génératrice synchrone triphasé à aimant permanent</p>
	<p>Moteur universel</p>		<p>Moteur monophasé avec sortie bobine auxiliaire</p>
	<p>Génératrice synchrone monophasé à électroaimant (inducteur)</p>		<p>Moteur asynchrone triphasé à rotor à cage couplé en triangle</p>

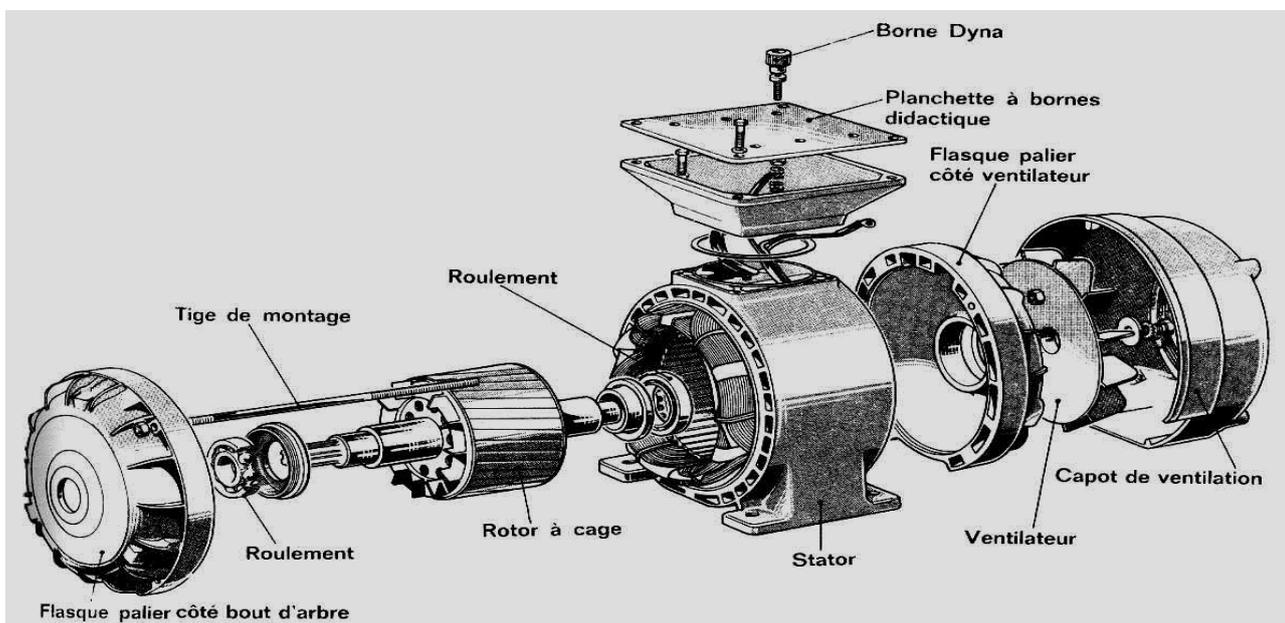
Les composants des machines rotatives à c.a.

Toutes les machines tournantes comportent :

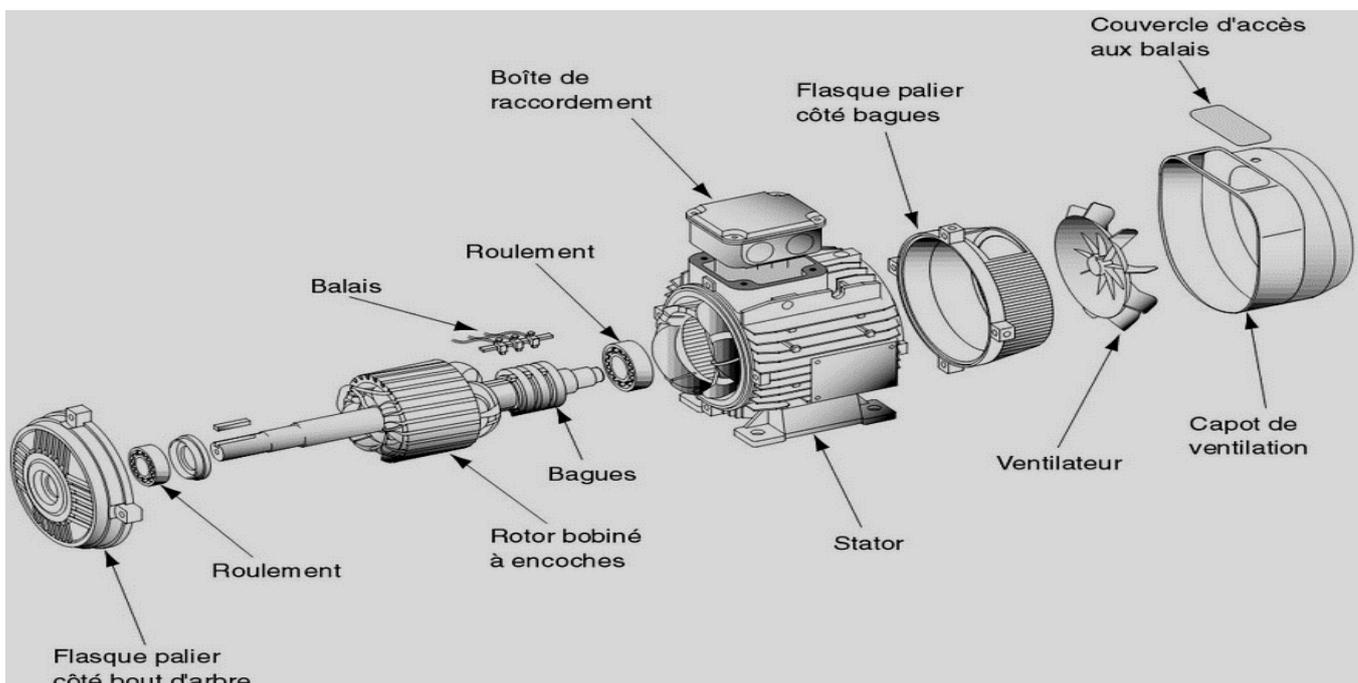
- Une partie magnétique : le circuit magnétique (pôles, culasse, noyaux, aimants permanents).
- Une partie électrique : bobinage, cage, bagues, balais, plaques à bornes.
- Une partie mécanique : carcasse, arbres, flasques, paliers ventilateurs.

Constitution :

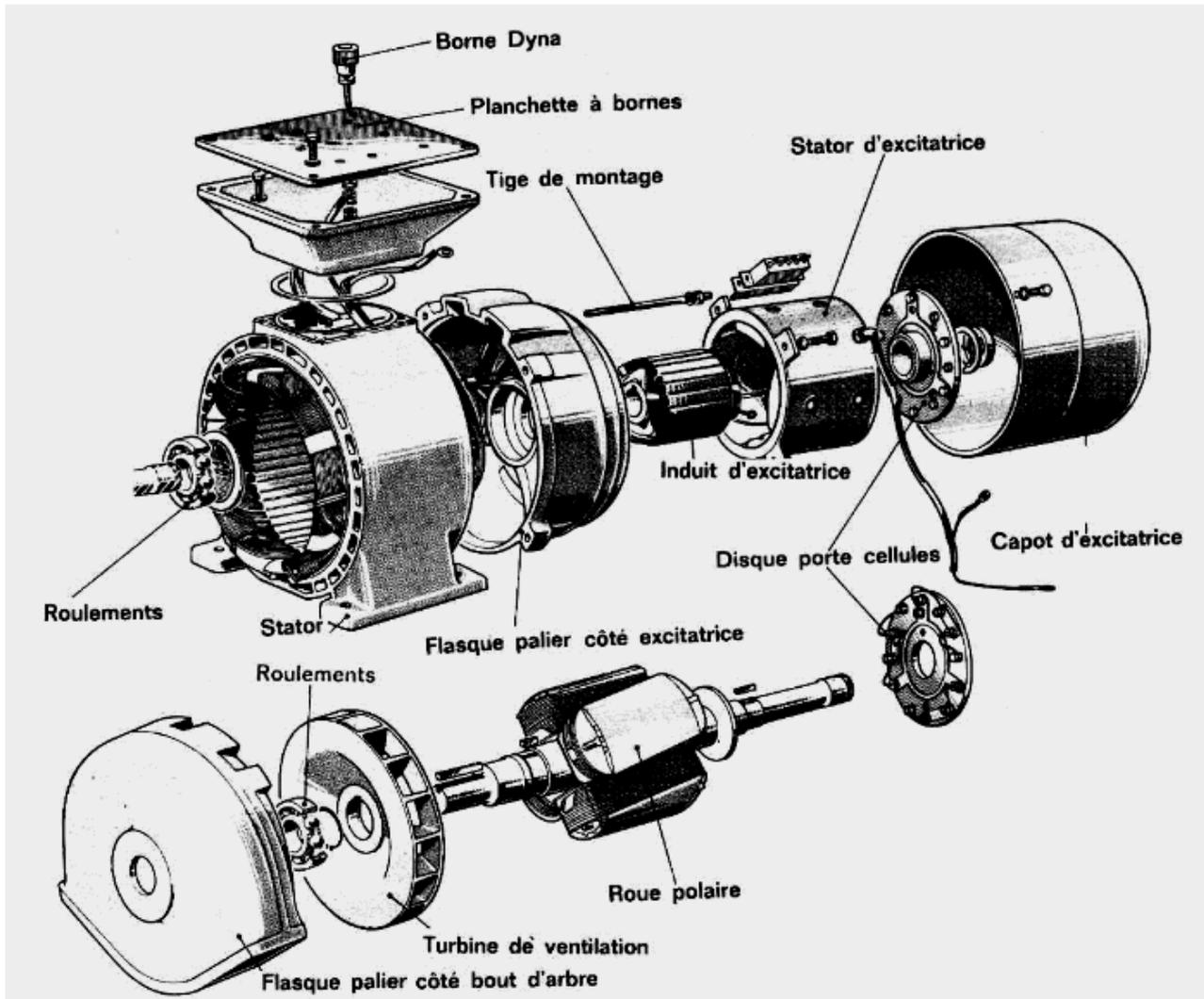
1- Moteur asynchrone à cage :



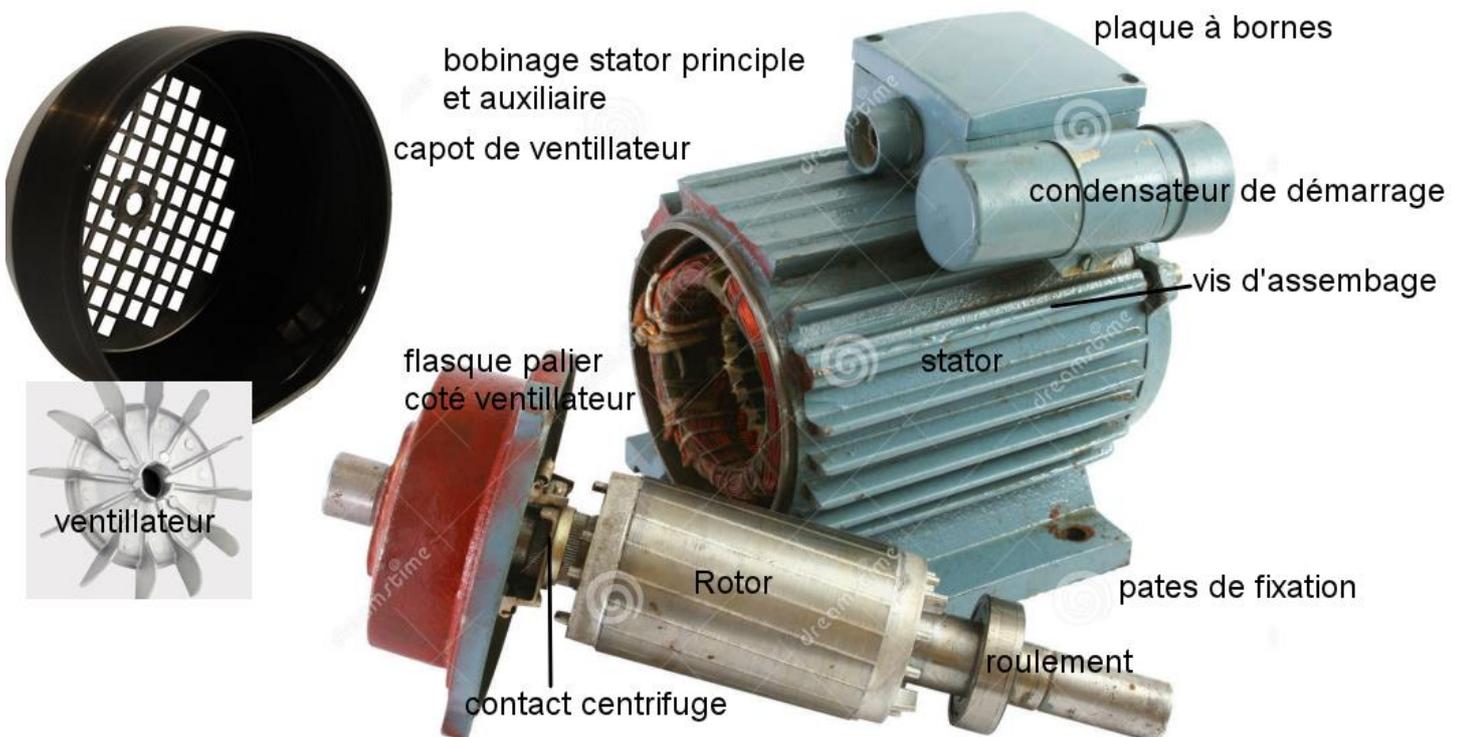
2- Moteur asynchrone à bague :



3- Alternateur :



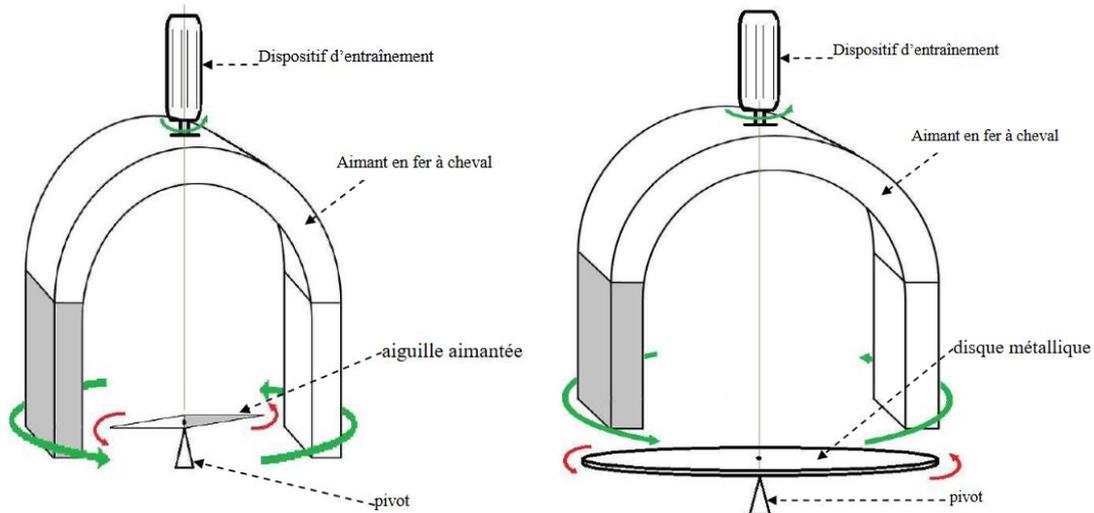
4- Moteur monophasé :



1- Moteurs asynchrone triphasé :

1-1 Champs tournant :

Les machines électriques à courant alternatif (alternateurs, moteurs synchrones et asynchrones) reposent en grande majorité sur le principe du champ magnétique tournant

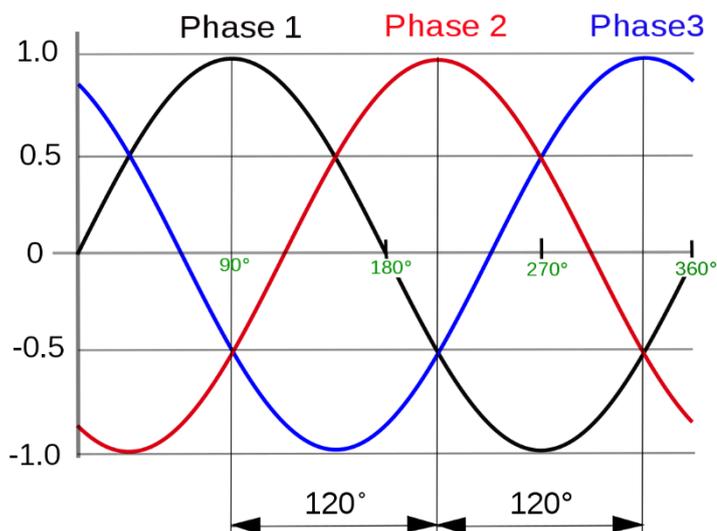


Le moteur asynchrone triphasé est alimenté par un réseau triphasé constitué de 3 phases qui ont même valeur efficace et même fréquence mais déphasés les unes des autres d'un angle de 120°

$$V_1(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

$$V_2(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$V_3(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

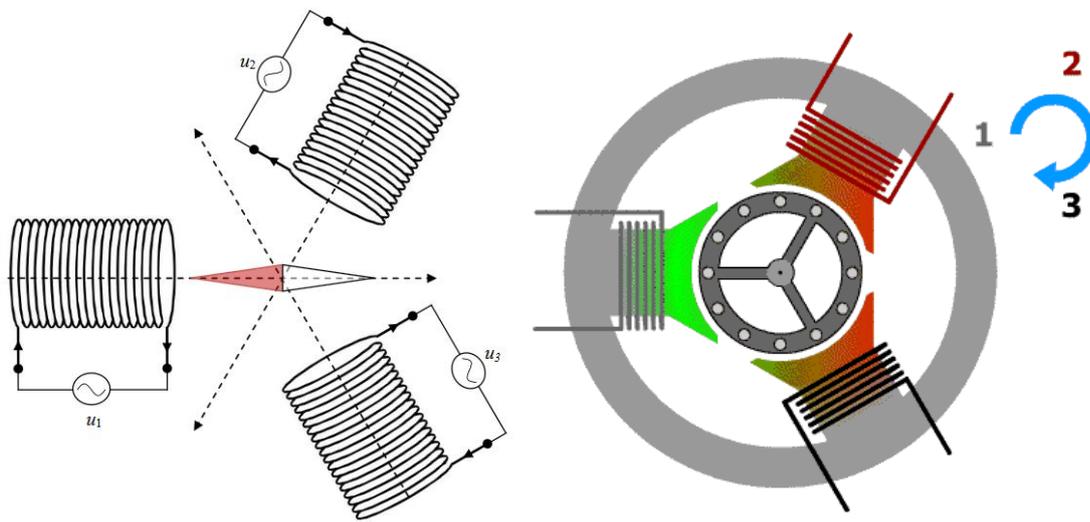


$$0^\circ = 0 \text{ rd}$$

$$120^\circ = \frac{2\pi}{3}$$

$$240^\circ = \frac{4\pi}{3} = -\frac{2\pi}{3}$$

$$360^\circ = 2\pi$$



Puisque les bobines statoriques sont déphasées physiquement de 120° et alimentés par trois phases déphasées électriquement de 120° , ils vont créer un champ magnétique tournant à une vitesse (N_s) d'une façon consécutive (PH1-Bobine 1, après PH2-Bobine 2 après PH3-Bobine 3 et le cycle recommence), sous l'effet de ce champs tournant le rotor se met à tourner mais à une vitesse N_r légèrement inférieur à N_s

1-2 Vitesse de synchronisme :

$$N_s = \frac{F}{P}$$

N_s : vitesse de synchronisme en tr/s F : fréquence du réseau en Hz
 P : nombre de paires de pôles

$$N_s = \frac{F}{P} \cdot 60$$

N_s : vitesse de synchronisme en tr/min

Pour une fréquence F de 50 HZ

p	1	2	3	4...
n_s [tr.min ⁻¹]	3000	1500	1000	750...

1-2 Glissement :

Le glissement est l'écart relatif entre la vitesse du synchronisme N_s et la vitesse du rotor N_r

$$g = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad \text{Avec } \Omega = 2\pi n$$

Avec, g : glissement du moteur asynchrone, N_s : vitesse de synchronisme, N_r : vitesse de rotation

$$N_s - N_r = g \cdot N_s \quad \Longrightarrow \quad N_s - g \cdot N_s = N_r \quad \Longrightarrow \quad N_s \cdot (1 - g) = N_r$$

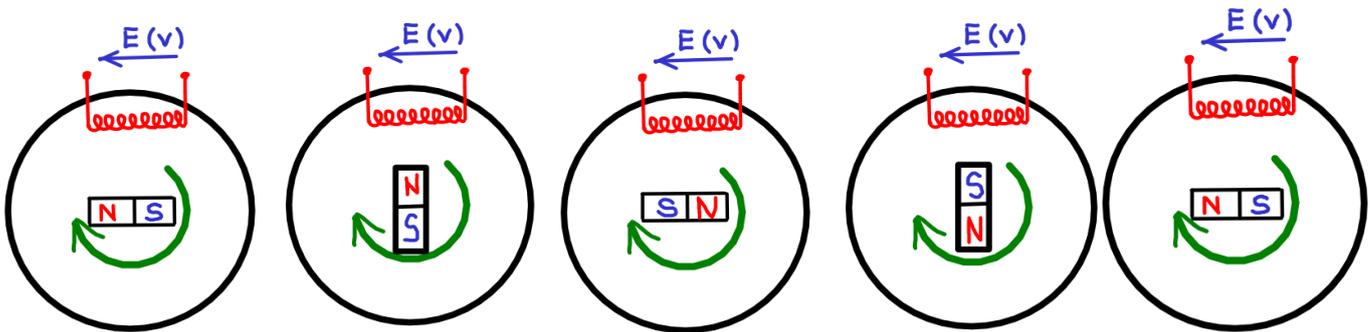
2- Alternateur ou génératrice synchrone :

L'alternateur est une machine qui produit une tension électrique alternative de forme sinusoïdale.

Il est basé sur le principe de **l'induction électromagnétique**, chaque bobine statorique soumise à une variation de flux magnétique créé par le circuit inducteur monté sur le rotor et qui est en mouvement de rotation, induit à ses bornes une force électromotrice sinusoïdale

$$E = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

2.1- Alternateur monophasé



Position 0° (0 rd)

Position 90° ($\pi/2$)

Position 180° (π)

Position 270° ($-\pi/2$)

Position 360°=0°

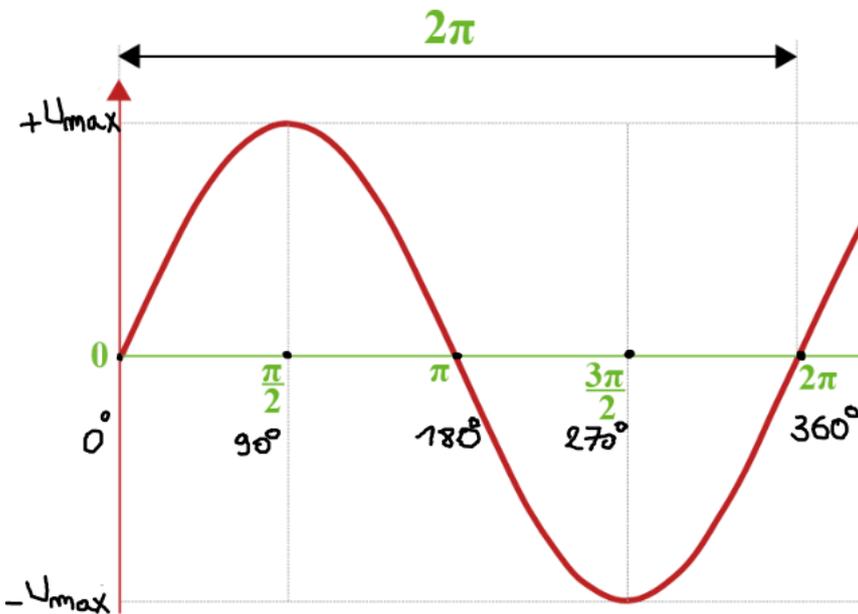
$E = 0V$

$E = +U_{max}$

$E = 0V$

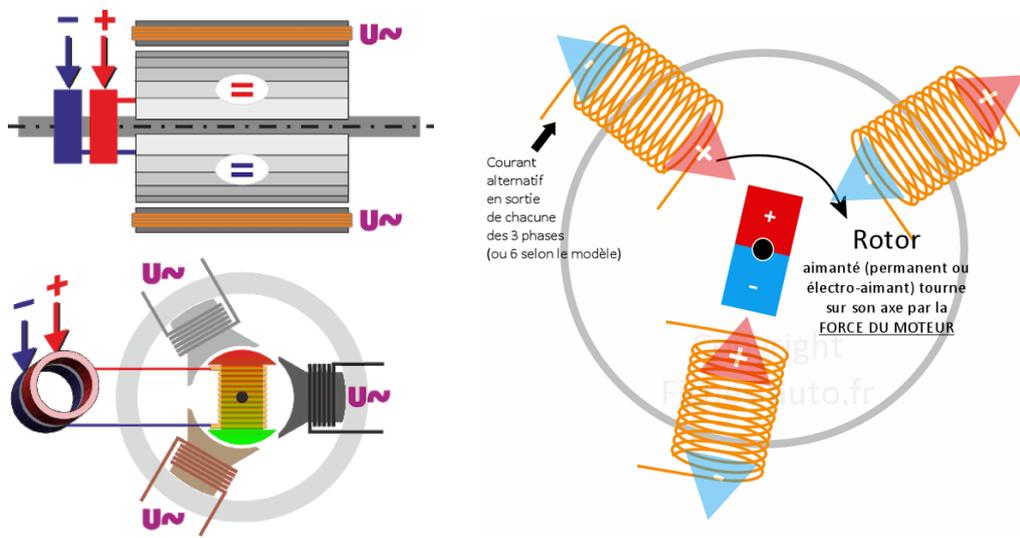
$E = -U_{max}$

$E = 0V$

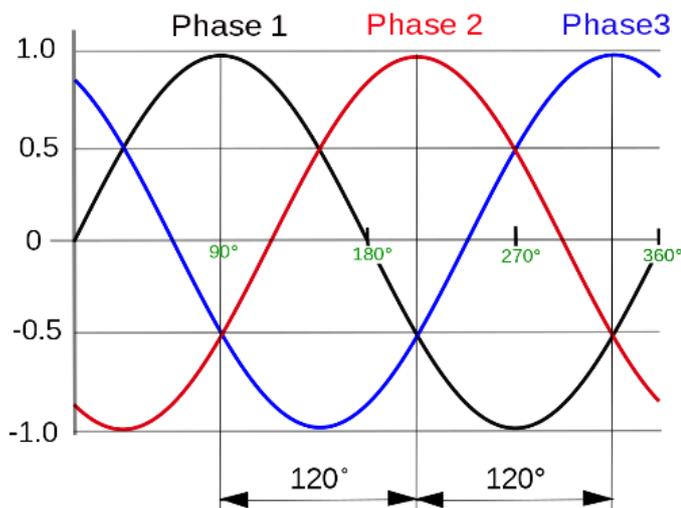


2.2- Alternateur triphasé:

Dans un alternateur triphasé on a trois bobines déphasées d'un angle physique de 120° avec un inducteur source de champs magnétique en rotation.



Ces trois bobines seront coupées par les lignes de champ créé par l'inducteur successivement ce qui créé trois tensions successives c.à.d. déphasées les unes des autres de 120° ($2\pi/3$).



$$V_1(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

$$V_2(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$V_3(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Réseau triphasé et couplage

1. DÉFINITIONS :

1.1 Système triphasé

Trois tensions (ou trois f.é.m.) sinusoïdales, de même fréquence, forment un système triphasé de tensions (ou de f.é.m.) si elles sont déphasées les unes par rapport aux autres de 120° .

De même un système triphasé de courants est formé de trois courants dont les intensités sont sinusoïdales, de même fréquence, et déphasées de 120° les unes par rapport aux autres.

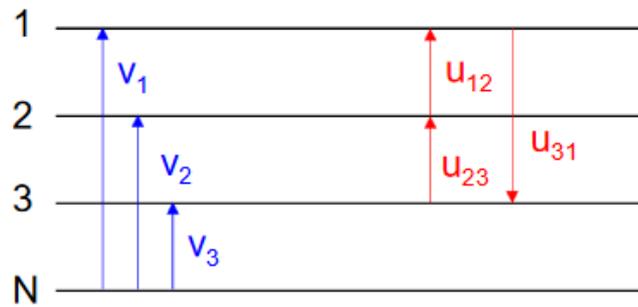
1.2 Système triphasé équilibré

Un système triphasé est équilibré lorsqu'il est formé de trois grandeurs ayant la même valeur efficace. Exemple : système de tensions triphasé équilibré :

$$v_1(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

$$v_2(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_3(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$



2. TENSIONS SIMPLES – TENSIONS COMPOSEES

2.1 Définitions :

- Les tensions simples v_1 , v_2 et v_3 représentent les différences de potentiel entre chaque **phase et neutre**.

En régime équilibré les tensions simples ont même valeur efficace :

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

- Les tensions composées U_{12} , U_{23} et U_{31} sont les différences de potentiel entre **phase et phase**.

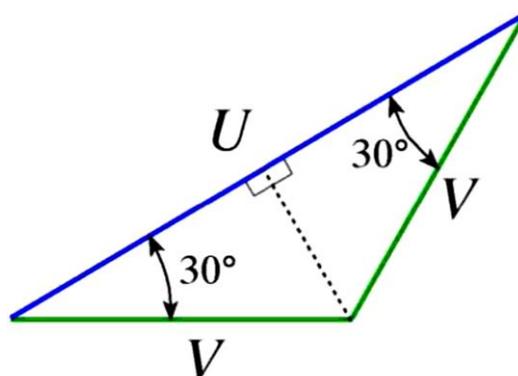
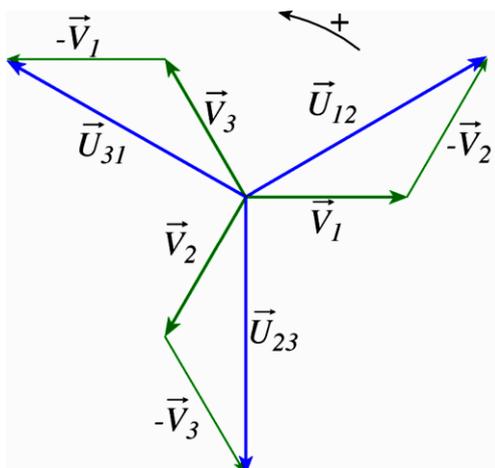
En régime équilibré les tensions composées ont même valeur efficace

$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$; Elles sont liées aux tensions simples par les relations :

$$U_{12} = V_1 - V_2 \quad U_{23} = V_2 - V_3 \quad U_{31} = V_3 - V_1$$

2.2 Représentation de Fresnel

A chaque tension simple sinusoïdale nous associons un vecteur de Fresnel ; Nous obtenons le diagramme suivant :



Construisons le diagramme de Fresnel des tensions composées à partir du diagramme des tensions simples.

→ → →
Par exemple, le vecteur $U_{23} = V_2 - V_3$

2.3 Relation entre V et U :

$$U = 2 \cdot V \cdot \cos 30^\circ = 2 \cdot V \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = V \cdot \sqrt{3}$$

$$U = V\sqrt{3}$$

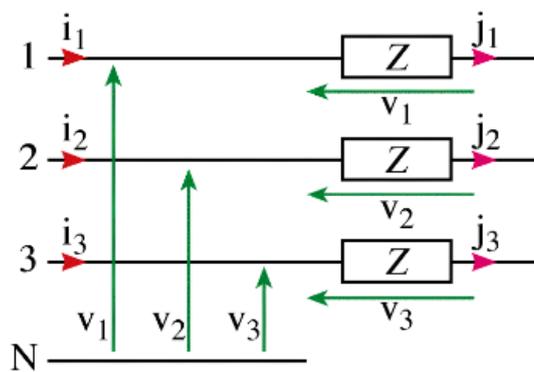
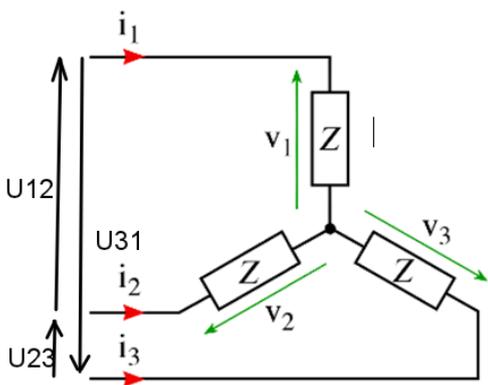
$$V = U/\sqrt{3}$$

3- COUPLAGE DES SOURCES ET RECEPTEURS :

<ul style="list-style-type: none"> Récepteurs triphasés : ce sont des récepteurs constitués de trois dipôles identiques, d'impédance Z. Equilibré : car les trois éléments sont identiques. Courants par phase : ce sont les courants qui traversent les éléments Z du récepteur triphasé. Symbole : J Courants en ligne : ce sont les courants qui passent dans les fils du réseau triphasé. Symbole : I 	
---	--

Le réseau et le récepteur peuvent se relier électriquement de deux façons différentes : en étoile ou en triangle.

3.1- Couplage étoile :



$$V_1 = V_2 = V_3 = V \quad U_{12} = U_{23} = U_{31} = U \quad \text{avec } U = V \cdot \sqrt{3}$$

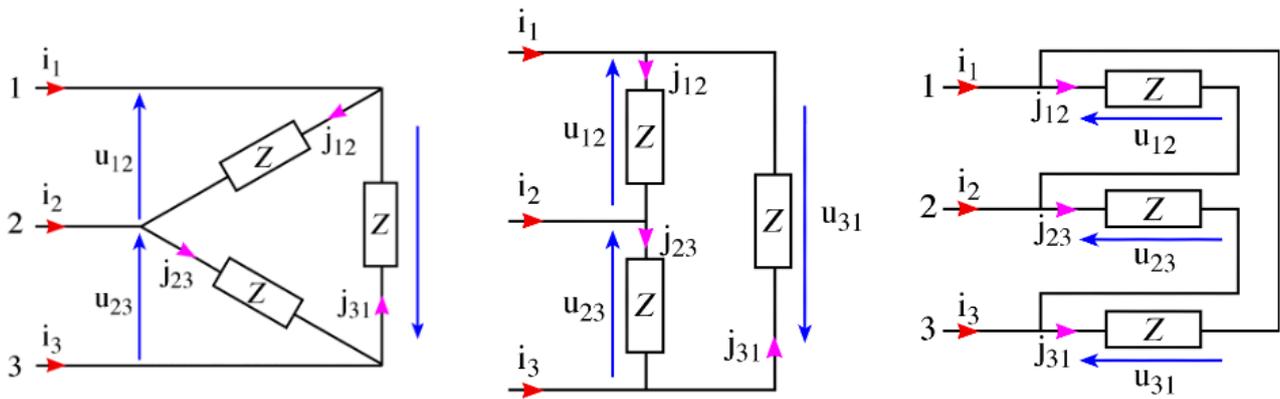
On constate sur les schémas que les courants en ligne sont égaux aux courants par phase.

$$i_1 = j_1, i_2 = j_2 \text{ et } i_3 = j_3$$

De plus la charge et le réseau sont équilibrés, donc : $I_1 = I_2 = I_3 = I = J$

On retiendra pour le couplage étoile : $I = J$

3.2- Couplage Triangle :



$$I_1 = J_{12} - J_{31}$$

$$I_2 = J_{23} - J_{12}$$

$$I_3 = J_{31} - J_{23}$$

Le système triphasé est équilibré :

$$I_1 = I_2 = I_3 = I \quad \text{et} \quad J_{12} = J_{23} = J_{31} = J$$

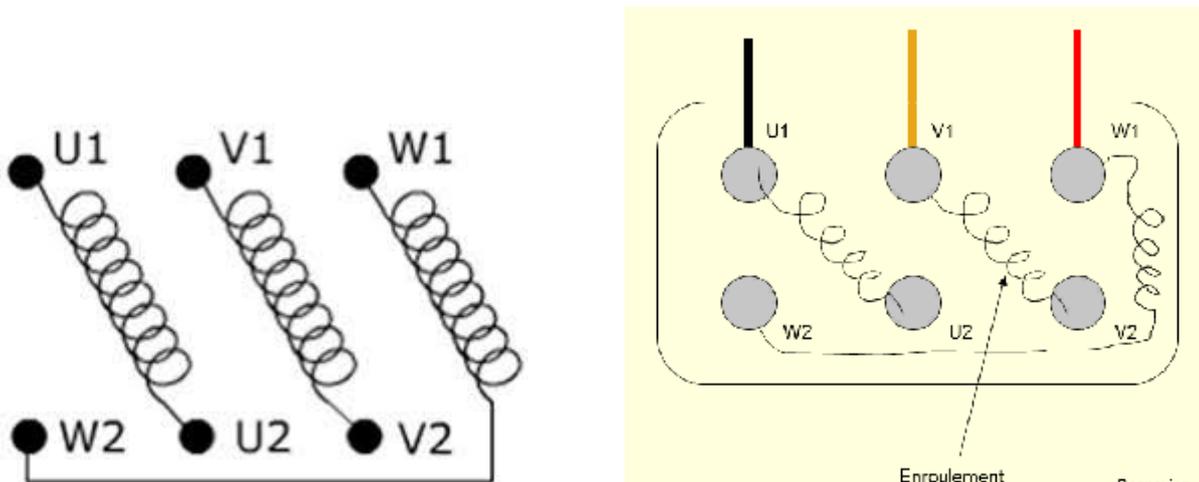
Pour le couplage triangle, la relation entre J et I est semblable à celle de la tension V et U dans le couplage étoile.

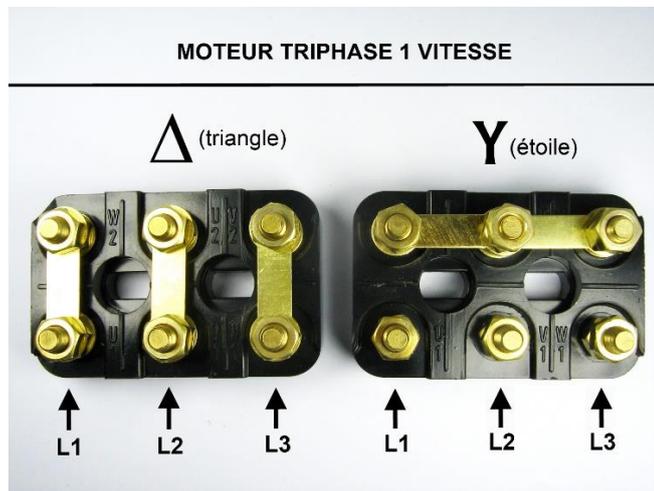
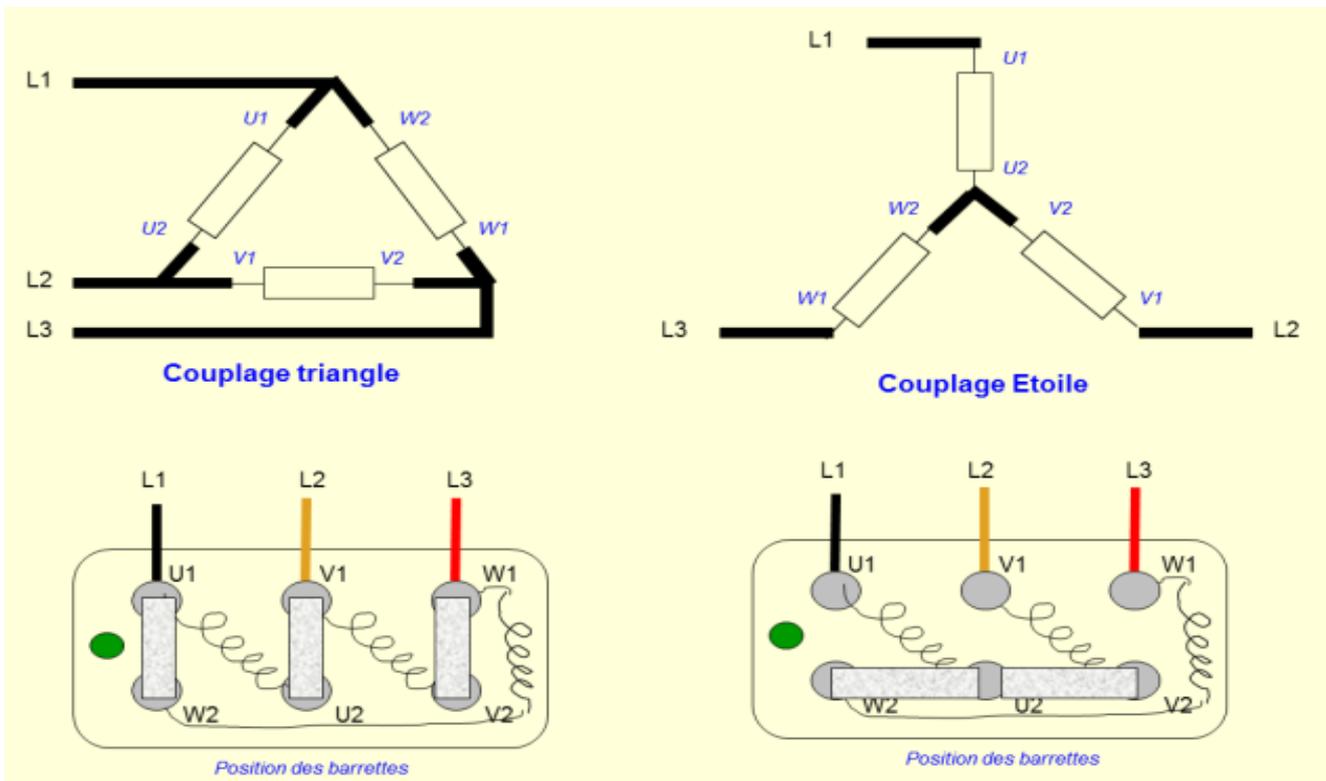
Pour le couplage triangle : $U=V$ et $J=I/\sqrt{3}$ ou $I=J \cdot \sqrt{3}$

3.3- Couplage de la plaque à borne d'un moteur triphasé :

Un moteur triphasé alimenté sous une tension triphasé doit être couplé soit en triangle soit en étoile selon la plaque signalétique du moteur

On fait le choix de couplage en fonction de la valeur de tension d'alimentation et la tension nominale supportée par chaque bobine du moteur.





3.4- Quand coupler une plaque à borne en étoile ou triangle ?

Dans la plaque signalétique du moteur est inscrite 2 tensions U_1 (Δ) et U_2 (Y) avec $U_2 = U_1 \cdot \sqrt{3}$

* LEROY-SOMER		MOT. 3 \sim LS 50 L T				
IP 55 I cl.F		N° 734577 BJ 002 kg 9				
45 C S1						
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A	
Δ 220	50	2780	0,75	0,86	3,3	
Y 380					1,9	
Δ 230	50	2800	0,75	0,83	3,3	
Y 400					1,9	
Δ 240	50	2825	0,75	0,80	3,3	
Y 415	**				1,9	

D 0165 IEC 34-1(87)

MOTEURS LEROY-SOMER

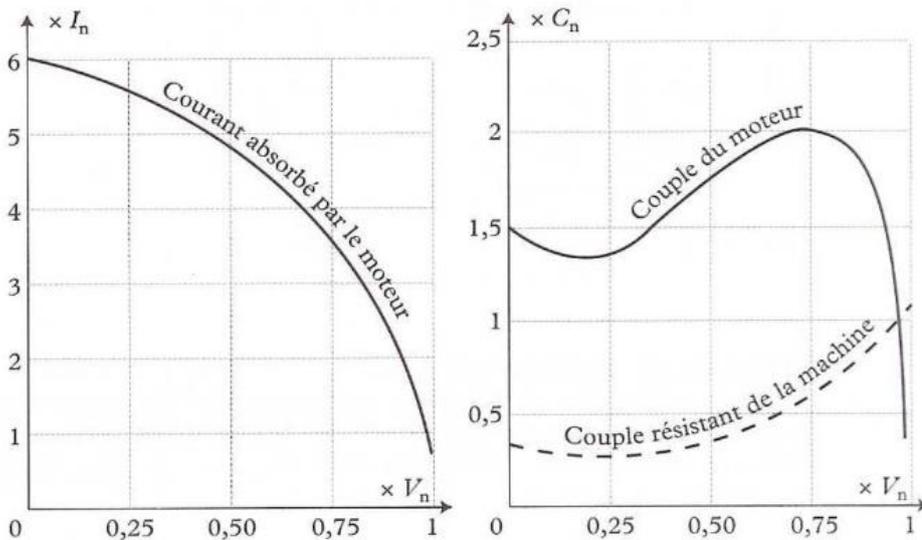
- Si la petite tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phases du réseau on adopte le couplage Δ .
- Si la grande tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phase du réseau on adopte le couplage Y.

Réseau d'alimentation		Plaque signalétique		Couplage
230V	400V	230V	400V	Y
230V	400V	400V	690V	Δ
Tension simple	Tension composée	Tension d'un enroulement	Tension entre deux enroulements	

Fonctionnement des démarreurs à pleine tension. Démarrage direct

1- Généralités :

Dans ce procédé de démarrage, le moteur asynchrone est branché directement au réseau d'alimentation après avoir couplé la plaque à borne, le démarrage s'effectue en un seul temps. Le courant de démarrage peut atteindre 4 à 8 fois le courant nominal du moteur. Le couple de décollage est important, peut atteindre 1,5 fois le couple nominale



Le démarrage direct est utilisé lorsque le courant à la mise sous tension ne perturbe pas le réseau.

2 - Démarrage manuel :

2.1- démarrage 1 sens de rotation

Démarrage d'un moteur à un seul sens de rotation dont les enroulements sont couplés en étoile. Son démarrage se réalise par l'emploi d'un interrupteur tripolaire.

Schéma fonctionnel de l'ensemble

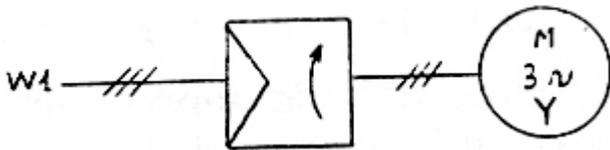
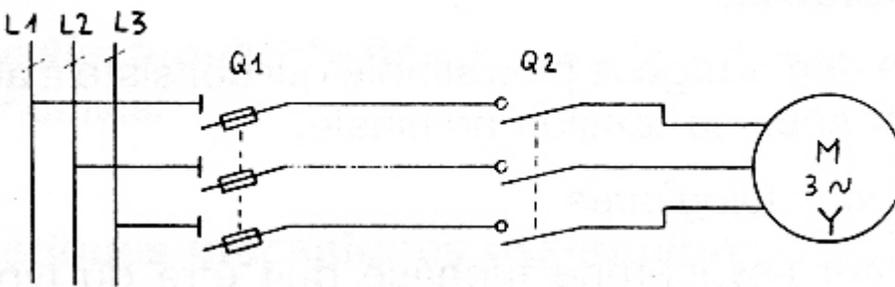


Schéma développé du montage



Légende :

Q1 : fusible sectionneur

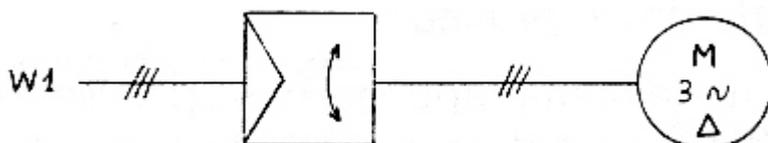
Q2 : interrupteur

M : moteur asynchrone triphasé (enroulement couplés en étoile)

2.2- démarrage 2 sens de rotation

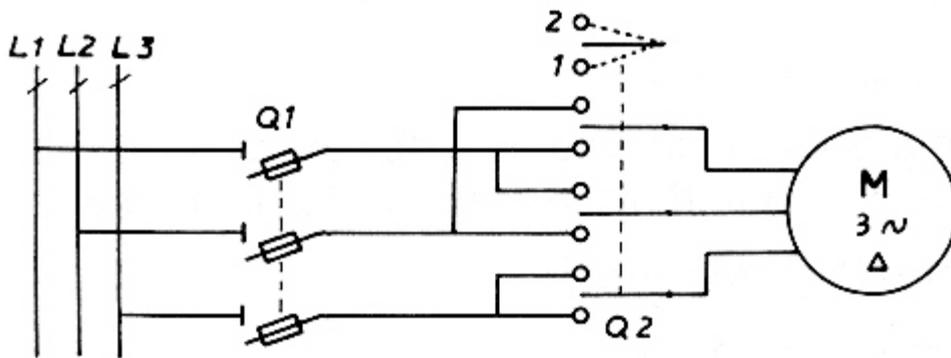
Moteur à deux sens de rotation dont les enroulements sont couplés en triangle. Son démarrage se réalise par l'emploi d'un commutateur inverseur triphasé.

Schéma fonctionnel de l'ensemble



Pour inverser le sens de rotation d'un moteur triphasé on inter change deux fils de phase et le troisième reste à sa place soit au niveau de la plaque à bornes ou avec un moyen qui permet de faire l'inversion (commutateur inverseur ou discontacteur inverseur)

Schéma développé du montage



Légende :

Q1 : fusible sectionneur

Q2 : commutateur inverseur triphasé avec position arrêt

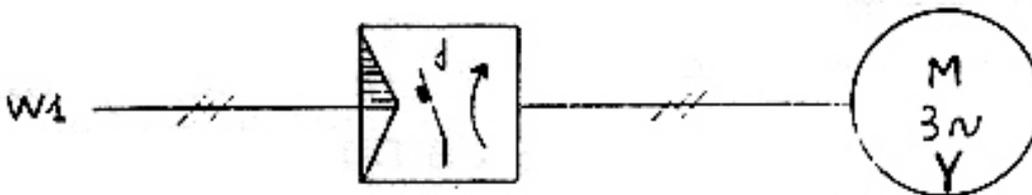
M : moteur asynchrone triphasé.

3- Démarrage semi-automatique

On utilise, à la place des interrupteurs ou commutateurs, des contacteurs commandés par boutons poussoirs.

3.1- démarrage 1 sens de rotation

Schéma fonctionnel de l'ensemble

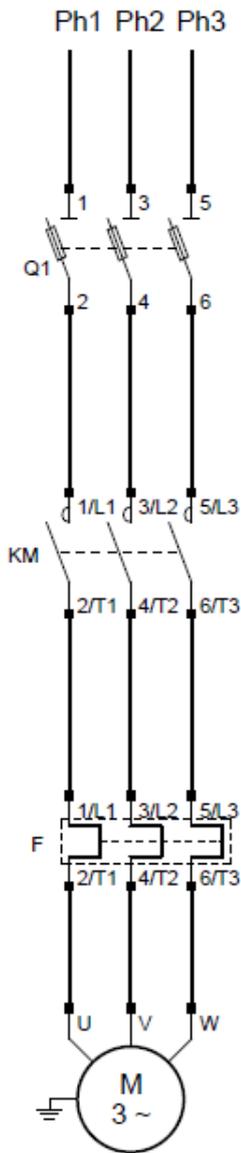


Démarrage d'un moteur asynchrone triphasé dans un sens de marche avec un bouton poussoir MA et l'arrêter par avec un bouton poussoir AT.

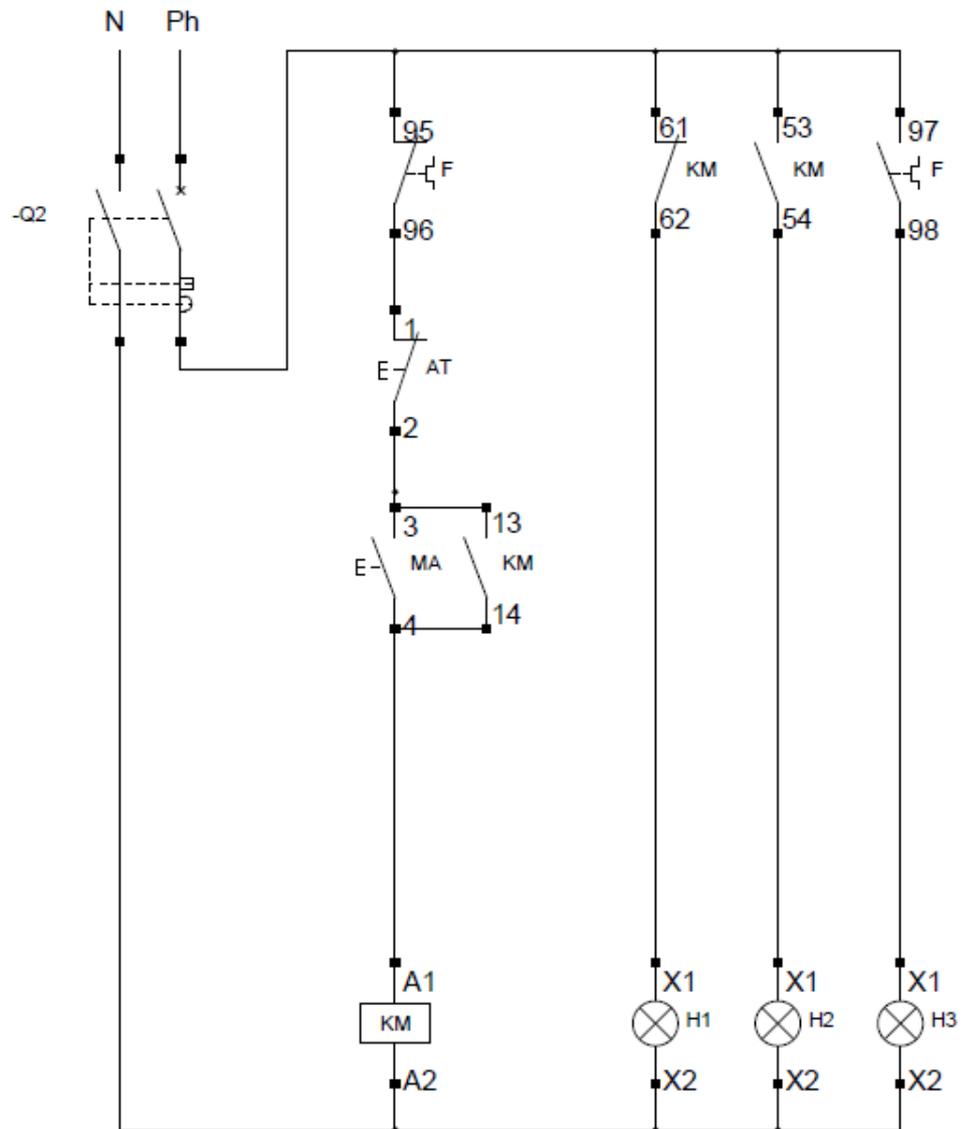
La signalisation est réalisée par trois lampes H1, H2 et H3 signalant respectivement l'arrêt du moteur, la marche du moteur et défaut moteur.

Le démarrage est réalisé par un discontacteur (Contacteur + relais thermique).

Circuit de puissance



Circuit de commande



Circuit de signalisation

Légende :

Ph1, Ph2, Ph3 : Alimentation triphasé

Q2 : disjoncteur bipolaire protection circuit de commande

Q1 : sectionneur tripolaire porte fusible

AT : Bouton poussoir arrêt

KM : contacteur tripolaire de ligne

MA : Bouton poussoir marche

F : relais thermique

M : moteur asynchrone triphasé

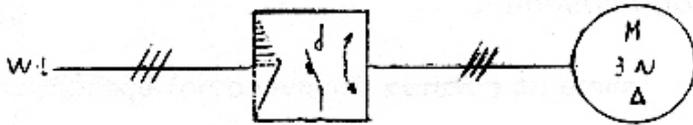
Fonctionnement :

Après fermeture du sectionneur Q1 à vide et fermeture du disjoncteur Q2, une action sur le BP marche permet l'excitation de la bobine (KM A1, A2) qui permet son auto alimentation grâce au contact de maintien (KM 13,14) et fermeture des contacts principaux dans le circuit de puissance, le moteur est en marche maintenant.

Une action sur le BP arrêt ou une surcharge détectée par le relais thermique F permet l'ouverture du circuit de commande grâce respectivement aux contacts (AT 1,2) et (F 95,96).

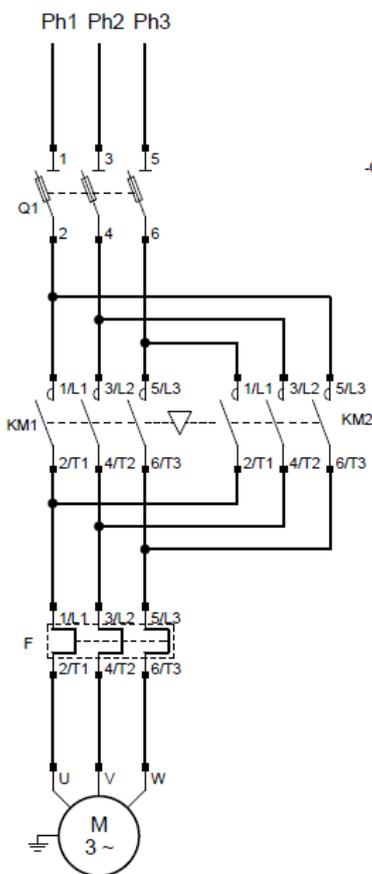
3.2- démarrage 2 sens de rotation

Schéma fonctionnel de l'ensemble

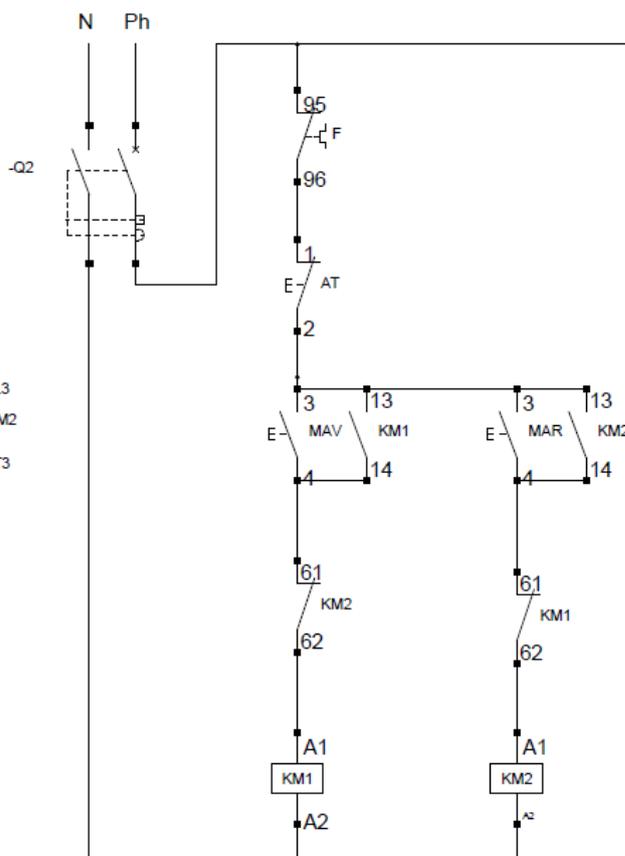


Démarrage d'un moteur asynchrone triphasé dans deux sens de rotation, par un bouton poussoir **M.AV** pour le sens avant, par un bouton poussoir **M.AR** pour le sens arrière et un bouton poussoir **AT** pour l'arrêt.

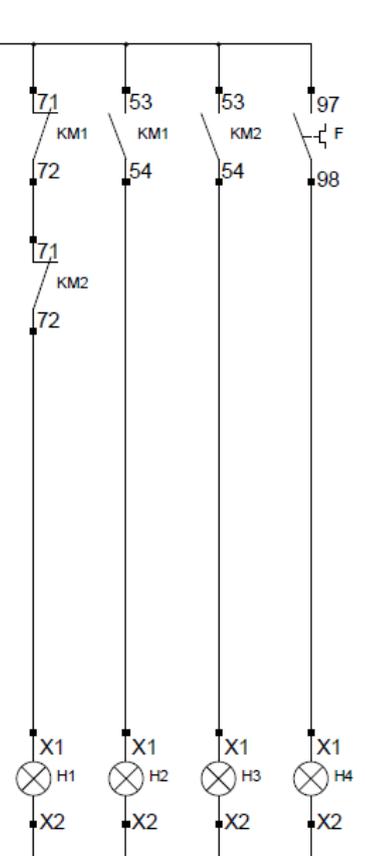
Circuit de puissance



Circuit de commande



Circuit de signalisation



Légende :

Q1 : Sectionneur

F : Relais thermique

MAV : Boutons poussoir marche avant

MAR : Bouton poussoir marche arrière

H1 : signalisation arrêt moteur

H3 : signalisation marche arrière moteur

AT : Bouton poussoir arrêt

KM1 : contacteur marche avant

KM2 : contacteur marche arrière

M : Moteur asynchrone triphasé

H2 : signalisation marche avant moteur

H4 : signalisation défaut surcharge moteur

Remarque : Il faut absolument un verrouillage électrique et mécanique entre les contacteurs **KM1** et **KM2** pour éviter les courts-circuits dans le circuit de puissance.

Fonctionnement de démarreurs à tension réduite.

Démarrage indirect

Introduction :

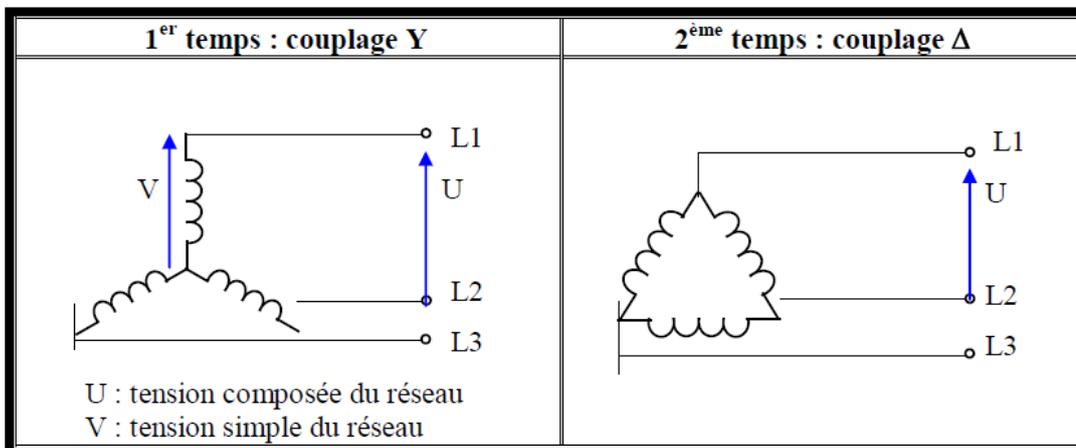
Au moment du démarrage d'un moteur, **le courant absorbé est très important** ; celui-ci est limité par différents procédés de démarrage qui agissent :

- Soit sur la tension d'alimentation (cas du moteur à cage, appelé aussi à rotor en cct) ;
- Soit sur une augmentation de la résistance du rotor (cas du moteur à rotor bobiné appelé aussi à bague).

1- Démarrage étoile triangle :

Principe : Le démarrage s'effectue en deux temps :

- ✓ 1er temps : chaque enroulement du stator est alimenté sous une tension réduite $U_B = V = U/\sqrt{3}$ en utilisant le couplage Y.
- ✓ 2ème temps : chaque enroulement du stator est alimenté sous sa tension nominale en changeant le couplage au triangle.



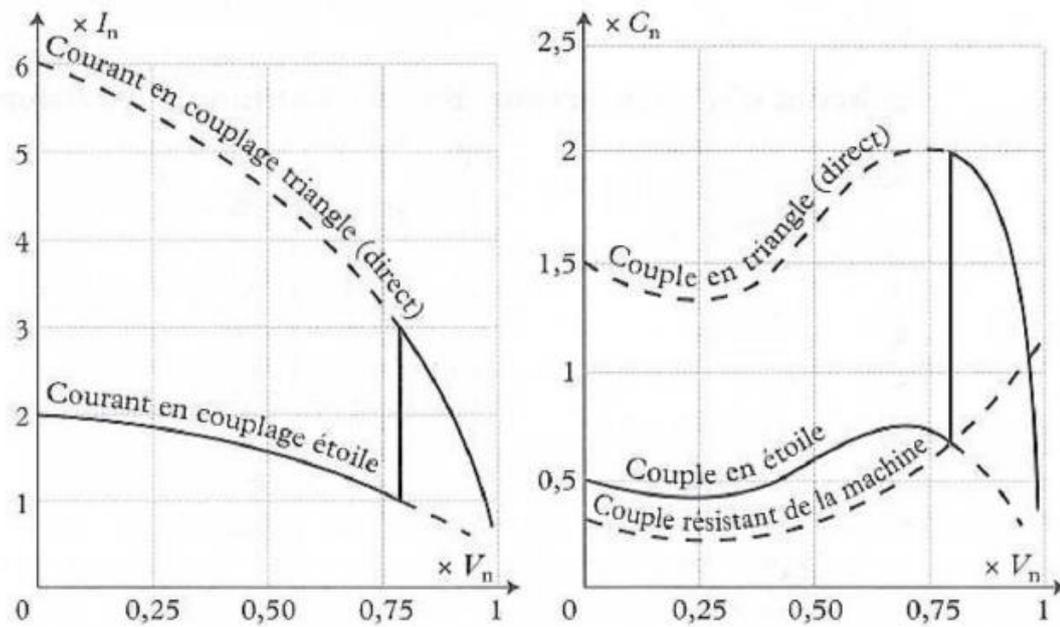
Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à couplage triangle dans leur fonctionnement normal.

Exemple : Un moteur **400V/690V** sur un réseau **230V/400V** (PH-N/**PH-PH**)

1.1- Démarrage étoile-triangle semi-automatique à un sens de marche :

Démarrage d'un moteur asynchrone triphasé en étoile-triangle dans un sens de rotation par un bouton poussoir MA et arrêt par un bouton poussoir AT.

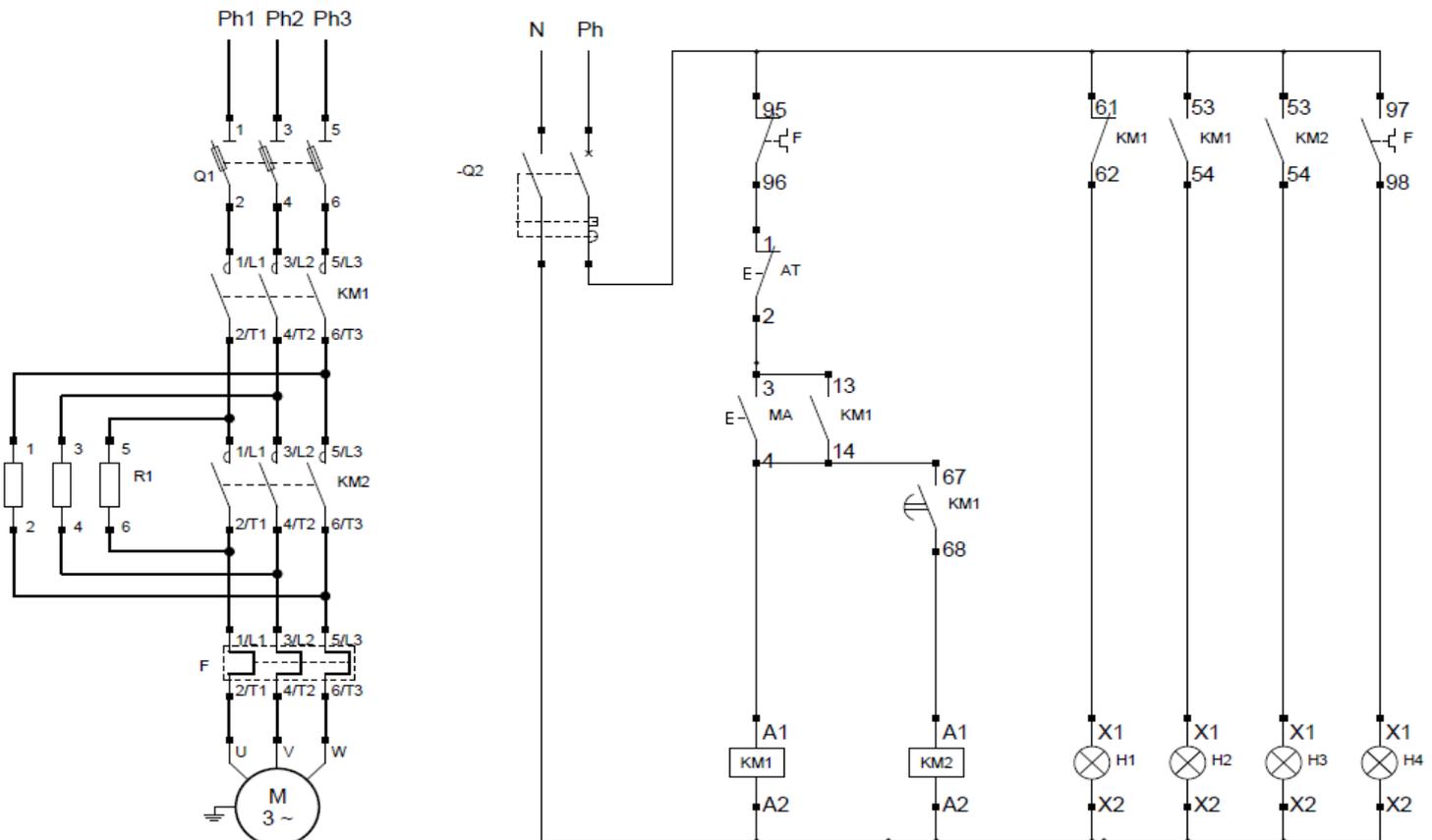
Caractéristiques du démarrage étoile triangle :



2- Démarrage par élimination de résistances statoriques

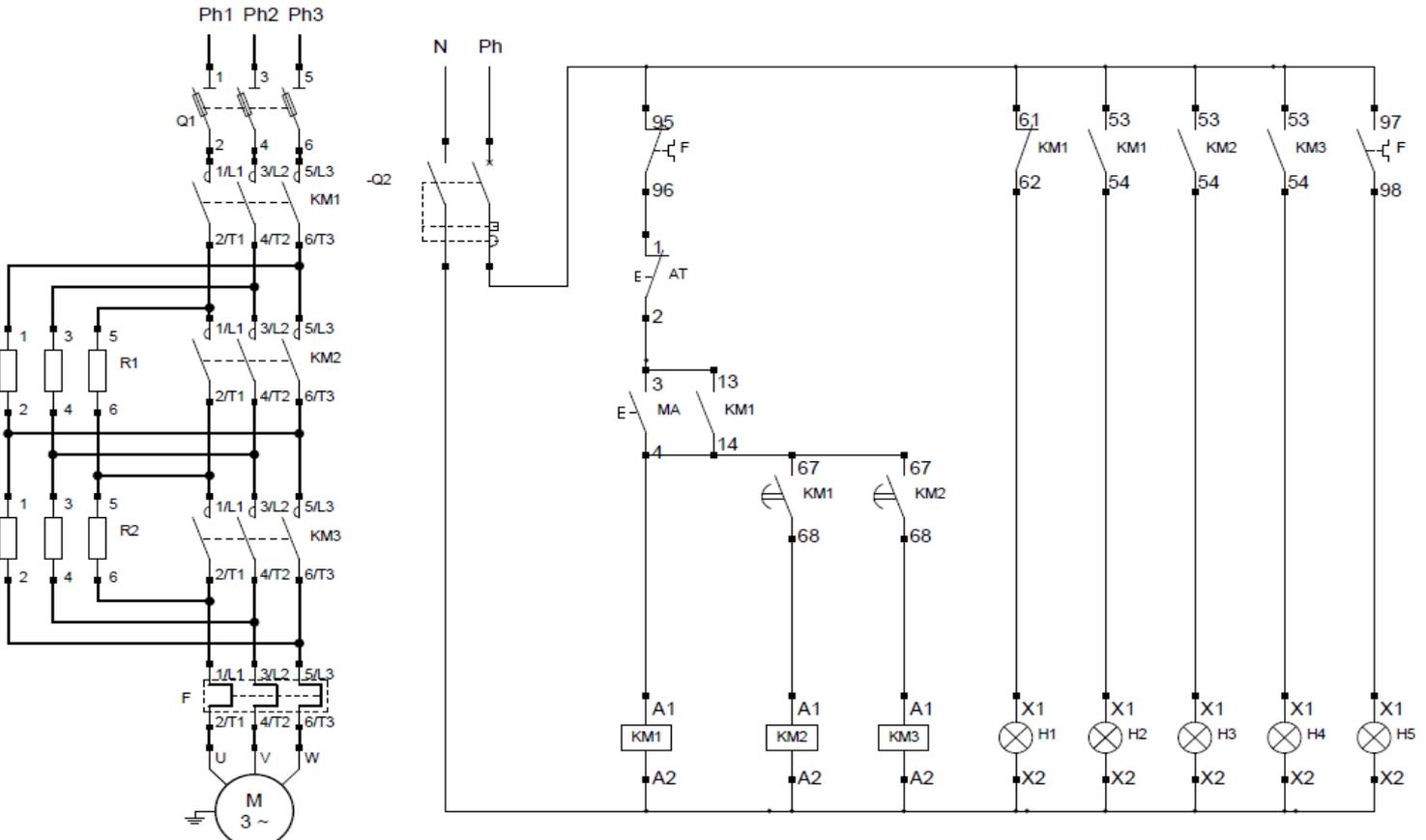
Le démarrage statorique, comme le démarrage étoile triangle, a pour principe de sous-alimenter le moteur durant presque toute la durée du démarrage en le mettant en série avec des résistances.

2.1- Démarrage par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche 2 temps :

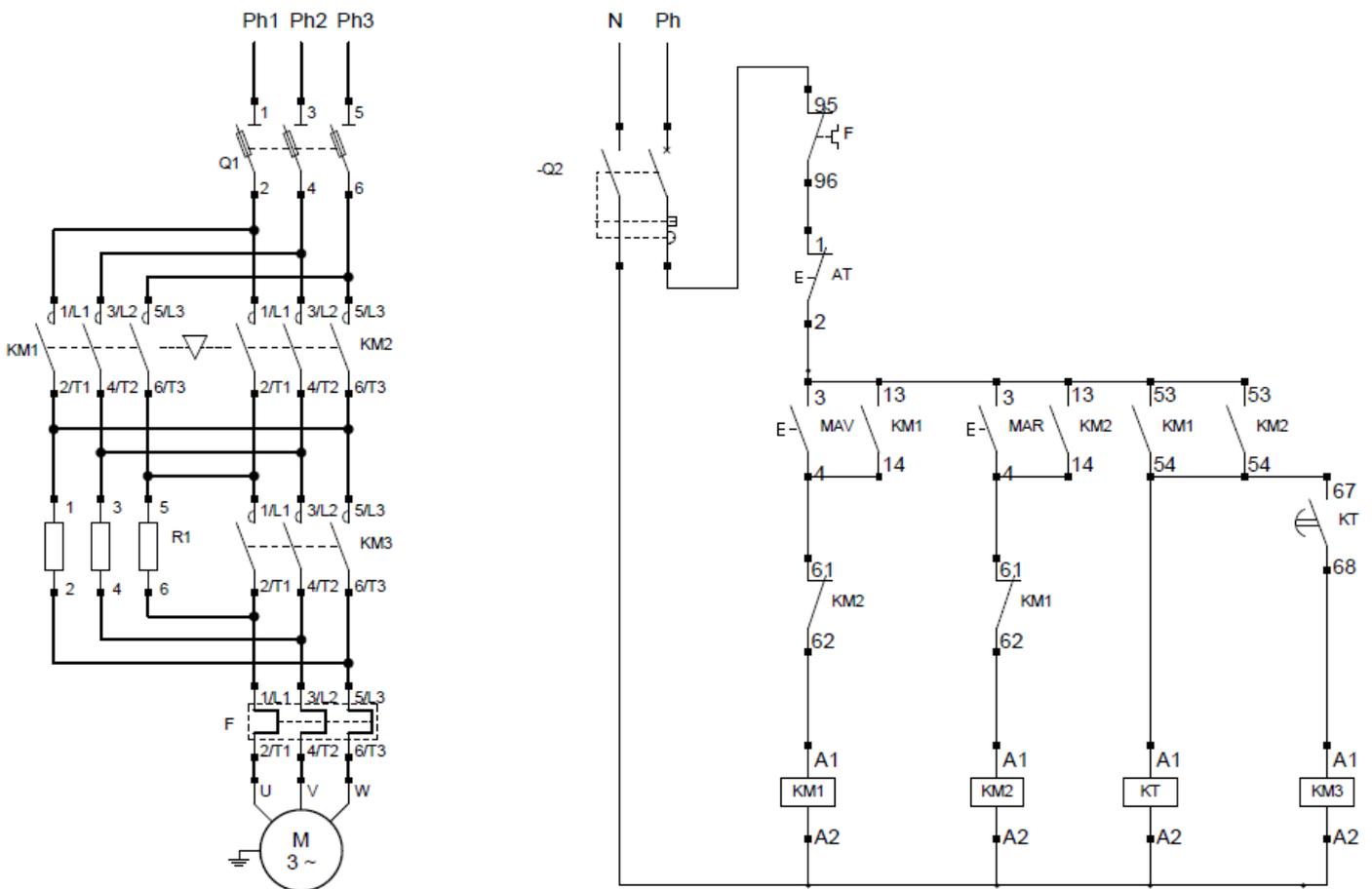


b

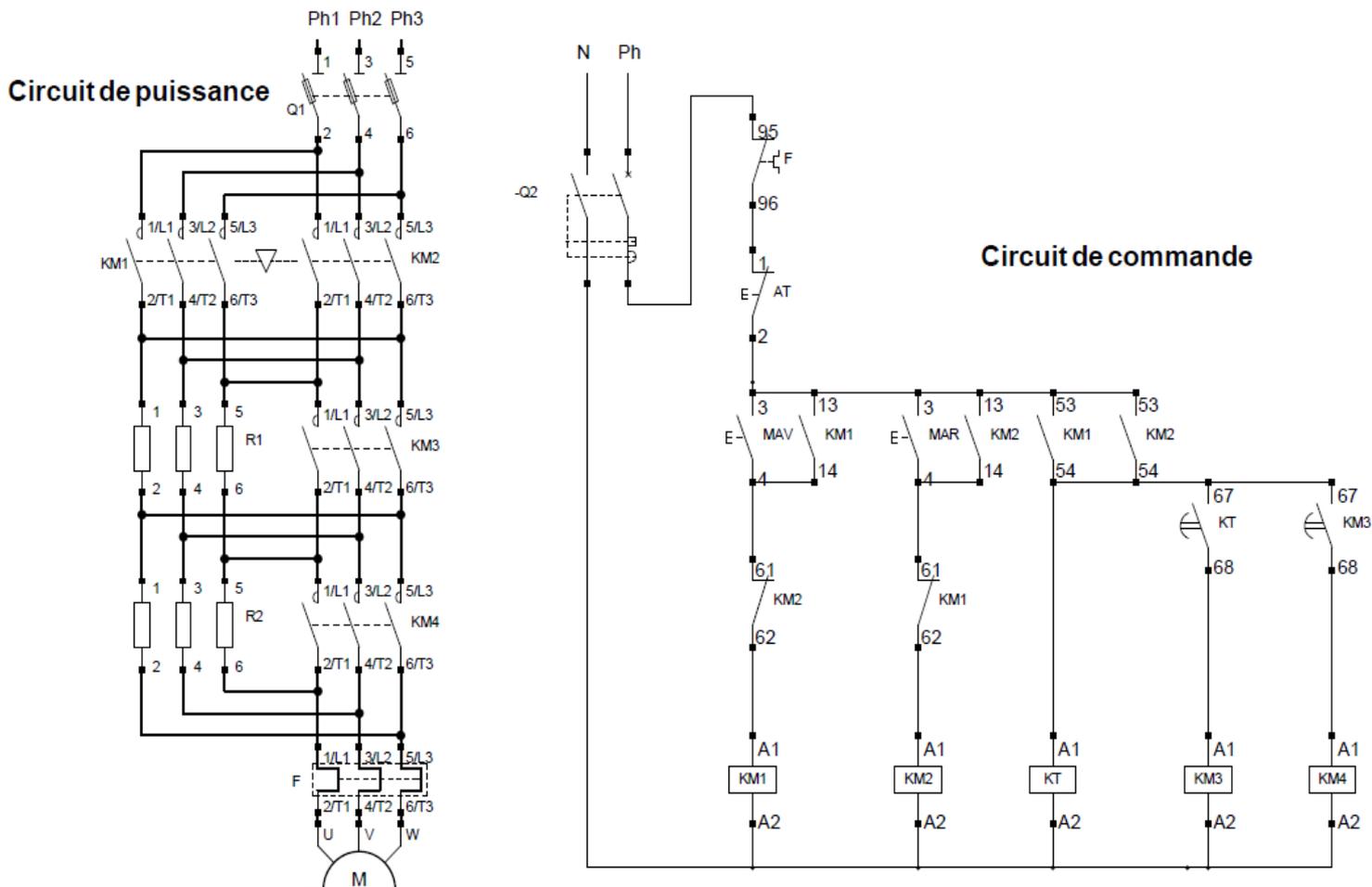
2.2- Démarrage par élimination de résistances statoriques à un seul sens de marche 3 temps :



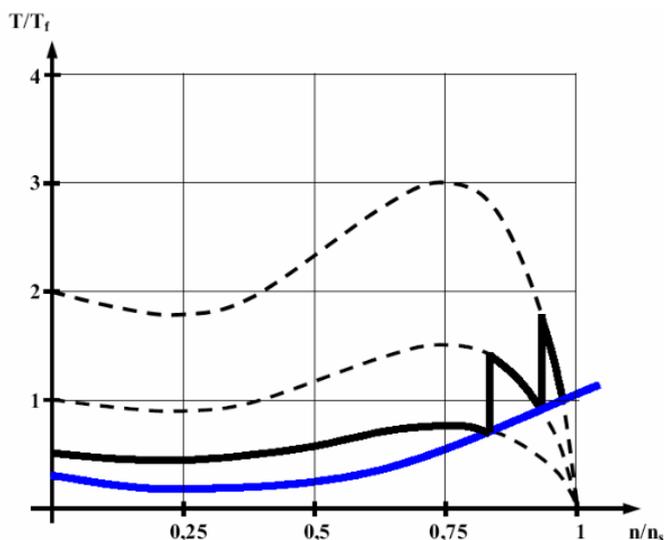
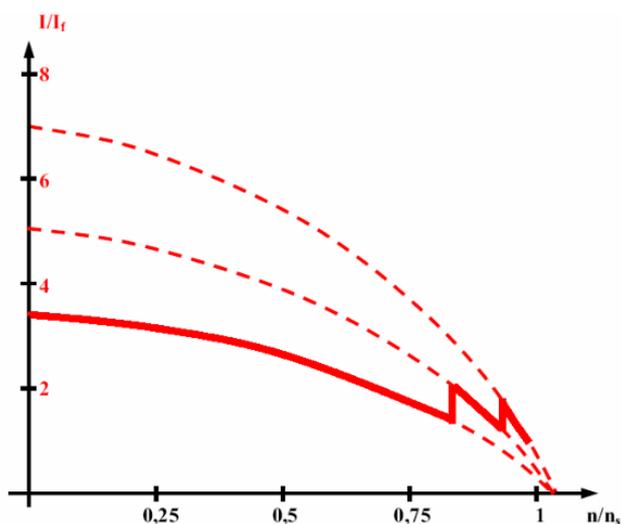
2.3- Démarrage par élimination de résistances statoriques à un 2 sens de marche 2 temps :



2.4- Démarrage par élimination de résistances statoriques à un 2 sens de marche 3 temps :



Caractéristiques du démarrage statorique :



3 - Démarrage par élimination de résistances rotoriques

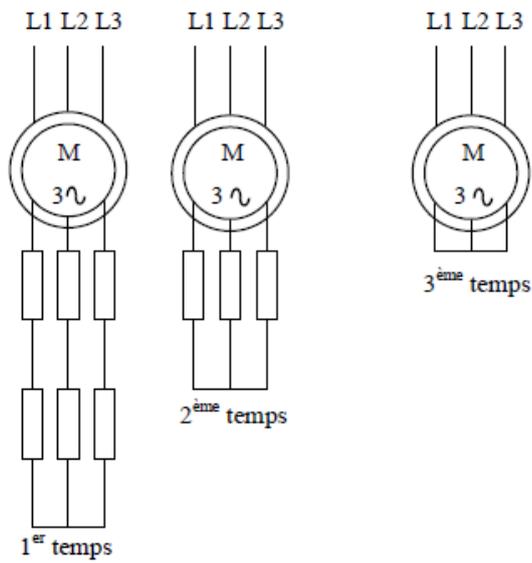
Principe :

Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à rotor bobiné dont les enroulements sont couplés en Y, Ce démarrage consiste à alimenter le stator du moteur par la tension nominale et éliminer les résistances rotoriques en plusieurs temps.

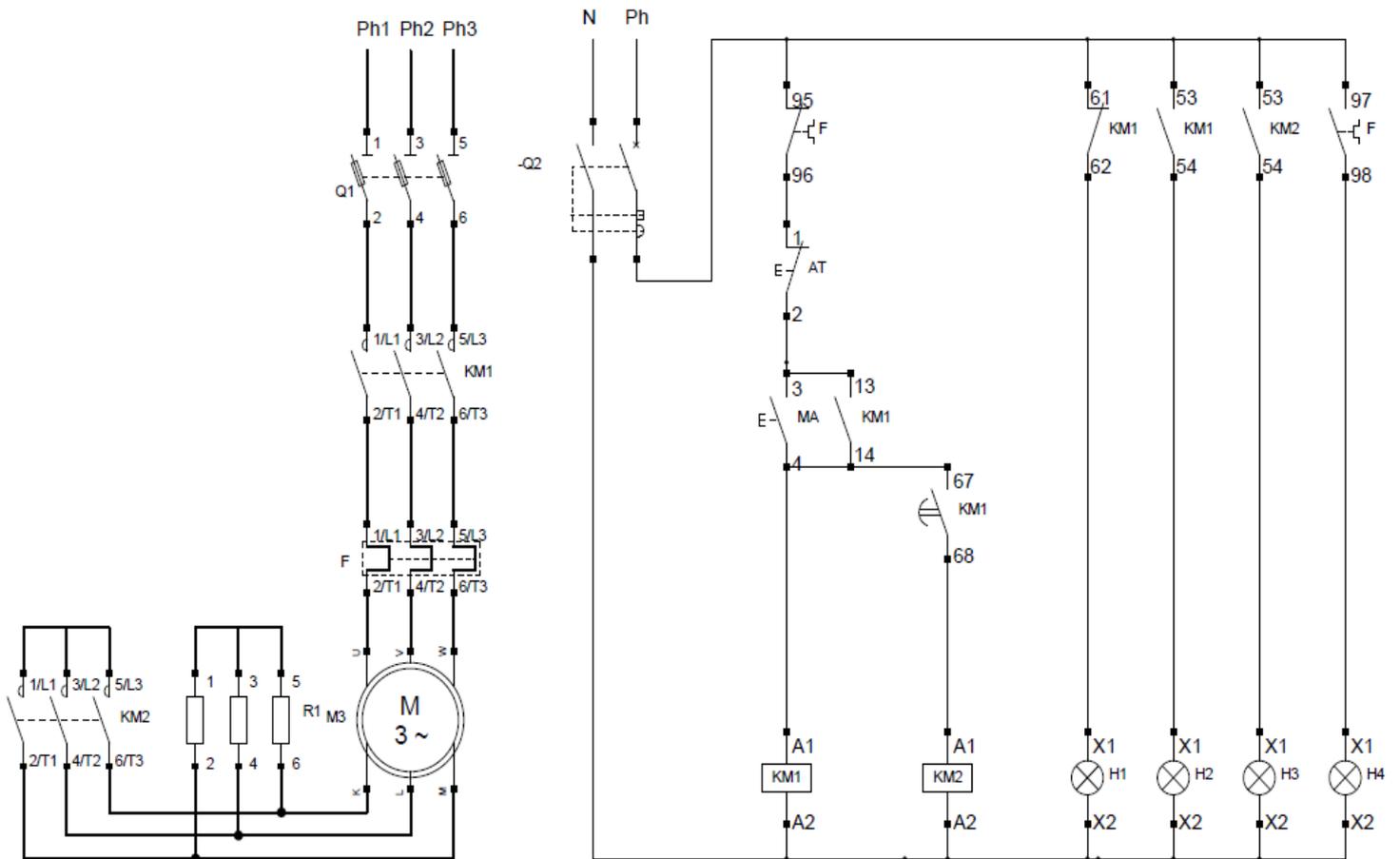
1er temps : On insère la totalité des résistances dans les enroulements du rotor.

2ème temps : On diminue la résistance du circuit rotor en éliminant une partie des résistances insérées.

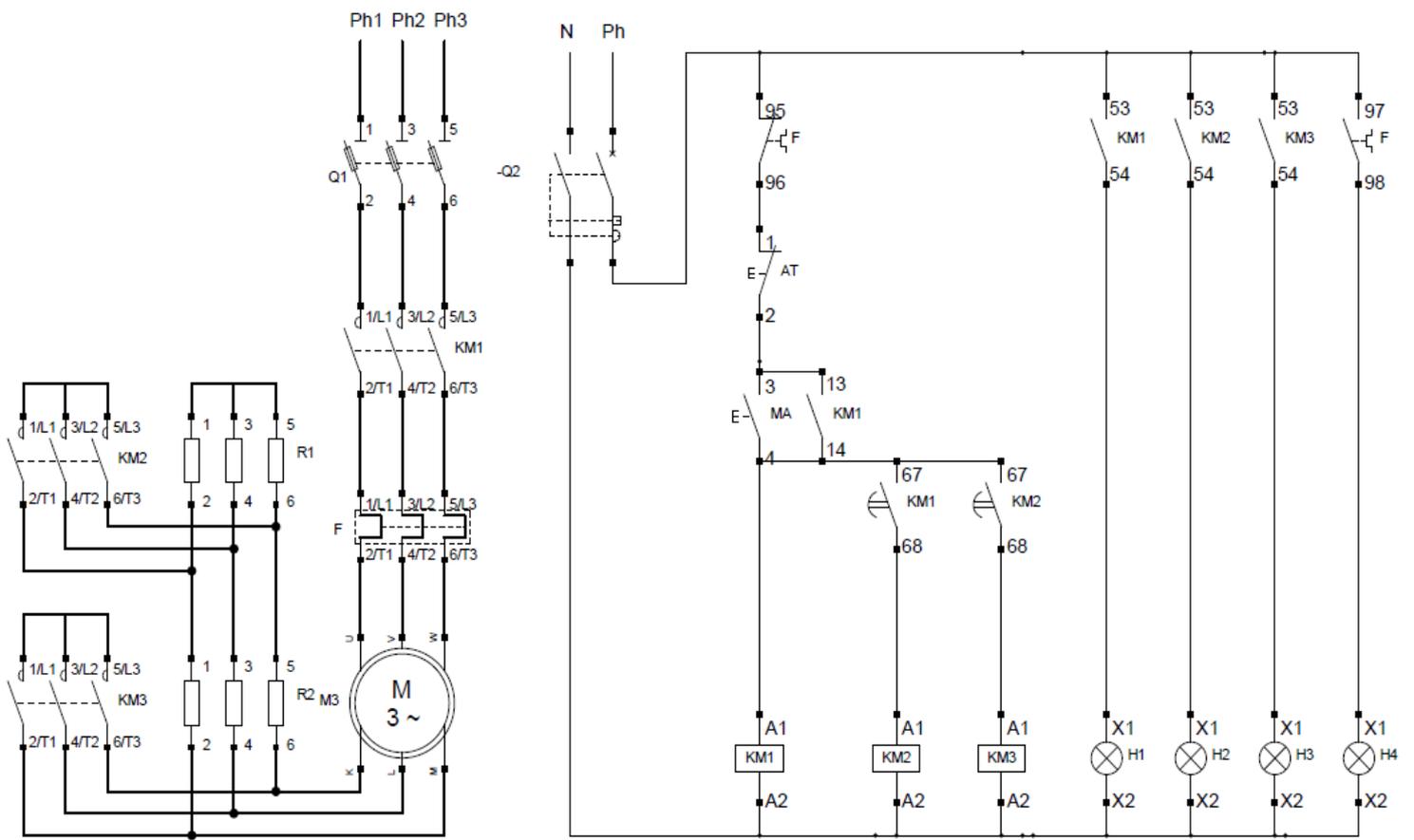
3ème temps : On élimine toutes les résistances rotoriques en court-circuitant les enroulements du rotor.



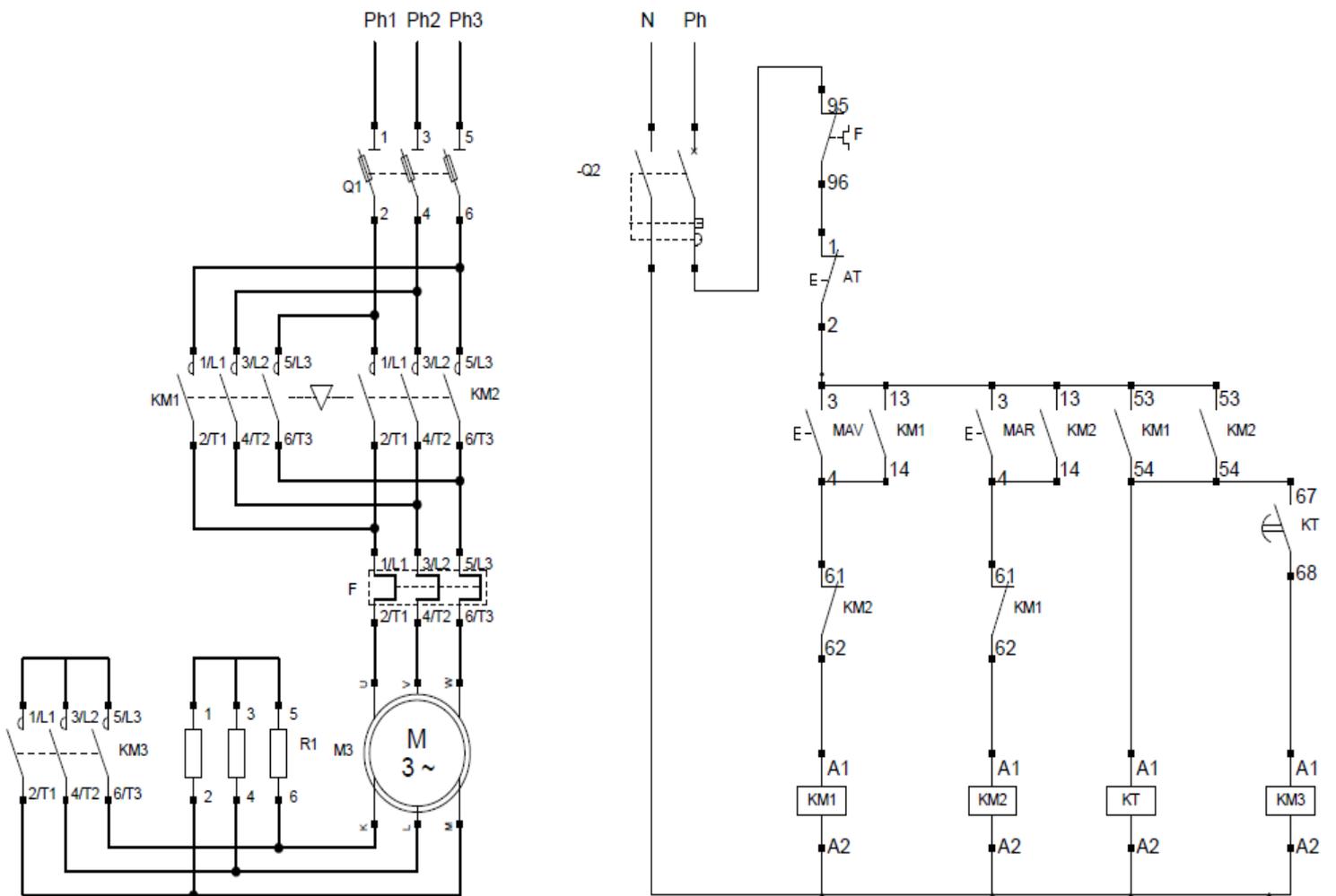
3.1- Démarrage par élimination de résistances rotoriques à un seul sens de marche 2 temps :



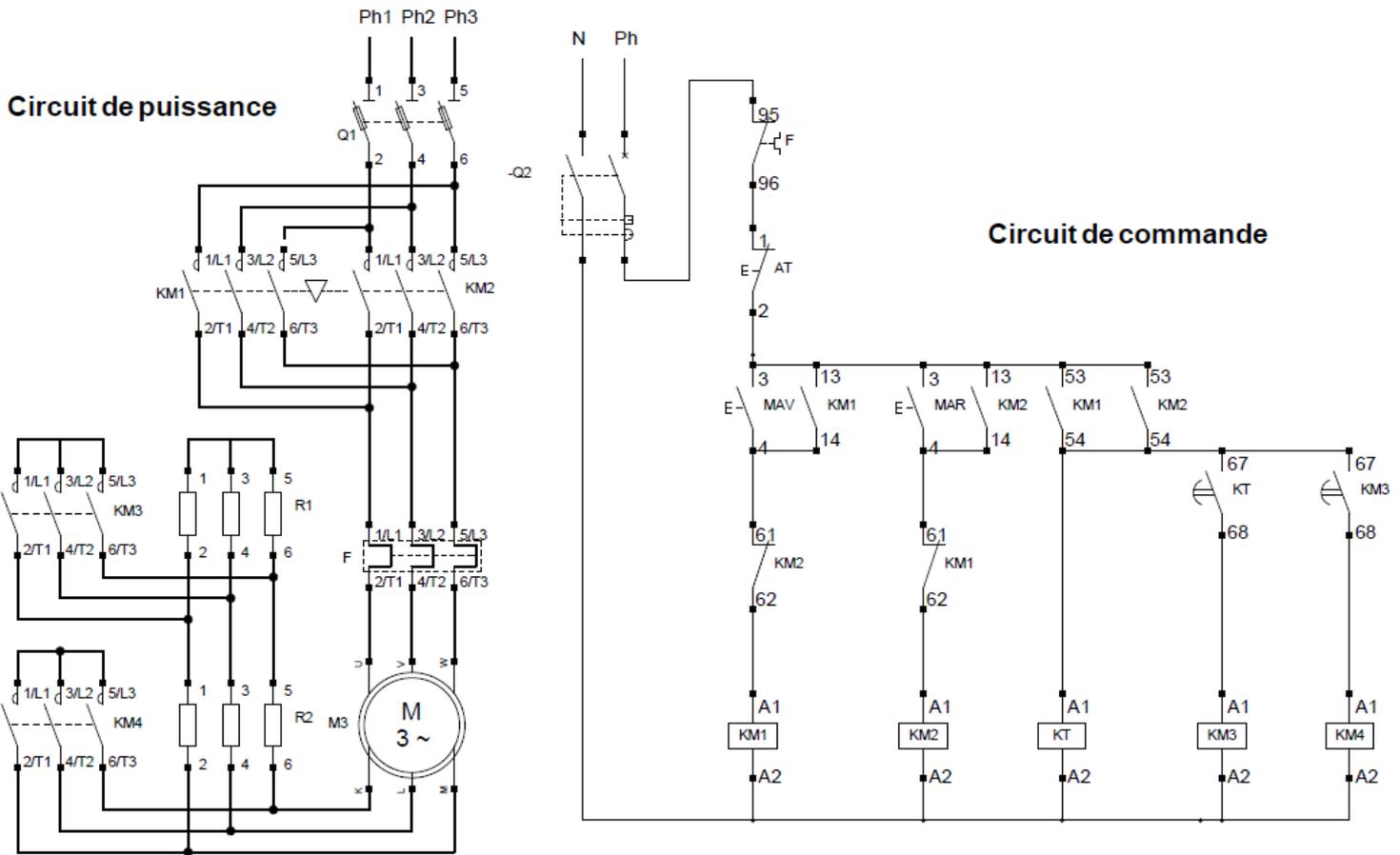
3.2- Démarrage par élimination de résistances rotoriques à un seul sens de marche 3 temps :



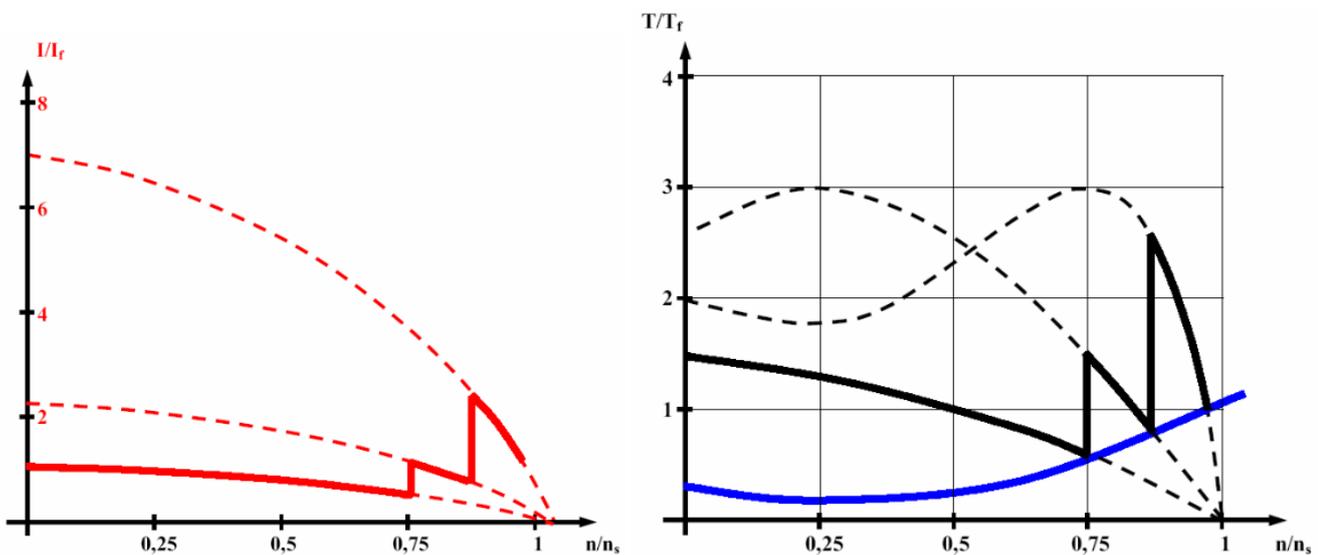
3.3- Démarrage par élimination de résistances rotoriques, deux sens de marche 2 temps :



3.4- Démarrage par élimination de résistances rotoriques, deux sens de marche 3 temps :



Caractéristiques du démarrage rotorique :



4- Démarrage par autotransformateur :

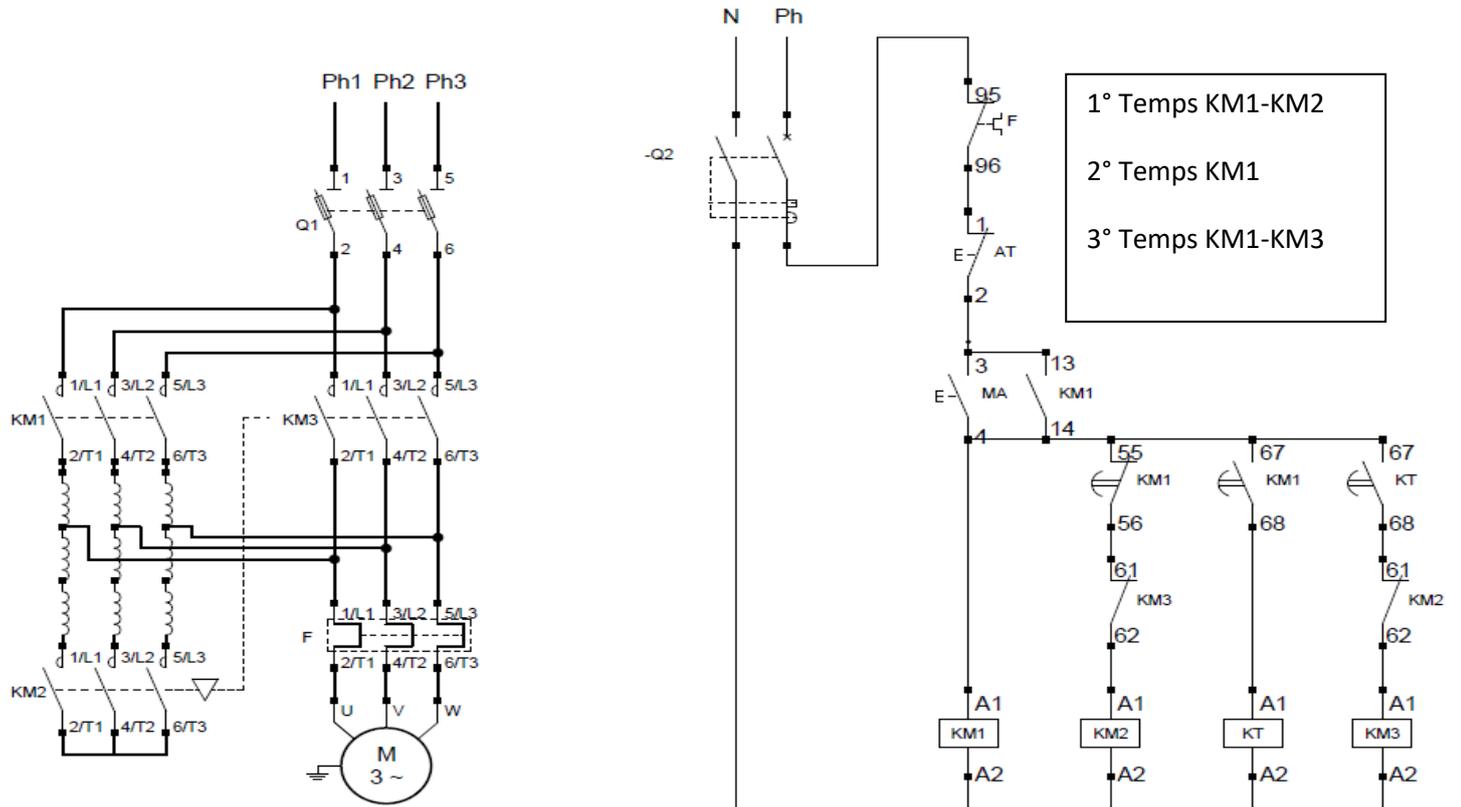
Au moment de démarrage, la tension est réduite au moyen d'un autotransformateur.

1^{er} Temps Autotransformateur en Y le moteur est alimenté à tension très réduite

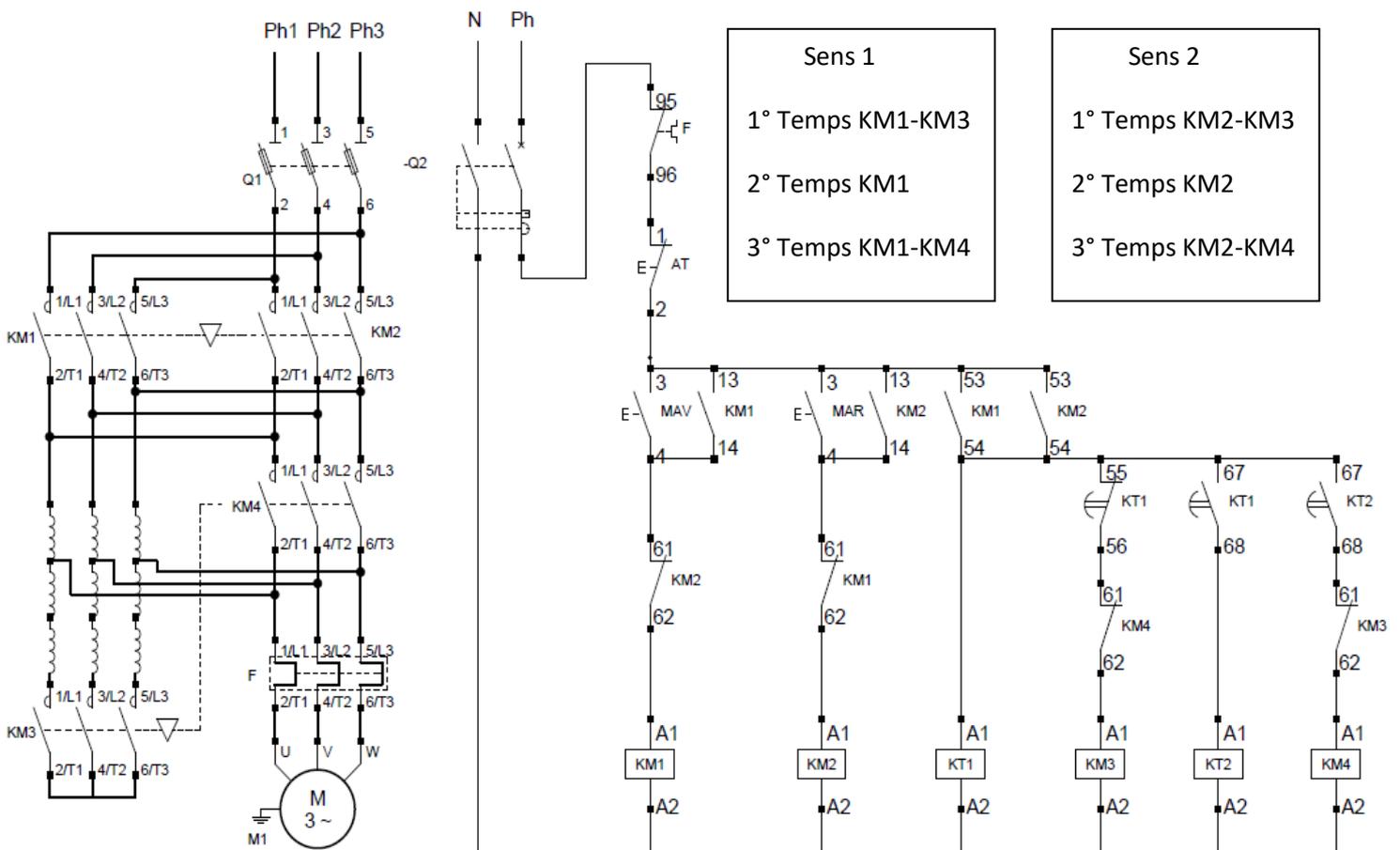
2^{ème} Temps Ouverture du point Y, seul la bobine de la partie supérieure de l'enroulement limite le courant, le moteur est alimenté à tension réduite

3^{ème} Temps Alimentation du moteur sous pleine tension

4.1- Démarrage 1 sens de rotation :



4.1- Démarrage 2 sens de rotation :

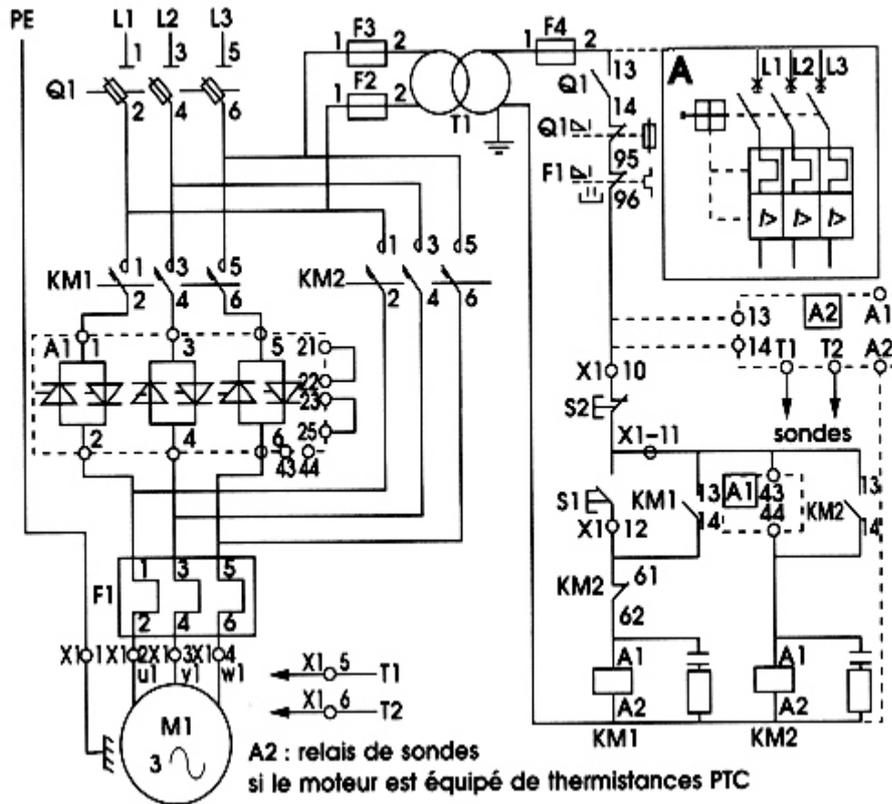


5- Démarreur électronique :

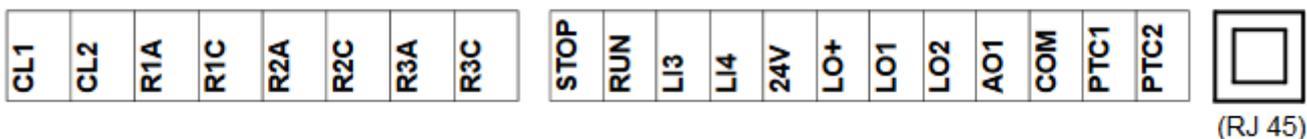
Le démarreur électronique utilise les propriétés d'un dispositif technologique appelé gradateur, (Convertisseur alternatif- alternatif) qui permet de commander et de régler le courant débité par une source de tension alternative sinusoïdale dans un récepteur.

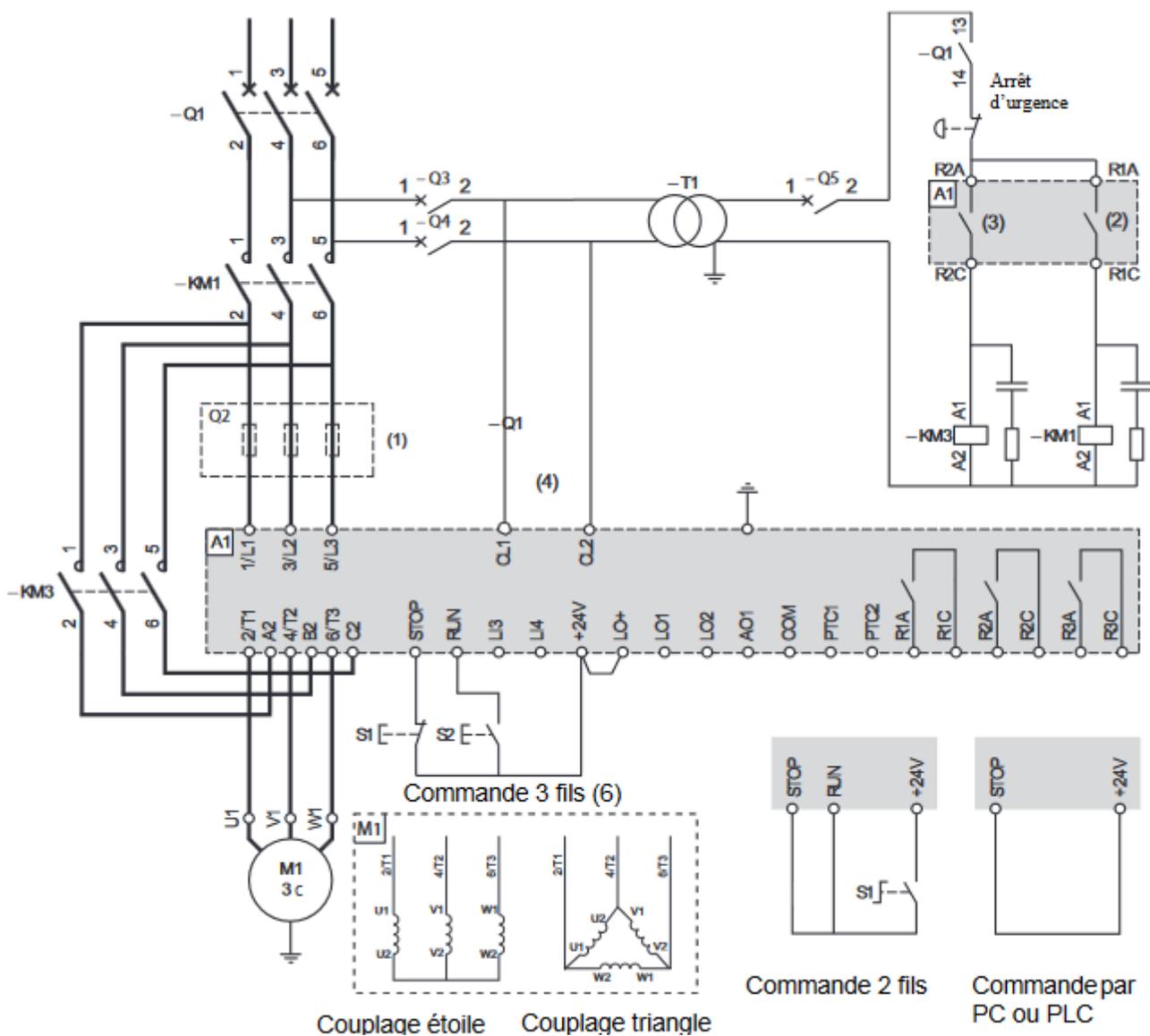
Exemple : L'ALTISTART

L'ALTISTART est un démarreur électronique progressif pour moteur asynchrone à cage normale, il fonctionne comme un gradateur à commande de phase.



Disposition des bornes contrôle





Bornes	Fonction	Caractéristiques
CL1 CL2	Alimentation du contrôle de l'Altistart	ATS 48 ••• Q : 220 à 415 V + 10% - 15%, 50 / 60 Hz ATS 48 ••• Y : 110 à 230 V + 10% - 15%, 50 / 60 Hz Consommation page 23.
R1A R1C	Contact à fermeture (NO) du relais programmable r1	Pouvoir de commutation mini : • 10 mA pour 6 V ~ Pouvoir de commutation maxi sur charge inductive (cos φ = 0,5 et L/R = 20 ms) : • 1,8 A pour 230 V c et 30 V ~ Tension max 400 V
R2A R2C	Contact à fermeture (NO) du relais de fin de démarrage r2	
R3A R3C	Contact à fermeture (NO) du relais programmable r3	
STOP RUN LI3 LI4	Arrêt démarreur (état 0 = arrêté) Marche démarreur (état 1 = marche si STOP à l'état 1) Entrée programmable Entrée programmable	4 entrées logiques 24 V d'impédance 4,3 kΩ U _{max} = 30 V, I _{max} = 8 mA état 1 : U > 11 V - I > 5 mA état 0 : U < 5 V - I < 2 mA
24V	Alimentation des entrées logiques	+ 24V ± 25% isolée et protégée contre les courts-circuits et surcharge; débit maximal : 200 mA
LO+	Alimentation des sorties logiques	A raccorder au 24 V ou à une source externe
LO1 LO2	Sorties logiques programmables	2 sorties à collecteur ouvert, compatibles automate niveau 1, norme IEC 65A-68 • Alimentation +24 V (mini 12 V maxi 30 V) • Courant maxi 200 mA par sortie avec une source externe
AO1	Sortie analogique programmable	Sortie configurable en 0 - 20 mA ou 4 - 20 mA • précision ± 5 % de la valeur maxi, impédance de charge maxi 500 Ω
COM	Commun des entrées / sorties	0 V
PTC1 PTC2	Entrée pour sondes PTC	Résistance totale du circuit sonde 750 Ω à 25 °C (3 sondes de 250 Ω en série par exemple)
(RJ 45)	Prise pour • terminal déporté • Power Suite • Bus de communication	RS 485 Modbus

Caractéristiques des divers procédés de démarrage

	Moteurs à cage				Moteur à bague
	Démarrage direct	Démarrage étoile-triangle	Démarrage statorique	Démarrage Electronique	Démarrage rotorique
Courant initial de démarrage	4 à 8 In	1,3 à 2,6 In	4,5 In	réglable 0,25 à 0,75 In	< 2,5 In
Couple initial de démarrage	0,6 à 1,5 Tn	0,2 à 0,5 Tn	0,6 à 0,85 Tn	réglable 0,1 à 0,7 Tn	< 2,5 Tn
Avantages	Moteur à cage économique et robuste				
	<ul style="list-style-type: none"> -Démarrageur simple et peu onéreux -Couple de démarrage important 	<ul style="list-style-type: none"> -Démarrageur relativement peu onéreux 	<ul style="list-style-type: none"> -Possibilité de réglage des valeurs de démarrage 	<ul style="list-style-type: none"> -Démarrage sans à coup -Montée progressive en vitesse -Limitation de l'appel de courant au démarrage 	<ul style="list-style-type: none"> -Très bon rapport couple/intensité -Possibilité de réglage des valeurs au démarrage -Pas de coupure d'alimentation pendant de démarrage
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Pointe d'intensité très importante -S'assurer que le réseau admet cette pointe -Ne permet pas un démarrage doux et progressif 	<ul style="list-style-type: none"> -Couple au démarrage faible -Pas de possibilité de réglage -Coupure d'alimentation au changement de couplage et phénomènes transitoires -Moteur bobiné en triangle pour Un 	<ul style="list-style-type: none"> -Faible réduction de la pointe de démarrage -Nécessité des résistances 	<ul style="list-style-type: none"> -Prix 	<ul style="list-style-type: none"> -Moteur à bagues plus onéreux -Nécessite des résistances
Durée habituelle du démarrage	2 à 3 secondes	3 à 7 secondes	7 à 12 secondes	Réglable de 1 à 60 secondes	En 3 temps 2,5s En 4 et 5 temps 5s
Applications typiques	Petites machines même démarrant à pleine charge	Machines démarrant à vide Ventilateurs et pompes centrifuges de petite puissance	Machines à forte inertie sans problèmes particuliers de couple et d'intensité au démarrage	Machines de forte puissance ou de forte inertie dans le cas ou la réduction de la pointe d'intensité est un critère important	Machines à démarrage en charge, à démarrage progressif

Démarrage d'un moteur monophasé

Le moteur monophasé est un moteur composé de deux bobines (bobine principale et bobine auxiliaire). Il est alimenté par une tension électrique monophasée.

Il est utilisé principalement dans les appareils électroménagers domestiques.

Démarrage des Moteurs asynchrones monophasés :

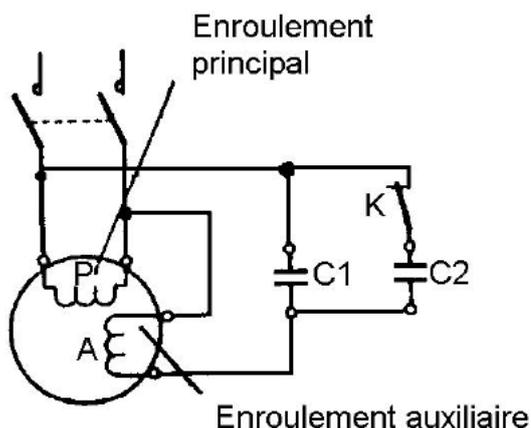
a) Par lancement :

Après la mise sous tension, on peut lancer le moteur à la main dans un sens ou dans l'autre.

b) Par phase auxiliaire :

L'enroulement principal utilise environ les 2/3 des encoches, on bobine un enroulement auxiliaire de même nombre de pôles que l'enroulement principal.

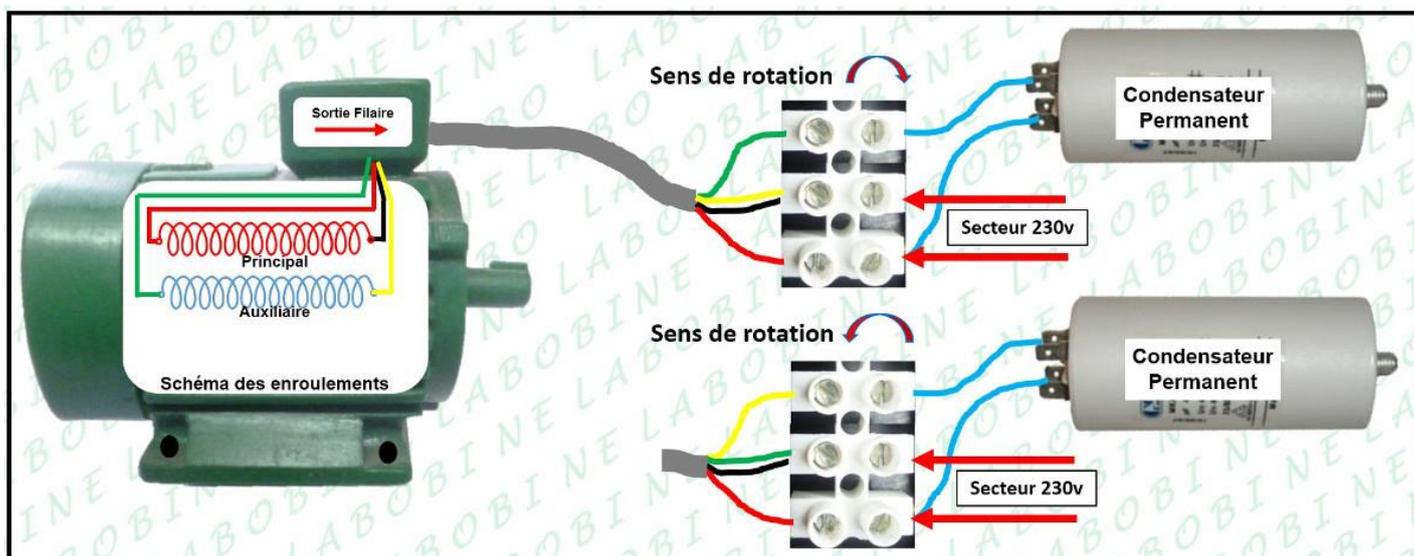
L'enroulement auxiliaire est parcouru par un courant déphasé par rapport au courant qui circule dans l'enroulement principal **grâce à un condensateur**.



C2 – condensateur qui permet d'améliorer le couple de démarrage, à la mise sous tension. Ce condensateur est mis hors circuit, lorsque le moteur est à sa vitesse nominale

Inversion du sens de rotation :

Pour inverser le sens de rotation des Moteurs monophasés, on doit intervertir les bornes de l'enroulement principal **ou** de l'enroulement auxiliaire.

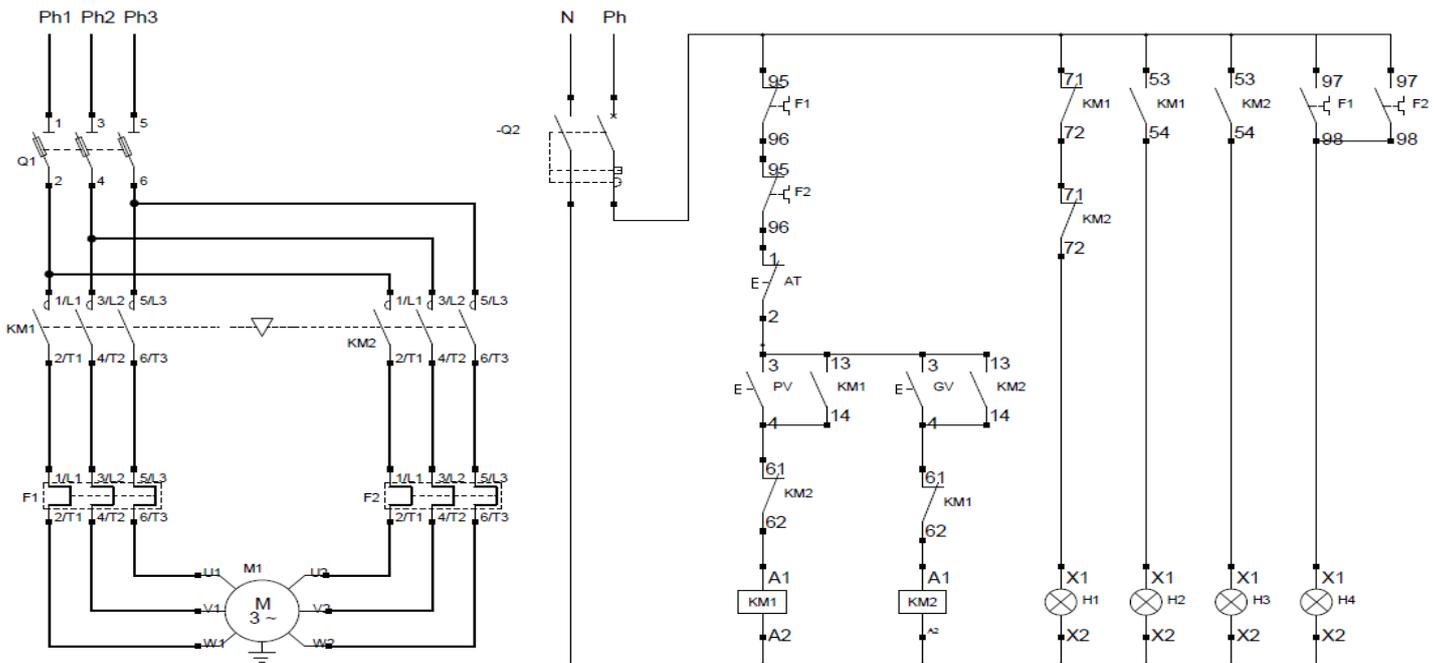


Démarrage du moteur à double vitesse

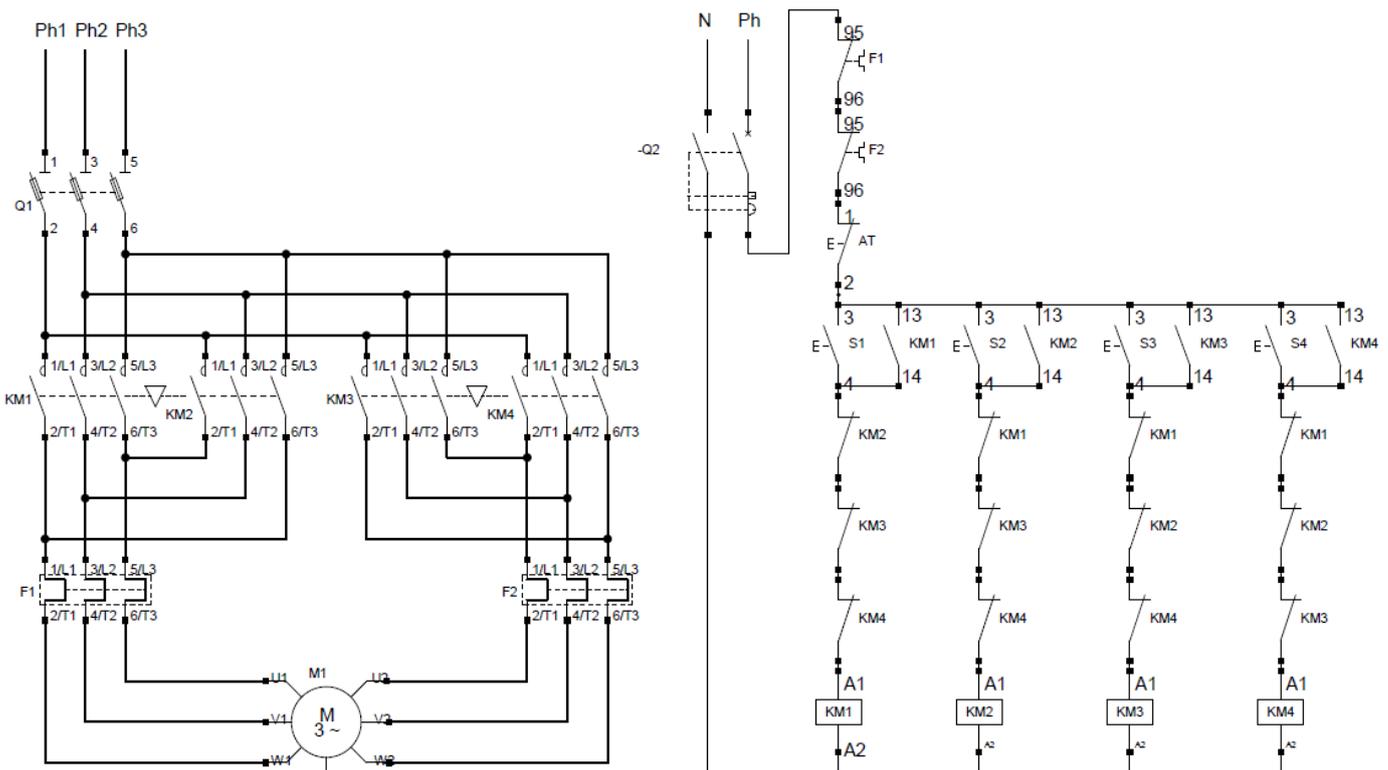
La vitesse d'un moteur asynchrone est fonction du nombre de paires de pôles (p) du moteur et de la fréquence (f) de la tension d'alimentation du moteur.

Pour faire varier la vitesse, on peut donc agir sur la fréquence à l'aide d'un variateur de fréquence, ou sur le nombre de paires de pôles

Démarrage moteur à double vitesses à deux enroulements séparés 1 sens de rotation

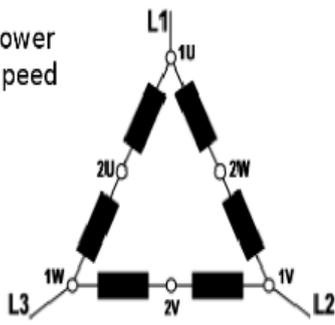


Démarrage moteur à double vitesses à deux enroulements séparés 2 sens de rotation



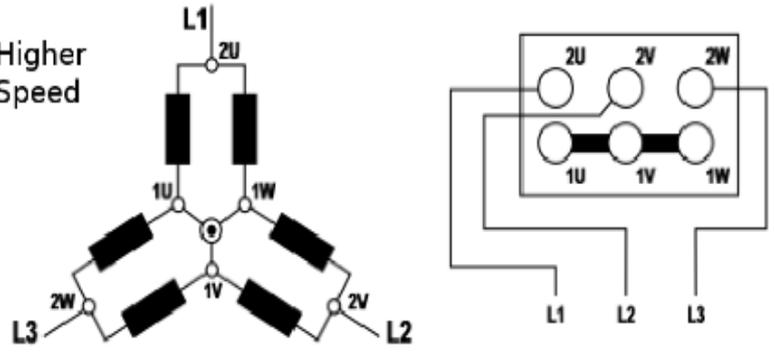
Démarrage moteur à double vitesses couplage Dahlander 1 sens de rotation

Lower Speed



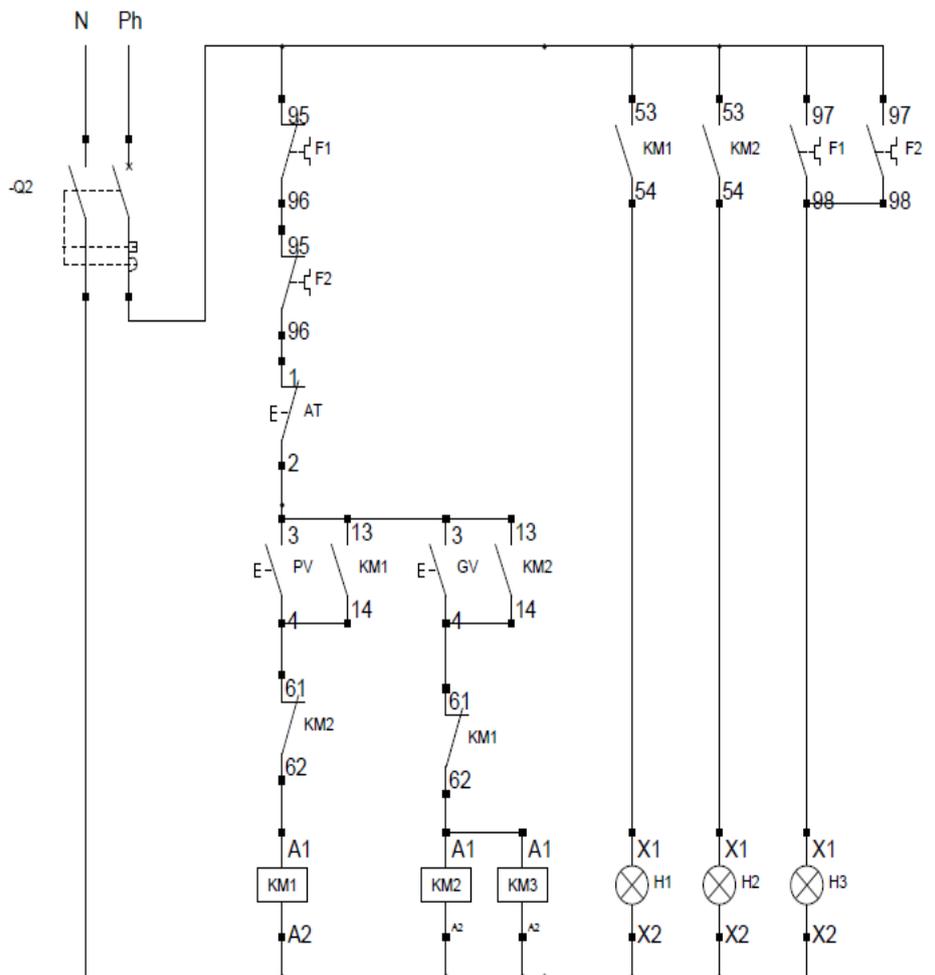
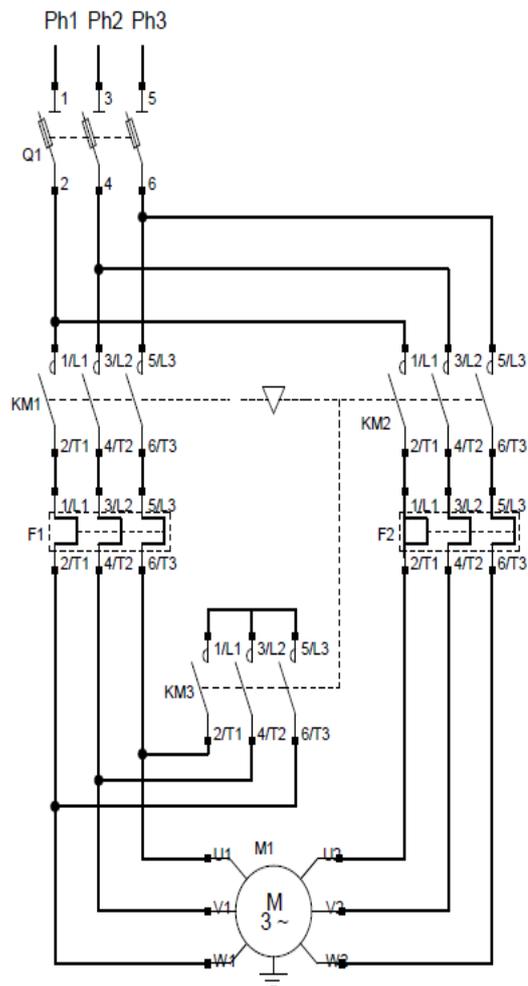
Triangle série petite vitesse

Higher Speed



étoile parallèle grande vitesse

Démarrage moteur à double vitesses couplage Dahlander 1 sens de rotation



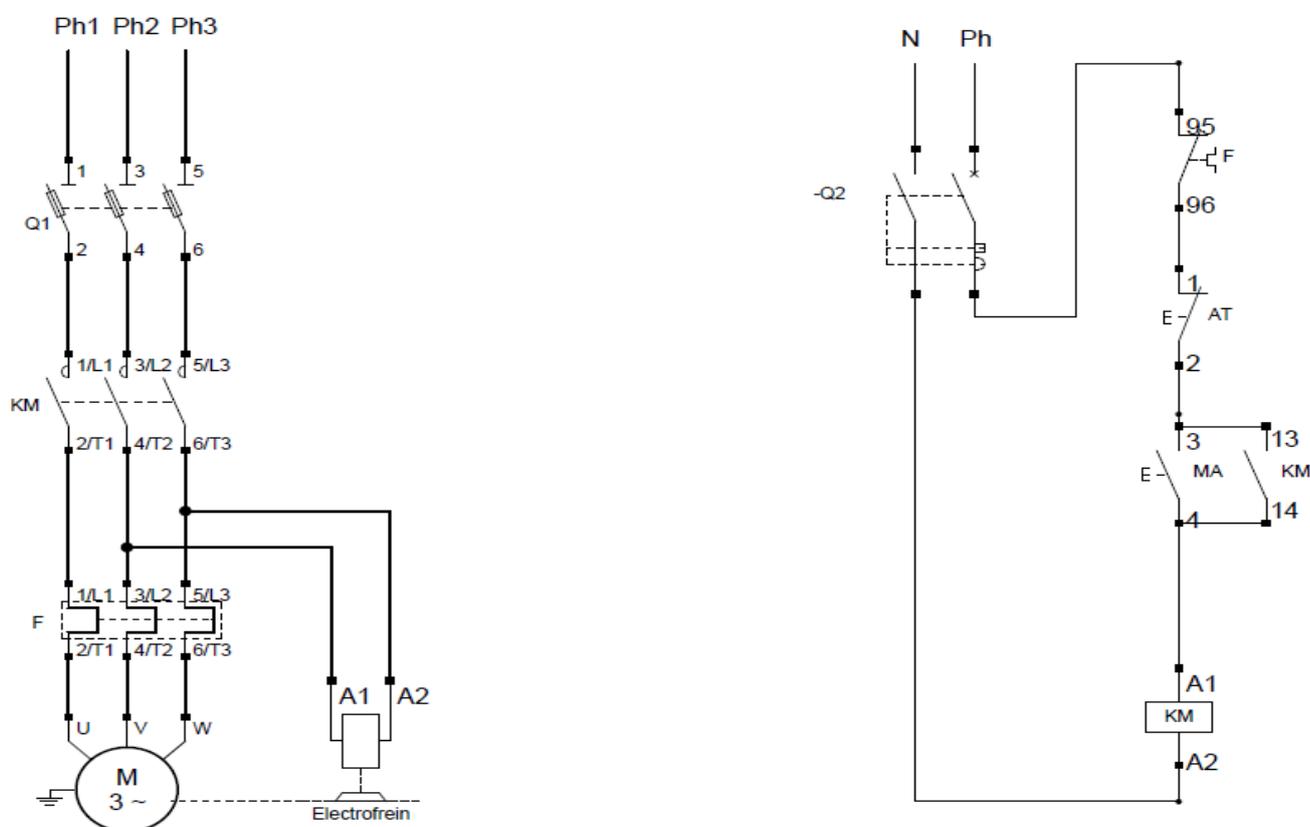
Freinage des moteurs asynchrones

Introduction :

Dans quelques applications industrielles on aura besoin d'un arrêt immédiat du moteur ou arrêt avec freinage (Palans, ascenseurs, treuils, grues de levage ou manutention etc...); Il existe plusieurs procédés de freinage pour ces moteurs asynchrones, il faut distinguer :

- ✓ Le freinage avec arrêt immédiat obtenu à l'aide de moteurs spéciaux (moteur frein),
- ✓ Le freinage par ralentissement applicable à tous les types de moteurs asynchrones.

1- Freinage par électrofrein :

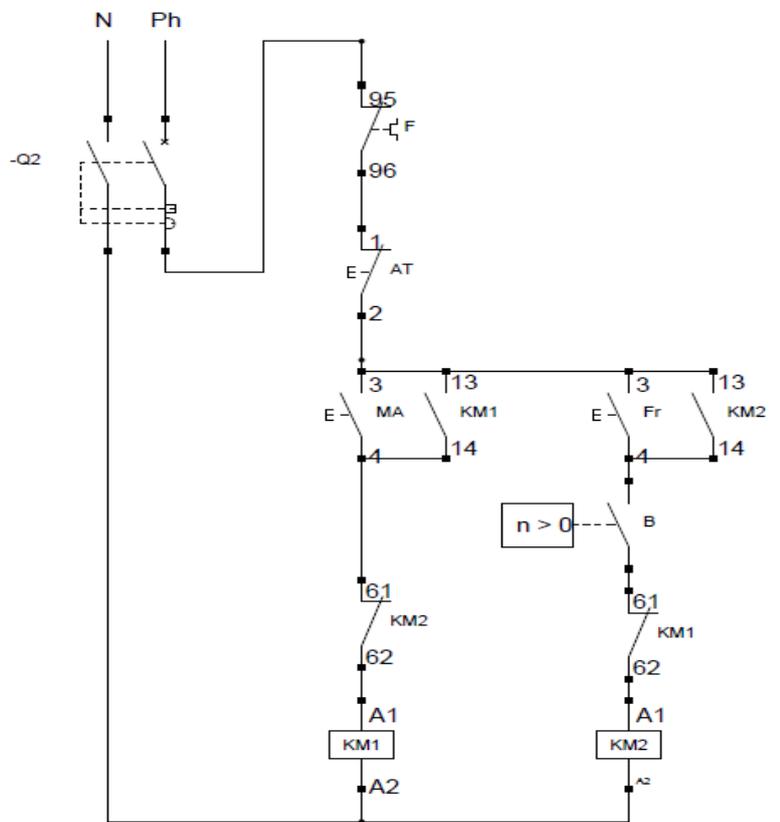
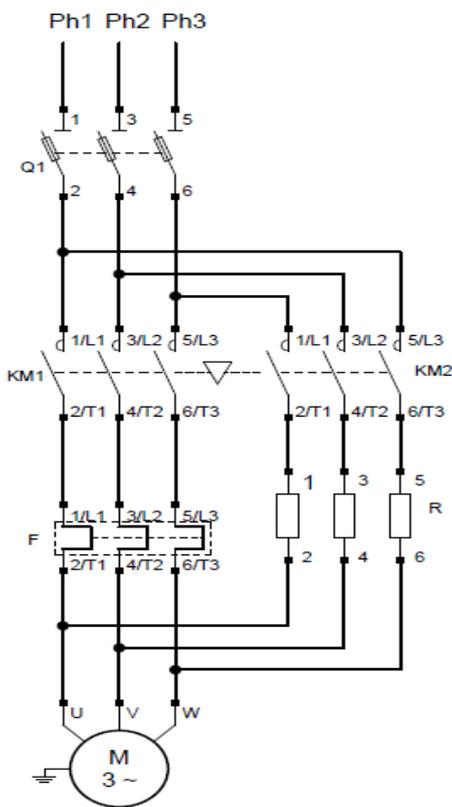


2- Freinage par contre-courant :

Après avoir coupé l'alimentation du moteur, et pour arrêter plus rapidement le rotor, on donne juste une impulsion dans le sens inverse pour réaliser l'inversion du champ tournant donc ralentissement du rotor.

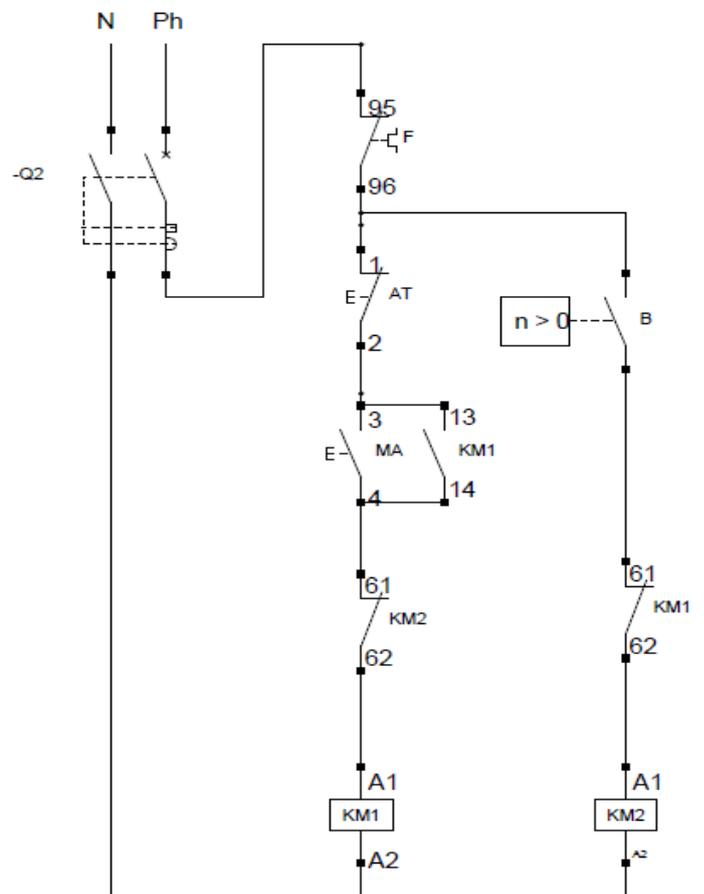
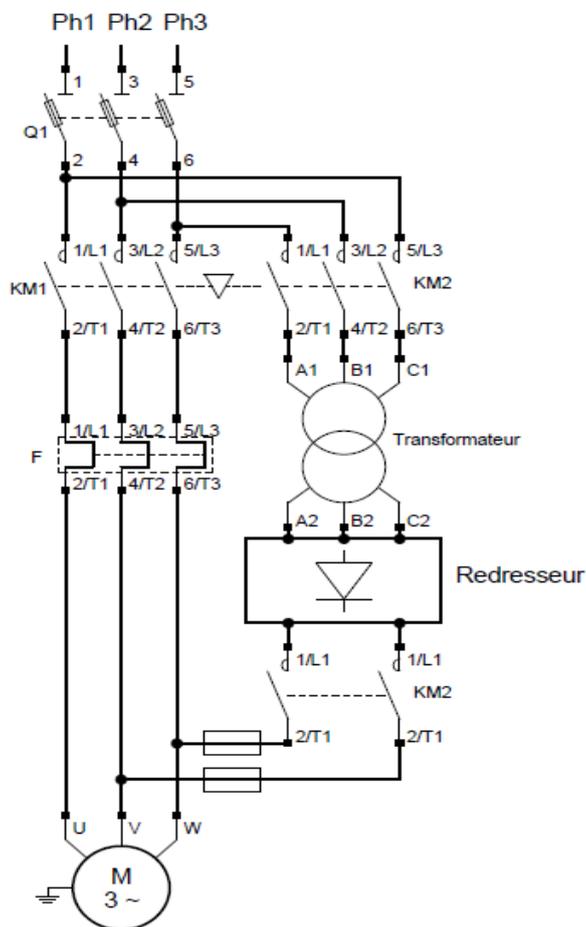
Pour limiter le courant de freinage on insère dans les phases des résistances statoriques.

Il faut mettre un moyen pour ne pas faire tourner le moteur en sens inverse tel que contacts centrifuges ou temporisation T.OFF



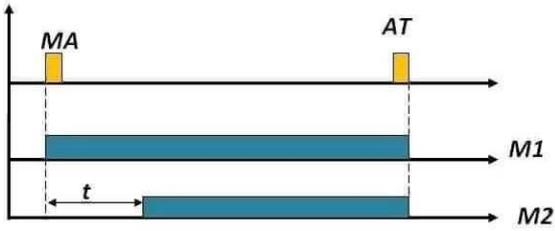
3- Freinage par injection du courant continu :

On déconnecte les enroulements du stator, puis on les alimente avec une source de tension redressée ($U_{DC}=10\% U_n$). Le champ tournant est remplacé ainsi par un champ fixe (créé par la source de tension redressée) qui provoque le ralentissement du rotor.



EXERCICES : Réaliser les différents schémas de cahiers de charge suivants :

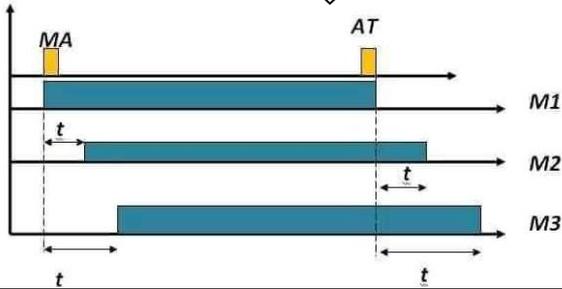
M1 : démarrage direct
M2 : démarrage direct



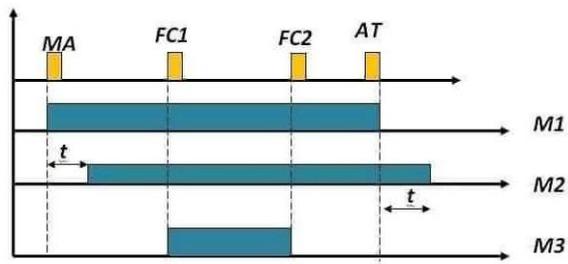
M1 : démarrage direct
M2 : démarrage direct



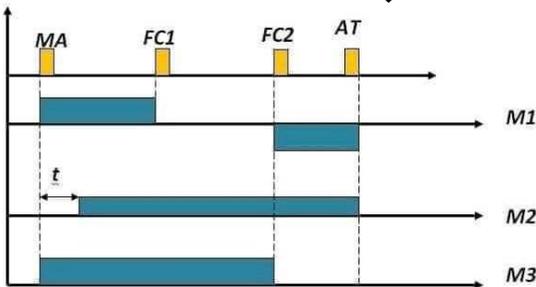
M1 : démarrage direct
M2 : démarrage direct
M3 : démarrage direct



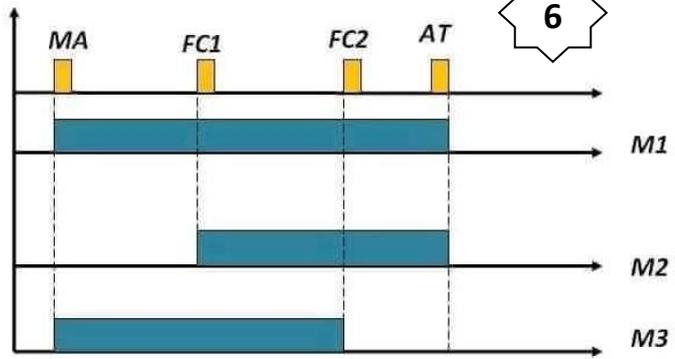
M1 : démarrage étoile triangle
M2 : démarrage direct
M3 : démarrage direct



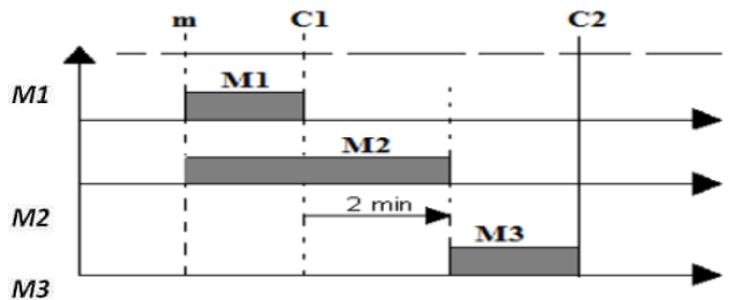
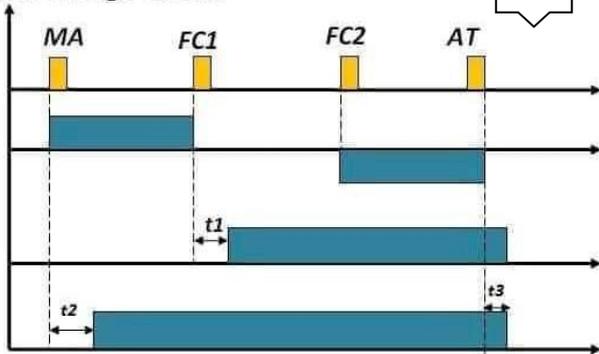
M1 : démarrage étoile triangle (deux sens de rotation).
M2 : démarrage direct
M3 : démarrage direct

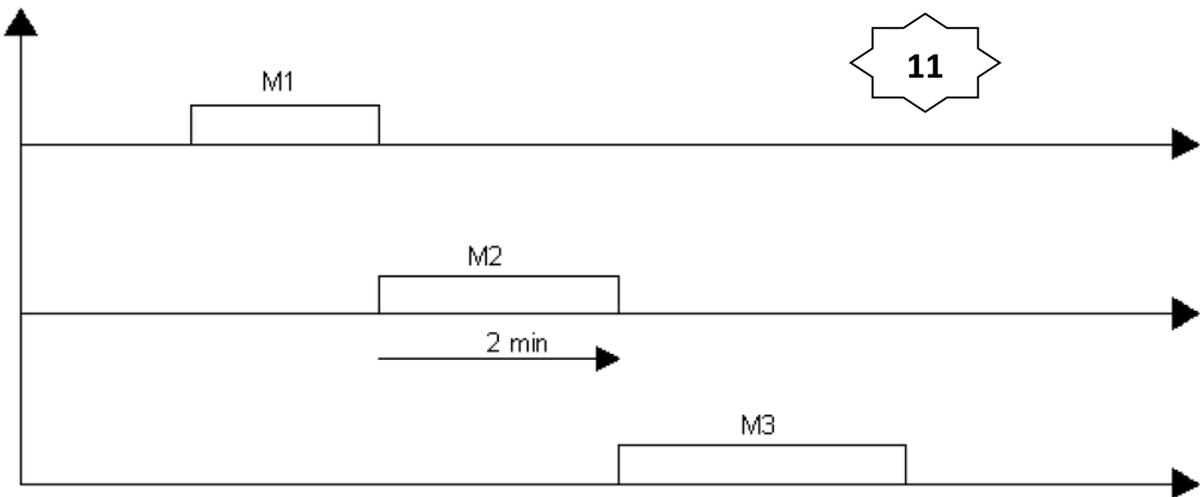
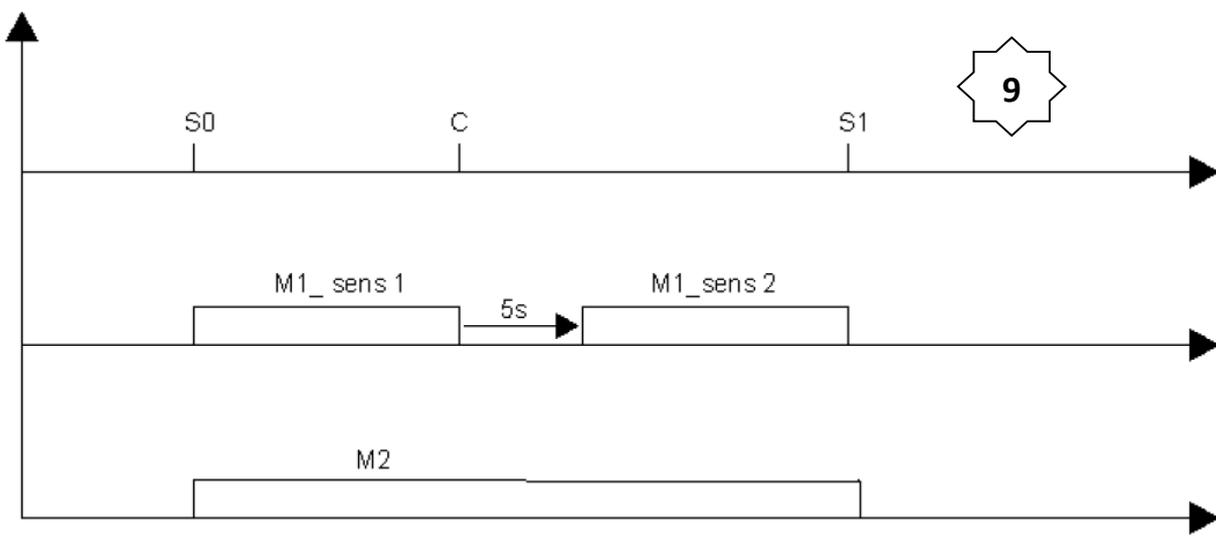


M1 : démarrage étoile triangle
M2 : démarrage rotorique en deux temps.
M3 : démarrage direct



M1 : démarrage étoile triangle deux sens de rotation.
M2 : démarrage étoile triangle.
M3 : démarrage direct.





Etude d'un moteur asynchrone triphasé

1- Prérequis :

1-1 Vitesse de synchronisme :

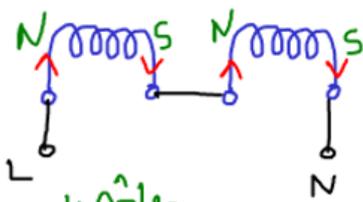
$$N_s = \frac{F}{P}$$

N_s : vitesse de synchronisme en tr/s F : fréquence du réseau en Hz

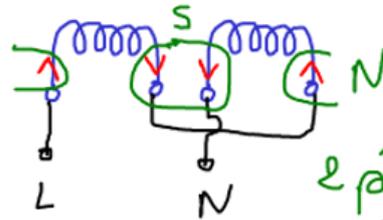
P : nombre de paires de pôles

$$N_s = \frac{F}{P} \cdot 60$$

N_s : vitesse de synchronisme en tr/min



4 pôles
 $P = \frac{4}{2} = 2$ paires de pôles



2 pôles
 $P = \frac{2}{2} = 1$ paire de pôles

Pour une fréquence F de 50 HZ

p	1	2	3	4...
n_s [tr.min ⁻¹]	3000	1500	1000	750...

1-2 Glissement :

Le glissement est l'écart relatif entre la vitesse du synchronisme N_s et la vitesse du rotor N_r

$$g = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s}$$

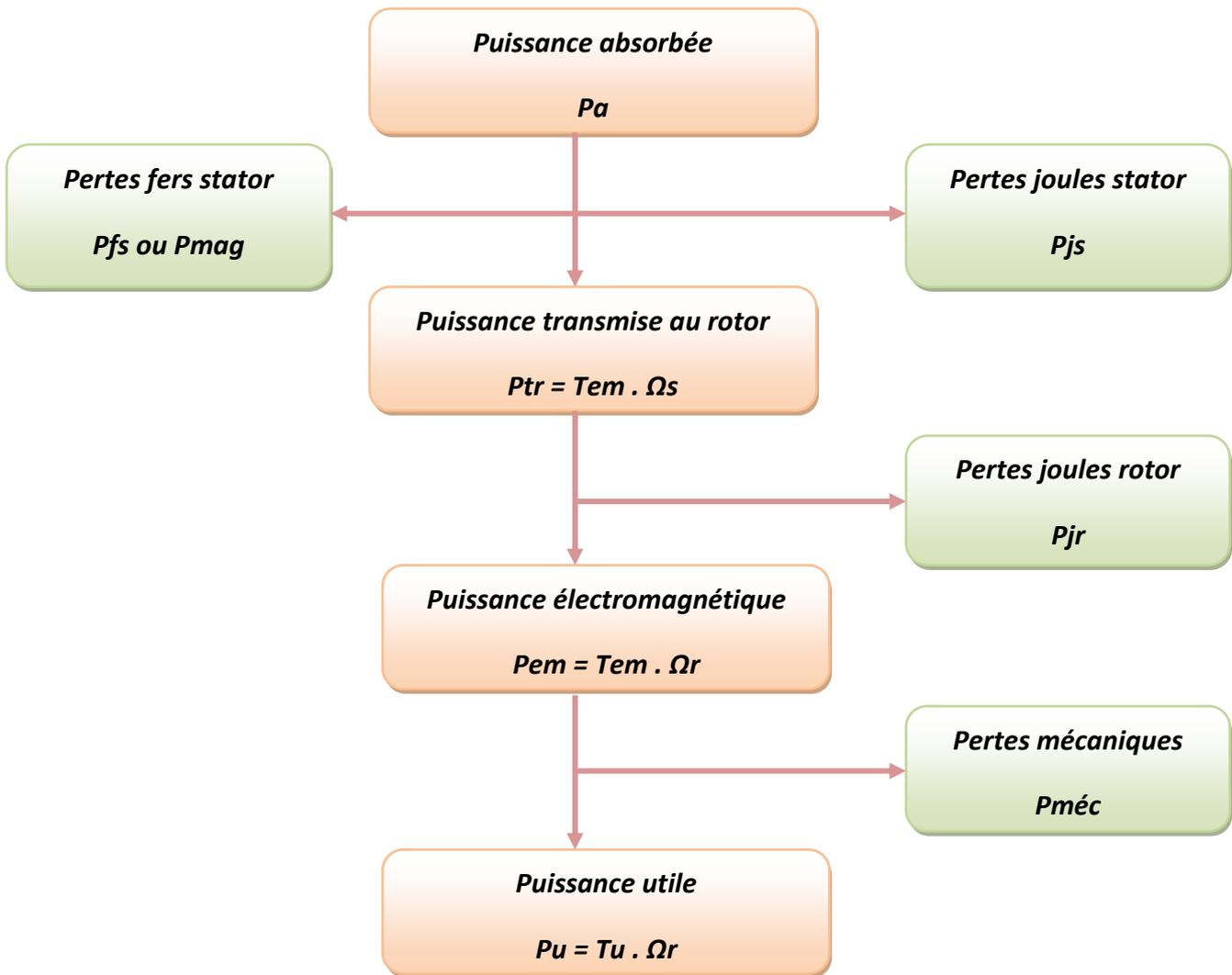
Avec, g : glissement du moteur asynchrone, N_s : vitesse de synchronisme, N_r : vitesse de rotation, Ω : vitesse angulaire en rd/s avec ($\Omega_s = 2\pi N_s$) et ($\Omega_r = 2\pi N_r$)

$$N_s - N_r = g \cdot N_s \implies N_s - g \cdot N_s = N_r \implies N_r = N_s \cdot (1 - g)$$

Fonctionnement du moteur à Vide : $N_s = N_r$ donc $g = 0$

Fonctionnement du moteur mais avec rotor bloqué : $N_r = 0$ donc $g = 1$

2- Bilan des puissances (W) :

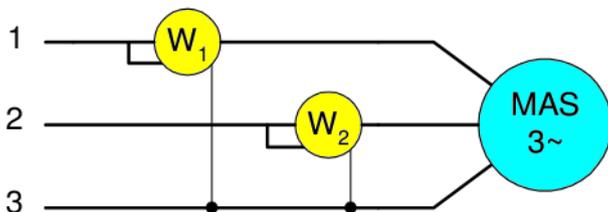


Puissance absorbée (Pa)

Pour un moteur asynchrone triphasé

$$Pa = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

En cas de mesure de puissance avec la méthode de deux wattmètres :



$Pa = W1 + W2$ On peut y avoir une valeur négative de puissance dans cette méthode

$$Qa = (W1 - W2) \cdot \sqrt{3}$$

Pour un moteur asynchrone monophasé :

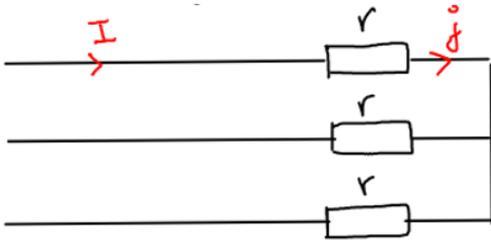
$$Pa = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Pertes joules stator Pjs

Les pertes joules stator se calcul avec 3 méthodes selon le couplage et le type de résistance.

✚ Avec résistance d'une phase statorique (r), résistance d'une bobine

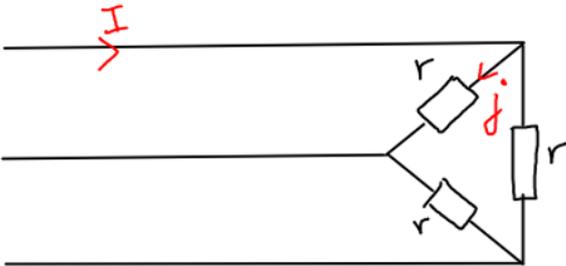
✓ En cas de couplage étoile



$$P_{js} = 3 \cdot r \cdot j^2 = 3 \cdot r \cdot I^2$$

$$P_{js} = 3 \cdot r \cdot I^2$$

✓ En cas de couplage triangle

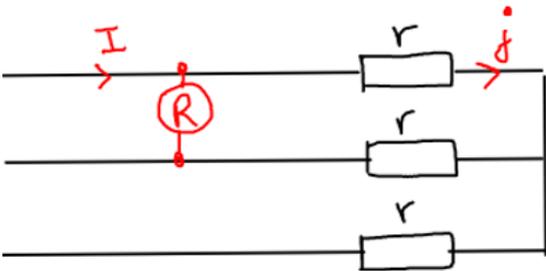


$$P_{js} = 3 \cdot r \cdot j^2, \text{ or en triangle } j = I/\sqrt{3}$$

$$P_{js} = 3 \cdot r \cdot (I/\sqrt{3})^2 = 3 \cdot r \cdot I^2/3 = r \cdot I^2$$

$$P_{js} = r \cdot I^2$$

✚ Avec résistance mesurée entre deux phases quel que soit le couplage

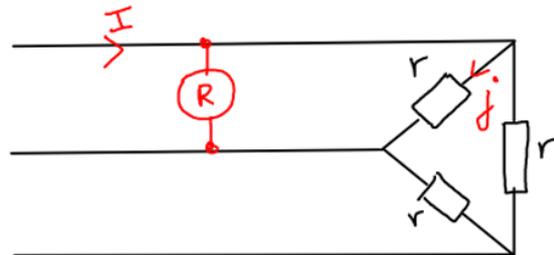


$$R = r + r = 2r$$

$$\text{Donc } r = R/2$$

$$\text{En étoile } P_{js} = 3 \cdot r \cdot I^2$$

$$P_{js} = 3 \cdot \frac{R}{2} \cdot I^2 = \frac{3}{2} R \cdot I^2$$



$$R = r // (r+r) = \frac{r \cdot 2r}{r+2r} = \frac{r \cdot 2r}{3r} = \frac{2r}{3}$$

$$\text{Donc } r = \frac{3}{2} R$$

$$\text{en triangle } P_{js} = r \cdot I^2$$

$$P_{js} = \frac{3}{2} R \cdot I^2$$

Conclusion : Quel que soit le couplage, étoile ou triangle et en travaillant avec la résistance mesurée entre deux phases du moteur ;

$$P_{js} = \frac{3}{2} R \cdot I^2$$

Pertes constantes ou collectives P_c

On entend par les pertes constantes P_c la somme des pertes fer et mécaniques car ces deux sont indépendantes de la charge c.à.d. leurs valeurs sont constantes en plus appelés collectives car elles se calculent en même temps à partir de l'essai à vide du moteur.

$$P_c = P_{fer} + P_{méc} \text{ avec } P_c = P_0 - P_{js0}$$

P_0 est calculée avec I_0 et $\cos \varphi_0$ et P_{js0} avec le courant à vide I_0

$$P_{a0} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

Si les pertes joules stator à vide sont négligées alors $P_c = P_0$

Pertes fers stator P_{fs}

1^{er} cas : si les pertes fers stator sont égales aux pertes mécaniques

$$P_{fs} = P_c / 2$$

2^{ème} cas : si les pertes fers stator sont de valeurs différentes des pertes mécaniques

$$P_{fs} = P_c - P_{méc}$$

Puissance transmise au rotor P_{tr}

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs})$$

$$P_{tr} = T_{em} \cdot \Omega_s = T_{em} \cdot 2\pi N_s \text{ avec } N_s \text{ en tr/s}$$

Pertes joules rotor P_{jr}

La différence $P_{tr} - P_{em}$ est perdue dans le rotor c'est les pertes joules rotor (P_{jr})

Selon le bilan de puissance, $P_{tr} = T_{em} \cdot \Omega_s$ et $P_{em} = T_{em} \cdot \Omega_r$, donc le couple transmis au rotor c'est lui-même le couple électromagnétique.

$$P_{jr} = P_{tr} - P_{em} = T_{em} \cdot \Omega_s - T_{em} \cdot \Omega_r = T_{em} \cdot (\Omega_s - \Omega_r) = T_{em} \cdot g \cdot \Omega_s = g \cdot T_{em} \cdot \Omega_s = g \cdot P_{tr}$$

$$P_{jr} = g \cdot P_{tr}$$

Puissance électromagnétique P_{em}

$$P_{em} = P_a - (P_{js} + P_{fs} + P_{jr})$$

$$P_{em} = P_{tr} - P_{jr} = P_{tr} - g \cdot P_{tr} = P_{tr} \cdot (1 - g)$$

$$P_{em} = P_u + P_{méc}$$

Pertes mécaniques

1^{er} cas : si les pertes fers stator sont égale aux pertes mécaniques

$$P_{méc} = P_c/2$$

2^{ème} cas : si les pertes mécaniques sont de valeurs différentes des pertes fer stator

$$P_{méc} = P_c - P_{fs}$$

Puissance utile P_u

$$P_u = P_a - \sum \text{pertes} = P_a - (P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_{méc})$$

$$P_u = P_{tr} - (P_{jr} + P_{méc})$$

$$P_u = P_{em} - P_{méc}$$

Rendement du moteur

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a - \sum \text{pertes}}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + \sum \text{pertes}}$$

Les différents couples C ou T en $N.m$ (newton mètre):

Couple utile :

$$T_u = \frac{P_u}{2\pi N_r} \quad N_r \text{ en (tr/s)}$$

$$T_u = \frac{60.P_u}{2\pi N_r} \quad N_r \text{ en tr/min}$$

Couple électromagnétique :

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{2\pi N_r} \quad N_r \text{ en (tr/s)}$$

$$T_{em} = \frac{60.P_{em}}{2\pi N_r} \quad N_r \text{ en tr/min}$$

Couple transmis au rotor :

$$T_{tr} = \frac{P_{tr}}{2\pi N_s} \quad N_s \text{ en (tr/s)}$$

$$T_{tr} = \frac{60.P_{tr}}{2\pi N_s} \quad N_s \text{ en tr/min}$$

Fonctionnement en charge

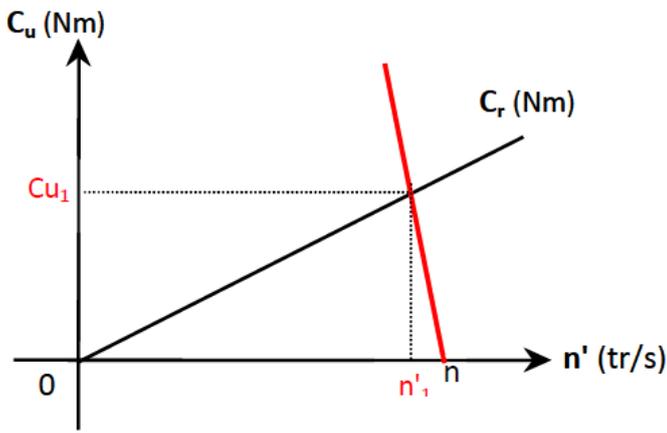
Le moteur est maintenant chargé, c'est-à-dire que l'arbre de ce dernier entraîne une charge résistante qui s'oppose au mouvement du rotor.

En régime permanent, ou régime établi : $T_u = T_r$

Caractéristique mécanique T_u ou $C_u = f(N_r$ ou $n')$

Le point de fonctionnement se trouve sur l'intersection de la caractéristique mécanique du moteur et de la courbe qui caractérise le couple résistant de la charge.

La caractéristique mécanique du moteur dans sa partie utile est un segment de droite (d'équation de forme $y = ax + b$).



Pour la tracer, il suffit de deux points :

✓ Premier point donné par l'étude d'un couple précis : $C_u = a n' + b$

Calcul de la valeur de $a = (C_{u1} - 0) / (n'_1 - n)$ (a est de signe négatif)

✓ Le second se déduit de l'essai à vide : pour $C_u = 0$ on a $0 = a n + b$ ($b = -an$)

Le point de fonctionnement (C_{u1} ; n'_1) permet de calculer très facilement le glissement et la puissance utile dans ce cas bien précis.

Exercices

Exercice 1 :

Un moteur asynchrone tourne à 965 tr/min avec un glissement de 3,5 %.

Déterminer le nombre de pôles du moteur sachant que la fréquence du réseau est $f = 50$ Hz.

Exercice 2 :

Les enroulements d'un moteur asynchrone triphasé sont couplés en triangle.

La résistance d'un enroulement est $R = 0,5 \Omega$, le courant de ligne est $I = 10$ A.

Calculer les pertes Joule dans le stator.

Exercice 3 :

La plaque signalétique du moteur asynchrone d'une fraiseuse porte les indications suivantes :

3 ~ ; 50 Hz ; 1455 tr/min $\cos \varphi = 0,80$

220 V- 11 A

380 V- 6,4 A

1- Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 50 Hz, 380 V entre phases.

Quel doit être le couplage de ses enroulements pour qu'il fonctionne normalement ?

2- Quel est le nombre de pôles du stator ?

3- Calculer le glissement nominal (en %).

4- Un essai à vide sous tension nominale donne :

- puissance absorbée : $P_{a0} = 260$ W

- intensité du courant de ligne : $I_{a0} = 3,2$ A

Les pertes mécaniques sont évaluées à 130 W.

La mesure à chaud de la résistance d'un enroulement du stator donne $r = 0,65 \Omega$.

En déduire les pertes fer.

5- Pour le fonctionnement nominal, calculer :

- les pertes par effet Joule au stator

- les pertes par effet Joule au rotor

- le rendement
- le couple utile T_u

Exercice 4 :

Un moteur triphasé tétra polaire à cage d'écureuil possède les caractéristiques suivantes : 230 V / 400 V 50 Hz.

La résistance d'un enroulement statorique, mesurée à chaud, est $R = 0,70 \Omega$.

Ce moteur est alimenté par un réseau 400 V entre phases.

1- Déterminer :

- le couplage du moteur
- la vitesse de synchronisme

2- A vide, le moteur tourne à une vitesse proche de la vitesse de synchronisme, absorbe un courant de 5,35 A et une puissance de 845 W.

Déterminer :

- les pertes Joule statoriques à vide
- les pertes fer statoriques sachant que les pertes mécaniques s'élèvent à 500 W.

3- A la charge nominale, le courant statorique est de 16,5 A, le facteur de puissance de 0,83 et la vitesse de rotation de 1400 tr/min

Calculer :

- les pertes Joule statoriques en charge
- la puissance absorbée
- la puissance transmise au rotor
- le glissement
- les pertes Joule rotoriques en charge
- la puissance utile en bout d'arbre
- le moment du couple utile
- le rendement.

Exercice 5 :

Un moteur asynchrone à bagues présente les caractéristiques suivantes : 95 kW ; 230 V/400 V ; 50 Hz ; 8 pôles.

1) Sachant qu'il est alimenté par un réseau triphasé de tension $U = 400$ V, quel doit être le couplage ?

2) Calculer la vitesse synchronisme N_s . En marche le glissement vaut $g = 4 \%$:

3) En déduire la fréquence de rotation N_r .

4) Quelle est alors la valeur du couple utile C_u .

Le moteur est très puissant, on peut négliger ses pertes statoriques et mécaniques. Pour le régime nominal :

5) Calculer la puissance électrique absorbée P_a .

6) Calculer l'intensité du courant absorbé I au stator si le facteur de puissance est $\cos \varphi = 0,83$. On alimente désormais le moteur avec une ligne de tension $U = 230$ V.

7) Quel est le couplage du stator ?

8) Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant I dans la ligne.

9) Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant J dans un enroulement.

Etude d'un alternateur ou machine synchrone

Constitution :

Un alternateur peut être monophasé ou triphasé, il est constitué de :

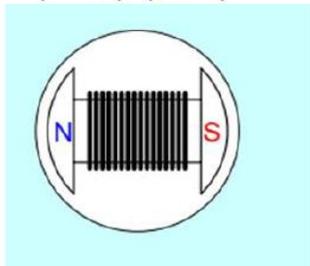
✚ Rotor ou (roue polaire)

Au rotor, nous avons l'inducteur (ou excitation) en rotation. C'est un aimant ou un électroaimant alimenté en courant continu par l'intermédiaire de balais pour créer un champ tournant.

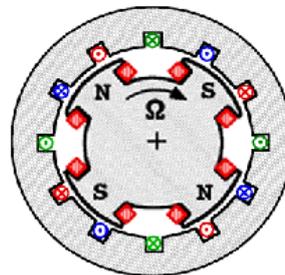
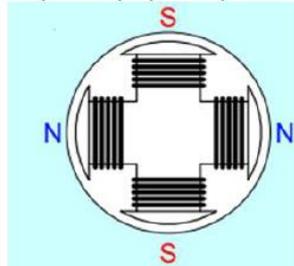
Deux grandes catégories de machines synchrones :

- **Machines à pôles saillants** : Le rotor est caractérisé par son nombre de paires de pôles p utilisé lorsque la vitesse d'entraînement est inférieure à 1000 tr/min :

$p = 1$ (2 pôles)

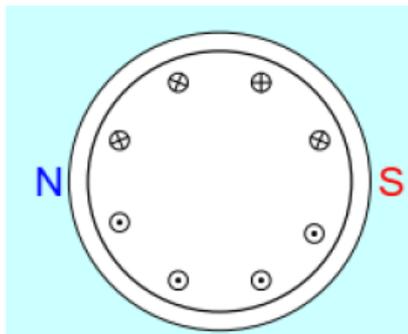
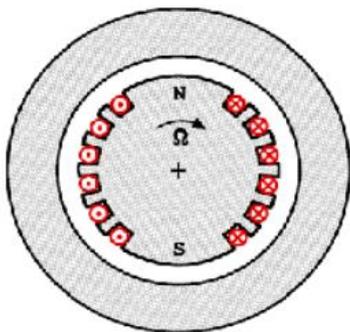


$p = 2$ (4 pôles)



- **Machines à pôles lisse** :

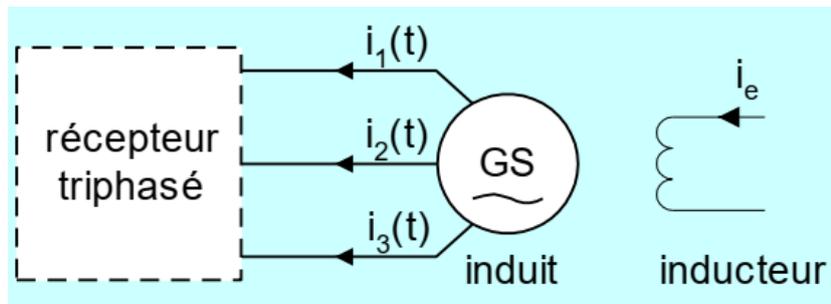
Utilisé lorsque la vitesse d'entraînement est supérieure à 1000 tr/min



$p = 1$ (2 pôles)

✚ STATOR

Au stator, nous avons l'induit (qui produit la tension alternative triphasé). Ce sont trois enroulements décalés de 120°



La génératrice synchrone est plus connue sous le nom d'alternateur.

- Un système mécanique entraîne le rotor.
- Il y a création d'un système de tensions triphasées dans les enroulements du stator

Etude de l'alternateur :

Fréquence des tensions et courants :

$$f = \frac{p \times n}{60}$$

f : fréquence (en Hz)

n : vitesse de rotation (en tr/min)

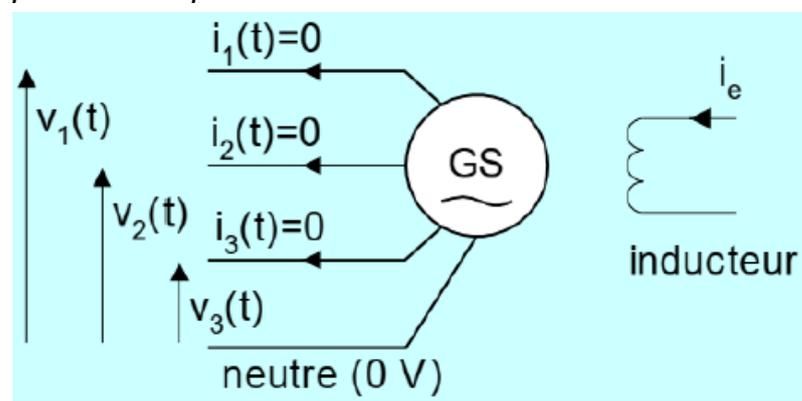
p : nombre de paires de pôles (nombre de pôles /2)

Pour avoir 50 HZ

p	n (tr/s)	n (tr/min)	Ω (rad/s)
1	50	3000	314
2	25	1500	157
3	16,7	1000	105
4	12,5	750	79
25	2	120	12,6
50	1	60	6,3

Fonctionnement à vide :

• A vide, les tensions générées correspondent aux fém. induites dans les bobinages du stator par le champ tournant du rotor :



$$E = K N f \Phi$$

E : fém. en volts (aux bornes d'un enroulement statorique)

Φ : flux produit par un pôle de l'inducteur (en Wb)

N : nombre de conducteurs d'un enroulement statorique

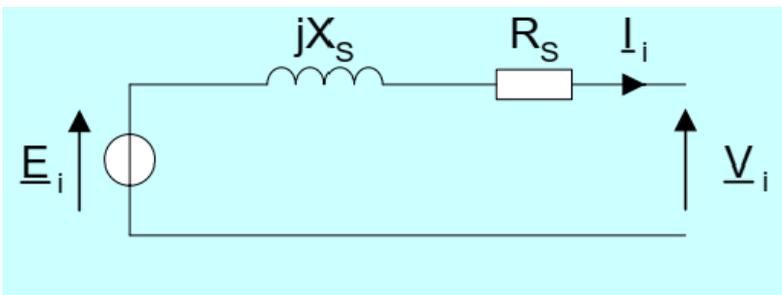
K : coefficient de Kapp (environ 2,22)

Quand le circuit magnétique n'est pas saturé, Φ est proportionnel au courant inducteur i_e

Fonctionnement en charge

Modèle électrique équivalent Hypothèse :

- circuit magnétique non saturé.
- Au stator, le régime est sinusoïdal.



On utilise la notation complexe ou les vecteurs de Fresnel. Pour la phase i :

E : fém. induite (ou fém. synchrone)

I : courant de ligne

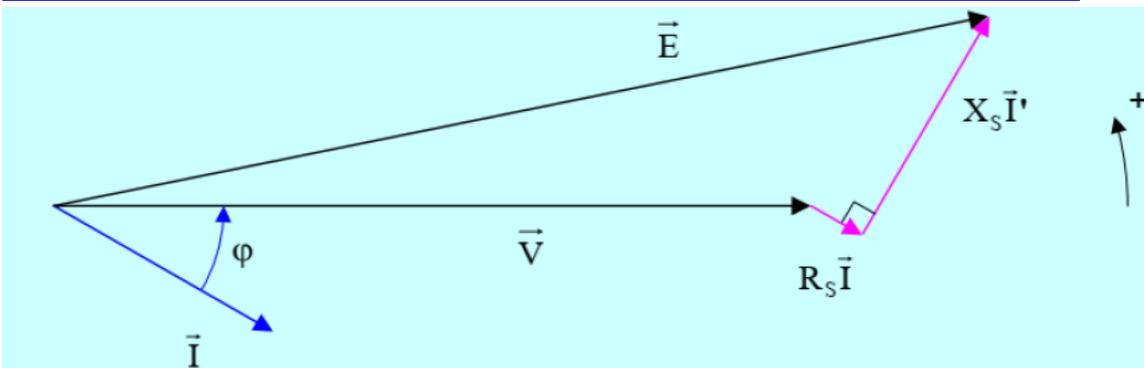
V : tension simple

R_s : résistance d'un enroulement statorique (couplage Y)

$X_s = L_s \times \omega$: réactance synchrone d'un enroulement statorique

Remarques : X_s est proportionnelle à la vitesse de rotation ; En pratique, on peut négliger R_s devant X_s .

Représentation vectorielle : diagramme de Behn-Eschenburg



$$\vec{V} = \vec{E} - (R_s \vec{I} + X_s \vec{I}')$$

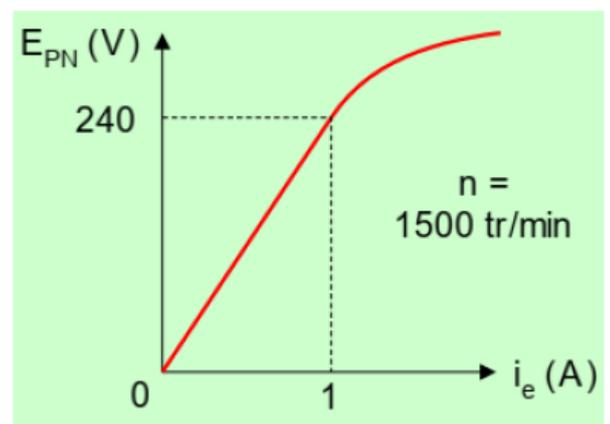
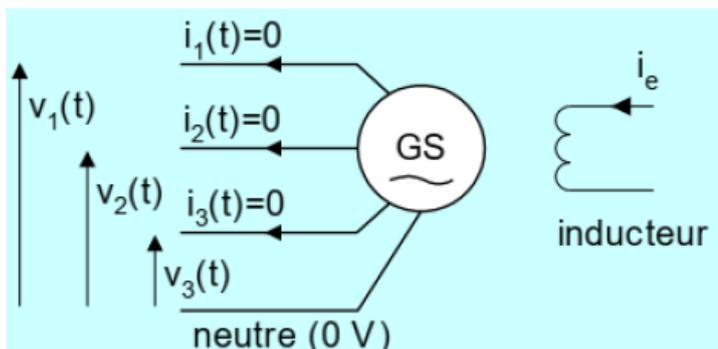
$$\vec{E} = \vec{V} + R_s \vec{I} + X_s \vec{I}'$$

Chute de tension en charge : $\Delta V = E - V$

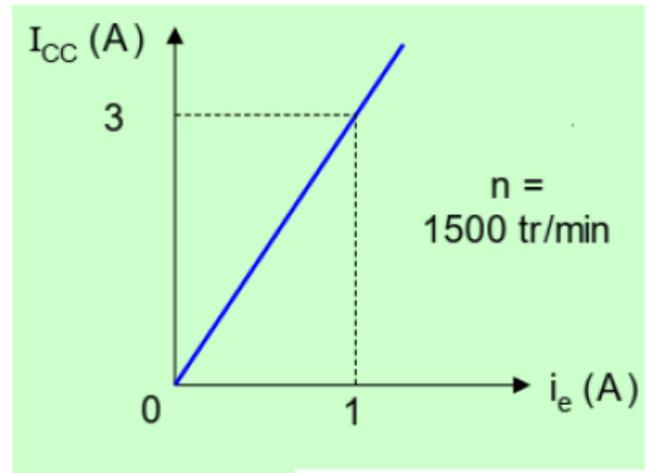
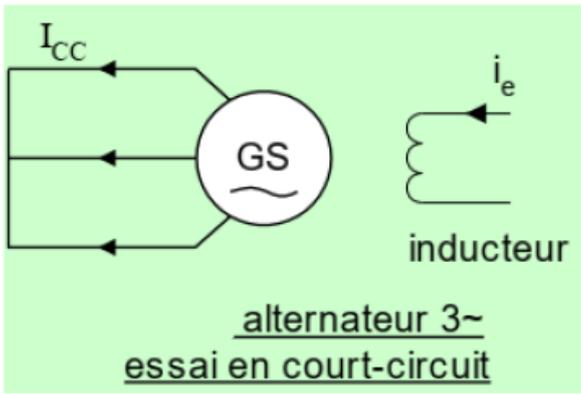
Détermination expérimentale des éléments du modèle équivalent

R_s : se mesure avec la méthode volt-ampéremétrique (à chaud) en courant continu.

• **Essai à vide :**



• **Essai en court-circuit :**



A partir de l'essai à vide et en cct et **pour une même valeur de courant d'excitation i_e et même vitesse d'entraînement :**

$$X_s = \frac{E(PN)}{I_{cc}}$$

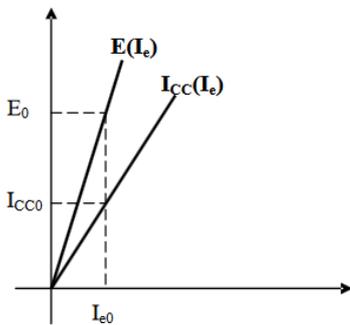
ou autrement

Lorsque l'on est en court circuit, en appliquant la loi d'ohm sur le modèle équivalent, on obtient : $0 = \underline{E}_0 - R \underline{I}_{cc0} - j X_s \underline{I}_{cc0}$

soit en module: $E_0 = \sqrt{R^2 + X_s^2} I_{cc0} = Z \cdot I_{cc0}$.

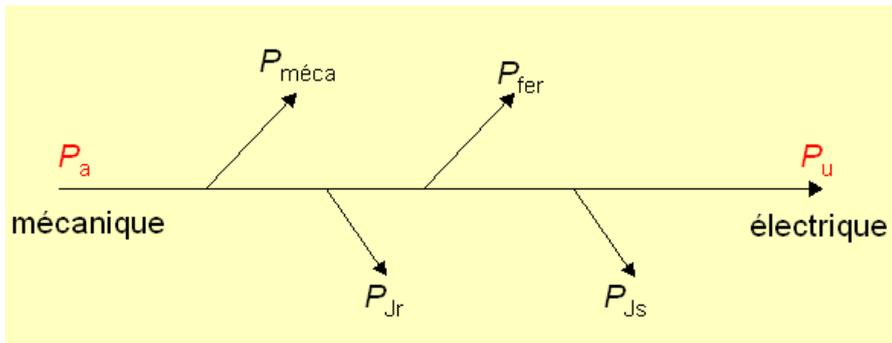
La réactance est généralement très grande devant la résistance d'un enroulement, d'où :

$$Z = E_0 / I_{cc0} \approx X_s$$

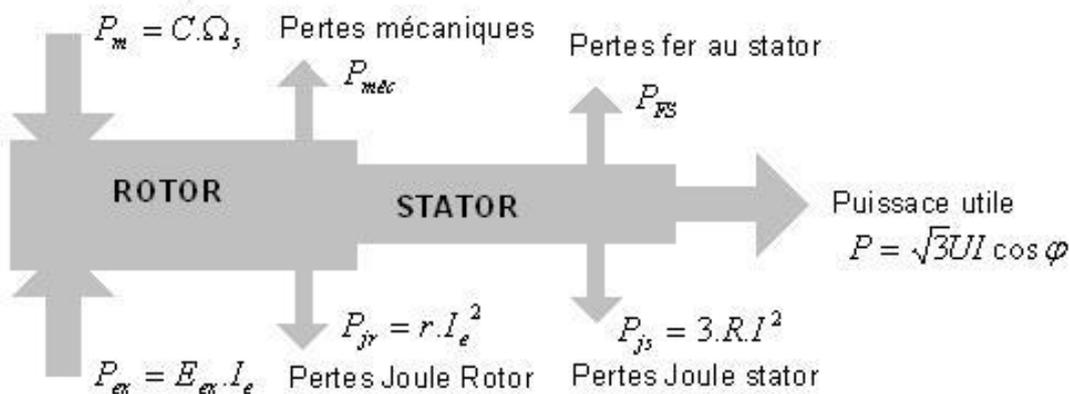


Bilan de puissance de l'alternateur :

La puissance absorbée est mécanique, la puissance utile est électrique.

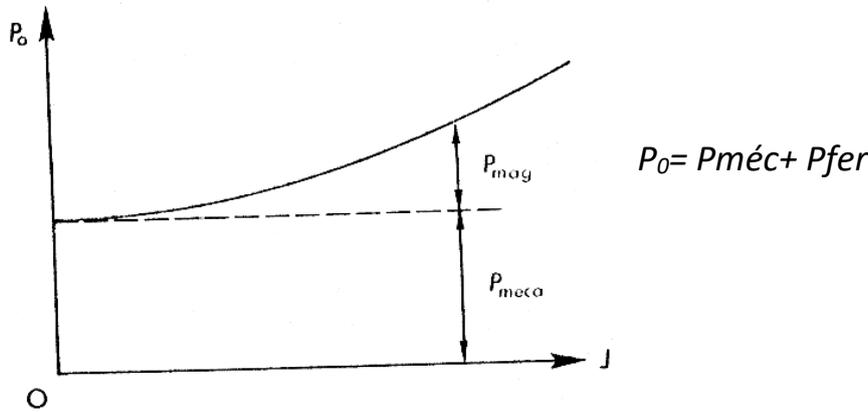


Puissance mécanique



Puissance d'excitation

- Puissance totale absorbée est la somme de puissance mécanique d'entraînement et de l'excitation.
- Puissance utile $P_u = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$
- Puissance absorbée $P_a = P_M = \Omega_r \cdot T_M$
- Pertes joule rotor ou puissance excitation $P_{jr} = U_{ex} \cdot I_{ex} = r \cdot I_{ex}^2 = U_{ex}^2 / r$
- Pertes mécaniques et pertes fers sont appelées aussi pertes constantes $P_C = P_{mec} + P_{fer}$
Dans un essai à vide

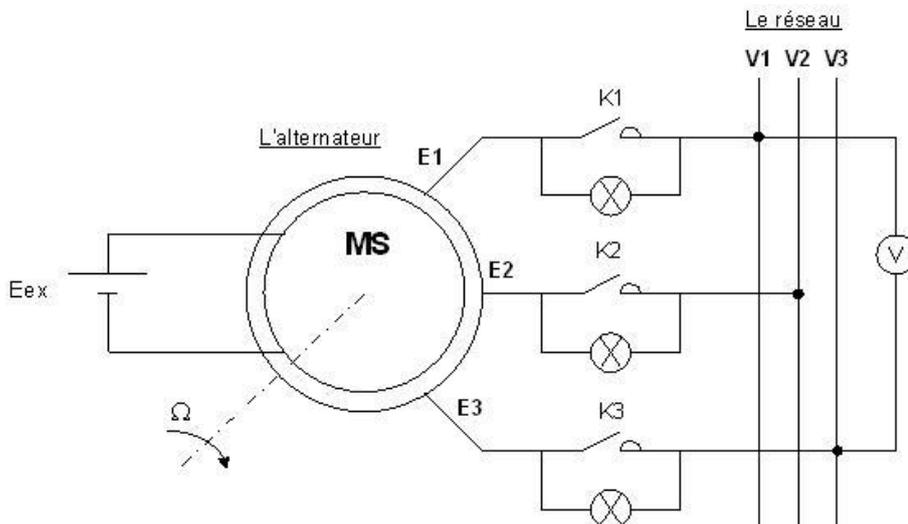


- Pertes joules stator se calculent comme dans un moteur asynchrone selon Quelle résistance donnée et selon le type de couplage
 $P_{js} = r \cdot I^2$ pour un couplage triangle
 $P_{js} = 3 \cdot r \cdot I^2$ pour un couplage étoile
 $P_{js} = (3/2) \cdot R \cdot I^2$ quel que soit le couplage
 A noter que, r : résistance d'une bobine et R : résistance mesurée entre 2 phases

Rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_{aT}} = \frac{P_u}{(P_a) + P_{ex}} = \frac{P_u}{(P_u + P_{js} + P_{fer} + P_{mec}) + P_{ex}}$$

Couplage d'un alternateur sur le réseau



On n'effectue le couplage que lorsque les bornes homologues de l'alternateur et du réseau sont au même potentiel ; si non la disjonction des appareils de protection et un couple important qui pourront causer la rupture de l'accouplement rotor turbine. Pour éviter cela, il faut réaliser les conditions :

- Même ordre de succession des phases.
- Mêmes valeurs efficaces de tensions.
- Mêmes fréquences.
- Tensions homologues en phases.

Le couplage est opéré en fermant simultanément les interrupteurs K1, K2 et K3 à l'extinction simultanée des lampes.

Exercices

Exercice 1 :

Un alternateur triphasé débite un courant de 20 A avec une tension entre phases de 220 V et un facteur de puissance de 0,85.

L'inducteur, alimenté par une source de tension continue de 200 V, présente une résistance de 100 Ω .

L'alternateur reçoit une puissance mécanique de 7,6 kW.

Calculer :

- 1- la puissance utile fournie à la charge
- 2- la puissance absorbée
- 3- le rendement

Exercice 2 :

Un alternateur triphasé est couplé en étoile.

Sur une charge résistive, il débite un courant de 20 A sous une tension de 220 V entre deux bornes de l'induit.

La résistance de l'inducteur est de 50 Ω , celle d'un enroulement de l'induit de 1 Ω .

Le courant d'excitation est de 2 A.

Les pertes collectives sont évaluées à 400 W.

Calculer :

- 1- la puissance utile
- 2- la puissance absorbée par l'inducteur
- 3- les pertes Joule dans l'induit
- 4- le rendement

Exercice 3 :

Un alternateur triphasé dont les enroulements du stator sont couplés en étoile, fournit en charge normale, un courant d'intensité efficace $I = 200$ A sous une tension efficace entre phases $U = 5$ kV lorsque la charge est inductive ($\cos\varphi = 0,87$).

La résistance d'un enroulement du stator est égale à $r = 0,20\Omega$. La fréquence de rotation de la roue polaire est $n' = 750 \text{ tr/mn}$. Le courant et la tension ont pour fréquence $f = 50 \text{ Hz}$. L'ensemble des pertes dites "constantes" et par effet Joule dans le rotor atteint 55 kW . Un essai à vide, à la fréquence de rotation nominale, a donné les résultats suivants (I_e est l'intensité du courant d'excitation ; E la valeur efficace de la tension entre phases) :

I_e (A)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E (V)	0	1 050	2 100	3 150	4 200	5 200	5 950	6 550	7 000	7 300	7 500

Un essai en court-circuit a donné, pour un courant d'excitation d'intensité $I_e = 40 \text{ A}$, un courant dans les enroulements du stator d'intensité $I_{cc} = 2,5 \text{ kA}$.

1/ Quel est le nombre de pôles du rotor ?

2/ Calculer la réactance synchrone X_S de l'alternateur lorsqu'il n'est pas saturé ? On supposera X_S constante dans la suite du problème.

3/ En déduire la f.é.m. synchrone E au point nominal

4/ Quelle est la puissance nominale de l'alternateur ?

5/ Déterminer le rendement au point de fonctionnement nominal.

Entretien et dépannage des machines à courant alternatif

Entretien :

L'entretien des machines à courant alternatif est assez réduit et se limite à l'entretien systématique qui comporte :

- Renouvellement de la graisse pour les paliers à roulements à billes et au maintien du niveau d'huile dans les paliers à coussinets ;
- Dépoussiérage, qui peut être fait au soufflet, à l'air comprimé et à l'aide de chiffons
- Propreté du collecteur ou des bagues,
- Vérification des charbons des balais, tant au point de vue leur pression sur le collecteur ou les bagues que de leur usure. S'il y a lieu de les remplacer,
- Vérification du serrage des fils d'arrivée à la plaque à bornes ;
- Vérification de la tension de la courroie ou du serrage du manchon d'accouplement.

Dépannage

Les interventions que le service de maintenance doit effectuer le plus souvent sur la partie électrique d'une machine à courant alternatif proviennent :

- d'un court-circuit dans les sections des enroulements ;
- d'un défaut d'isolement entre sections ou entre le bobinage et la masse métallique du moteur ;
- d'une coupure dans le bobinage ou entre le bobinage et le collecteur ;
- d'un court-circuit entre lames du collecteur ;
- de l'usure mécanique du collecteur ou des bagues ;
- du débordement des micas entre les lames du collecteur.

Préparation de l'intervention

Dès que le service de maintenance reçoit une demande d'intervention il doit procéder à une préparation des travaux.

La préparation de l'intervention d'un dépannage ou d'une réparation au cas d'une défaillance demande le groupement et l'élaboration d'un certain nombre de documents nécessaires.

a) Documentation technique

Dans cette partie on distingue les différents types de documents techniques fournis par les fabricants qui doivent être consultés par le dépanneur :

- **Catalogue** : c'est une nomenclature qui permet d'identifier et de situer sans ambiguïté les différents articles et produits d'un fabricant ;
- **Manuel d'installation** : un document donnant les principales précautions à prendre pendant le transport, le magasinage et l'installation d'une machine ;
- **Manuel d'utilisation** : un document détaillant les opérations nécessaires à l'utilisation convenable de l'équipement, les opérations de réglage courant, les interventions élémentaires de maintenance et les contraintes liées à l'environnement ;
- **Manuel de maintenance** : on trouve les instructions concernant les opérations détaillées de maintenance préventive et corrective.

b) Plaque signalétique

Toutes les caractéristiques nominales de la machine à courant alternatif sont inscrites sur sa plaque signalétique.

Parmi les caractéristiques on trouve :

- Le type de la machine (moteur ou génératrice)
- La nature d'alimentation (courant alternatif)
- La tension d'alimentation, en V (V / U)
- Le courant nominal, en A (I_Δ / I_Y)
- La vitesse de rotation, en tr/min
- La puissance nominale, en kW
- Le courant d'excitation, en A (pour génératrice)
- Le nombre de phase (1 ou 3)
- La fréquence, en Hz
- L'indice de protection : IP...
- La nature de l'isolant : A, BE, F, H ...

c) Bon de travail

C'est un document qui est élaboré par le service de maintenance à la base de la demande d'intervention et de la documentation technique

A partir du bon de travail le dépanneur détermine les types et les quantités des matériels nécessaires et prépare **un bon de sortie du magasin.**

Analyse de l'état réel de l'équipement :

Pour analyser l'état réel de l'équipement le dépanneur doit faire des vérifications préliminaires, telles que :

a) Présence des sources d'alimentation

On mesure la valeur de la tension aux bornes des circuits de puissance et de commande pour s'assurer que la tension correspond bien à la tension nominale de la machine.

b) Etat des protections et des organes de commande

On vérifie les éléments de protection tels que fusibles, relais thermiques, disjoncteurs, etc. (calibrage, réglage et enclenchement). Dans le circuit de commande on vérifie l'état des contacteurs et leur fonctionnement.

c) Vérifications mécaniques

La plus simple vérification est de faire tourner l'arbre de la machine à la main pour savoir si la rotation est facile et qu'il n'y a pas de blocage mécanique.

On peut utiliser nos organes de sens pour détecter certains défauts, comme par exemple :

- **Vérification visuelle** : on peut voir la machine électrique à courant alternatif et son mécanisme d'entraînement pendant qu'il fonctionne pour détecter les signes d'oscillation (vibrations et bruits). Une usure des paliers et un mauvais alignement peuvent être à l'origine d'une défaillance.

- **Vérification tactile** : un moteur ou génératrice doit être chaud(e) mais pas brûlant(e). La chaleur excessive provient d'un problème de refroidissement des bobinages, des engrenages encrassés, une courroie trop tendue, un manque d'huile au niveau des paliers, etc.

- **Vérification auditive** : si on entend un grondement, c'est peut être qu'un palier est usé ou des pièces mal lubrifiées produisent des bruits aigus.

- **Vérification olfactive** : Un moteur (une génératrice) défectueux (se) dégage une odeur que l'on peut sentir. Cette odeur peut provenir d'un échauffement de l'isolant de la bobine ou d'une friction des pièces au niveau des paliers. Un moteur grillé dégage une odeur âcre de plastique carbonisé.

d) Vérifications électriques

Si le problème n'est pas apparent, on doit réaliser un essai de mise en marche pour prendre note des symptômes et localiser les points tests.

Les vérifications sont faites à l'aide des instruments de mesure : le multimètre, l'ohmmètre, le grognard, le tachymètre, l'accéléromètre (pour les vibrations), etc.

On peut mesurer, par exemple, la tension d'alimentation, le courant absorbé, le courant d'excitation, la vitesse de rotation, les résistances des bobines, les résistances par rapport à la masse, les vibrations, etc.

Les relevés de ces mesures sont ensuite comparés aux valeurs de référence qui sont mentionnées dans la documentation technique donnée par le constructeur.

La méthode générale de diagnostic :

La méthode générale de diagnostic comporte deux étapes essentielles :

- Inventaire des hypothèses :

Le diagnostic doit identifier les causes probables de la défaillance. L'efficacité du diagnostic doit conduire à hiérarchiser les hypothèses par rapport à deux critères : leur probabilité de se révéler vraies et la facilité de leur vérification.

- Vérification des hypothèses retenues :

En les prenant dans l'ordre de leur classement chaque hypothèse doit être vérifiée.

L'enchaînement de ses vérifications doit être fait jusqu'à la constatation d'un essai bon. La recherche d'une panne dans un circuit électrique ou électronique relève d'un raisonnement logique faisant appel aux étapes suivantes

