



Office de la Formation Professionnelle
et de la Promotion du Travail

Technicien Spécialisé

Génie Electrique

Tronc commun

Manuel de Travaux Pratiques

Module 5

Analyser le fonctionnement des moteurs électriques à CC et à CA



DRAFT

Edition 2021

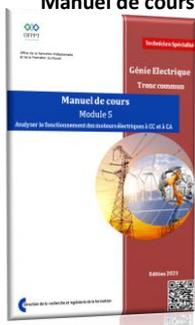




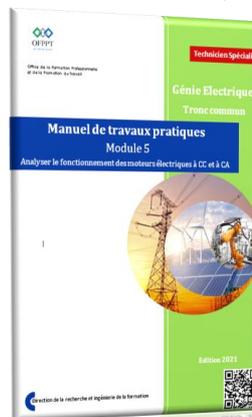
Avant-propos

Les manuels de cours, de travaux pratiques et le guide e-learning sont téléchargeables à partir de la plateforme e-learning OFPPT moyennant les codes QR suivants :

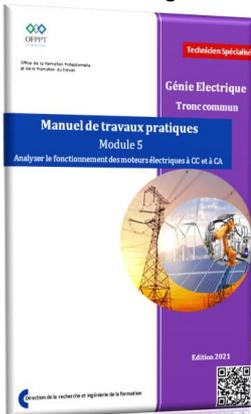
Manuel de cours



Manuel des travaux pratiques



Guide e-learning





SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	2
SOMMAIRE.....	3
COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS	5
1. GÉNÉRATRICES À COURANT CONTINU	7
1.1. Constitution	7
2. PROPRIÉTÉS DES MACHINES À COURANT CONTINU	11
2.1. Force électromotrice induite.....	11
2.2. Réaction d'induit.....	12
2.3. Pôles de commutation	13
3. DIFFÉRENTS MODES D'EXCITATION D'UNE MACHINE À COURANT CONTINU	13
3.1. Génératrice à excitation indépendante.....	13
3.2. Génératrice à excitation en dérivation	14
3.3. Génératrice à excitation série	14
3.4. Génératrice à excitation composée.....	14
4. ESSAIS DES GÉNÉRATRICES	15
4.1. Marche à vide	15
4.2. Marche en charge	18
5. MOTEURS À COURANT CONTINU ET LEURS CARACTÉRISTIQUES :.....	19
5.1. Couple électromagnétique.....	20
5.2. Réversibilité de la machine à courant continu.....	21
6. CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS ÉLECTRIQUES	23
6.1. Importance de la caractéristique mécanique	23
6.2. Caractéristiques du moteur à excitation séparée	25
6.3. Caractéristiques du moteur à excitation shunt.....	28
6.4. Caractéristiques du moteur série :	28
7. CHOIX D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU - CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES.....	31
8. PERFORMANCES DES MOTEURS	31
8.1. Moteur shunt.....	32
8.2. Moteur série	37
9. DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE DES MOTEURS À COURANT CONTINU	41
9.1. Moteur à excitation en dérivation :.....	41
9.2. Moteur à excitation en série :	43
9.3. Moteur à excitation composée :	45
10. LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS.....	47
10.1. Interprétation des différents schémas électriques et des différentes commandes	47



10.2. Les éléments de protection des actionneurs électriques	67
10.3. Les mesures de protection	69
10.4. Analyse de fonctionnement des moteurs asynchrones triphasés :	70
10.5. Démarrage semi-automatique des moteurs asynchrones triphasés	79
11. LES MOTEURS SYNCHRONES TRIPHASÉS	99
11.1. Fonctionnement des moteurs synchrones triphasés :	99
11.2. Fonctionnement des Moteurs asynchrones monophasés :.....	100
11.3. Les procédures de vérification des moteurs asynchrones	104



COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS

Module 5 : Analyser le fonctionnement des moteurs électriques à CC et à CA

Code : M105

Durée : 60 heures

ENONCE DE LA COMPETENCE

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit
Analyser le fonctionnement des moteurs électriques à CC et à CA selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONTEXTE DE REALISATION

- Individuellement
- A l'atelier et en laboratoire
- À partir :
 - Du contenu pédagogique du module
 - Du dossier technique du système
 - Du maquette réelle et virtuelle (3D)
 - Des consignes et directives du formateur
- À l'aide :
 - De lecture des fiches techniques et des schémas
 - Des lois régissant l'énergie électrique
 - Des outils de recherche d'information
 - Des bibliothèques des composants standards et fournisseurs
 - Des catalogues.
 - Des fiches techniques de composants

CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Comprendre le principe de fonctionnement des moteurs CC et CA
- Tracer des schémas de circuits de puissance et de circuits de commande de moteurs
- Interpréter des diagrammes de circuits de démarrage de moteurs
- Calculer les paramètres des moteurs, les calibres des conducteurs et les dispositifs de protection
- Mesurer les paramètres de fonctionnement des moteurs



OBJECTIF OPÉRATIONNEL

ÉLÉMENTS DE LA COMPÉTENCE	CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
A. Comprendre le principe de fonctionnement des moteurs CC et CA	A.1.
B. Tracer des schémas de circuits de puissance et de circuits de commande de moteurs	B.1.
C. Interpréter des diagrammes de circuits de démarrage de moteurs	C.1.
D. Mesurer les paramètres de fonctionnement des moteurs	D.1.

1. Génératrices à courant continu

1.1. Constitution

Une machine à courant continu comporte trois parties principales : l'inducteur, l'induit et le collecteur avec les balais.

1.1.1. Inducteur

L'inducteur produit le flux magnétique dans la machine. Il est constitué d'un électro-aimant qui engendre la force magnétomotrice nécessaire à la production du flux. Dans les machines bipolaires (à deux pôles) (fig.1.1) les bobines magnétisantes sont portées par deux noyaux polaires (fig.1.2), montés à l'intérieur d'une culasse. La culasse est généralement en fonte d'acier, tandis que les noyaux polaires sont formés de tôles d'acier doux. Les bobines magnétisantes sont alimentées en courant continu et le courant qui les traverse porte le nom de courant d'excitation.

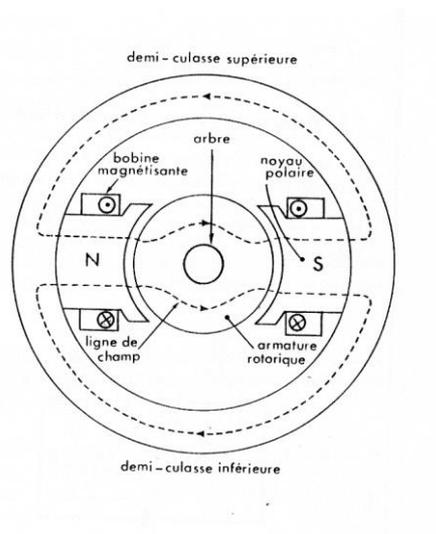


Fig. 1.1.

Le nombre de pôles que porte l'inducteur dépend surtout de la grosseur de la machine. Plus une machine est puissante et plus sa vitesse est basse, plus elle aura de pôles.

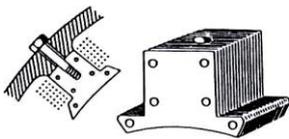


Fig. 1.2 - Pôle d'inducteur

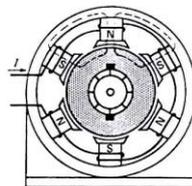


Fig. 1.3 - Polarité magnétique d'une génératrice à 6 pôles

Les bobines magnétisantes d'un inducteur multipolaire (qui comporte un nombre de pôles $2p$ supérieur à deux) sont connectées de façon à ce que les pôles adjacents aient des polarités magnétiques contraires (fig.1.3).

Ces bobines sont composées de plusieurs centaines de spires et portent un courant relativement faible. Elles sont enveloppées de plusieurs couches de ruban de coton et bien isolées des noyaux polaires afin de réduire les risques de court-circuit.

Les lignes du champ magnétique produit par l'inducteur traversent deux fois l'entrefer qui sépare le rotor et le stator et se renferment par l'une des deux demi-culasses. L'entrefer est de l'ordre de 1,5 mm à 5 mm pour des machines de faible et moyenne puissance.

En réduisant la longueur de l'entrefer on peut diminuer les dimensions des bobines magnétisantes.

Sous les pôles, dans l'entrefer, les lignes de champ sont pratiquement radiales et le vecteur \vec{B} a une norme sensiblement constante (fig.1.4).

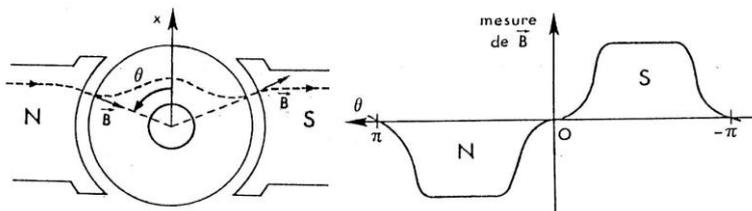


Fig. 1.4 – variation du champ dans l'entrefer

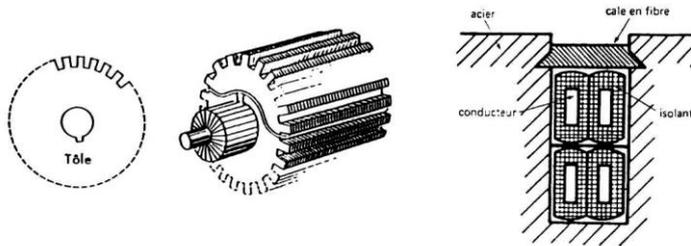
Remarquons que le rotor n'entraîne pas les lignes de champ dans son mouvement : la topographie du champ magnétique n'est pratiquement pas modifiée par la rotation de l'armature.

1.1.2. L'induit

L'induit constitue l'ensemble des conducteurs qui coupent le flux magnétique. Ces conducteurs sont enroulés sur un noyau cylindrique (fig.1.5a) formé d'un assemblage de tôles en fer doux. Ces tôles sont isolées les unes des autres et portent des encoches destinées à recevoir les conducteurs (fig.1.5a).

Les conducteurs de l'induit sont parcourus par le courant débité par la machine. Ils sont isolés du noyau par plusieurs couches de papier ou de mica. Pour résister aux forces centrifuges, ils sont maintenus solidement en place dans les encoches au moyen de cales en fibre (fig.1.5b). Si le courant est faible, on emploie des conducteurs ronds, mais s'il dépasse une cinquantaine d'ampères, on se sert de conducteurs rectangulaires qui permettent une meilleure utilisation du volume de l'encoche.

L'induit est monté sur un arbre et tourne entre les pôles de l'inducteur.



a) Le noyau d'induit composé d'un empilage de tôles d'acier

b) Les conducteurs retenus dans les encoches par des cales en fibre

Fig. 1.5

1.1.3. Collecteur et balais

Le collecteur est un ensemble cylindrique de lames de cuivre isolées les unes des autres par des feuilles de mica. Le collecteur est monté sur l'arbre de la machine, mais isolé de celui-ci (fig.1.6a). Les conducteurs de l'induit sont reliés aux lames du collecteur. Dans une génératrice bipolaire, deux balais fixes et diamétralement opposés appuient sur le collecteur et assurent le contact électrique entre l'induit et le circuit extérieur (fig.1.6b).

La construction du collecteur demande un soin considérable, car, si une des lames dépasse les autres d'une fraction de millimètre seulement, des étincelles seraient produites par le rebondissement des balais quand la machine est en charge. De telles étincelles rongeraient et détérioreraient les balais, tout en surchauffant et en carbonisant le collecteur, ce qui ne peut être toléré.

Les machines multipolaires ont autant de balais que de pôles. Par exemple, une génératrice ayant 6 pôles possède 6 balais, dont 3 positifs (+) et 3 négatifs (-). Les balais (+) sont reliés ensemble pour former la borne positive de la machine. De même, les balais (-) sont reliés ensemble pour en former la borne négative (fig.1.6c).

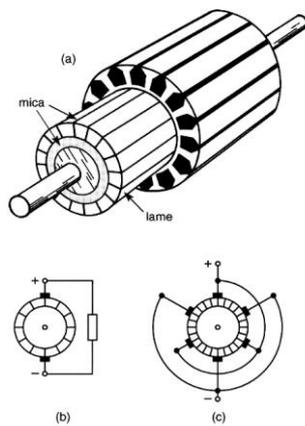


Fig. 1.6

Les balais sont faits en carbone car ce matériau possède une bonne conductivité électrique et il est assez doux pour ne pas user indûment le collecteur. Pour améliorer leur conductivité, on ajoute parfois au carbone une petite quantité de cuivre.

La pression des balais sur le collecteur peut être réglée à une valeur appropriée grâce à des ressorts ajustables (fig.1.7). Si la pression est trop grande, le frottement provoque un échauffement excessif du collecteur et des balais. Par contre, si elle est trop faible, le contact imparfait peut produire des étincelles.



Fig. 1.7

Zone neutre

Les zones neutres sont les endroits situés à la surface de l'induit où la densité du flux est nulle. Lorsque la génératrice fonctionne à vide, les zones neutres se trouvent exactement à mi-chemin entre les pôles. Aucune tension n'est induite dans une bobine traversant une zone neutre, c'est pourquoi on cherche à disposer les balais autour de collecteur afin qu'ils soient en contact avec les bobines franchissant ces zones neutres. On assure en même temps une tension maximale entre les balais.

Génératrices multipolaires

Lorsqu'une machine à courant continu doit avoir une puissance élevée (plusieurs kilowatts), elle n'est plus bipolaire. Son stator comporte un nombre de pôles $2p$ supérieur à deux, ces pôles alternativement Nord et Sud sont régulièrement disposés à la périphérie du rotor (fig. 1.8). Son enroulement d'induit présente alors $2a$ voies (nombre pair) en parallèle.

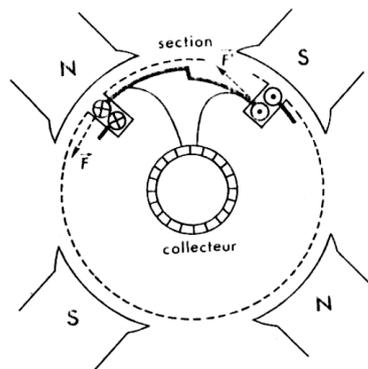


Fig. 1.8.



Les solutions technologiques retenues sont diverses mais les principes adoptés restent valables comme pour l'enroulement bipolaire à deux voies :

- Chaque encoche contient toujours deux faisceaux superposés ;
- L'enroulement, fermé sur lui-même, est constitué de sections identiques connectées en série chacune de ces sections comporte un faisceau périphérique dans une encoche et un faisceau profond dans l'autre, son entrée soudée à une lame du collecteur et sa sortie à une autre lame
- L'ouverture des sections est égale à l'angle séparant deux pôles successifs, c'est-à-dire égale au pas polaire π / p ; ainsi, pour chaque section, le faisceau périphérique d'une part et le faisceau profond d'autre part occupent, à tout instant, la même position par rapport au pôle en regard ; les forces électromagnétiques s'exerçant sur les deux faisceaux sont constamment égales et de même sens par rapport au rotor.

Grâce aux connexions entre les extrémités des sections et les lames du collecteur, il est possible de réaliser deux sortes d'enroulement :

- Les enroulements imbriqués pour lesquels le nombre de voies $2a$ est égal à $2p$ ou à un multiple de $2p$.
- Les enroulements ondulés pour lesquels $2a$ est égal à 2 ou à un multiple de 2 .

2. Propriétés des machines à courant continu

2.1. Force électromotrice induite

Par suite de la rotation, les conducteurs actifs coupent les lignes du champ magnétique : ils sont donc siège de f.é.m. induites. Il est facile de constater que les f.é.m. induites dans tous les faisceaux appartenant à une même voie sont de même sens le long de cette voie : la f.é.m. E dans une voie est la somme des f.é.m. induites dans tous les conducteurs actifs de cette voie.

La f.é.m. d'une voie retrouve la même valeur lorsque le rotor a tourné d'un pas d'encoche : cette f.é.m. ondule très peu autour de sa valeur moyenne \bar{E} (on confond désormais E et \bar{E}). Les $2a$ voies de l'enroulement d'induit étant en parallèle, E est aussi la f.é.m. de la machine.

Lorsqu'un conducteur actif passe d'une ligne neutre à la suivante, il coupe un flux Φ ; si Δt est le temps correspondant, la f.é.m. e induite dans un tel conducteur a pour valeur moyenne

$$e = \Phi / \Delta t$$

Or, si la fréquence de rotation est n tours/seconde, la durée de 1 tour a pour expression

$$1 \text{ seconde} / n = 1 / n \text{ [s]}$$

Le passage d'un conducteur sous un pôle étant $2p$ fois plus bref, l'intervalle de temps Δt est égal à

$$\Delta t = (1/n) / 2p = 1 / 2pn$$

d'où : $e = \Phi / (1/2pn) = 2 p n \Phi$

Chacune des $2a$ voies comporte $N / 2a$ conducteurs actifs, si bien que

$$E = (N / 2a) e = (N / 2a) 2p n \Phi$$

$$E = \frac{p}{a} N \Phi n \quad \text{où : } \Phi \text{ en Wb ; } n \text{ en tr/s ; } E \text{ en V.}$$

2.2. Réaction d'induit

Jusqu'à présent nous avons supposé que seule la f.m.m. de l'enroulement inducteur agisse sur le circuit magnétique d'une machine à courant continu. Cependant, le passage du courant dans les conducteurs de l'induit crée également une force magnétomotrice qui a pour effet de déformer et d'affaiblir le flux provenant des pôles. L'action magnétique de la f.m.m. de l'induit est appelée réaction d'induit.

Pour comprendre la réaction d'induit, on doit connaître le sens des courants circulant dans les conducteurs de l'induit situés en dessous de chacun des pôles. On peut facilement le déterminer lorsqu'on connaît le sens de rotation de la machine (la loi de Lenz).

L'exemple de la figure.2 .1 présente les conducteurs situés en dessous du pôle nord d'une génératrice qui tourne dans le sens antihoraire.

Lorsqu'un générateur fonctionne à faible charge, le faible courant circulant dans l'induit ne modifie pas de façon appréciable le champ magnétique Φ_1 provenant des pôles (fig.2.1a). Mais quand le courant dans l'induit devient important, il produit une f.m.m. élevée créant un champ magnétique Φ_2 (fig.2.1b). La somme des champs Φ_1 et Φ_2 donne le champ résultant Φ_3 .(fig.2.1c) On constate que la densité du flux augmente sous la moitié gauche du pôle, alors qu'elle diminue sous la moitié droite.

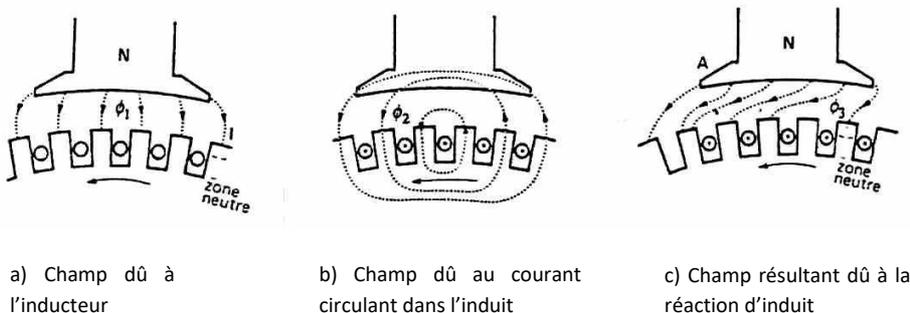


Fig. 2.1.

Ce phénomène a deux conséquences. D'abord, la zone neutre se déplace vers la gauche (avec le sens de rotation). Ensuite, à cause de la saturation de l'extrémité A du pôle, l'augmentation de flux produite sous la partie gauche ne réussit pas à compenser la diminution sous la partie droite; le flux Φ_3 en charge est légèrement inférieur au flux Φ_1 à vide. Pour les gros générateurs cette diminution peut être de l'ordre de 5%.

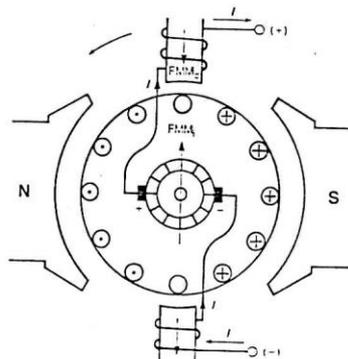
En outre, si l'on veut éviter une mauvaise commutation, on doit réajuster les balais sur la nouvelle zone neutre. Pour les génératrices les balais doivent être déplacés dans le sens de rotation.

Une fois les balais déplacés, la commutation est bonne ; cependant, si le courant diminue, la f.m.m. de l'induit baisse et le point neutre occupe une nouvelle position située entre les deux positions précédentes. Il faut alors déplacer à nouveau les balais pour obtenir une commutation sans étincelles. Ce procédé est inacceptable lorsque le courant varie fréquemment et de façon très remarquable. Dans les générateurs de faible puissance (moins que 500 W), on peut se permettre de fixer les balais à une position intermédiaire, ce qui assurera une commutation acceptable pour toutes les charges.

2.3. Pôles de commutation

Pour compenser l'effet de la réaction d'induit, on dispose entre les pôles ordinaires des machines à courant continu des pôles auxiliaires, ou pôles de commutation, calculés pour développer une f.m.m. égale et opposée en tout temps à la f.m.m. de l'induit (fig. 2.2). L'enroulement des pôles de commutation est donc raccordé en série avec l'induit de façon à ce qu'il soit traversé par le même courant et qu'il développe une f.m.m. proportionnelle au courant d'induit.

On voit sur la figure que la f.m.m. des pôles de commutation s'oppose à la f.m.m. de l'induit, et annule ainsi l'effet de celle-ci. Par conséquent, les bobines qui sont momentanément court-circuitées par les balais se trouvent toujours dans une zone où la densité du flux est nulle. Il n'est donc plus nécessaire de déplacer les balais au fur et à mesure que la charge varie.



Les pôles de commutation produisent une f.m.m. égale et opposée à la f.m.m. de l'induit

Fig. 2.2

3. Différents modes d'excitation d'une machine à courant continu

Une machine à courant continu comporte deux circuits électriques : l'enroulement de l'induit et l'enroulement de l'inducteur. Ces deux circuits peuvent être couplés l'un par rapport à l'autre de différentes manières ce qui définit les différents types de machines.

3.1. Génératrice à excitation indépendante

Le flux dans la machine est créé par le passage d'un courant d'excitation J dans l'enroulement de l'inducteur. Lorsque ce courant continu est fourni par une source indépendante, c'est-à-dire séparée de la machine, on dit que la génératrice est à excitation indépendante ou à excitation séparée (fig.3.1).

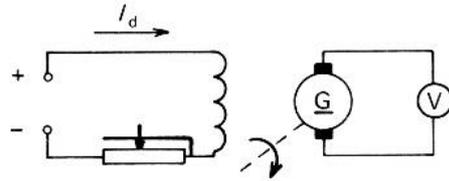


Fig. 3.1

3.2. Génératrice à excitation en dérivation

L'enroulement induit et l'enroulement inducteur sont montés en parallèle : l'induit générateur alimente l'enroulement d'excitation de la machine qu'on appelle auto-excitée (fig.3.2).

L'enroulement inducteur comporte un grand nombre de spires en fil fin, le courant admis sous la tension U ne devant dériver que de 2% à 5% environ du courant total.

Exemple: Machine 3 kW, 220 V, $I = 16,5$ A, $J = 0,56$ A

Résistances à froid : $R_{\text{inducteur}} = 270 \Omega$; $R_{\text{induit}} = 1,84 \Omega$

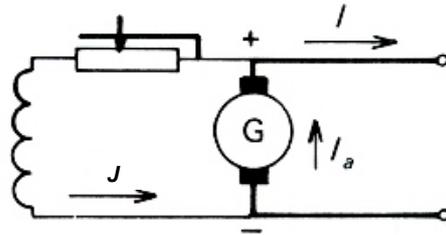


Fig. 3.2

3.3. Génératrice à excitation série

L'enroulement inducteur est en série avec l'induit et ne doit entraîner qu'une chute de tension de 3% environ, il a donc une faible résistance et comporte peu de spires de gros fil (fig.3.3).

Exemple: Machine 3 kW, 220 V, $I = 15$ A

Résistances à froid : $R_{\text{inducteur}} = 0,55 \Omega$; $R_{\text{induit}} = 1,1 \Omega$

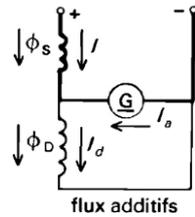


Fig. 3.3

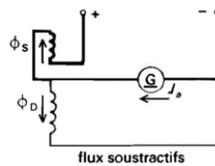
3.4. Génératrice à excitation composée

C'est la combinaison des deux modèles précédents. Les deux enroulements peuvent être montés en courte dérivation (fig.3.4a) ou en longue dérivation (fig.3.4b). Les flux peuvent s'ajouter (flux additifs) ou se retrancher (flux soustractifs).

Il faut noter que ce mode d'excitation est actuellement peu utilisé dans l'industrie.



a) Les enroulements montés en "courte dérivation" (flux additifs)



b) Les enroulements montés en "longue dérivation" (flux soustractifs)

Fig. 3.4

4. Essais des génératrices

4.1. Marche à vide

4.1.1. La caractéristique à vide

Quand une dynamo à excitation indépendante tourne à vide, c'est-à-dire lorsqu'elle n'est raccordée à aucun circuit extérieur et que l'induit ne débite aucun courant, une variation du courant d'excitation ou de la vitesse de rotation entraîne une variation correspondante de la tension induite.

Effet du courant d'excitation : Si on augmente le courant d'excitation, la f.m.m. de l'enroulement d'inducteur augmente, ce qui augmente le flux dans la machine. Par conséquent, les conducteurs coupent un plus grand nombre de lignes par seconde et la tension aux bornes de l'induit (entre les balais) augmente. Lorsque ce courant est faible, la perméabilité de l'entrefer étant constante, le flux croît proportionnellement au courant d'excitation. Mais, lorsque le fer de l'inducteur et de l'induit se saturent, la perméabilité diminue et le flux ne croît plus. On dit que la machine est saturée.

Si on trace la valeur de la tension induite en fonction du courant d'excitation, la vitesse de rotation étant maintenue constante, on obtient la courbe de saturation de la génératrice (fig.4.1).

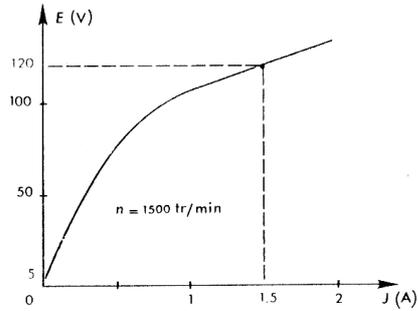


Fig. 4.1

On peut donc faire varier la tension induite à volonté en faisant varier le courant d'excitation. La tension nominale de la machine est habituellement située un peu plus haut que le "coude" de la courbe de saturation.

Quand les bornes du circuit d'excitation sont inversées, le courant circule en sens inverse dans l'enroulement d'excitation, ce qui entraîne le changement de la polarité de la tension induite.

Effet de la vitesse de rotation : Lorsqu'on augmente la vitesse de rotation sans faire varier le courant d'excitation, le nombre de lignes coupées par seconde augmente en proportion, ce qui augmente la tension induite. La tension E est proportionnelle à la vitesse de rotation de l'induit (fig. 4.2).

$$E_1 = (p/a) N\Phi n_1$$

$$\left. \begin{array}{l} E_1 = (p/a) N\Phi n_1 \\ E_2 = (p/a) N\Phi n_2 \end{array} \right\} \Rightarrow E_1 / E_2 = n_1 / n_2$$

$$E_2 = (p/a) N\Phi n_2$$

Quand on change le sens de rotation, la polarité de la tension induite change aussi. Si on change à la fois la polarité de la tension d'excitation et le sens de rotation, la polarité de la tension induite ne change pas.

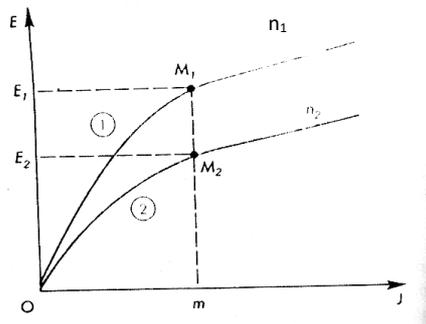


Fig. 4.2

4.1.2. Réglage de la tension induite :

Quand il s'agit d'une génératrice à excitation en dérivation (excitation shunt), dont le grand avantage réside dans le fait qu'elle n'exige aucune source extérieure, on peut facilement régler la valeur de la tension induite au moyen d'une résistance variable intercalée en série avec l'enroulement de l'inducteur (fig. 4.3) Cette résistance variable porte le nom de rhéostat d'excitation.

La tension E prend sa valeur nominale quand le curseur p du rhéostat est au milieu. Si on déplace le curseur vers l'extrémité m , la valeur de la résistance diminue, donc le courant d'excitation augmente, le flux augmente aussi, donc la tension induite augmente. Si on déplace le curseur vers l'extrémité n il se passe l'inverse et la tension induite diminue.

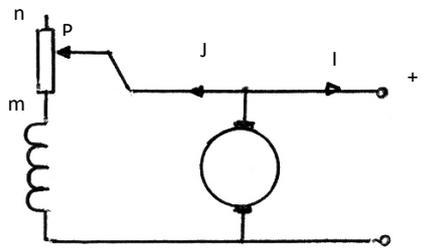


Fig. 4.3

Si l'on connaît la courbe de saturation et la résistance totale R_t du champ et du rhéostat, on peut facilement déterminer la valeur de la tension induite. Il suffit de tracer sur le graphique de la courbe de saturation, une droite correspondant à la résistance R_t . Le point de coupure de cette droite avec la courbe correspond à la tension induite. Par exemple (fig.4.4), si la résistance de l'inducteur est de 50Ω et si celle du rhéostat est nulle, la droite passe par le point $E = 50 \text{ V}$, $I = 1 \text{ A}$. Cette droite coupe la courbe de saturation à un point correspondant à une tension de 150 V . Etant donné que la résistance du rhéostat est nulle, cela représente la tension maximale que peut atteindre la génératrice à excitation shunt. En déplaçant le curseur p , la résistance de l'inducteur augmente et lorsqu'elle est de 120Ω on obtient une nouvelle droite coupant la courbe à une tension $E_0 = 120 \text{ V}$.

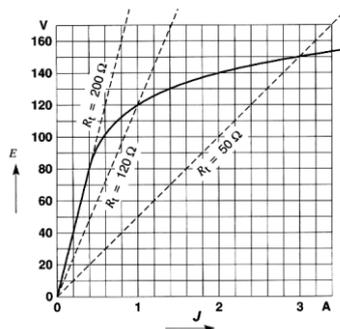


Fig. 4.4 Méthode pour déterminer la valeur de la tension induite

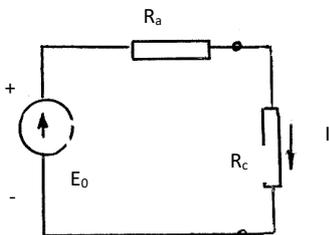
4.2. Marche en charge

L'induit d'une génératrice est formé d'un grand nombre de conducteurs ayant une certaine résistance. On appelle résistance de l'induit celle que l'on peut mesurer entre les balais de la machine. Elle est généralement très faible (souvent de l'ordre du centième d'ohm); elle dépend essentiellement de la puissance et de la tension de la machine.

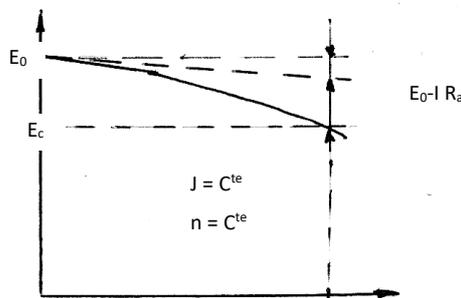
On peut donc représenter le circuit de l'induit par une résistance R_a en série avec une tension E_0 , cette dernière représentant la tension induite (fig.4.5a). Lorsque la machine tourne à vide, la tension entre les balais E_c est égale à la tension induite E_0 , car la chute de tension dans la résistance de l'induit est nulle puisqu'il n'y circule aucun courant.

Par contre, lorsque l'on relie l'induit à une charge, ce courant de la charge I provoque une chute de tension dans la résistance R_a . La tension E_c obtenue entre les balais (et par conséquent aux bornes de la charge) est inférieure à la tension induite E_0 . (fig.4.5b)

A mesure que la charge augmente, la tension aux bornes de la charge diminue progressivement. Le graphique représentant cette variation de la tension pour les différentes valeurs du courant débité porte le nom de caractéristique en charge. Outre la résistance de l'induit, le phénomène de réaction de l'induit fait aussi baisser la tension aux bornes de la génératrice. En effet, le passage du courant dans les conducteurs de l'induit donne naissance à une f.m.m. qui tend à déformer et à réduire le flux provenant des pôles. Cet affaiblissement du flux provoque une diminution correspondante de la tension induite E_0 et, par suite, de la tension aux bornes.



a) Circuit équivalent d'une génératrice c.c. en charge



b) Caractéristique en charge d'une génératrice cc

Fig. 4.5

Dans le cas d'une génératrice shunt (à excitation en dérivation), la variation de la tension aux bornes avec le courant débité est plus grande que dans le cas d'une génératrice à excitation indépendante. En effet, la tension induite dans cette dernière est à peu près constante. Ce n'est pas le cas pour la génératrice shunt, car le courant d'excitation et le flux diminuent à mesure que la tension entre les bornes s'abaisse.



Pour la génératrice shunt, la baisse de tension entre les conditions à vide et les conditions de pleine charge est de l'ordre de 15%, tandis que pour une génératrice à excitation indépendante, elle est seulement de l'ordre de 10%.

EXERCICE :

Une génératrice à excitation indépendante de 150 kW, 250 V, 350 tr/min a les caractéristiques suivantes :

- Résistance de l'induit : $15 \text{ m}\Omega$
- Résistance des pôles de commutation : $10 \text{ m}\Omega$
- Résistance du champ shunt : 60Ω
- Longueur de l'entrefer : 5 mm

On estime qu'en pleine charge, la réaction de l'induit diminue le flux d'environ 3%. La tension à vide est ajustée à 260 V. Calculer la valeur de la tension aux bornes lorsque la génératrice débite son courant nominal.

Solution :

Le courant nominal est :

$$I_n = P_n / U_n = 150000 / 250 = 600 \text{ A}$$

La chute de tension dans l'induit est : $= R_{\text{induit}} \times I_n = 0,015 \times 600 = 9 \text{ V}$

La chute de tension dans les pôles de commutation est : $= R_{\text{commutation}} \times I_n = 0,010 \times 600 = 6 \text{ V}$

A cause de la réaction d'induit, la tension induite sous charge est de 3% inférieure à celle induite à vide. Donc, E_0 sous charge vaut :

$$E_0 = 97\% \times 260 \text{ V} = 252 \text{ V} \text{ et la tension aux bornes de la génératrice est: } E = E_0 - 9 - 6$$

$$E = 252 - 9 - 6 = 237 \text{ V}$$

5. Moteurs à courant continu et leurs caractéristiques :

Les moteurs à courant continu sont des appareils qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique. La construction des moteurs est identique à celle des génératrices, de sorte qu'une machine à courant continu est réversible, c'est-à-dire peut servir indifféremment comme moteur ou comme génératrice.

L'usage des moteurs à courant continu est plutôt restreint, car la distribution se fait à courant alternatif. Cependant, pour certaines applications il est parfois avantageux d'installer des convertisseurs transformant le courant alternatif en courant continu et d'utiliser des moteurs à courant continu. La supériorité de ces moteurs réside dans le fait qu'ils se prêtent facilement à un contrôle souple, continu et presque instantané de leur vitesse.

Les moteurs à courant continu ont les mêmes modes d'excitation que les génératrices. On distingue donc :

- Les moteurs à excitation indépendante
- Les moteurs à excitation à dérivation (excitation shunt)
- Les moteurs à excitation série
- Les moteurs à excitation compound



De plus, tout comme pour les génératrices, la réaction d'induit se manifeste dans les moteurs, produisant une distorsion et un affaiblissement du flux provenant des pôles, à mesure que la charge augmente. Les problèmes de commutation existent également, c'est pourquoi les moteurs de puissance supérieure à 1 kW contiennent toujours des pôles de commutation.

5.1. Couple électromagnétique

Dans une machine à courant continu présentant les caractéristiques suivantes :

Nombre de pôles inducteurs $2p$

Nombre de voies d'enroulement $2a$

Nombre de conducteurs actifs N

Supposons que la machine fonctionne en charge, c'est-à-dire que son enroulement d'induit soit parcouru par un courant I : chaque voie, et par suite chaque conducteur actif, est le siège du courant $I/2a$. Les conducteurs, placés dans le champ magnétique sont soumis à des forces électromagnétiques dont la direction est pratiquement tangente au rotor et qui sont toutes de même sens par rapport à l'axe (puisque le sens du courant se renverse quand un conducteur passe d'un pôle sous le suivant).

Lorsque le rotor tourne d'un pas d'encoche (chaque encoche prenant la place de la précédente), il se trouve exactement dans la même disposition par rapport au stator : le couple T , dû à l'ensemble des forces électromagnétiques, reprend rigoureusement la même valeur, ainsi lorsque le temps s'écoule,

T ondule très peu autour de sa valeur moyenne \bar{T} (on signale que nous confondrons T et \bar{T}).

La valeur du couple électromagnétique T est calculée en utilisant l'expression du travail des forces électromagnétiques.

Lorsqu'un conducteur actif passe sous un pôle, c'est-à-dire va d'une ligne neutre (où $B = 0$) à la ligne neutre suivante, il coupe le flux Φ dû à l'ensemble des lignes de champ intéressant ce pôle (fig.5.1).

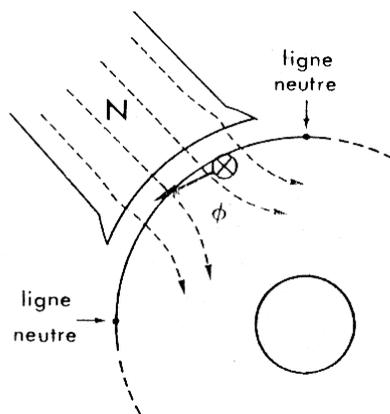


Fig. 5.1



Φ est appelé flux utile par pôle pour une machine donnée, il ne dépend que du courant dans l'enroulement inducteur. Le conducteur considéré étant parcouru par le courant $I/2a$ la force électromagnétique qui s'exerce sur lui accomplit un travail

$$(I / 2a) (\text{flux coupé}) = (I / 2a) \Phi$$

Lorsque le rotor fait un tour complet, le conducteur passe sous $2p$ pôles : le travail de la force est $2p$ fois plus grand que précédemment

$$2p (I / 2a) \Phi = (p/a) \Phi I$$

Le rotor comportant N conducteurs, le travail de l'ensemble des forces électromagnétiques, pour 1 tour, est

$$N (p/a) (\Phi I) = (p/a) N \Phi I$$

Or, puisque T est le couple dû à toutes ces forces électromagnétiques, le travail pour 1 tour peut s'écrire $T (2\pi)$; d'où :

$$T (2\pi) = (p/a) N \Phi I$$
$$T = (1/2\pi) (p/a) N \Phi I \quad (\Phi \text{ en Wb; } I \text{ en A; } T \text{ en Nm}).$$

5.2. Réversibilité de la machine à courant continu

On va faire fonctionner la machine à courant continu successivement en moteur puis en générateur (dynamo).

5.2.1. Fonctionnement en moteur :

La machine à courant continu est accouplée à un dispositif mécanique qui exerce sur son arbre un couple résistant T_r .

Un générateur débite dans le moteur un courant I : les forces de Laplace s'exercent sur les conducteurs logés dans les encoches. Le rotor tourne à la fréquence n (tr/s) dans le sens de ces forces qui sont donc des forces motrices : le couple électromagnétique T est moteur.

La rotation du rotor entraîne la création, dans son enroulement, de la f.é.m. induite E ; d'après la loi de Lenz E est de sens contraire au courant I (on lui donne parfois le nom de "force contre-électromotrice", f.c.é.m.).

Si R est la résistance de l'enroulement d'induit, la loi d'Ohm s'écrit :

$$U = R I + E$$

La puissance électrique $U I$ fournie par le générateur au moteur est la somme de deux termes :

$$U I = R I^2 + E I$$

Où : $R I^2$ = les pertes par effet Joule dans l'enroulement de l'induit ;

$Pe = E I$ = la puissance, dite électromagnétique.

Cette puissance peut être exprimée sous forme :

$$Pe = E I = (p/a) (N\Phi n) I$$



Et transformée comme :

$$P_e = E I = (1/2\pi) (\rho/a) (N\Phi I) 2\pi n$$

$$\text{Soit : } P_e = T (2\pi n)$$

La puissance électromagnétique, égale au produit du couple électromagnétique T par la vitesse angulaire de rotation $2\pi n$, passe intégralement de la forme électrique $E I$ à la forme mécanique $T (2\pi n)$.

$$E I \Rightarrow \text{moteur} \Rightarrow T (2\pi n)$$

Mais la puissance mécanique $T (2\pi n)$ n'est pas entièrement disponible sur l'arbre du moteur : des pertes magnétiques P_{mag} (dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault) se produisent dans les tôles du rotor par suite de leur déplacement devant les pôles du stator ;

Des pertes mécaniques $P_{\text{méc}}$ ont lieu au niveau des paliers soutenant l'arbre du moteur.

La puissance utile P_u , c'est-à-dire la puissance dont on dispose sur l'arbre, est la différence

$$P_u = P_e - (P_{\text{mag}} + P_{\text{méc}})$$

Il en résulte que le couple utile T_u appliqué par le moteur à la machine qu'il entraîne, est légèrement inférieur au couple électromagnétique T

$$T_u (2\pi n) = T (2\pi n) - (P_{\text{mag}} + P_{\text{méc}})$$

$$T_u = T - (P_{\text{mag}} + P_{\text{méc}}) / (2\pi n)$$

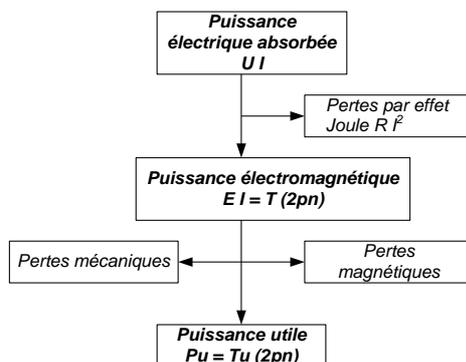
La différence entre T et T_u est appelé couple de pertes T_p

$$T_u = T - T_p$$

En conclusion, l'ensemble tourne à la vitesse de rotation n telle que

$$T_u = T_r$$

Le bilan de puissance du moteur à courant continu peut alors être représenté par le tableau suivant :



Il faut remarquer que le couple T_p est généralement très inférieur à T et l'on confond souvent le couple électromagnétique $T = (1/2\pi) (\rho/a) N\Phi I$ avec le couple utile T_u .



5.2.2. Fonctionnement en dynamo :

Si un moteur auxiliaire est accouplé à la machine à courant continu et exerce sur son arbre un couple moteur T_m : l'ensemble tourne à la fréquence n si bien qu'une f.é.m. E est induite dans le rotor.

Si l'enroulement d'induit est fermé sur un circuit extérieur le courant I circule dans le sens de E ; la tension qui apparaît entre les bornes de l'induit est :

$$U = E - R I$$

Une partie de la puissance $T_m (2\pi n)$ est consommée par suite des pertes mécaniques $P_{méc}$ et des pertes magnétiques P_{mag} ; le reste, c'est-à-dire la puissance électromagnétique P_e qui est :

$$P_e = T_m (2\pi n) - (P_{mag} + P_{méc}) = T (2\pi n)$$

Passe de la forme mécanique $T (2\pi n)$ à la forme électrique $E I$

$$P_e = T (2\pi n) = E I$$

La machine fonctionne en générateur

$$T (2\pi n) \Rightarrow \text{générateur} \Rightarrow E I$$

Le bilan de puissance établi précédemment est valable pour le fonctionnement en générateur à condition de le lire de bas en haut et de remplacer T_u par T_m .

6. Caractéristiques des moteurs électriques

6.1. Importance de la caractéristique mécanique

6.1.1. Définition

On appelle caractéristique mécanique d'une machine la courbe qui exprime le moment du couple sur l'arbre en fonction de la vitesse.

Cette caractéristique est particulièrement importante car, comme elle ne fait intervenir que des grandeurs mécaniques (le couple et la vitesse), elle est commune à toutes les machines, que ce soit des moteurs ou des appareils entraînés. Dans le premier cas, il s'agit du couple moteur T_m en fonction de la vitesse, soit $T_m = f(n)$. Dans le deuxième cas, c'est le couple résistant T_r en fonction de la vitesse, soit $T_r = f(n)$. En effet, quand on veut étudier les propriétés d'un moteur électrique, on ne peut pas faire abstraction de la machine qu'il aura à entraîner.

6.1.2. Fonctionnement d'un ensemble moteur - machine entraînée

❖ Point de fonctionnement

On détermine le point de fonctionnement M du groupe en représentant sur un même diagramme les caractéristiques mécaniques du moteur et de la machine qu'il entraîne. Au point d'intersection de ces deux caractéristiques, on a : $T_m = T_r$

A ce point correspondent habituellement le couple nominal (T_n) et la vitesse nominale (n_n) du groupe. Ces grandeurs nominales d'un moteur électrique (tension, puissance, vitesse) sont inscrites sur la plaque signalétique, l'intensité nominale correspondant à l'intensité la plus élevée que peut supporter ce moteur en régime permanent sans échauffement excessif.

❖ Stabilité

Il est intéressant de rechercher à quelle condition le fonctionnement de cet ensemble est stable. A cet effet, supposons que pour une cause extérieure ce groupe ralentisse, il y a deux possibilités :

Dans le premier cas, le ralentissement du groupe correspond à une augmentation du couple moteur qui devient supérieur au couple résistant (a). Dans ces conditions, à la première cause de nature externe s'oppose une cause interne qui tend à ramener le groupe à sa vitesse initiale.

Dans le deuxième cas (b), le ralentissement du groupe provoque une augmentation du couple résistant par rapport au couple moteur, ce qui a pour effet d'accroître le déséquilibre et d'entraîner ainsi l'arrêt du groupe.

Le même raisonnement peut s'appliquer à une cause extérieure qui tend à augmenter la vitesse du groupe. Dans le premier cas, la réaction interne tend à rétablir la vitesse initiale alors que, dans le deuxième cas, elle tend à accentuer l'écart, ce qui a pour effet de provoquer l'emballement du groupe.

On peut traduire mathématiquement la condition de stabilité en écrivant que la pente de la caractéristique $T_m - T_r$ doit être négative, soit :

$$\Delta(T_m - T_r) / \Delta N < 0$$

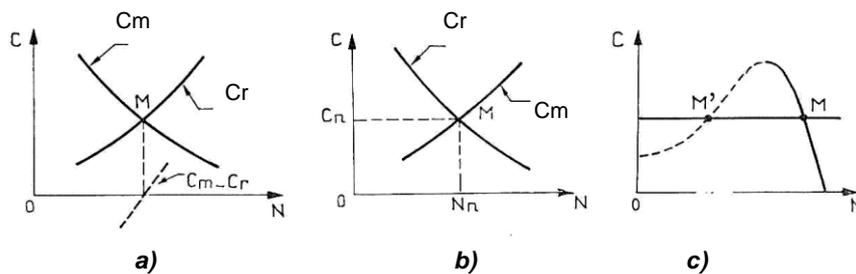


Fig. 5.2

Ce résultat s'applique à un moteur quelconque (continu ou alternatif). En effet, si l'on considère l'ensemble formé par un moteur asynchrone et la machine à couple constant qu'il entraîne (c), on constate qu'il y a deux points de fonctionnement possibles M et M'. De ces deux points, seul M est stable ; c'est ainsi que l'on peut représenter en trait plein le domaine stable de la caractéristique.

6.1.3. Démarrage de l'ensemble moteur – machine entraînée

La connaissance des caractéristiques mécaniques du moteur et de la machine entraînée est nécessaire pour la détermination du temps du démarrage de cet ensemble. En effet, on a :

$$T_m - T_r = K d\Omega/dt$$

Où K désigne le moment d'inertie de la partie tournante.

La connaissance du temps du démarrage d'un groupe est importante car, si ce temps est trop long, il peut en résulter un échauffement excessif du moteur qui peut provoquer sa destruction. Pour éviter cet inconvénient, on doit utiliser un moteur de plus fortes dimensions.

6.1.4. Caractéristiques mécaniques des machines entraînées

La caractéristique mécanique d'une machine entraînée est en général complexe. Toutefois celle-ci peut avoir une expression mathématique simple pour certaines applications.

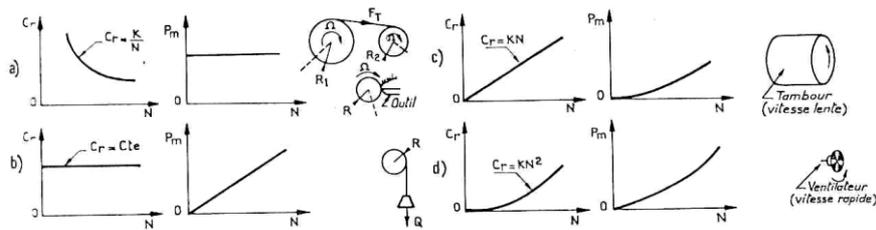


Fig. 5.3

- Couple inversement proportionnel à la vitesse (fig.5.3a) - Cet entraînement $T_r = K/n$ se rencontre quand on déroule un produit (tôle, papier, fil, etc.) d'un premier tambour afin de l'enrouler sur un deuxième tambour. L'analyse des conditions démontre que cet entraînement fonctionne à puissance constante.
- Couple constant (fig.5.3 b) - Ce couple est indépendant de la vitesse, aussi la puissance reçue est-elle proportionnelle à la vitesse. Ce fonctionnement est applicable à la plupart des engins de levage.
- Couple proportionnel à la vitesse (fig.5.3c) - Ce type d'entraînement est peu fréquent ; il concerne des machines qui tournent lentement, avec des tambours de grandes dimensions (machines à polir, à rendre les tissus brillants, etc.), le frottement étant proportionnel à la vitesse.
- Couple proportionnel au carré de la vitesse (fig.5.3d) - Cet entraînement est fréquent, car il concerne les machines qui tournent vite (ventilateurs, soufflantes, etc.), le frottement étant alors proportionnel au carré de la vitesse ; pour cette raison on l'appelle couple ventilateur.

6.2. Caractéristiques du moteur à excitation séparée

Le courant d'excitation J est maintenu constant : le moteur étant supposé bien compensé, le flux utile Φ reste invariable quel que soit le courant I dans l'induit, c'est-à-dire quel que soit le couple résistant T_r exercé sur l'arbre. Le moteur est à flux constant. Nous allons considérer les trois caractéristiques suivantes correspondant à la valeur nominale de la tension U .

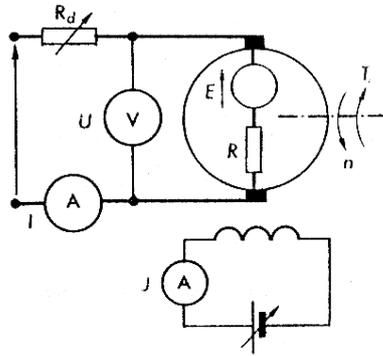


Fig. 5.4 moteur à excitation séparée

6.2.1. Caractéristiques de vitesse $n=f(I)$:

D'après l'expression de la f. c.é.m en fonction de la vitesse n : $E = \frac{p}{a} N\Phi n$

Et comme $U = E + RI$ alors $n = \frac{U - RI}{\frac{p}{a} N\Phi}$

- A vide : $n_0 = \frac{U - RI_0}{\frac{p}{a} N\Phi}$

- En charge :

L'expression $n = \frac{U - RI}{\frac{p}{a} N\Phi}$ montre que la fréquence de rotation est une fonction affine de courant

Dans la pratique, la chute de tension RI est toujours faible devant la tension appliquée U , aussi on peut conclure : **La caractéristique $n = f(I)$ est une droite descendante de pente très faible.** (Exemple voir figure 5.5)

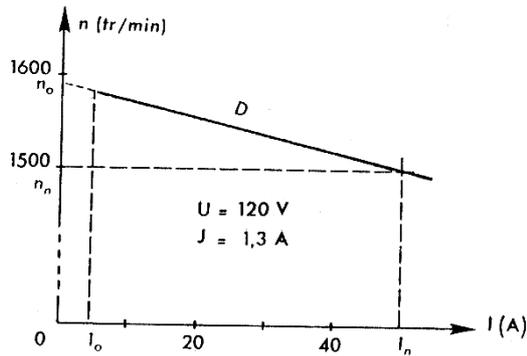


Fig 5.5

6.2.2. Caractéristiques de couple $T_u=f(I)$:

Puisque l'expression du couple électromagnétique est $T = (1/2\pi) (p/a) N\Phi I$, alors T est proportionnel à I (voir graphe fig 5.6 passant par l'origine). A cause des pertes magnétiques et mécaniques le couple utile T_u est légèrement inférieur au couple électromagnétique $T_u = T - T_p$ où T_p est le couple des pertes avec $T_p = (P_{mag} + P_{mec}) / (2\pi n)$

Puisque les pertes magnétiques et les pertes mécaniques sont sensiblement proportionnelles à la vitesse n (pour un courant d'excitation J donné) alors T_p est sensiblement constant. Dans ce cas $T_u = f(I)$ se déduit du graphe $T = f(I)$ par une translation verticale vers le bas d'une quantité égale à T_p (voir graphe D'u fig 5.6 dont l'abscisse à l'origine est I_0 absorbé à vide)

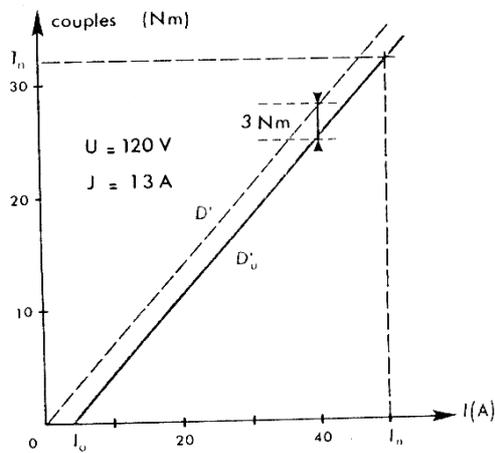


Fig 5.6

6.2.3. Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$:

On détermine facilement la caractéristique mécanique, soit par élimination graphique de l'intensité entre les deux caractéristiques précédentes, soit par calcul.

En effet, par calcul, on a :

$$T = (1/2\pi) (p/a) N\Phi I$$

$$\text{Et } I = (U - E) / R \Rightarrow I = (1/R) (U - p/a N \Phi n)$$

$$\text{D'où : } T = (1/2\pi) (p/a) N \Phi (1/R) (U - p/a N \Phi n)$$

A vide, lorsque $T = T_r = 0$, n prend une valeur n_0 telle que

$$U - p/a N \Phi n_0 = 0 \Rightarrow n_0 = U / (p/a N \Phi)$$

Lorsque T_r augmente, n diminue faiblement à partir de n_0 (voir graphe fig 5.7). Le couple utile T_u étant lié à T par la relation :

$$T_u = T - T_p$$

La caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ (voir graphe fig 5.7) est une droite faiblement inclinée par rapport à la verticale, dont l'abscisse à l'origine est $n(l_0) \approx n_0$.

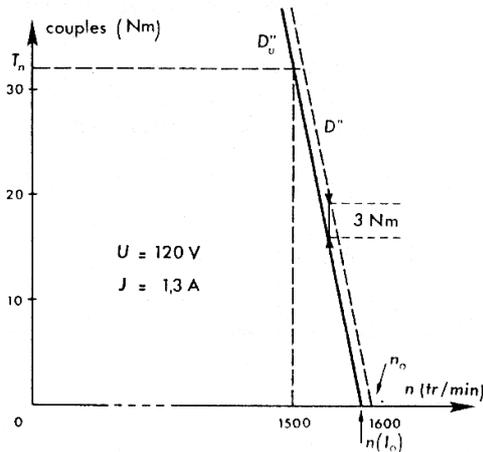


Fig 5.7

6.3. Caractéristiques du moteur à excitation shunt

Les caractéristiques de ce moteur sont les mêmes que celle d'un moteur à excitation séparée puisque le flux Φ est maintenu constant comme la tension U .

6.4. Caractéristiques du moteur série :

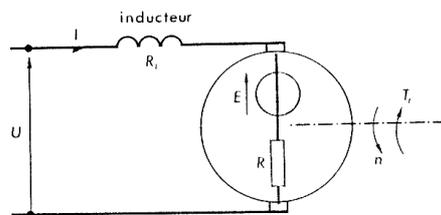


Fig. 5.8 moteur série

6.4.1. Caractéristique de vitesse $n = f(I)$

La fréquence de rotation a pour expression :
$$n = \frac{U - (R + R_i) I}{\frac{p}{a} N \Phi}$$

Mais le flux Φ n'est pas constant c'est une fonction de I

Supposons le circuit magnétique non saturé dans ce cas : $\Phi = k \times I$ avec $K =$ constante

Alors $n = f(I) = \frac{U - (R + Ri) I}{\left(\frac{p}{a} N K\right) I}$ c'est une branche d'hyperbole (voir fig 5.9)

En réalité il faut apporter deux corrections à la fonction précédente :

Aux faibles charges ($I \ll I_n$), le flux rémanent du circuit magnétique s'ajoute à kI . Dans ce cas pour la même valeur de I n est plus faible que celle indiquée par l'hyperbole (voir fig 5.9)

Lorsque la charge augmente le circuit magnétique se sature, le flux Φ croît moins vite que kI . Dans ce cas pour la même valeur de I n est légèrement supérieure à celle indiquée par l'hyperbole (voir fig 5.9)

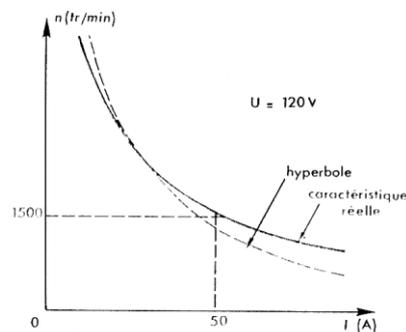


Fig. 5.9

6.4.2. Caractéristiques de couple $T_u = f(I)$:

L'expression du couple électromagnétique est $T = (1/2\pi) (p/a) N \Phi I$

Le flux Φ est une fonction de I

Aux faibles charges ($I \ll I_n$) : on a $\Phi = k \times I$ donc $T = (1/2\pi) (p/a) N k I^2$

$T = f(I)$ est une parabole (voir fig 5.10)

Lorsque le circuit magnétique se sature le flux Φ croît moins vite que kI . Dans ce cas $T = f(I)$ s'écarte progressivement de la parabole précédente (voir fig 5.10)

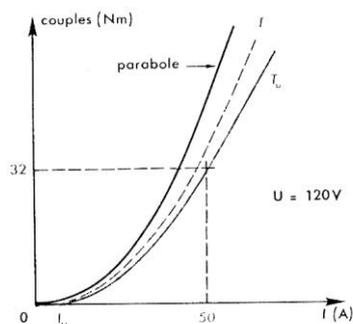


Fig. 5.10



Le couple utile T_u étant lié à T par la relation : $T_u = T - T_p$. Donc la caractéristique $T_u = f(I)$ se situe au dessous de $T = f(I)$ (voir fig5.10)

L'abscisse à l'origine I_0 est le courant qui serait appelé à vide lorsque $T_u = 0$. Il s'agit ici d'un courant fictif correspondant à une valeur de n non supportable par le moteur.

6.4.3. Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$:

En charge : Lorsque le couple T_r augmente le courant I appelé croît et la fréquence de rotation n décroît.

En éliminant I entre les deux caractéristiques précédentes on peut obtenir graphiquement la caractéristique mécanique (voir fig 5.11)

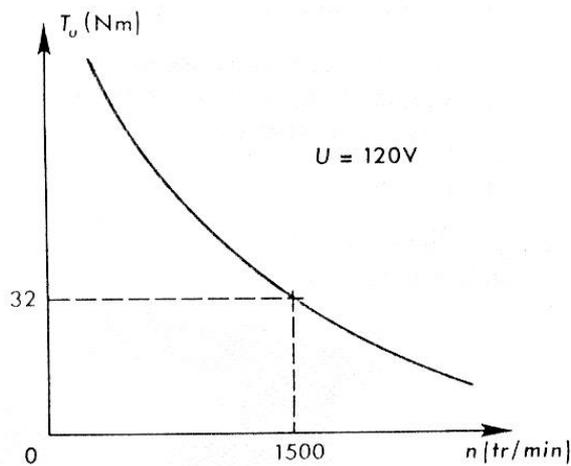


Fig. 5.11

T_u diminue lorsque n augmente : le couple utile est sensiblement inversement proportionnel à la fréquence de rotation :

$$T_u \approx K / n \quad \text{avec} \quad K = \text{Cte}$$

A vide lorsque $T_r = 0 \Rightarrow T_u = 0$: on observe alors sur la caractéristique du couple

$T_u = f(I)$ que $I = I_0 \ll I_n$. La caractéristique de vitesse $n = f(I)$ montre que la valeur de n qui correspondrait à I_0 serait très supérieure à n_n : il s'agit d'une fréquence de rotation que le moteur ne peut pas supporter : Le moteur se mettrait à tourner à vide.

7. Choix d'un moteur à courant continu - caractéristiques mécaniques

Pour faciliter le choix d'un moteur électrique en vue d'un entraînement donné, on distingue les deux types suivants :

- La caractéristique shunt - si la vitesse du moteur varie peu avec la charge (fig 5.12a) ;
- La caractéristique série - si la vitesse du moteur varie beaucoup avec la charge (fig.5.12b).

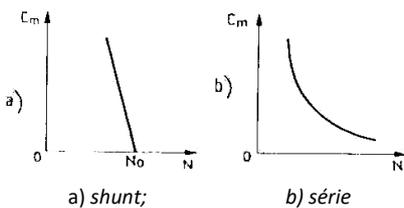


Fig. 5.12. Caractéristiques mécaniques

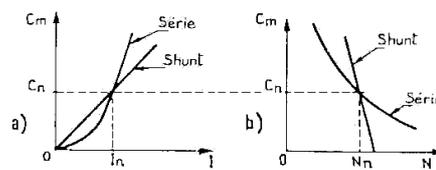


Fig. 5.13 Caractéristiques mécaniques de comparaison

Afin d'analyser les propriétés de ces deux types de caractéristiques, il est intéressant de comparer les comportements de deux moteurs (fig.5.13), shunt et série, de mêmes valeurs nominales quand ils doivent faire face à une brusque augmentation du couple résistant. Sur la figure où sont présentées les caractéristiques mécaniques des deux moteurs, les points d'intersection donnent les valeurs nominales de chacun des moteurs.

Supposons que pour un démarrage à pleine charge nécessitant une forte accélération (démarrage d'un véhicule) on ait besoin d'un couple double du couple nominal, on constate que le moteur série le fournit avec un courant plus faible que le moteur shunt, en revanche sa vitesse a diminué davantage. Si cette variation de vitesse n'est pas gênante (traction, engins de levage, etc.) la caractéristique série convient parfaitement, dans le cas contraire (tours, raboteuses, fraiseuses, etc.), il faut utiliser la caractéristique shunt.

8. Performances des moteurs

Nous avons montré, qu'en raison même de l'allure de la caractéristique d'un moteur (allure shunt ou série), celui-ci était en mesure d'adapter sa vitesse à l'effort demandé. En dehors de cette adaptation automatique, qui est bonne ou mauvaise suivant les applications, on peut souhaiter modifier volontairement la vitesse du moteur.

C'est ainsi que la vitesse de la broche d'un tour doit être fixée en fonction du diamètre de la pièce que l'on veut usiner. Dans d'autres applications comme la traction, il ne suffit pas de pouvoir faire varier la vitesse, il faut également pouvoir réaliser des démarrages et des freinages satisfaisants du moteur. Enfin dans d'autre cas comme les laminoirs, c'est l'inversion rapide du sens de marche qui est prépondérante.

C'est pour avoir les éléments de choix d'un moteur pour une application donnée que l'on étudie ses performances dans les domaines suivants : démarrage, variation de la vitesse, freinage et inversion du sens de marche.

8.1. Moteur shunt

8.1.1. Démarrage

❖ Problèmes du démarrage :

Pour assurer le démarrage d'un moteur, on doit se poser les deux questions suivantes : Le couple moteur est-il suffisant pour vaincre le couple résistant ? L'intensité appelée au moment du démarrage n'est-elle pas trop élevée ?

Le problème du couple suffisant au démarrage est toujours résolu avec le moteur shunt, on est simplement amené à limiter la valeur du courant appelé. Si l'on ne prend pas de précaution spéciale en appliquant la tension nominale à un moteur au repos, l'appel de courant I_0 est forcément très élevé, car le moteur étant arrêté, sa f.c.é.m. est nulle. En effet, si l'on admet que la chute de tension en charge est de deux pour cent, on a :

$$R_a I_n \approx U / 50 \quad \text{et} \quad R_0 I_0 = U, \quad \text{soit :} \quad I_0 / I_n \approx 50$$

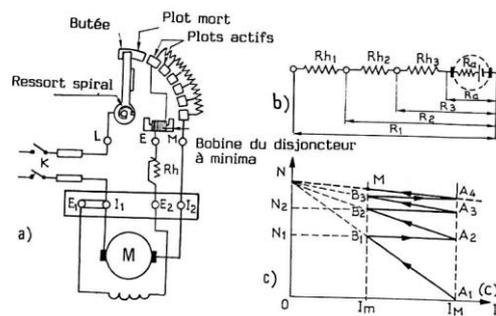
Une telle surintensité entraînerait la destruction de l'induit. Pour la limiter, on pourrait réduire la tension d'alimentation. Malheureusement, cette solution, qui est utilisée dans le groupe Léonard, n'est pas possible si la tension d'alimentation est fixe. Dans ce cas on est obligé d'utiliser un rhéostat de démarrage.

❖ Branchement du rhéostat de démarrage

Le branchement d'un rhéostat de démarrage (fig. 6.1) doit être effectué avec certaines précautions. Le rhéostat porte trois bornes désignées par les lettres L, E, M.

Pour alimenter l'inducteur, il suffit de relier E1 à I1 au moyen d'une barrette sur la plaque à bornes, puis de relier E2 à E, car la connexion intérieure au rhéostat met E en liaison avec le premier plot ; le moteur est ainsi excité dès que la manette prend contact avec ce plot, c'est-à-dire avant le démarrage.

Le moteur est mis en route en manœuvrant la manette, celle-ci étant maintenue sur le dernier plot par l'attraction d'un électro-aimant inséré dans le circuit de l'inducteur. Pour arrêter le moteur, il suffit d'ouvrir l'interrupteur K ; le courant étant coupé dans l'induit et dans l'inducteur, la manette est rappelée par un ressort spiral sur le plot mort, ce qui remet le rhéostat dans les conditions de démarrage.



Démarrage manuel avec un rhéostat de démarrage : a) Schéma principal ; b) Schéma des résistances du rhéostat de démarrage ; c) Caractéristiques de démarrage

Fig. 6.1



Il est important de signaler le fait suivant :

Un moteur shunt dont l'excitation est coupée s'emballe.

En effet, en marche normale, on a :

$$U = E' + R_a I_a \approx E' = p/a n N \Phi, \quad \text{puisque } R_a \text{ est faible}$$

D'où : n est inversement proportionnelle à Φ si $\Phi \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$

C'est pour éviter cet inconvénient grave en cas de rupture accidentelle du circuit d'excitation, que l'électro-aimant est alimenté par l'intermédiaire du circuit d'excitation. Enfin, il est important de noter :

L'excitation du moteur shunt doit être maximale au démarrage.

En effet, comme le couple est proportionnel au courant de l'induit et au flux inducteur, on aura un appel de courant plus faible si le flux est maximal. C'est pourquoi, avant le démarrage, on doit s'assurer que le rhéostat de champ est en court-circuit.

Il est important de noter que, pour réaliser de bonnes conditions de démarrage d'un ensemble moteur et machine entraînée, il est nécessaire de déterminer les durées de démarrage sur les différents plots en tenant compte de la caractéristique de la machine entraînée.

La protection du moteur contre tout échauffement excessif est assurée par un relais thermique qui se présente sous la forme d'un bilame.

Le démarrage d'un moteur peut s'effectuer manuellement ou semi-automatiquement. Le schéma du démarrage semi-automatique, comporte des contacteurs et des relais électromagnétiques. Il faut noter que dans l'industrie, on a tendance à remplacer de plus en plus les relais électromagnétiques par des relais statiques (électroniques). Ils présentent des avantages suivants : les armoires de commande sont avec dimensions réduites, le fonctionnement est moins bruyant, les coûts d'installation sont moins élevés, etc.

8.1.2. Variation de la vitesse

Le moteur shunt a, sur les moteurs à courant alternatif, l'avantage d'être très souple car on dispose de plusieurs procédés pour faire varier sa vitesse.

Si on retourne à l'expression générale de la vitesse, on a :

$$n = (U - R I) / k \Phi \quad \text{avec : } R = R_a + R_h$$

Dans ces conditions on constate qu'il y a trois paramètres (R_h, Φ, U) qui peuvent être réglés. Cela donne trois possibilités suivantes :

❖ Réglage rhéostatique

Comme le flux Φ est constant, car on a toujours intérêt à faire fonctionner le moteur avec le flux maximal qu'il peut délivrer, on a :

$$n = (U - R I) / k \Phi = k' (U - R I) \quad T = K_1 \Phi I = K_1'' I$$

Ainsi les caractéristiques $n(I)$ représentent à une échelle convenable les caractéristiques $n(T)$. Il est facile de l'obtenir en représentant les intersections avec les axes de coordonnées (fig.6.2a), soit :

Pour $T = 0, l = 0, n = k' U$; pour $n = 0, l = U / R, T = K1'' U / R$

Ce type de réglage a l'avantage d'être simple à réaliser, mais représente de graves inconvénients aussi bien sur le plan technique que sur le plan économique. En effet, du point de vue technique, on constate que les caractéristiques sont de plus en plus tombantes.

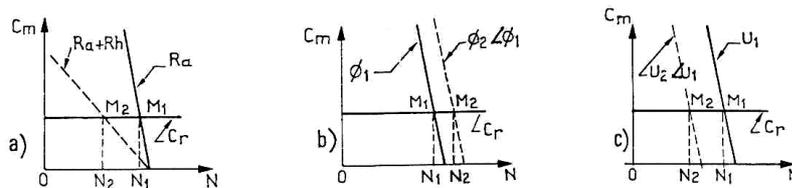


Fig. 6.2

Il résulte que, pour une charge entraînée à couple résistant constant la chute de vitesse dépend de l'importance de la charge. On traduit ce résultat en disant que la caractéristique qui était shunt, prend alors une allure série. Sur le plan technique, nous retiendrons le résultat suivant :

Un bon réglage de vitesse doit provoquer le déplacement des caractéristiques parallèlement à la caractéristique d'origine.

Par ailleurs, ce réglage est également mauvais sur plan économique car la consommation d'énergie dans le rhéostat est d'autant plus importante que la chute de vitesse réclamée est plus élevée. C'est ainsi qu'à la demi-vitesse, le rhéostat consomme autant d'énergie que le moteur.

En conséquence, ce réglage n'est pas utilisé dans la pratique pour le fonctionnement en régime permanent, toutefois il demeure intéressant pour les régimes transitoires comme le démarrage et le freinage.

❖ Réglage par le flux

Le démarrage d'un moteur shunt doit toujours être assuré avec le flux maximal (ou flux nominal) et la vitesse normale du moteur étant atteinte quand la tension nominale est appliquée aux bornes de l'induit.

Dans ces conditions, on n'a pas la possibilité d'augmenter le flux, on peut seulement le réduire en diminuant le courant J d'excitation par l'intermédiaire d'un rhéostat de champ. Si l'on se réfère à la relation de base, on constate que la diminution du flux a pour effet d'augmenter la vitesse (fig.6.2b).

Il est alors évident qu'on n'a pas intérêt à réduire simultanément le flux et la tension car les deux effets sont opposés. C'est pourquoi le réglage du flux aura toujours lieu avec le rhéostat d'induit en court-circuit.

Comme la chute de tension dans l'induit est faible, soit quelques pour cent de la tension d'induit, on a : $n \approx U / k \Phi$

Dans ces conditions, la caractéristique se déplace sensiblement parallèlement à l'axe des couples. Ce mode de réglage est donc très satisfaisant du point de vue technique. Il est également bon du point de vue économique car la puissance dissipée dans l'inducteur est faible par rapport à la puissance absorbée et le rendement du moteur ne sera sensiblement modifié.



En dehors de ces avantages, il faut noter deux inconvénients :

- Avec ce procédé on ne peut qu'augmenter la vitesse du moteur par rapport à sa vitesse nominale ;
- Si le couple résistant est constant ($T = K_1 \Phi I = Tr = Cte$), l'intensité augmentera quand on diminuera le flux et le moteur risquera de chauffer.

Le deuxième inconvénient n'a pas lieu si l'entraînement est à puissance constante ($P = U I = Cte$). Pour une tension constante le courant reste constant.

En conséquence, avant d'utiliser ce mode de réglage, il faut s'assurer que le moteur est en mesure de supporter mécaniquement la vitesse maximale et que la température de son induit ne risque pas de dépasser la valeur admissible. Pour ces deux raisons, la plage de réglage reste assez limitée (soit d'un à trois fois la vitesse nominale).

❖ Réglage par la tension

On règle le flux à sa valeur maximale en mettant en court-circuit le rhéostat de champ afin que le courant absorbé par l'induit soit minimal. Ainsi obtient-on la caractéristique à tension nominal (fig.6.2 c). L'excitation n'étant pas modifiée, si l'on applique à l'induit des tensions de plus en plus faibles, on obtient une famille de caractéristiques parallèles.

Ce mode de réglage, qui permet de réduire à volonté la vitesse d'un groupe (moteur et machine entraînée), est excellent d'une part du point de vue technique car les caractéristiques ne sont pas déformées (elles conservent leur allure shunt), d'autre part le rendement demeure élevé à toutes vitesses.

Le seul inconvénient de ce procédé idéal est la nécessité d'une tension continue réglable. Pour produire cette tension, on utilise soit un convertisseur mécanique, soit un convertisseur électronique.

8.1.3. Freinage

Dans les nombreuses applications (traction, engins de levage, etc.) le problème du freinage est important. Certes, on peut toujours faire appel à des systèmes mécaniques, mais ceux-ci sont généralement complexes et les organes de freinage (patins, etc.) s'usent rapidement.

C'est pourquoi, on préfère utiliser une solution électrique qui consiste à transformer en énergie électrique l'énergie cinétique du moteur et de la machine entraînée. Le moteur étant alors transformé en génératrice, le couple électromagnétique de la machine est un couple résistant de freinage.

Suivant la façon dont on utilise l'énergie électrique de freinage, on distingue les trois types de freinage suivants :

❖ Freinage rhéostatique

L'énergie est alors dissipée dans un rhéostat (fig.6.3a). A cet effet, l'inducteur restant branché sur la ligne (alimentation à tension constante), on débranche l'induit et on le fait débiter dans un rhéostat en mettant l'interrupteur dans la position (2). Le courant débité est donné par la loi d'Ohm, $I = E / (R_a + R_h)$, où R_h est la résistance de rhéostat d'absorption.

Le couple de freinage est proportionnel à l'intensité ($T = K I_a \Phi = K' I_a$), puisque le flux est constant, mais la f.é.m. de la dynamo diminue au fur et à mesure que la vitesse décroît. Ainsi, pour maintenir un couple de freinage suffisant, on doit diminuer progressivement la résistance du rhéostat.

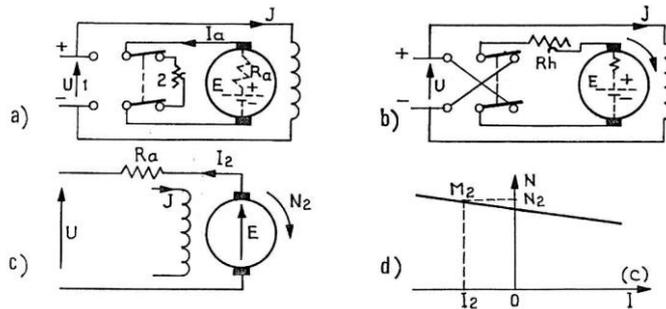


Fig. 6.3

Ce procédé est très simple, mais il ne peut suffire à stopper la machine. En effet, comme la résistance du circuit ne peut pas descendre au-dessous de R_a , l'intensité et le couple deviennent presque nuls quand la vitesse est faible. C'est pourquoi, on doit ajouter à ce système un dispositif de blocage mécanique.

❖ Freinage à contre-courant

Le freinage rhéostatique a l'inconvénient de ne pas être assez efficace pour les applications (engins de levage, etc.) qui nécessitent parfois un arrêt brutal du déplacement de la charge. Dans ce cas, on lui préfère le freinage à contre-courant (fig.6.3b). Il consiste à renverser le courant dans l'induit, en croisant les deux bornes de son alimentation, tout en maintenant le sens du courant dans l'inducteur.

Une telle opération ne peut se faire que si l'on insère un rhéostat R_h dans le circuit de l'induit. En effet, comme la f.é.m. de la génératrice ajoute son effet à la tension d'alimentation, l'énergie globale fournie étant dissipée dans le rhéostat, on a :

$$I = (U + E) / (R_a + R_h) \quad , \quad \text{avec} \quad T = k I \Phi$$

Il est ainsi possible de régler le couple de freinage en modifiant l'intensité I par l'intermédiaire du rhéostat. Si l'on compare ce procédé au précédent, on constate que le contrôle est beaucoup plus souple, mais qu'il est encore moins économique. En effet, non seulement l'énergie de freinage n'est pas récupérée, mais aussi le réseau continue à fournir de l'énergie durant le freinage. De plus, on doit s'assurer que l'alimentation est coupée dès que le moteur s'arrête car, sans cette précaution, celui-ci se remettrait en marche dans le sens inverse.

❖ Freinage par récupération

Ce procédé n'est pas simple à réaliser. En effet, si l'on considère le circuit équivalent d'une réceptrice (fig.6.3c), on constate une certaine symétrie entre la tension U du réseau et la f.c.é.m. E' du moteur. Pour que la f.c.é.m. E' se transforme en f.é.m. E , il faut que celle-ci soit supérieure à la tension d'alimentation. Dans ces conditions, le courant dans la machine change de sens, ce qui a pour effet de changer le sens du couple électromagnétique. Comme le sens de rotation n'a pas changé, le couple ainsi exercé a pour effet de la freiner.

Pour obtenir ce résultat, on a les deux possibilités suivantes :

- Fonctionnement à tension constante. La condition $E > U$ ne peut être réalisée que si la vitesse du groupe augmente légèrement (fig.6.3d). Ce procédé encore appelé freinage en survitesse est utilisé en traction de montagne dans les descentes.
- Fonctionnement à tension réglable. Alors que le procédé précédent a des applications limitées, car il n'est pas possible de réduire la vitesse du moteur, il en est tout autrement si l'on dispose d'une tension réglable. En effet, en réduisant cette tension au fur et à mesure que le groupe ralentit, on pourra maintenir la condition $U < E$ même aux plus basses vitesses. Ce procédé, qui présente une très grande souplesse a malheureusement l'inconvénient de nécessiter un groupe convertisseur mécanique ou électronique.

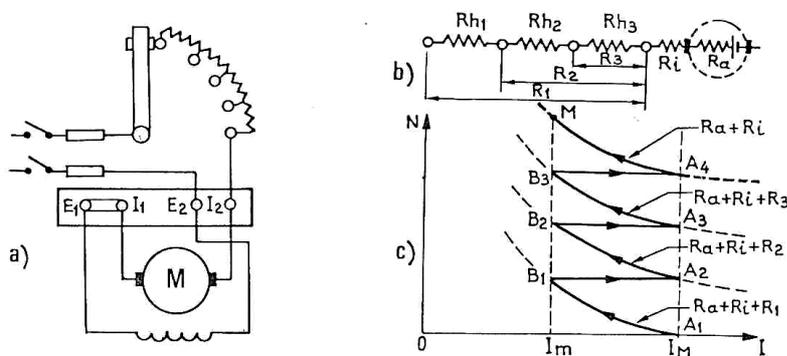
8.1.4. Inversion du sens de la marche

Pour inverser le sens de rotation, il faut inverser le courant soit dans l'inducteur, soit dans l'induit, c'est-à-dire modifier les connexions entre l'inducteur et l'induit. Pour certaines applications (laminoirs, etc.), cette inversion du sens de rotation doit être précédée par un freinage rapide du moteur. Dans ce cas la meilleure solution considère à utiliser un groupe convertisseur mécanique ou électronique.

8.2. Moteur série

8.2.1. Démarrage

Le montage est simple car il suffit de relier le rhéostat en série avec l'induit et l'inducteur (fig.6.4a). Le démarrage s'effectue en conduisant la manette du plot zéro, qui est un plot "mort" jusqu'au dernier, mais en marquant un temps d'arrêt sur chacun d'eux pour laisser le rotor prendre sa vitesse. On arrête le moteur en revenant au zéro.



Démarrage manuel avec un rhéostat de démarrage : a) Schéma principal ;
 b) Schéma des résistances du rhéostat de démarrage ; c) Caractéristiques de démarrage
 Fig. 6.4

8.2.2. Réglage de la vitesse

On utilise les mêmes procédés qu'avec un moteur shunt, à savoir :

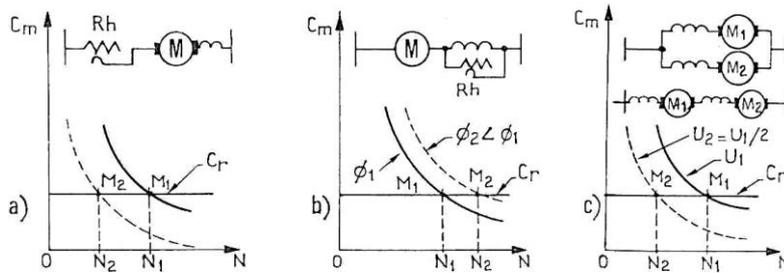


Fig. 6.5

❖ Réglage rhéostatique

Quand on insère une résistance avec l'induit, on obtient une diminution de la vitesse car la caractéristique $n(I)$ subit une translation (fig.6.5a).

❖ Réglage par le flux

Comme pour le moteur shunt, la caractéristique se déplace sensiblement parallèlement à elle-même (fig.6.5b). La diminution du flux ayant pour effet l'augmentation de la vitesse.

❖ Réglage de la tension

On peut obtenir une réduction de la vitesse en diminuant la tension d'alimentation (fig.6.5c). A cet effet, il est intéressant de disposer de deux moteurs identiques. Suivant qu'on les fait fonctionner en série ou en parallèle, on obtient deux vitesses de régime, la deuxième étant la moitié de la première. Ce procédé est utilisé en traction électrique, certaines locomotives ayant jusqu'à quatre moteurs identiques, ce qui permet d'obtenir trois vitesses qui correspondent aux tensions U , $U/2$ et $U/4$.

8.2.3. Freinage et inversion du sens de la marche

La génératrice série n'étant pas stable, on ne peut obtenir le freinage électrique d'un moteur série que si on l'alimente en excitation séparée. Ce procédé est utilisé en traction électrique.

Pour inverser le sens de marche, on doit, comme pour le moteur shunt, permuter les connexions entre l'inducteur et l'induit.

Remarque

Si l'on inverse à la fois le sens du courant dans l'inducteur et dans l'induit, le sens de rotation ne change pas. Un tel moteur qui fonctionne aussi bien en continu qu'en alternatif est appelé moteur universel. Sa construction doit être plus soignée que celle d'un moteur à courant continu classique pour réduire les pertes par courants de Foucault.



EXERCICE

Un moteur à courant continu, en excitation indépendante maintenue constante, a pour résistance d'induit $R = 0,80 \Omega$. Il est alimenté sous une tension nominale

$U = 130 \text{ V}$ également maintenue constante.

- A vide, l'induit absorbe le courant $I_0 = 1,2 \text{ A}$;
 - En charge, lorsque le courant I est de 20 A , la fréquence de rotation vaut 1200 tr/min (fonctionnement normal).
- a) La pointe de courant acceptée au démarrage étant égale à 2, calculer la valeur de la résistance R_d à mettre en série avec l'induit.
- b) Déterminer, pour le fonctionnement en charge,
- La f.é.m. E ,
 - Le couple électromagnétique T ,
 - Le couple de pertes T_p (que l'on supposera constant quel que soit n),
 - La puissance utile P_u .
- c) Calculer la fréquence de rotation :
- A vide ;
 - Lorsque le couple résistant vaut 10 Nm .

SOLUTION :

Au démarrage $n = 0 \Rightarrow E = 0$ le modèle du moteur se réduit à une résistance.

La loi d'Ohm permet de calculer

$$R + R_d = U / I_d \Rightarrow R + R_d = 130 / (2 \times 20) = 3,25 \Omega$$

On en déduit la valeur du rhéostat de démarrage

$$R_d = 3,25 - 0,80 = 2,45 \Omega$$

Lorsque l'induit tourne l'expression de la f.é.m. est $E = U - RI$

On peut alors calculer sa valeur de fonctionnement normal $E = 130 - 0,8 \times 20 = 114 \text{ V}$

L'expression du couple électromagnétique est $T = EI / 2\pi n$

$$\text{D'où : } T = (114 \times 20 \times 60) / 2\pi \times 1200 = 18,1 \text{ Nm}$$

A vide, les pertes autres que par effet Joules ont pour valeur

$$p = UI_0 - RI_0^2 \Rightarrow p = 130 \times 1,2 - 0,8 \times 1,2^2 = 155 \text{ W}$$

On remarque qu'elles sont voisines de la puissance UI_0 absorbée à vide.

$$\text{On en déduit le couple de pertes } T_p = p / 2\pi n \Rightarrow T_p = 155 / 2\pi(1200/60) = 1,2 \text{ Nm}$$

Le couple utile, en fonctionnement normal, vaut alors

$$T_u = T - T_p \Rightarrow T_u = 18,1 - 1,2 = 16,9 \text{ Nm}$$

Et la puissance utile

$$P_u = 2\pi n T_u \Rightarrow P_u = 2\pi (1200/60) 16,9 \approx 2125 \text{ W}$$

$$\text{A vide la f.é.m. a pour valeur } E_0 = U - RI_0 \Rightarrow E_0 = 130 - 0,8 \times 1,2 = 129 \text{ V}$$



On constate que $E_0 \approx U$

A flux constant, la f.é.m. est proportionnelle à la fréquence de rotation ; on peut écrire :

$$n_0 / 129 = 1200 / 114 \quad \Rightarrow \quad n_0 = 1200 \times 129 / 114 = 1356 \text{ tr/min}$$

$$n_0 \approx 1360 \text{ tr/min}$$

Le couple résistant vaut maintenant 10 Nm. On en déduit le couple électromagnétique :

$$T = T_u + T_p \quad \Rightarrow \quad T = 10 + 1,2 = 11,2 \text{ Nm}$$

L'expression $T = (1/2\pi) (p/a) N \Phi I$

montre, qu'à flux constant, le couple électromagnétique est proportionnel au courant I dans l'induit.

On peut calculer le courant :

$$I / 11,2 = 20 / 18,1 \quad \Rightarrow \quad I = 20 \times 11,2 / 18,1 = 12,4 \text{ A}$$

Et en déduire la nouvelle f.é.m.

$$E = U - RI \quad \Rightarrow \quad E = 130 - 0,8 \times 12,4 = 120 \text{ V}$$

La fréquence de rotation est telle que

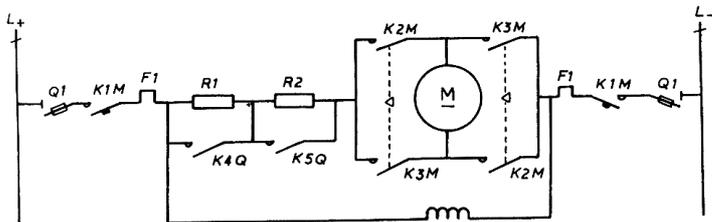
$$n / 120 = 1200 / 114 \quad \Rightarrow \quad n = 1200 \times 120 / 114 = 1263 \approx 1260 \text{ tr/min}$$

9. Démarrage semi-automatique des moteurs à courant continu

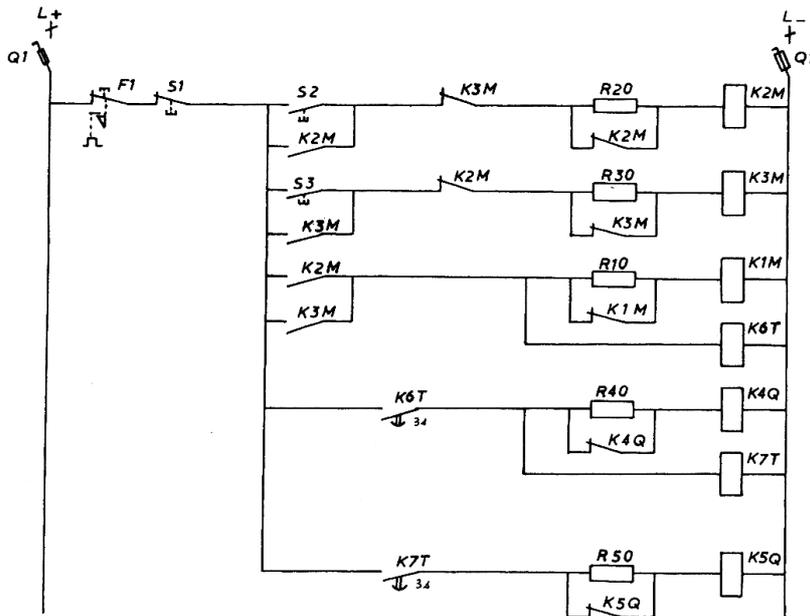
9.1. Moteur à excitation en dérivation :

9.1.1. Démarrage semi-automatique à deux sens de rotation :

❖ Schéma développé du circuit de puissance :



❖ Schéma développé du circuit de commande :





Légende :

*Q1 : fusible sectionneur
F1 : relais thermique
S1 : bouton poussoir arrêt
S2 : bouton poussoir marche avant
S3 : bouton poussoir marche arrière
K1M : discontacteur principal
K2M : contacteur marche avant
K3M : contacteur marche arrière
K4Q : contacteur deuxième temps
K5Q : contacteur troisième temps
K6T : relais temporisé deuxième temps
K7T : relais temporisé troisième temps
R10, R20,
R30, R40,
R50 : résistances d'économie
R1 : résistance deuxième temps
R2 : résistance troisième temps
M : moteur continu à excitation en dérivation*

❖ Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine K2M qui :

- S'auto-alimente
- Excite les bobines K1M et K6T
- Permet l'alimentation du moteur à travers les deux résistances R1 et R2.

Le moteur démarre.

Au bout de trois secondes, le contact de K6T se ferme et alimente les bobines K4Q et K7T ce qui provoque le shuntage de la résistance R1 ; la vitesse du moteur augmente.

Trois secondes après cette phase, le contact de K7T se ferme et alimente la bobine K5Q. La résistance R2 est alors court-circuitée et le démarrage du moteur est terminé.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S1) ou un fonctionnement du relais thermique (F1) coupe l'alimentation de toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir S3 excite la bobine K3M qui exécute le même cycle que précédemment. Ce contacteur alimente l'induit en tension inverse ce qui provoque le changement de sens de rotation du moteur.

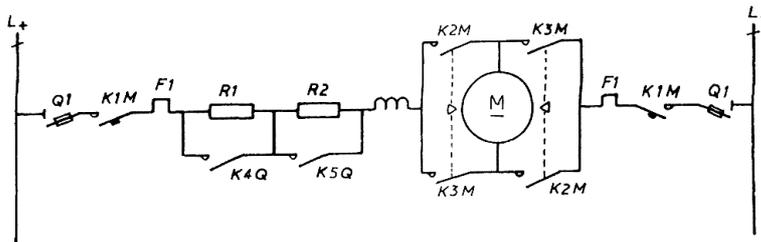
Remarques :

- Tous les contacteurs possèdent leur propre résistance d'économie.
- Les contacteurs K2M et K3M ont un verrouillage électrique et mécanique afin d'éviter de court-circuiter l'induit.

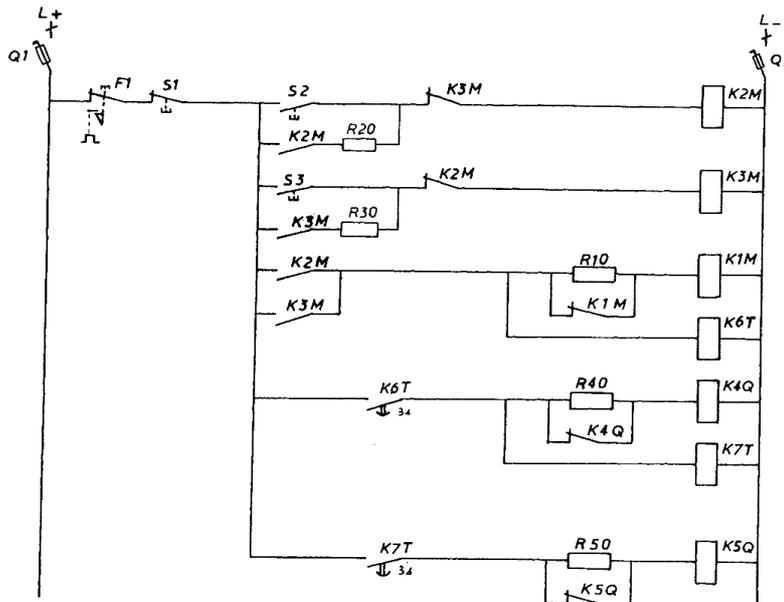
9.2. Moteur à excitation en série :

9.2.1. Démarrage semi-automatique à deux sens de rotation :

❖ Schéma développé du circuit de puissance :



❖ Schéma développé du circuit de commande :





Légende :

*Q1 : fusible sectionneur
F1 : relais thermique
S1 : bouton poussoir arrêt
S2 : bouton poussoir marche avant
S3 : bouton poussoir marche arrière
K1M : discontacteur principal
K2M : contacteur marche avant
K3M : contacteur marche arrière
K4Q : contacteur deuxième temps
K5Q : contacteur troisième temps
K6T : relais temporisé deuxième temps
K7T : relais temporisé troisième temps
R10, R20,
R30, R40,
R50 : résistances d'économie
R1 : résistance deuxième temps
R2 : résistance troisième temps
M : moteur continu à excitation en série*

❖ Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine K2M qui :

- S'auto-alimente
- Excite les bobines K 1M et K6T
- Permet l'alimentation du moteur à travers les deux résistances R 1 et R 2.

Le moteur démarre.

Au bout de trois secondes, le contact de K6T se ferme et alimente les bobines K4Q et K7T ce qui provoque le shuntage de la résistance R1 ; la vitesse de rotation du moteur augmente.

Trois secondes après cette phase, le contact de K7T se ferme et alimente la bobine K5Q ; la résistance R2 est alors court-circuitée et le démarrage du moteur est terminé.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S1) ou un fonctionnement du relais thermique (F 1) coupe l'alimentation de toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir S3 excite la bobine K3M qui décrit le même cycle que précédemment. Le contacteur alimente l'induit en tension inverse ce qui provoque le changement du sens de rotation du moteur.

Remarques :

- Tous les contacteurs possèdent leur propre résistance d'économie.
- Les contacteurs K 2M et K 3M ont un verrouillage électrique et mécanique afin d'éviter de court-circuiter l'induit.



Légende :

*Q1 : fusible sectionneur
F1 : relais thermique
S1 : bouton poussoir arrêt
S2 : bouton poussoir marche avant
S3 : bouton poussoir marche arrière
K1M : discontacteur principal
K2M : contacteur marche avant
K3M : contacteur marche arrière
K4Q : contacteur deuxième temps
K5Q : contacteur troisième temps
K6T : relais temporisé deuxième temps
K7T : relais temporisé troisième temps
R10, R20,
R30, R40,
R50 : résistances d'économie
R1 : résistance deuxième temps
R2 : résistance troisième temps
M : moteur continu à excitation composée*

❖ Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine K 2M qui :

- S'auto-alimente
- Excite les bobines K1M et K6T
- Permet l'alimentation du moteur à travers les deux résistances R 1 et R 2.

Le moteur démarre.

Au bout de trois secondes, le contact de K6T se ferme et alimente les bobines K4Q et K7T ce qui provoque le shuntage de la résistance R1 ; la vitesse du moteur augmente.

Trois secondes après, le contact de K7T se ferme et alimente la bobine K5Q. La résistance R2 est alors court-circuitée et le démarrage du moteur est terminé.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S1) ou un fonctionnement du relais thermique (F 1) coupe l'alimentation de toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir S3 excite la bobine K3M qui décrit le même cycle que précédemment. Ce contacteur alimente l'induit en tension inverse ce qui provoque le changement du sens de rotation du moteur.

Remarques :

- Tous les contacteurs possèdent leur propre résistance d'économie.
- Les contacteurs K 2M et K 3M ont un verrouillage électrique et mécanique pour éviter le court-circuitage de l'induit.



10. Les moteurs asynchrones triphasés

10.1. Interprétation des différents schémas électriques et des différentes commandes :

10.1.1. Normalisation des symboles et classification des différents schémas électriques

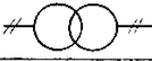
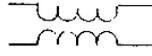
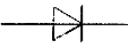
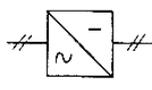
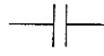
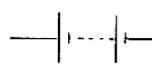
❖ Normalisation des symboles :

Les éléments qui composent le plan d'un dispositif de commande à courant alternatif sont représentés par des symboles normalisés et par des lettres repères.

Les éléments les plus rencontrés dans un plan sont les suivants :

Lettre repère	Désignation	Symbole
L1 L2 L3	Potential phase	—
N	Potential neutre	—
PE	Conducteur de protection	—
L +	Potential positif	—
L -	Potential négatif	—
	Signal alternatif	~
	Signal continu	—

Lettre repère	Désignation	Symbole
PE	Conducteur de protection	— ⊕
E	Terre	⊕
-	Equipotentialité	▽

Lettre repère	Désignation	Symbole
T	Transformateur	Schéma unifilaire 
		Schéma développé et multifilaire 
V	Diode de redressement	
V	Convertisseur alternatif/continu (schéma fonctionnel)	
C	Condensateur	
G	Pile ou batterie (Le trait long correspond à la polarité positive et le trait court à la polarité négative)	

Lettre repère	Désignation	Symbole
	Fonction disjoncteur	x
	Fonction contacteur	□
	Fonction déclenchement automatique	■
	Fonction thermique	
	Fonction magnétique	
	Fonction magnétothermique	
	Fonction accrochage libéré	
	Fonction accrochage en prise	
F	Fusible	
Q	Disjoncteur	
K M	Contacteur	
K M	Discontacteur	
F	Relais thermique	
F	Relais magnétique	
F	Relais magnétothermique	
F	Contact à fermeture d'un relais thermique (contact à accrochage)	
F	Contact à ouverture d'un relais thermique (contact à accrochage)	

Lettre repère	Désignation	Symbole
K	Commande électromagnétique	
	Contact de commande à fermeture	
	Contact de commande à ouverture	
	Contact avec chevauchement	
	Contact de passage à l'action	
	Contact de passage au relâchement	
	Contact de passage à l'action et au relâchement	
	Contact à fermeture à position maintenue	
	Contact à ouverture à position maintenue	
	Contact à fermeture temporisé à la fermeture	
	Contact à fermeture temporisé à l'ouverture	
	Contact à ouverture temporisé à l'ouverture	
	Contact à ouverture temporisé à la fermeture	
	Contact de puissance à fermeture	
	Contact de puissance à ouverture	
Y	Organe de commande électro-aimant, électrovanne	

Lettre repère	Désignation	Symbole
	1 Sens de mouvement rectiligne	
	2 Sens de mouvement rectiligne	
	1 Sens de mouvement de rotation	
	2 Sens de mouvement de rotation	
	Couplage étoile	
	Couplage triangle	
M	Moteur symbole général	
M	Moteur asynchrone triphasé rotor en court-circuit	
M	Moteur asynchrone triphasé rotor bobiné	
M	Moteur asynchrone monophasé	
M	Moteur synchrone triphasé	
M	Moteur continu	
L	Enroulement séparé ou dérivation	
L	Enroulement série	
L	Enroulement de compensation	
Y	Frein serré	
• Y	Frein desserré	

Lettre repère	Désignation	Symbole
H	Lampe de signalisation	
H	Sonnerie	

❖ Classification des différents schémas électriques :

Les schémas sont des représentations graphiques conventionnelles d'une installation, ou d'une partie d'installation, qui montrent les relations mutuelles des différentes parties de l'équipement et les moyens de liaison employés à cet effet.

Les schémas électriques sont établis dans le but de décrire principalement les connexions électriques. Il en existe plusieurs types. Parmi les représentations on trouve :

❖ Représentation développée

Elle est destinée à faire comprendre le fonctionnement d'une installation par des symboles, des connexions électriques et autres liaisons nécessaires.

Exemples de schéma développé

Circuit de puissance (fig.2-1)

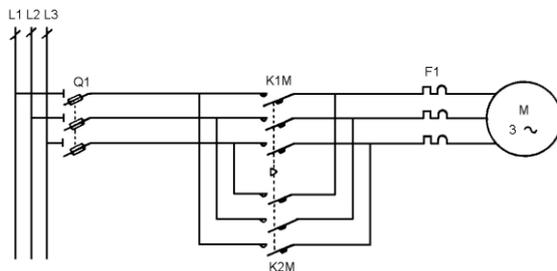


fig.2-1

Circuit de commande (fig.2-2)

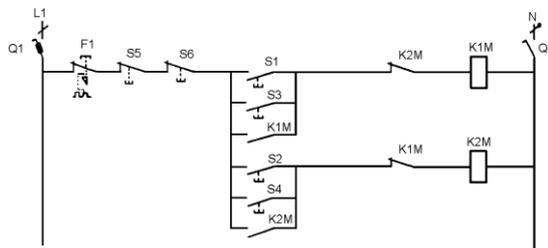


fig.2-2

Légende pour les deux schémas

- Q1 : fusible sectionneur
- F1 : relais de protection magnétothermique
- S1 : bouton poussoir marche avant : poste de travail N°1
- S3 : bouton poussoir marche avant : poste de travail N°2
- S2 : bouton poussoir marche arrière : poste de travail N°1
- S4 : bouton poussoir marche arrière : poste de travail N°2
- S5 : bouton poussoir arrêt : poste de travail N°1
- S6 : bouton poussoir arrêt : poste de travail N°2
- K1M : discontacteur marche avant
- K2M : discontacteur marche arrière.

❖ Représentation rangée

Exemple de schéma développé rangé (fig.2-3)

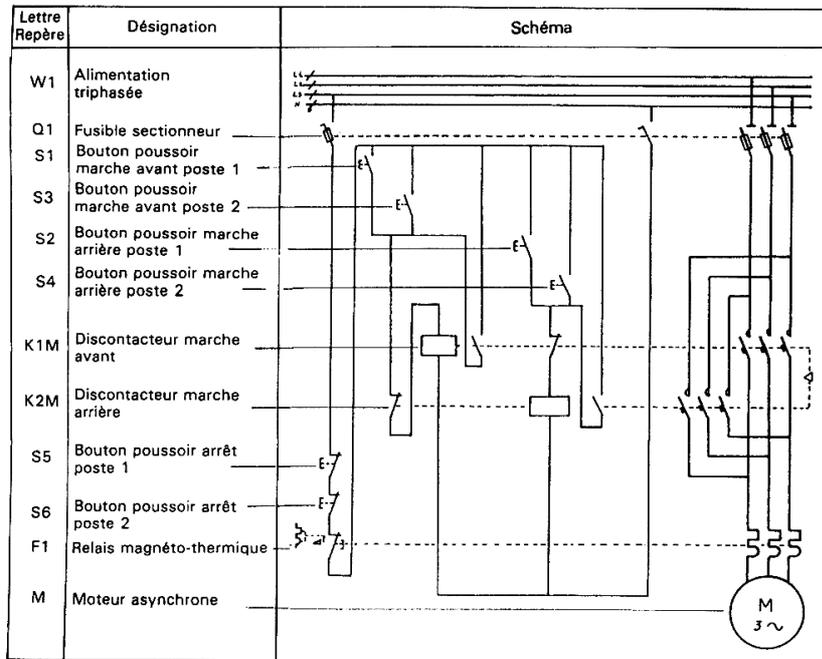


fig.2-3

❖ La représentation multifilaire

Celle-ci exige un travail de dessin très important. En effet, chaque élément d'appareil, chaque borne, chaque bornier, chaque tableau, chaque boîtier, chaque boîte de dérivation est représentée en respectant le plus fidèlement possible son emplacement réel. Chaque trait reliant deux éléments correspond à un conducteur ; son tracé est identique à la canalisation existante ou au passage du câble.

Pour faciliter la compréhension du schéma, il faut regrouper par faisceau les conducteurs parallèles en tenant compte de leur fonction dans le circuit (exemple : rassembler dans le même faisceau tous les conducteurs parallèles qui relient des organes de commande).

Le schéma multifilaire est le schéma de câblage par excellence ; chaque conducteur doit donc aboutir soit à une borne d'appareil, soit à un bornier, soit à une boîte de dérivation ; tout élément appartenant au circuit (depuis l'élément d'un appareil jusqu'au conducteur) doit être repéré en respectant la normalisation.

Exemple d'un schéma multifilaire : (fig.2-4)

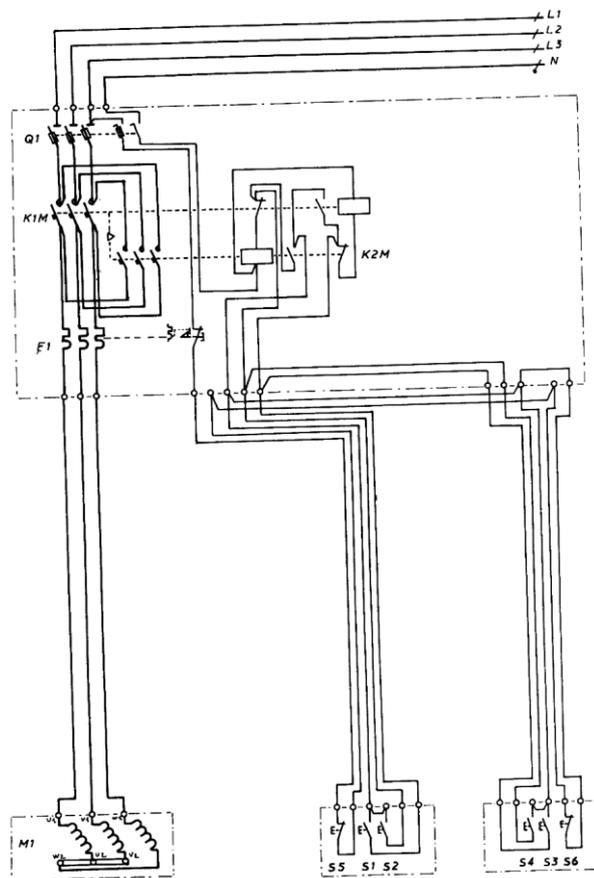


fig.2-4

Légende

- Q1 : fusible sectionneur
- F1 : relais de protection magnétothermique
- S1 : bouton poussoir marche avant : poste de travail N°1
- S3 : bouton poussoir marche avant : poste de travail N°2
- S2 : bouton poussoir marche arrière : poste de travail N°1



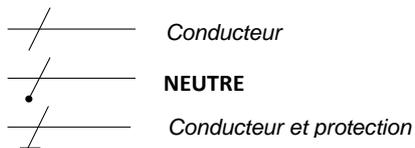
- S4 : bouton poussoir marche arrière : poste de travail N°2
- S5 : bouton poussoir arrêt : poste de travail N°1
- S6 : bouton poussoir arrêt : poste de travail N°2
- K1M : discontacteur marche avant
- K2M : discontacteur marche arrière.
- M1 : moteur asynchrone triphasé

❖ La représentation unifilaire

Elle représente le plus fidèlement possible la position réelle de tous les appareils qui composent le circuit mais :

- Les éléments identiques et appartenant au même appareil ne sont représentés que par un seul symbole ;
- Les bornes des appareils ne sont pas représentées ;
- Un trait unique remplace les conducteurs parallèles dans les conditions suivantes :
 - Soit qu'ils appartiennent à un système multiphasé,
 - Soit qu'ils assurent des fonctions électriques équivalentes,
 - Soit qu'ils suivent le même trajet,
 - Soit qu'ils appartiennent à la même canalisation ou au même câble.

Remarque : le nombre d'éléments d'un même appareil représenté par un seul symbole ainsi que le nombre de conducteurs remplacés par un trait doit être indiqué ; pour cela il faut inscrire auprès des symboles suivants la valeur de ce nombre



Exemple d'un schéma unifilaire (schéma de puissance) (fig.2-5)

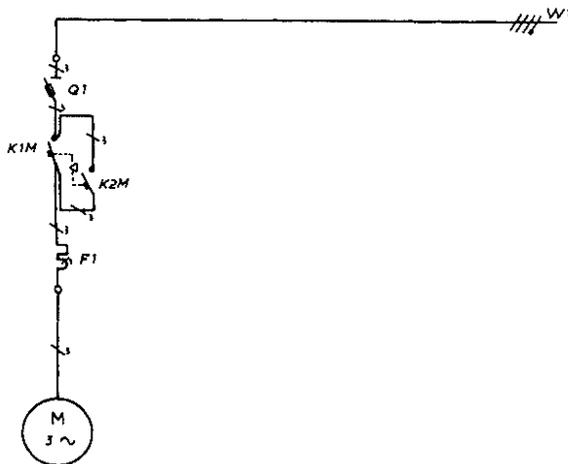




fig.2-5

Légende

Q1	: fusible sectionneur
F1	: relais de protection magnétothermique
K1M	: discontacteur marche avant
K2M	: discontacteur marche arrière.
M1	: moteur asynchrone triphasé

10.1.2. Organes et appareillages de commande :

❖ Interrupteur :

C'est un appareil qui permet la mise en fonctionnement ou l'arrêt d'une chaîne automatique. Il a deux états stables (une position ouverte et une position fermée). De point de vue technologique, il est composé d'un ou de plusieurs pôles, d'une part ils fonctionnent toujours en même temps et d'autre part possèdent un grand pouvoir de coupure

❖ Bouton poussoir

Les boutons-poussoirs (fig-2.6) sont des interrupteurs avec force de rappel constante, actionnés par une pression du doigt. Lorsque la pression cesse, le bouton-poussoir retourne en position initiale (pour commandes par impulsion).

Les boutons-poussoirs avec accrochage restent dans la position « appuyée » après avoir été actionnés. Ce n'est qu'une deuxième pression qui permet de décrocher le bouton-poussoir pour le faire revenir dans la position de repos (pour commandes par contact permanent).

Les touches « coup de poing » avec leur grande surface permettent un actionnement simple et rapide, même avec des gants.

Les boutons-poussoirs lumineux sont munis d'une calotte transparente permettant d'obtenir un signal optique grâce à la lampe qui est montée à l'intérieur.

Les boutons d'arrêt d'urgence sont également équipés d'un système d'accrochage en position « actionnée ». Le décrochage s'effectue soit par rotation ou au moyen d'une clé.

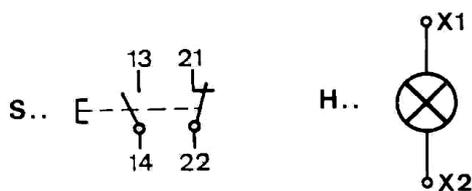


fig.2-6. Appareils de commande à bouton poussoir

❖ Les contacteurs

Définition :

Le contacteur (fig.2-7) est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position de repos, commandé autrement qu'à la main, capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharge en service.

Constitution :

- Un élément moteur (bobine de l'électro-aimant).
- Des pôles ou contacts principaux instantanés.
- Des contacts auxiliaires, instantanés ou/et temporisés n'acceptant que des courants de faible valeur.

L'alimentation de la bobine peut se faire en courant alternatif ou en courant continu :

En courant alternatif

L'électro-aimant du contacteur, alimenté en courant alternatif, comporte un circuit magnétique feuilleté de manière à réduire les pertes par courant de Foucault qui prennent naissance sous l'effet du flux alternatif.

Lorsque l'électro-aimant est ouvert la réluctance du circuit magnétique est élevée, la réactance de sa bobine est faible ; il en résulte un appel de courant supérieur au courant permanent en service.

Cette pointe d'intensité, peut atteindre 6 à 10 fois celle à circuit fermé.

En courant continu

L'électro-aimant du contacteur, alimenté en courant continu, comporte un circuit magnétique exécuté en acier massif supportant la bobine magnétisante dont le flux est suffisant pour créer un couple électromagnétique supérieur au couple mécanique résistant du contacteur au repos.

La puissance en W absorbée par la bobine dépend du calibre du contacteur : la résistance d'économie mise en série avec la bobine par un contact auxiliaire ramène cette puissance environ au tiers de cette valeur.

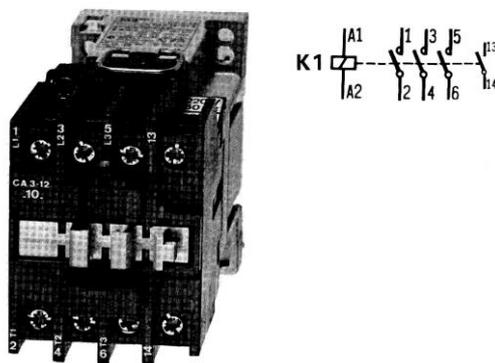


fig.2-7

❖ Relais auxiliaires

Relais auxiliaires (fig 2-8) sont des contacteurs dont le bloc de contacts est prévu pour le couplage auxiliaires (circuits de commande, de signalisation et de verrouillage).



fig.2-8

❖ Relais temporisés

Les relais temporisés (fig2-9) sont des appareils de commande permettant de retarder un certain temps la transmission des ordres qu'ils ont reçus. Le mécanisme de temporisation peut varier d'un modèle à l'autre. Il existe en effet des relais temporisés mécaniques, pneumatiques et électroniques. Les relais temporisés sont par exemple utilisés sur les contacteurs « étoile-triangle » pour engendrer la commutation d'étoile en triangle après un certain temps.

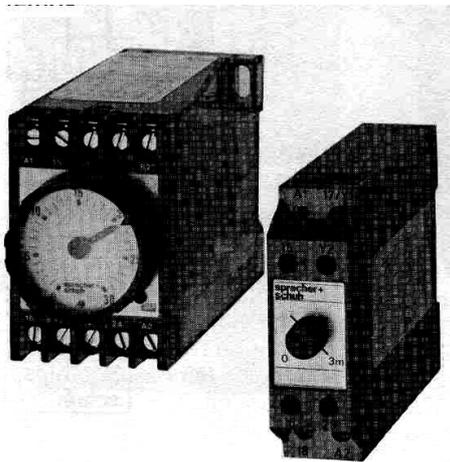


fig.2-9

10.1.3. Marquage des bornes de l'appareil

L'identification des bornes permet de fournir des informations sur la fonction réelle de l'élément.

Principe de marquage

Suivant la fonction de l'appareil considéré, il faut utiliser une notation numérique ou alphanumérique.

❖ Appareil de protection d'un circuit principal :

Le marquage des bornes est numérique.

Chaque borne d'entrée est affectée d'un chiffre impair différent et chaque borne de sortie correspondante est désignée par le chiffre pair immédiatement supérieur.

Exemples : (fig2-10)



fig.2-10

❖ Appareil de coupure d'un circuit principal :

Le marquage des bornes est numérique.

Chaque borne d'entrée est affectée d'un chiffre impair différent et chaque borne de sortie correspondante est désignée par le chiffre pair immédiatement supérieur.

Exemples : (fig2-11)

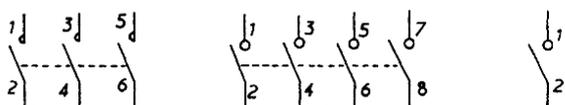


fig.2-11

❖ Appareil récepteur d'un circuit principal :

Appareil à deux bornes

Le marquage des bornes est numérique.

Chaque borne d'entrée est affectée d'un chiffre impair différent et chaque borne de sortie correspondante est désignée par le chiffre pair immédiatement supérieur.

Exemples : (fig2-12)

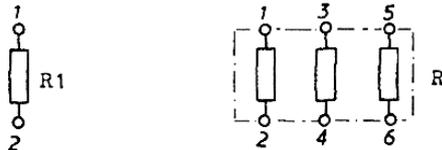


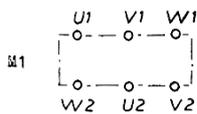
fig.2-12

Appareil triphasé

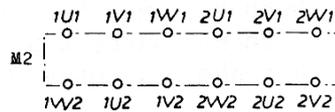
Le marquage des bornes est alphanumérique et composé de :

- Un chiffre : c'est le numéro d'ordre de l'élément qui peut être supprimé s'il n'y a aucune ambiguïté.
- Une lettre : U pour le conducteur de phase L 1
V pour le conducteur de phase L 2
W pour le conducteur de phase L 3
N pour le conducteur de neutre
PE pour le conducteur de protection
E pour le conducteur terre
- Un chiffre : 1 pour l'entrée de l'élément
2 pour la sortie de l'élément

Exemples : (fig2-13)



Moteur à trois enroulements,
le numéro d'ordre est
supprimé



Moteur à six enroulements, le numéro
d'ordre est obligatoire

fig.2-13

Appareil de protection d'un circuit auxiliaire

Le marquage des bornes est numérique et composé :

- D'un numéro d'ordre qui peut être supprimé s'il n'y a pas d'ambiguïté.
- D'un chiffre impair pour la borne d'entrée et du chiffre pair immédiatement supérieur pour la borne de sortie.

Exemples : (fig2-14)



fig.2-14

Appareil de commande d'un circuit auxiliaire

Le marquage des bornes est numérique et composé :

- D'un numéro d'ordre
- D'un chiffre qui dépend de la fonction de l'élément et de la borne considérée.

Exemples :

Contact à ouverture : (fig2-15)

Le chiffre 1 est affecté à la borne d'entrée,
Le chiffre 2 à la borne de sortie.



fig.2-15

Contact à fermeture : (fig2-16)

Le chiffre 3 est affecté à la borne d'entrée,
Le chiffre 4 à la borne de sortie.

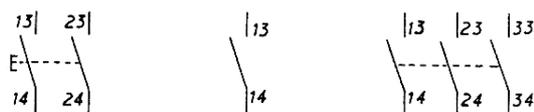


fig.2-16

Contact bidirectionnel : (fig2-17)

Le chiffre 1 est affecté à la borne commune,
Le chiffre 2 au contact repos,
Le chiffre 4 au contact travail.

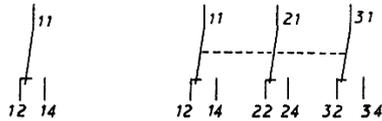
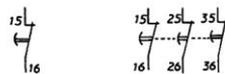


fig.2-17

Contact à fonction spéciale (fig 2-18)

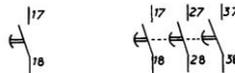
– *Contact à ouverture :*

le chiffre 5 est affecté à la borne d'entrée,
le chiffre 6 à la borne de sortie.



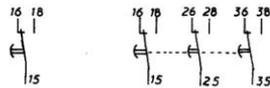
– *Contact à fermeture :*

le chiffre 7 est affecté à la borne d'entrée,
le chiffre 8 à la borne de sortie.



– *Contact bi-directionnel :*

le chiffre 5 est affecté à la borne commune,
le chiffre 6 au contact repos,
le chiffre 8 au contact travail.



– *Contact d'un appareil de protection*

C'est un contact à fonction spéciale dont les chiffres ont été définis précédemment.

Par contre, le numéro d'ordre est imposé :

le chiffre 9 pour le premier contact,
le chiffre 0 pour le deuxième contact.

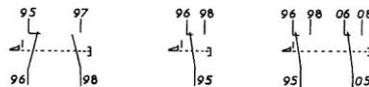


fig.2-18

Appareils récepteurs d'un circuit auxiliaire

Bobines



Le marquage des bornes est alphanumérique.

Bobine à un seul enroulement : la borne d'entrée est repérée par A 1, la borne de sortie par A2.

Bobine à deux enroulements séparés : les bornes d'entrées sont repérées par A 1 et B 1, les bornes de sortie respectivement par A 2 et B 2.

Bobine à deux enroulements avec un point commun : les bornes d'entrées sont repérées par A 1 et B 1, la borne commune par A 2 ou B 2.

Exemples (fig.2-19)

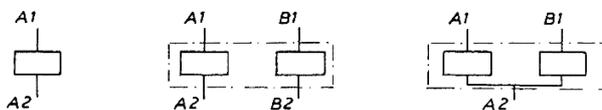


fig.2-19

Récepteurs quelconques d'un circuit auxiliaire

Le marquage des bornes est numérique et composé :

D'un numéro d'ordre qui n'est pas obligatoire.

D'un chiffre impair pour la borne d'entrée et du chiffre pair immédiatement supérieur pour la borne de sortie.

Exemples (fig.2-20)

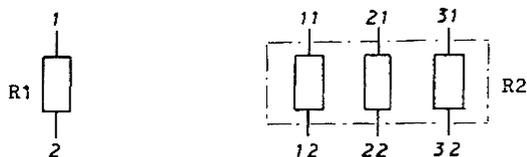


fig.2-20

Exemple d'un marquage de bornes (fig.2-21)

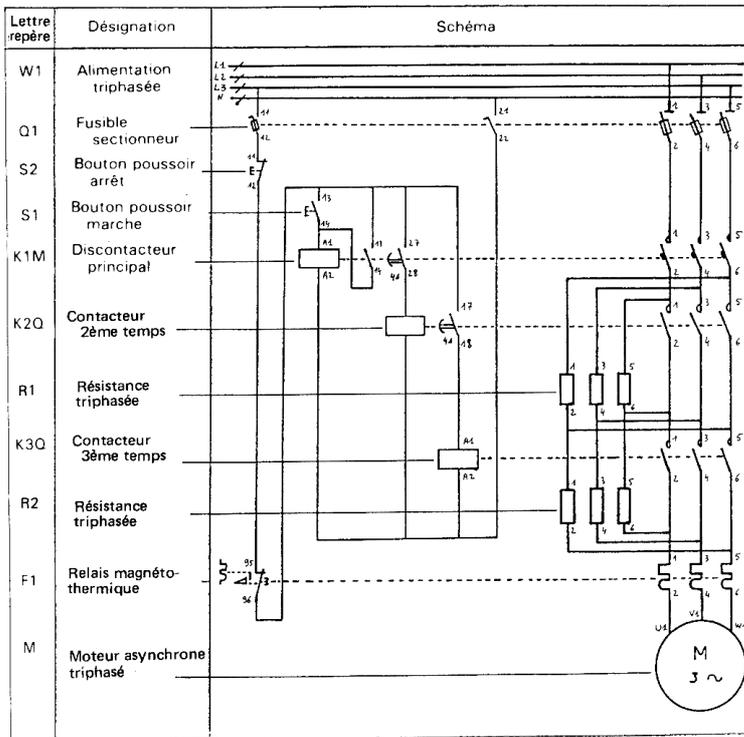


fig.2-21

10.1.4. Commande d'un contacteur

❖ Commande manuelle

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

Schéma développé rangé du circuit de commande

Source d'alimentation alternative (fig.2-22)

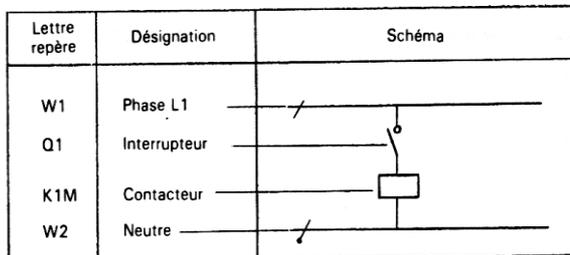


fig.2-22



Fonctionnement

Lorsque l'interrupteur est ouvert, la bobine du contacteur K1M n'est pas excitée. Si l'on ferme l'interrupteur, celle-ci s'excite.

Remarque :

Ce montage est très peu utilisé.

❖ **Commande semi-automatique par boutons poussoirs marche – arrêt**

Source d'alimentation alternative

Schéma développé du circuit de commande (fig.2-23)

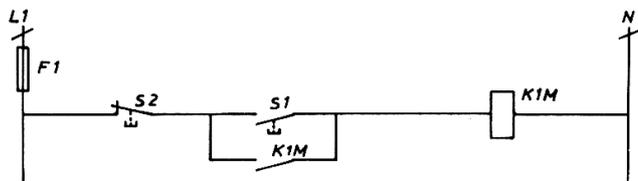


fig.2-23

Légende :

- F 1 : fusible de protection du circuit de commande
- S 1 : bouton poussoir marche
- S 2 : bouton poussoir arrêt
- K 1M : contacteur

Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir marche (S 1) excite la bobine K1M ; ses contacts changent d'état. Le bouton poussoir S1 se trouve court-circuité et son relâchement n'a plus aucune influence sur le fonctionnement. Pour désexciter la bobine, il faut appuyer sur le bouton poussoir arrêt (S2).

Remarque :

Les contacts de puissance ne sont pas représentés car ils sont situés dans le schéma de puissance.

Source d'alimentation continue

Schéma développé rangé du circuit de commande(fig.2-24)

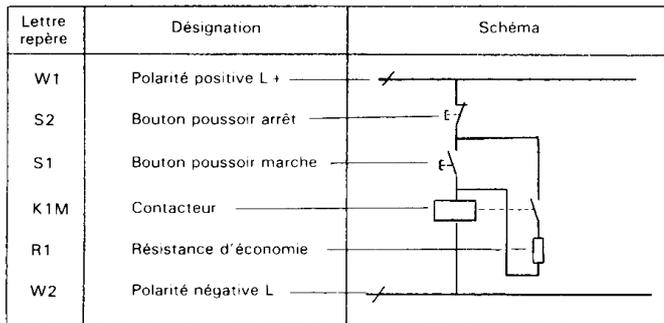


fig.2-24

Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S1 provoque l'excitation de la bobine du contacteur K1M. Son contact d'auto-alimentation se ferme et met en service la résistance d'économie de façon à limiter le courant absorbé du circuit de commande.

Une action sur le bouton poussoir S 2 entraîne la désexcitation de la bobine ce qui provoque l'arrêt.

Remarques :

C'est un fonctionnement en arrêt prioritaire car si l'on appuie sur les deux boutons poussoirs en même temps, la bobine K 1M n'est pas alimentée.

Les contacts de puissance de K 1M ne sont pas représentés puisqu'ils sont situés dans le circuit de puissance de l'installation.

❖ Commande automatique par détecteur

Exemple

Un contacteur est alimenté si la pression est supérieure à 4 bar et s'il n'y a pas débit d'eau.

Schéma développé rangé du circuit de commande(fig.2-25)

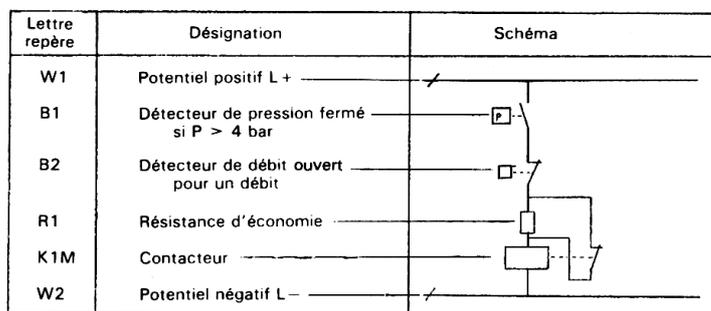


fig.2-25



Fonctionnement :

Lorsque les contacts des détecteurs B1 et B2 sont fermés, la bobine K1M est alimentée. Dès qu'un contact de détecteur s'ouvre, la bobine se désexcite.

Remarque :

Pour que le contacteur fonctionne, il faut conditions (pression supérieure à 4 bar et absence de débit d'eau) ; les deux détecteurs doivent donc être branchés en série.

10.2. Les éléments de protection des actionneurs électriques

Chaque réseau doit être protégé :

- Contre les courts-circuits.
- Contre les surcharges.

En effet ces défauts entraînent toujours une augmentation anormale du courant qui, non limitée, peut devenir dangereuse pour les installations.

10.2.1. Fusible

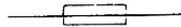


fig.2-26

C'est un appareil composé d'un fil conducteur qui, grâce à sa fusion, ouvre le circuit lorsque l'intensité du courant dépasse la valeur maximale supportée par ce fil. Ce matériel est à remplacer après chaque fonctionnement.

Il est toujours placé :

- Sur la polarité positive dans le cas d'une alimentation continue ; (en général un deuxième fusible est installé sur la polarité négative de façon à pouvoir isoler la batterie d'accumulateur de l'installation en cas de besoin).
- Sur chaque phase dans le cas d'une alimentation alternative.

Le neutre ne doit jamais être protégé ; en effet sur un réseau triphasé déséquilibré, la coupure du neutre entraînerait :

- L'élévation du potentiel du neutre coupé par rapport à la terre.
- Le déséquilibre des tensions entre chaque phase et le neutre coupé (la phase la moins chargée serait suralimentée, la phase la plus chargée sous-alimentée). Cela serait très dangereux pour le matériel.

Lorsque l'on utilise un transformateur BT/TBT, il ne faut prévoir qu'une protection sur son primaire mais, en aucun cas sur son primaire et sur son secondaire (il est inutile de multiplier les protections d'un même circuit). Si un défaut apparaît sur l'installation alimentée par ce transformateur, il se répercute sur son primaire et la protection fonctionne.

La protection par fusible est installée :

- Dans tous les circuits de commande.
- Dans tous les circuits de puissance
 - Lorsqu'ils ne possèdent pas de moteurs



- Lorsqu'ils possèdent un moteur protégé par un relais de protection.

En effet, un fusible n'est pas une protection sûre contre les surcharges de courte ou de longue durée. En triphasé, si un fusible fond par vieillissement, le moteur n'est plus alimenté que par deux phases, ce qui est très dangereux pour celui-ci.

Remarques :

Il existe plusieurs types de fusibles qui sont :

- Les fusibles g, g 1, g f qui supportent jusqu'à 1,1 fois le courant nominal indiqué par le constructeur.
- Les fusibles A D (accompagnement disjoncteur) qui supportent jusqu'à 2,7 fois le courant nominal indiqué par le constructeur.
- Les fusibles A M (accompagnement moteur) qui supportent jusqu'à 7 fois le courant nominal indiqué par le constructeur.

On utilise toujours des fusibles à haut pouvoir de coupure (HPC).

10.2.2. Le disjoncteur



fig.2-27

C'est un appareil à commande manuelle ou automatique dont un des rôles est de protéger l'installation contre les surcharges et les courts-circuits.

Il est composé :

- De plusieurs contacts à grand pouvoir de coupure.
- D'un déclencheur thermique (bilame).
- D'un déclencheur électromagnétique (bobine à noyau plongeur ou à armature).

Son fonctionnement est simple ; l'ouverture automatique de ses contacts à grand pouvoir de coupure se réalise :

- Par action du déclencheur thermique en cas de surcharge.
- Par action du déclencheur électromagnétique en cas de court-circuit.

C'est une protection valable pour tous les circuits de commande et de puissance mais l'inconvénient majeur réside dans son prix de revient qui est élevé.

10.2.3. Discontacteur

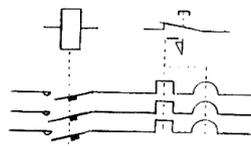


fig.2-28



C'est un ensemble d'appareil regroupant :

- Un contacteur
- Un relais de protection thermique ou électromagnétique ou magnétothermique.

Un relais thermique est un déclencheur comprenant un bilame par potentiel protégé et un contact auxiliaire à ouverture.

Un relais électromagnétique est un déclencheur composé d'une bobine à noyau plongeur ou à armature par potentiel protégé et d'un contact auxiliaire à ouverture.

Un relais magnétothermique regroupe un déclencheur thermique, un déclencheur électromagnétique et un contact auxiliaire à ouverture.

Remarque :

Certains relais possèdent un deuxième contact auxiliaire à fermeture qui sert à la signalisation de leur état.

Raccordement et fonctionnement du discontacteur

Il faut raccorder en série :

- Dans le circuit de commande, la bobine du contacteur et le contact auxiliaire à ouverture du relais de protection utilisé.
- Dans le circuit de puissance, les contacts de puissance du contacteur et le déclencheur du relais de protection utilisé.

La détection d'une surcharge et (ou) d'un court-circuit (suivant le relais utilisé) est réalisée par le déclencheur du relais de protection ; celui-ci ouvre son contact auxiliaire (à ouverture) ce qui provoque la désexcitation de la bobine du contacteur et l'ouverture de ses contacts de puissance. Le circuit de puissance est donc protégé.

Remarques :

Le contact auxiliaire à ouverture (et éventuellement celui à fermeture) du relais de protection est à accrochage mécanique.

En cas de fonctionnement du détecteur, ce contact s'ouvre et reste dans cet état tant que l'on n'a pas "réarmé" manuellement le relais de protection.

La protection par discontacteur n'est utilisée que dans les circuits de puissance de moteur ; elle remplace avantageusement (du point de vue prix de revient) un disjoncteur.

10.3. Les mesures de protection

L'intervention sur les systèmes industriels doit prendre les mesures préventives nécessaires afin de réduire les risques d'électrisation, d'accidents et d'incendies et de se protéger contre l'imprévisible.

Parmi les mesures de protection, on trouve :

- Lorsqu'on remarque une anomalie dans l'installation ou le matériel, l'intervenant doit mettre hors tension l'installation et doit disposer d'un voltmètre lui permettant de s'assurer de l'absence de tension et des moyens de mise en court-circuit et à la terre des conducteurs et pièces nues après mise hors tension :



- La mise hors tension d'une installation ou d'un matériel doit être signalée par une pancarte accrochée sur le dispositif de coupure, suivie d'un cadenas en position d'ouverture du sectionneur (condamnation) et un enlèvement des fusibles.
- Chaque intervenant doit posséder son propre cadenas avec clé personnelle.

- Pour les travaux sous tension :

Les travaux sous tension ne peuvent être qu'exceptionnels et ne doivent être entrepris que par du personnel habilité et instruit des mesures à prendre.

10.3.1. Les mesures de protection individuelle et collective

Protections individuelles

- Les gants dont l'utilisation est obligatoire pour les interventions BT et les manœuvres des appareils de commande HT.
- Le casque isolant, obligatoire pour tous les travaux sous tension, sur les chantiers de construction et dans tous les bâtiments comportant des systèmes à haute pression (centrales thermiques par exemple).
- Les chaussures de travail comportant une semelle isolante ou les bottes isolantes spéciales pour les manœuvres HT.
- Les lunettes obligatoires pour toutes les manœuvres d'appareils de sectionnement en BT et HT, les travaux sous tension et chaque fois qu'il y a risque d'arc électrique ou de projection de matières.
- Les ceintures de sécurité pour les travaux en hauteur.
- Les vêtements isolants spéciaux pour les travaux sous tension.

Protections collectives

- Les tabourets ou tapis indispensables pour les manœuvres d'appareils de sectionnement HT.
- Les écrans et grillages de protection en matériaux isolants pour créer un environnement protégé.
- Les outils isolés conforme à la norme NF C 18-400.
- Les fanions, rubans de couleur et les pancartes destinées à baliser la zone de travail et la zone protégée.

10.4. Analyse de fonctionnement des moteurs asynchrones triphasés :

10.4.1. Constitution :

Le moteur asynchrone ou moteur à induction comporte deux parties essentielles : le stator et le rotor.

Stator

Il constitue la partie fixe du moteur dans laquelle se trouvent les enroulements générateurs du champ tournant :

Sur le plan électrique le stator possède autant d'enroulements que de phases d'alimentation, soit trois pour le moteur triphasé. Ces enroulements réalisent une ou plusieurs paires de pôles et peuvent être couplés, soit en étoile, soit en triangle.

Sur le plan magnétique le stator est constitué par un empilage de tôles d'acier doux au silicium formant une couronne. Cette couronne, maintenue et protégée par une carcasse massive en acier ou en aluminium, présente des encoches où sont placés les conducteurs des enroulements.

Rotor

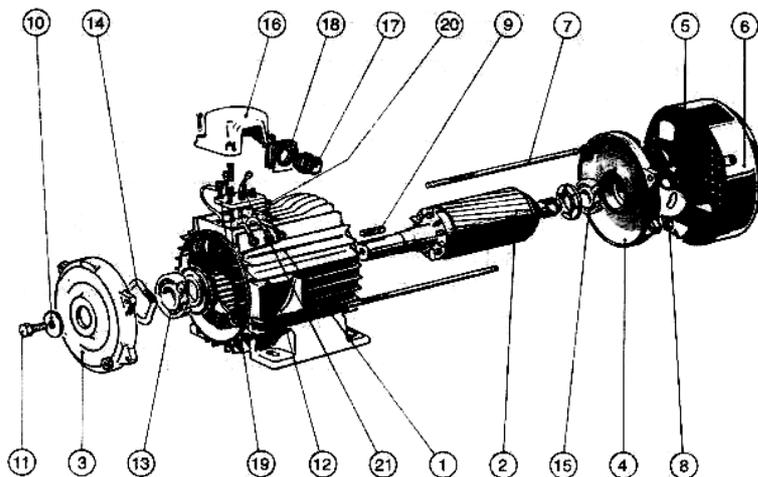
Cet organe mobile, soumis aux effets du champ tournant, est constitué :

- Pour le moteur à rotor en court-circuit ou à cage d'écureuil, d'un enroulement fermé sur lui-même,
- Pour le moteur à rotor bobiné, de trois enroulements couplés en étoile pouvant être mis en court-circuit par l'intermédiaire de bagues et de balais et d'un dispositif extérieur de mise en court-circuit.

Ces enroulements, sièges des courants induits par la rotation du champ statorique, comportent autant de paires de pôles que le stator.

Le rotor a la forme d'un cylindre réalisé par un empilage de tôles d'acier au silicium. À sa périphérie, ce cylindre comporte les encoches destinées à recevoir les conducteurs des enroulements.

Une image éclatée d'un moteur asynchrone à cage : (fig.2-29)



1	Carter et stator	12	Plaque signalétique
2	Rotor	13	Roulement côté accouplement
3	Flasque côté accouplement	14	Rondelle élastique
4	Flasque côté ventilateur	15	Roulement côté ventilateur
5	Ventilateur	16	Boîte à bornes
6	Capot de ventilateur	17	Presse-étoupe
7	Tige d'assemblage	18	Plaque support presse-étoupe
8	Écrou de tige d'assemblage	19	Planchette à bornes
9	Clavette de bout d'arbre	20	Vis borne de masse
10	Rondelle de bout d'arbre	21	Barrettes de connexion
11	Vis de serrage rondelle		

fig.2-29

Commenté [MY1]: EEI111252

Commenté [MY2]: EEI111253

Une image éclatée d'un moteur asynchrone à bagues : (fig.2-30)

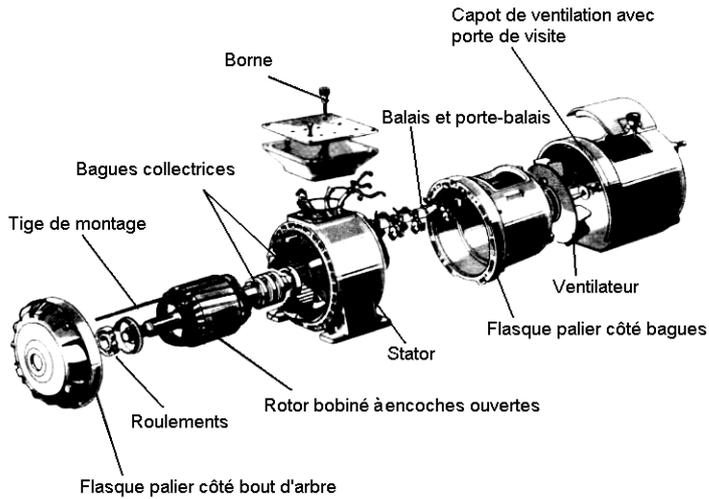


fig.2-30

10.4.2. Principe de fonctionnement

On considère un moteur triphasé dont les enroulements statoriques réalisent p paires de pôles.

Dès la mise sous tension du moteur, un champ tournant prend naissance dans les enroulements statoriques ; les courants induits dans le rotor sont ainsi soumis à la force électromagnétique de la place.

L'ensemble de ces forces crée un couple moteur qui entraîne le rotor en rotation.

Le rotor tourne dans le même sens que le champ tournant, mais sa vitesse (ou fréquence de rotation) est nécessairement inférieure à celle du champ tournant

En effet, si les deux fréquences de rotation étaient égales, il n'y aurait plus création de courants induits dans le rotor et donc plus de couple moteur. Ceci découle de la loi de Lenz qui énonce que l'effet s'oppose toujours à la cause qui lui donne naissance.

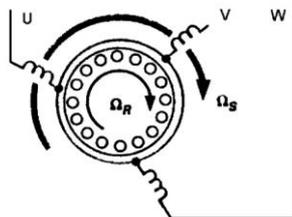


Fig.2-31



10.4.3. Grandeurs caractéristiques :

❖ Fréquence de rotation du champ tournant ou fréquence de synchronisme, n_s :

Elle est fonction du nombre de paires de pôles des enroulements statoriques et de la fréquence du réseau d'alimentation, soit :

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

n_s : en tours par minute.

f : en hertz.

p : nombre de paires de pôles.

Vitesse angulaire de synchronisme :

A la fréquence de rotation n_s correspond la vitesse angulaire Ω_s de synchronisme :

$$\Omega_s = 2 \times \pi \times n_s = \frac{2 \times \pi \times f}{p} = \frac{\omega}{p}$$

Avec :

Ω_s : en radians par seconde (rad/s).

ω (pulsation) = $2\pi f = 100\pi$ pour $f = 50$ Hz.

n_s : en tr/s.

❖ Fréquence de rotation du rotor. Glissement :

La fréquence de rotation du rotor, en tr/min est inférieure à la fréquence de rotation du champ tournant, il en est de même pour sa vitesse angulaire Ω :

$$n < n_s$$

$$\Omega < \Omega_s$$

Le rapport de l'écart de vitesse (ou de fréquence) de rotation à la vitesse (ou fréquence) de synchronisme et appelé glissement g :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Le glissement s'exprime le plus souvent en pourcentage de la vitesse de synchronisme.

En fonctionnement normal le glissement du moteur asynchrone est de l'ordre de 2 à 6 %.

De l'expression du glissement on peut déduire :

Celles de la fréquence de rotation du rotor :

$$n = n_s \cdot (1 - g) \quad \text{tr/min}$$

Et celle de sa vitesse angulaire :

$$\Omega = \Omega_s \cdot (1 - g) \quad \text{rad/s}$$

10.4.4. Couplage au réseau et inversion du sens de rotation :

❖ Couplage au réseau

Le couplage étoile ou triangle des enroulements statoriques du moteur asynchrone triphasé s'effectue en fonction des caractéristiques :

- Du réseau ;
- Du Moteur.

Ainsi un moteur asynchrone triphasé peut être couplé :

- En triangle si ses enroulements peuvent supporter la tension composée du réseau.
- En étoile dans le cas contraire.

Sur la plaque signalétique du moteur sont indiquées deux tensions ; la valeur la plus faible correspond à la tension supportée par les enroulements.

❖ Inversion du sens de rotation :

Pour inverser le sens de rotation du moteur il suffit d'inverser celui du champ tournant ; cela s'obtient en intervertissant l'alimentation de deux des trois phases (fig.2-32)

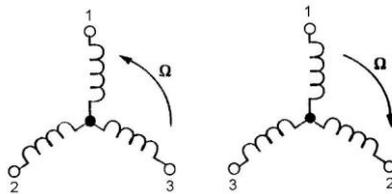
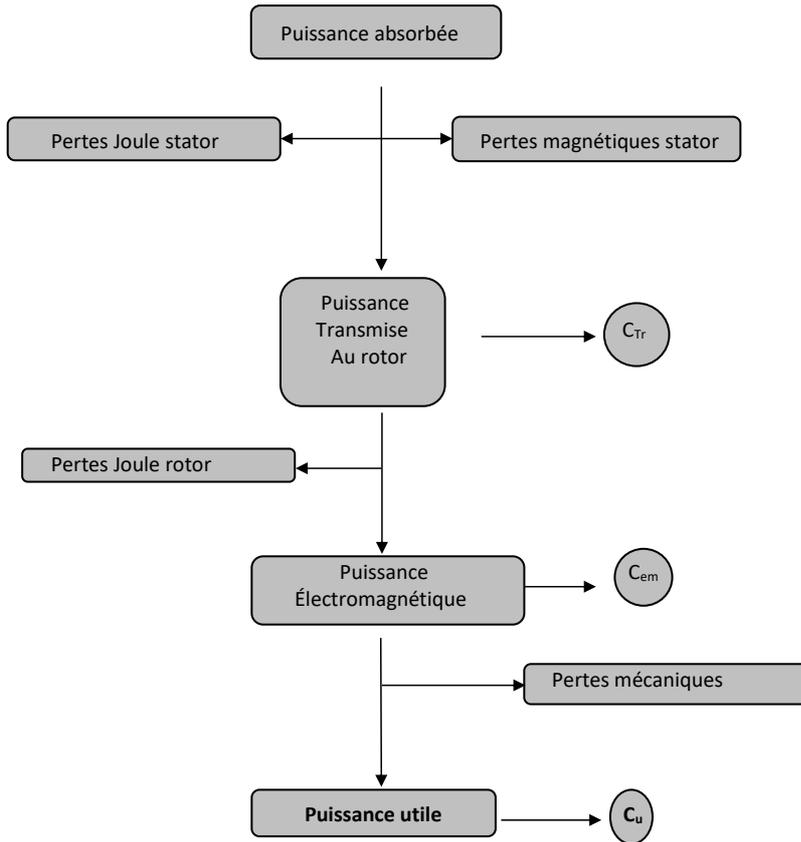


Fig.2-32

10.4.5. Le bilan énergétique

Le bilan énergétique d'un moteur asynchrone triphasé est représenté par la figure suivante :



On y distingue :

$$P_a = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad , W$$

La puissance transmise au rotor P_{Tr} qui est égale à la puissance absorbée diminuée des pertes :

Par effet Joule, p_{js} dans les enroulements statoriques :

$p_{js} = 3 R I^2$ pour le couplage étoile. R est la résistance d'un enroulement

$p_{js} = R I^2$ pour le couplage triangle.



Magnétique pfs dans le fer :

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

À cette puissance correspond le couple transmis CTr :

$$C_{Tr} = \frac{P_{Tr}}{\Omega_s}$$

La puissance électromagnétique Pem, qui prend en compte les pertes Joule Pjr dans le rotor :

$$P_{em} = P_{Tr} - p_{jR}$$

A cette puissance correspond le couple électromagnétique Cem :

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega}$$

Remarque :

On considère comme négligeable les pertes magnétiques de rotor.

Couple transmis CTr et couple électromagnétique Cem sont égaux :

$$\frac{P_{Tr}}{\Omega_s} = \frac{P_{em}}{\Omega}$$

Seules différentes les vitesses angulaires Ω_s et Ω :

Or :

$$\Omega_s = \frac{\Omega}{1-g}$$

Ce qui entraîne :

$$P_{Tr} \times (1-g) = P_{em}$$

Ou

$$P_{em} = P_{Tr} - g \times P_{Tr}$$

Les pertes Joule rotorique pjR sont donc :

$$p_{jR} = P_{Tr} \times g$$

La puissance et le couple utiles :

$$P_u = P_{em} - p_{meca}$$



Avec P_{meca} = pertes mécaniques.

$$T_u = \frac{P_u}{\Omega} \quad , \text{ N/m}$$

Le rendement : $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

Avec $P_u = P_a - p_{js} - p_{fs} - p_{jR} - p_{meca}$.

Le rapport de la puissance électromagnétique à la puissance transmise au rotor est appelé rendement du rotor.

$$\eta_r = \frac{P_{em}}{P_{Tr}} = \frac{P_{Tr} \times (1 - g)}{P_{Tr}}$$

Soit :

$$\eta_r = 1 - g$$

EXERCICE

Un moteur asynchrone à bagues présente les caractéristiques suivantes

95 kW; 220 / 380 V; 50 Hz; 8 pôles

- 1) Sachant qu'il est alimenté par une ligne triphasé en 380 V, quel doit être le couplage de l'enroulement statorique?
- 2) Calculer la fréquence de synchronisme en tr/mn.
- 3) En marche normale, le glissement vaut 2,45%. En déduire la fréquence de rotation n correspondante.
- 4) Quelle est alors la valeur du couple utile ?
- 5) Le moteur étant très puissant, on peut négliger ses pertes statoriques et mécaniques. Pour le régime nominal, calculer :
 - La puissance électrique absorbée P_a ;
 - Les pertes rotoriques par effet Joule ;
 - La valeur efficace des courants rotoriques si la résistance mesurée entre deux bagues est de $0,064 \Omega$;
 - Le courant absorbé au stator si le facteur de puissance est de 0,83.
- 6) On alimente désormais le moteur avec une ligne en 220 V.

Quel doit être le couplage du stator ?

Pour le régime nominal, calculer la valeur efficace des courants :

- Dans la ligne ;
- Dans les phases du stator ;
- Dans les phases du rotor.



Le champ magnétique B_0 est-il modifié par rapport aux questions précédentes ?

Solution :

Chaque phase statorique ne pouvant supporter que 220 V, l'enroulement du stator doit être couplé en étoile.

La fréquence de synchronisme est

$$n_s = 3000 / p \Rightarrow n_s = 3000 / 4 = 750 \text{ tr/mn}$$
$$n_s = 750 \text{ tr/mn}$$

La fréquence de rotation n est telle que

$$g = (n_s - n) / n_s \Rightarrow n_s - n = g n_s \Rightarrow n = n_s (1 - g)$$
$$n = 750 (1 - 2,45/100) = 731,6$$
$$n \approx 732 \text{ tr/mn}$$

En marche normale, le couple utile vaut

$$T_u = P_u / 2\pi n \Rightarrow T_u = 95 \cdot 103 / 2 \cdot 3,14 \cdot (732/60) = 1\,240 \text{ Nm}$$
$$T_u = 1\,240 \text{ Nm}$$

Les seules pertes prises en compte étant les pertes par effet Joule dans le rotor, le rendement du moteur est $\eta = 1 - g$. On en déduit la puissance électrique absorbée

$$P_a = P_u / (1 - g) \Rightarrow P_a = 95 \cdot 103 / (1 - 0,0245) = 97\,385 \text{ W}$$
$$P_a = 97,4 \text{ kW}$$

La puissance dissipée dans le rotor a pour valeur

$$P_{Jr} = g P_a \Rightarrow P_{Jr} = 2,45 \cdot 10^{-2} \cdot 97\,385 = 2\,386 \text{ W}$$
$$P_{Jr} = 2,4 \text{ kW}$$

Chaque phase rotorique a pour résistance $R_2 = 0,06 / 2 = 0,03 \Omega$

Elle est parcourue par le courant J_2 tel que

$$P_{Jr} = 3 R_2 J_2^2 \Rightarrow J_2 = \sqrt{P_{Jr} / 3 R_2} \Rightarrow J_2 = \sqrt{2400 / 3 \cdot 0,03}$$
$$J_2 = 158 \text{ A}$$

Le courant absorbé par une phase du stator, étant le même que dans un fil de ligne, a pour valeur

$$I = J_1 = P_a / \sqrt{3} U \cos \varphi \Rightarrow J_1 = 97\,385 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 = 178,3 \text{ A}$$
$$J_1 = 178 \text{ A}$$

a) Chaque phase statorique pouvant supporter la tension entre 2 fils de ligne, l'enroulement du stator doit être couplé en triangle.

b) Les phases statoriques sont alimentées sous 220 V comme dans le cas précédent : le moteur fonctionne donc rigoureusement de la même façon, pour les deux modes de couplage.

Lorsque $n = 732 \text{ tr/mn}$, on a encore $T_u = 1\,240 \text{ Nm}$ et $P_a = 97\,385 \text{ W}$.

Le courant dans les fils de ligne a pour valeur

$$I = P_a / \sqrt{3} U \cos \varphi \Rightarrow I = 97\,385 / \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,83 = 307,9 \text{ A}$$



$$I = 308 \text{ A}$$

Chaque phase statorique absorbe le courant

$$J1 = I / \sqrt{3} \quad \Rightarrow \quad J1 = 307,9 / \sqrt{3} = 177,8 \text{ A}$$
$$J1 = 178 \text{ A}$$

C'est évidemment le même que dans le cas précédent.

Le fonctionnement du rotor n'a pas changé ; on a toujours

$$J2 = 158 \text{ A}$$

c) Les f.é.m. induites dans les phases statoriques ont toujours pour valeur efficace 220 V : le champ magnétique qui leur donne naissance est donc le même que précédemment.

Un moteur asynchrone tétrapolaire porte l'indication 220 – 380 V ; alimenté sous 380 V il absorbe

- À vide : 5,2 A et $P_v = 390 \text{ W}$
- En charge : 7,5 A et $P_a = 4070 \text{ W}$.

La résistance entre deux bornes de phase du stator est de $2,2 \Omega$. En admettant que les pertes mécaniques et les pertes magnétiques sont égales, calculer le rendement du moteur lorsque sa fréquence de rotation est de 1 430 tr/mn.

10.5. Démarrage semi-automatique des moteurs asynchrones triphasés

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

10.5.1. Démarrage direct

❖ Démarrage direct un sens de rotation

Commande de deux endroits différents d'un moteur possédant un seul sens de rotation.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-33)

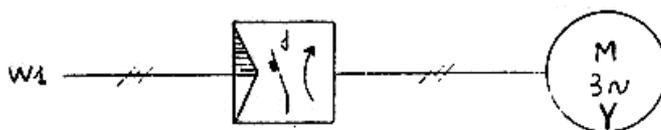


Figure 2-33

Démarrage direct, semi-automatique par discontacteur, d'un moteur couplé en étoile à un seul sens de rotation.

Schéma développé rangé des circuits de commande et de puissance (fig 2-34)

Commenté [c3]: EM230954

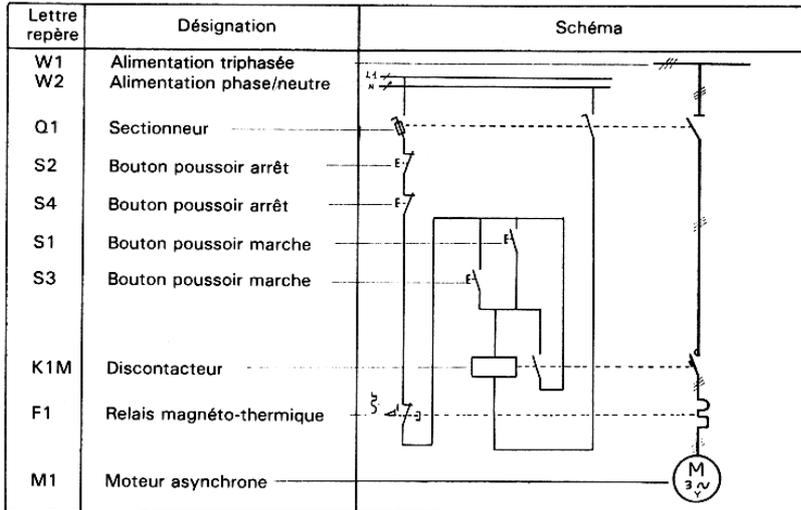


Figure 2-34

Commenté [c4]: EM230955

Fonctionnement :

Une action sur les boutons poussoirs S1 ou S3 excite la bobine K1M qui s'auto-alimente et démarre le moteur.

Une action sur les boutons poussoirs S2 ou S4 ou un fonctionnement du relais magnéto-thermique désexcite la bobine K1M. Ses contacts de puissance s'étant ouverts, le moteur s'arrête.

❖ Démarrage direct deux sens de rotation

Commande d'un moteur possèdent deux sens de rotation.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-35)

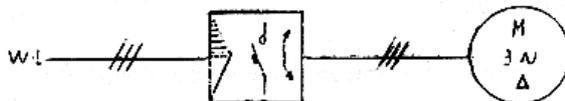


Figure 2-35

Commenté [c5]: EM230956

Démarrage direct, semi-automatique par discontacteur, d'un moteur couplé en triangle à deux sens de rotation.

Schéma développé du circuit de puissance (fig 2-36)

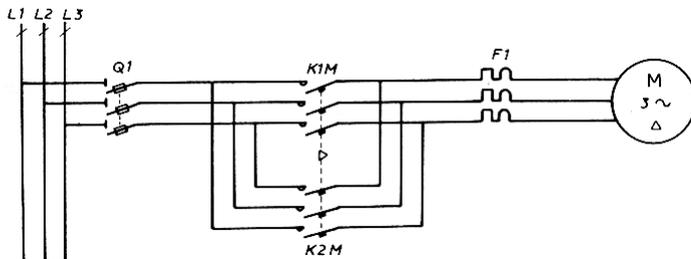


Figure 2-36

Commenté [c6]: EM230956

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-37)

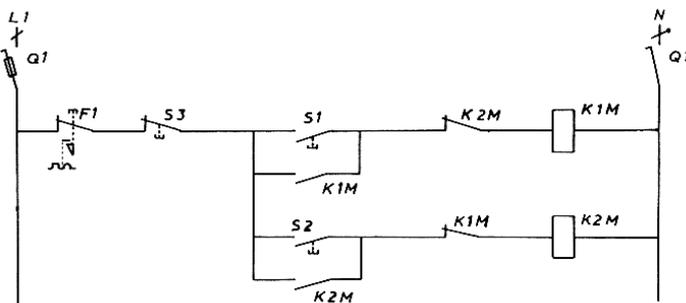


Figure 2-37

Légende :

- Q1 : Sectionneur
- F1 : Relais magnétothermique
- S1 : Boutons poussoir marche avant
- S2 : Bouton poussoir marche arrière
- S3 : Bouton poussoir arrêt
- K1M : Discontacteur marche avant
- K2M : Discontacteur marche arrière
- M : Moteur asynchrone triphasé

Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M ce qui provoque :

- Son auto-alimentation
- Le verrouillage du contacteur K2M
- L'alimentation du moteur et son démarrage dans un sens de rotation.



Un fonctionnement du relais magnéto-thermique ou une action sur le bouton poussoir S3 entraîne la désexcitation de la bobine K2M et l'arrêt du moteur.

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine K2M ce qui provoque :

- Son auto-alimentation
- Le verrouillage du contacteur K1M
- L'alimentation du moteur et son démarrage dans l'autre sens de rotation.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S3) ou un fonctionnement du relais magnétothermique (F1) coupe l'alimentation de la bobine K2M ; le moteur s'arrête.

Remarque

Il faut absolument un verrouillage électrique et mécanique des discontacteurs K1M et K2M pour éviter les courts-circuits dans le circuit de puissance.

Pendant le 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 d'écuriel) ;

Soit sur une augmentation de la résistance du rotor (cas du moteur à rotor bobiné).

10.5.2. Démarrage étoile triangle

❖ Généralités

Ce démarrage consiste à changer le couplage des enroulements du stator pour limiter l'appel de courant.

Le démarrage du moteur s'effectue en deux temps :

1er temps : chaque enroulement du stator est alimenté sous une tension réduite (couplage étoile).

2ème : chaque enroulement du stator est alimenté sous sa tension nominale (couplage triangle).

Conditions technologiques

Le moteur asynchrone triphasé est du type rotor en court-circuit ou rotor à cage d'écuriel.

Chaque enroulement du stator doit supporter, en fonctionnement normal, la tension entre phases de la source d'alimentation.

Exemple :

Moteur 380/660 V pour un réseau 220/380V et moteur 220/380V pour un réseau 110/220V.

Avantages de ce procédé

L'installation ne met pas en œuvre beaucoup de matériel.

Le courant de démarrage est assez faible (de l'ordre de 1,5 à 3 fois le courant nominal).

Inconvénients de ce procédé

Le couple au démarrage est très faible (de l'ordre de 0,2 à 0,5 fois le couple nominal) ce qui n'admet aucune charge importante lors de la mise en route du moteur.

La nécessité de couper l'alimentation du moteur lors du changement de couplage entraîne des phénomènes transitoires perturbateurs.

Le couplage des enroulements du stator en triangle est imposé en marche normale.

Le démarrage est assez long (de l'ordre de 3 à 6 secondes).

Utilisation de ce procédé

Il est employé pour des moteurs qui n'entraînent pas leur charge au démarrage ; exemple : machines-outils.

❖ Démarrage étoile triangle un sens de rotation

Démarrage étoile triangle d'un moteur asynchrone triphasé à un sens de rotation, commandé par bouton poussoir.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-38)

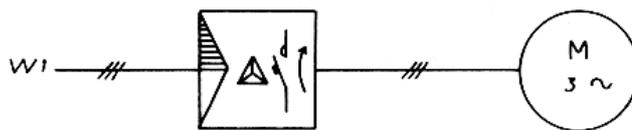


Figure 2-38

Commenté [c7]: EM231051

Démarrage semi-automatique étoile triangle d'un moteur à un seul sens de rotation ; commandé par discontacteur.

Schéma développé du circuit de puissance (fig 2-39)

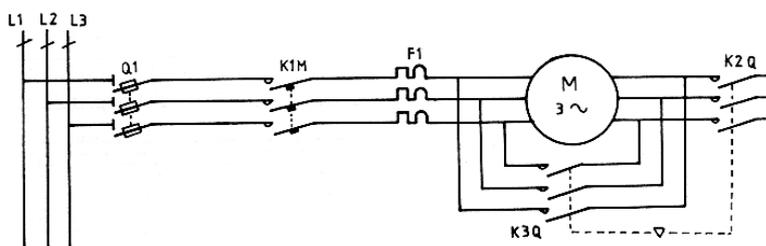


Figure 2-39

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-40)

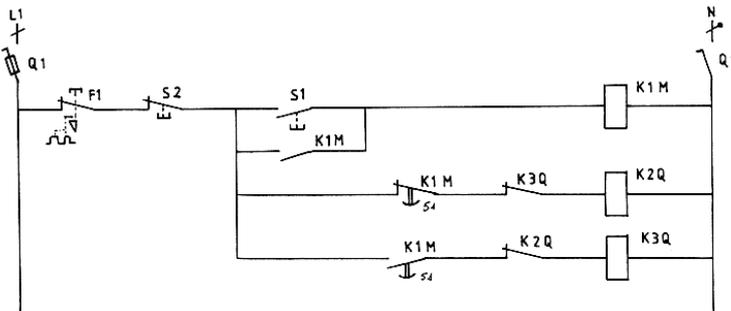


Figure 2-40

Légende :

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Q1 : fusible sectionneur | K1M : discontacteur principal |
| F1 : relais magné-thermique | K2Q : contacteur étoile |
| S1 : bouton poussoir marche | K3Q : contacteur triangle |
| S2 : bouton poussoir arrêt | M : moteur asynchrone triphasé |

Fonctionnement du montage

Une action sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M qui :

- S'auto-alimente

Excite la bobine K2Q (couplage étoile)

- Alimente le moteur ; celui-ci démarre en couplage étoile.

Cinq secondes après, les contacts temporisés du discontacteur K1M changent d'état ce qui provoque :

- La désexcitation de la bobine K2Q
- L'excitation de la bobine K3Q
- Le moteur passe en couplage triangle ; son démarrage est alors terminé.

Un fonctionnement du relais magnétothermique (F1) ou une action sur le bouton poussoir arrêt coupe l'alimentation de toutes les bobines ce qui arrête le moteur.

Remarque

Il faut verrouiller mécaniquement et électriquement les contacteurs K2Q et K3Q pour éviter les courts-circuits entre les phases du circuit de puissance.

❖ Démarrage étoile triangle deux sens de rotation

Démarrage étoile triangle d'un moteur asynchrone triphasé à deux sens de rotation et commandé par bouton poussoir.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-41)

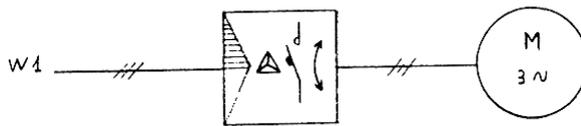
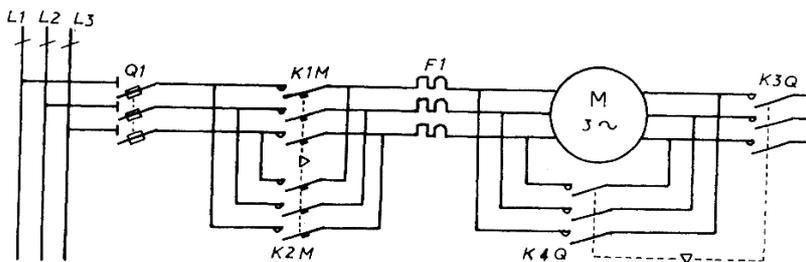


Figure 2-41

Schéma développé du circuit de puissance (fig 2-42)



Légende :

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Q1 : fusible sectionneur | K1M : discontacteur marche avant |
| F1 : relais magnéto-thermique | K2M : discontacteur marche arrière |
| S1 : bouton poussoir marche avant | K3Q : contacteur étoile |
| S2 : bouton poussoir marche arrière | K4Q : contacteur triangle |
| S3 : bouton poussoir arrêt | K5T : relais temporisé |
| | M : moteur asynchrone triphasé |

Figure 2-42

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-43)

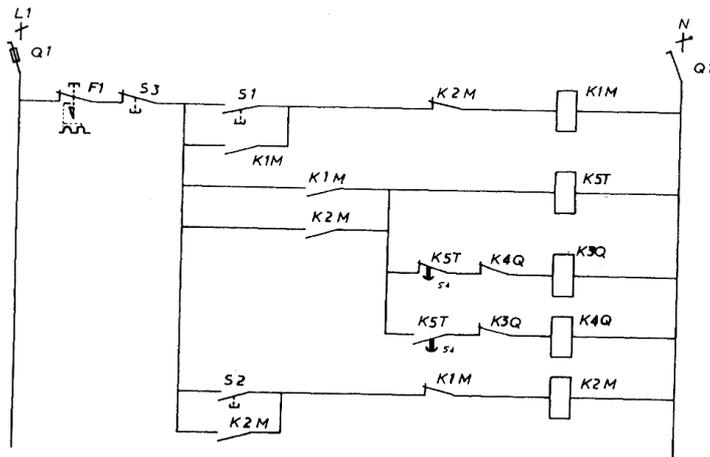


Figure 2-43

Fonctionnement :

Une action sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M ce qui provoque :

- Son auto-alimentation
- L'excitation des bobines K5T et K3Q
- Le démarrage du moteur en couplage étoile

Cinq secondes après, les contacts du relais K5T changent d'état ce qui entraîne :

- La désexcitation de la bobine K3Q.
- L'excitation de la bobine K4Q.

Le couplage du moteur passe de l'étoile en triangle ; le démarrage est terminé.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S3) ou un fonctionnement du relais magnétothermique F1 désexcite toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir 82 excite la bobine K2M ce qui provoque le même cycle décrit précédemment avec une inversion du sens de rotation du moteur (en effet il y a inversion de deux phases dans le circuit de puissance).

Remarque :

Il faut verrouiller électriquement et mécaniquement les contacteurs K 1M et K 2M ainsi que K 3Q et K 4Q pour éviter les courts-circuits.

10.5.3. Démarrage par élimination de résistances statoriques

❖ Généralités

Ce démarrage s'effectue en deux temps minimum.

1er temps : les enroulements du stator sont alimentés à travers des résistances (donc sous tension réduite).

2ème temps : les enroulements du stator sont alimentés directement sous leur tension nominale.

Remarque

La suppression des résistances peut s'exécuter en plusieurs fois ce qui ajoute autant de temps supplémentaire au démarrage du moteur.

Conditions technologiques

Le moteur asynchrone triphasé doit être du type rotor en court-circuit ou rotor à cage d'écurieil.

Avantages de ce procédé

En augmentant le nombre de temps de démarrage, il est possible de régler toutes les valeurs caractéristiques telles que courants et couple au démarrage.

Il n'y a aucune coupure d'alimentation du moteur pendant le démarrage.

L'utilisateur a le choix de coupler les enroulements du stator en étoile ou en triangle.

Inconvénient de ce procédé

Le courant de démarrage est important dans le cas d'un démarrage en deux temps (de l'ordre de 4 à 5 fois le courant nominal).

Le couple au démarrage est en moyen (de l'ordre de 0,6 à 0,8 fois le couple nominal).

Le temps de démarrage est assez long (de l'ordre de 6 à 10 secondes)

Utilisation de ce procédé

Il est employé pour des machines à forte inertie qui ne démarrent pas avec leur charge maximale.

Exemple : ventilateurs, pompes, turbines, broyeurs.

❖ Démarrage par élimination de résistances statoriques un sens de rotation

Démarrage par élimination de résistances statoriques, d'un moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-44)



Figure 2-44

Commenté [c8]: EM231055

Démarrage semi-automatique en trois temps par élimination de résistances d'un moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.

Schéma développé du circuit de puissance (fig 2-45)

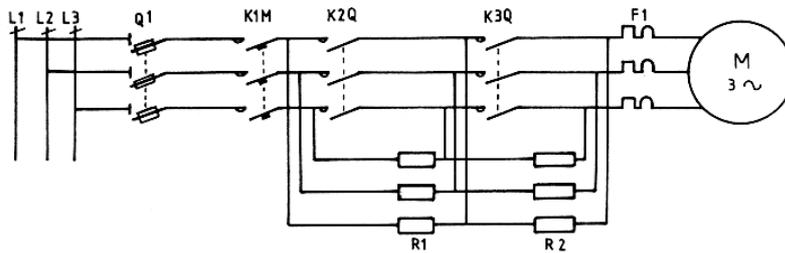


Figure 2-45

Commenté [c9]: EM231056

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-46)

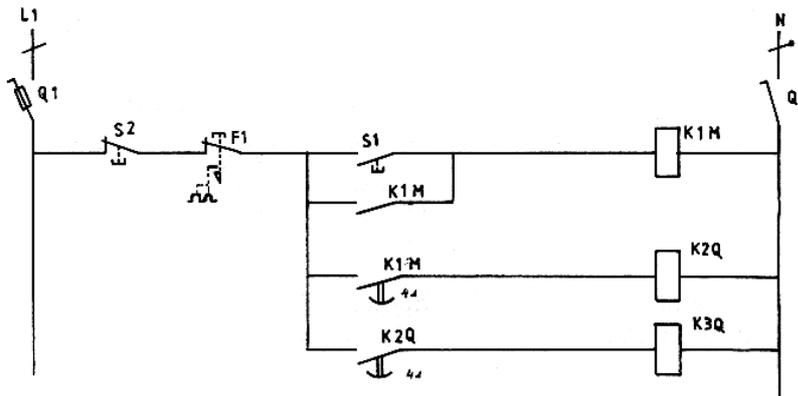


Figure 2-46

Commenté [c10]: EM231057

Légende :

- Q1 : fusible sectionneur
- F1 : relais magnétothermique
- S1 : bouton poussoir marche
- S2 : bouton poussoir arrêt
- K1M : discontacteur principal
- K2Q : contacteur 2^e temps
- K3Q : contacteur 3^e temps
- R1, R2 : résistance triphasée
- M : moteur asynchrone triphasé

Fonctionnement du montage

Une impulsion sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M qui :

S'auto-alimente

Met sous tension le moteur à travers deux jeux de résistances triphasées. Au bout de 4 secondes, le contact temporisé de K1M se ferme et excite la bobine K2Q ; celle-ci ferme ses contacts de puissance qui court-circuitent la résistance triphasée R1 (2ème temps).

Après 4 secondes, le contact temporisé de K2Q se ferme et excite la bobine K3Q ; ses contacts de puissance changent d'état et court-circuitent la résistance triphasée R2 (3e temps).

Le moteur est alors alimenté sous sa tension nominale et le démarrage est terminé.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S2) ou un fonctionnement du relais magnétothermique coupe l'alimentation de toutes les bobines ; le moteur s'arrête.

Note : Les contacteurs possèdent des contacts temporisés.

❖ Démarrage par élimination de résistances statoriques deux sens de rotation

Démarrage par élimination de résistances statoriques, en 2 temps d'un moteur asynchrone triphasé à deux sens de rotation.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-47)

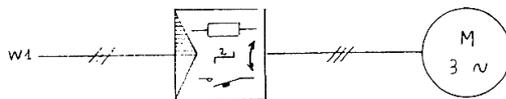


Figure 2-47

Schéma développé du circuit de puissance (fig 2-48)

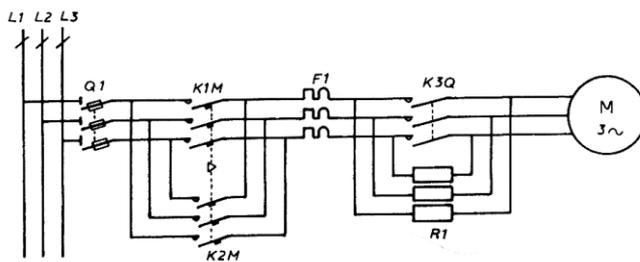
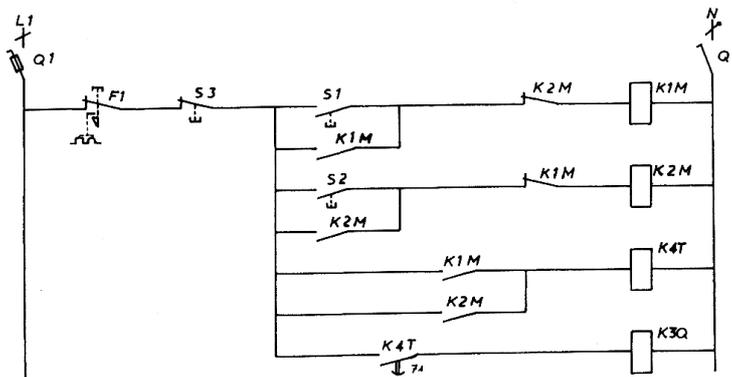


Figure 2-48

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-49)



Légende :	
Q1 : fusible sectionneur	K1M : discontacteur marche avant
F1 : relais magnéto-thermique	K2M : discontacteur marche arrière
S1 : bouton poussoir marche avant	K3Q : contacteur deuxième temps
S2 : bouton poussoir marche arrière	K4T : relais temporisé
S3 : bouton poussoir arrêt	R1 : résistance triphasée
	M : moteur asynchrone triphasé

Figure 2-49

Fonctionnement

Suivant le sens de rotation désiré on provoque :

Soit une action sur le bouton poussoir marche avant (S 1) ; Celui-ci excite la bobine K 1 M qui :

- S'auto-alimente
- Excite la bobine K4T
- Alimente le moteur à travers une résistance triphasée R 1.

Au bout de sept secondes, le contact temporisé de K 4T se ferme et excite la bobine K 3Q ce qui provoque le shuntage de la résistance R 1. Le moteur est alimenté sous sa tension nominale.

Soit une action sur le bouton poussoir marche arrière (S 2) ; celui-ci excite la bobine K 2M qui a le même effet que K 1M (elle croise simplement deux phases au niveau de l'alimentation du moteur, ce qui le fait tourner dans le sens contraire).

Une action sur le bouton poussoir S3 ou un fonctionnement du relais magnétothermique ouvre le circuit de commande ce qui entraîne la coupure du circuit de puissance et l'arrêt du moteur.

Remarque :

Il faut un verrouillage mécanique et électrique entre les discontacteurs K 1M et K 2M pour éviter les courts-circuits entre phases.



10.5.4. Démarrage par autotransformateur

❖ Généralité

Ce démarrage qui consiste à utiliser un autotransformateur s'exécute en trois temps :

1er temps : le moteur est alimenté sous une tension très réduite délivrée par l'autotransformateur.

2eme temps : le moteur est alimenté sous une tension réduite à travers une partie des enroulements de l'autotransformateur

3eme temps : le moteur est alimenté sous sa tension nominale.

Conditions technologiques

Le moteur asynchrone doit être du type rotor en court-circuit ou rotor à cage d'écureuil.

Avantages de ce procédé

Le courant de démarrage est assez faible (de l'ordre de 2 à 4 fois le courant nominal).

Il est possible de faire varier les valeurs caractéristiques telles que couple et courant au démarrage en modifiant le rapport de transformation de l'autotransformateur.

Il n'y a pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage. Le choix du couplage des enroulements stator est possible.

Inconvénient de ce procédé

Le couple au démarrage est moyen (de l'ordre de 0,4 à 0,8 fois le couple nominal).

Le prix de revient de l'autotransformateur est élevé.

Le temps de démarrage est assez long (de l'ordre de 7 à 10 secondes).

Utilisation de ce procédé

Ce démarrage est employé sur des machines de fortes puissances et à forte inertie (exemple : pompes centrifuges).

❖ Démarrage par autotransformateur un sens de rotation

Démarrage semi-automatique en trois temps par autotransformateur d'un moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-50)



Figure 2-50 |

Commenté [c11]: EM231059

Schéma développé du circuit de puissance (fig 2-51)

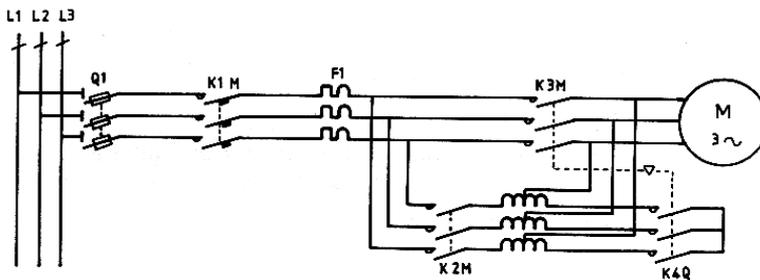


Figure 2-51

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-52)

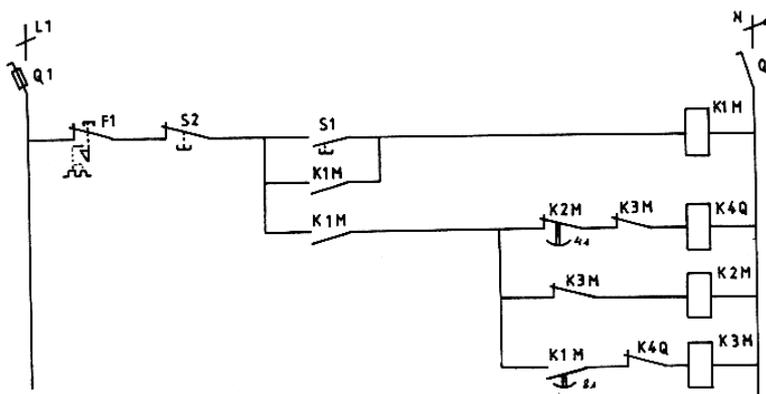


Figure 2-52

Légende :

- Q1 : fusible sectionneur
- F1 : relais magnéto-thermique
- S1 : bouton poussoir marche
- S2 : bouton poussoir arrêt
- K1M : discontacteur principal
- K2M : contacteur autotransformateur
- K3M : contacteur 3^e temps
- K4M : contacteur étoile
- T1 : Autotransformateur
- M : moteur asynchrone triphasé



Fonctionnement de l'ensemble

Une action sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M qui :

- S'auto-alimente.
- Excite les bobines K4Q et K2M
- Alimente le moteur à travers l'autotransformateur couplé en étoile.

Au bout de quatre secondes, le contact temporisé de K2M s'ouvre et désexcite la bobine K4Q ; le moteur est alimenté à travers une partie des enroulements de l'autotransformateur. Après quatre secondes le discontacteur K1M ferme son contact temporisé ce qui provoque l'excitation de la bobine K3M et la désexcitation de K2M ; le moteur est alors alimenté sous sa tension nominale.

Une action sur le bouton poussoir arrêt ou un fonctionnement du relais magnétothermique coupe l'alimentation du circuit de commande ; le moteur s'arrête.

Remarque

Les contacteurs K3M et K4Q doivent être verrouillés mécaniquement et électriquement pour éviter les courts-circuits entre phases.

Note : Les contacteurs possèdent des contacts temporisés.

- ❖ Démarrage par autotransformateur deux sens de rotation

Schéma développé du circuit de puissance

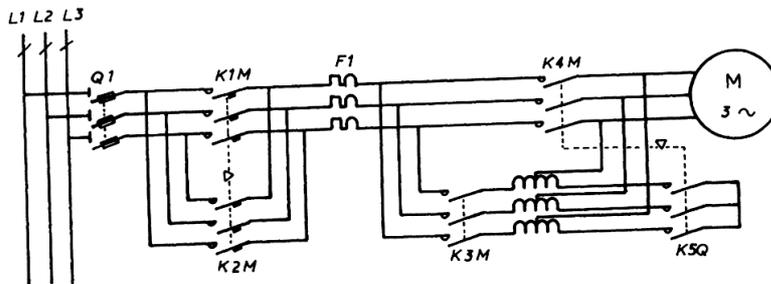
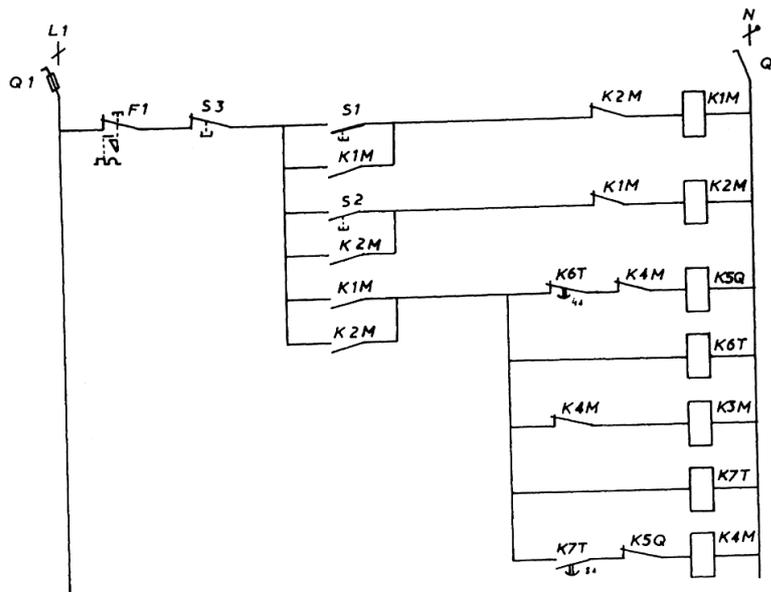


Schéma développé du circuit de commande



- Légende :**
- Q1 : fusible sectionneur
 - F1 : relais magnéto-thermique
 - S1 : bouton poussoir marche avant
 - S2 : bouton poussoir marche arrière
 - S3 : bouton poussoir arrêt
 - K1M : discontacteur marche avant
 - K2M : discontacteur marche arrière
 - K3M : contacteur autotransformateur
 - K4M : contacteur troisième temps
 - K5Q : contacteur étoile
 - K6T : relais temporisé 4 s
 - K7T : relais temporisé 8 s
 - M : moteur asynchrone triphasé

Figure 2-53

Fonctionnement



Une action sur le bouton poussoir S 1 excite la bobine K 1M qui :

S'auto-alimente.

Excite les bobines K5Q, K6T, K3M, K7T.

Alimente le moteur par l'intermédiaire de l'autotransformateur couplé en étoile. Au bout de quatre secondes, le contact du relais K 6T s'ouvre et désexcite la bobine K 5Q ; le moteur est alimenté à travers une partie des enroulements de l'autotransformateur.

Après quatre secondes, le relais K7T ferme son contact temporisé ; il excite la bobine K 4M ce qui provoque :

L'alimentation du moteur sous sa tension nominale.

La désexcitation de la bobine K3M qui coupe l'alimentation de l'autotransformateur.

Une action sur le bouton poussoir arrêt ou un fonctionnement du relais magnétothermique entraîne la désexcitation de toutes les bobines et l'arrêt du moteur.

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine K 2M qui provoque le même cycle décrit précédemment mais le moteur tourne dans le sens contraire car il y a eu inversion de deux phases dans le circuit de puissance.

Remarque :

Il faut un verrouillage mécanique et électrique pour les discontacteurs K1M et K2M et pour les contacteurs K4M et K5Q afin d'éviter les courts-circuits entre phases.

10.5.5. Démarrage par élimination de résistances rotoriques

Généralités

Ce démarrage qui consiste à alimenter directement les enroulements du stator sous leur tension nominale et à coupler les enroulements du rotor en étoile, s'exécute en plusieurs temps :

1er temps : On limite le courant dans les enroulements du rotor en insérant dans ce circuit des résistances.

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

Dernier temps : On supprime toutes les résistances rotoriques ce qui nous donne un rotor en court-circuit (couplage étoile).

Remarque

La suppression des résistances peut s'exécuter en plusieurs fois ce qui ajoute, autant de temps supplémentaires, au démarrage du moteur.

Conditions technologiques

Le moteur asynchrone triphasé doit être du type rotor bobiné avec les sorties reliées à des bagues.

Avantages de ce procédé

En augmentant le nombre de temps de démarrage, il est possible de régler les valeurs caractéristiques telles que courant et couple au démarrage.

Le courant de démarrage est faible (de l'ordre de 2 à 2,5 fois le courant nominal).

Le couple au démarrage est important (de l'ordre de 1 à 2,5 fois le couple nominal).

Il n'y a pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.

Le choix du couplage en étoile ou triangle des enroulements du stator est possible.

Inconvénient de ce procédé

Le moteur a un prix de revient élevé (rotor bobiné avec sorties reliées à l'extérieur).

Le temps de démarrage est assez long (de l'ordre de 3 à 10 secondes).

Utilisations de ce procédé

Il est employé pour des machines démarrant en charge ou à forte inertie.

❖ **Démarrage par élimination de résistances rotoriques un seul sens de rotation**

Démarrage en trois temps d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné avec un seul sens de rotation.

Schéma fonctionnel de l'ensemble (fig 2-54)

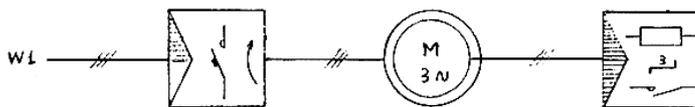


Figure 2-54

Schéma développé du circuit de commande (fig 2-55)

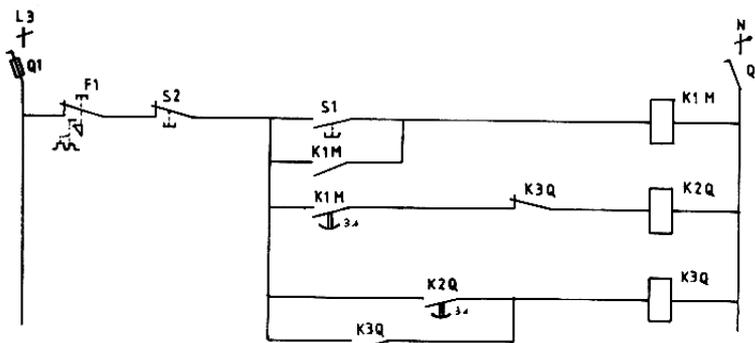


Figure 2-55

Schéma développé un circuit de puissance (fig 2-56)

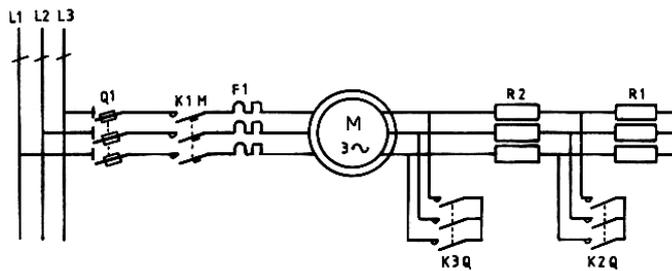


Figure 2-56

Commenté [c13]: EM231064

Légende :

- Q1 : fusible sectionneur
- F1 : relais magnétothermique
- S1 : bouton poussoir marche
- S2 : bouton poussoir arrêt
- K1M : discontacteur principal
- K2M : contacteur 2e temps
- K3M : contacteur 3e temps
- R1 : résistance triphasée
- R2 : résistance triphasée
- M : moteur asynchrone triphasé

Fonctionnement

Une action sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M qui :

S'auto-alimente

Alimente le moteur qui démarre avec l'insertion des deux résistances triphasées dans son circuit rotor.

Au bout de trois secondes, le contact temporisé K1M se ferme et excite la bobine du contacteur K2Q ce qui provoque le shuntage de la résistance triphasée R1 (2eme temps).

Après trois secondes, le contact temporisé de K2Q se ferme ce qui entraîne l'excitation de la bobine K3Q ; cela provoque :

Le shuntage de la résistance triphasée R2 (3ème temps).

La désexcitation de la bobine K3M.

Le démarrage est terminé ; le moteur tourne à sa vitesse nominale avec son rotor en court-circuit.

Une action sur le bouton poussoir S2 ou un fonctionnement du relais magnétothermique coupe l'alimentation du circuit de commande et le moteur s'arrête.

❖ Démarrage par élimination de résistances rotoriques deux sens de rotation

Schéma développé du circuit de puissance

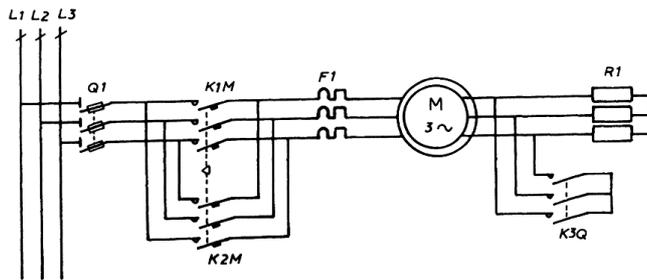
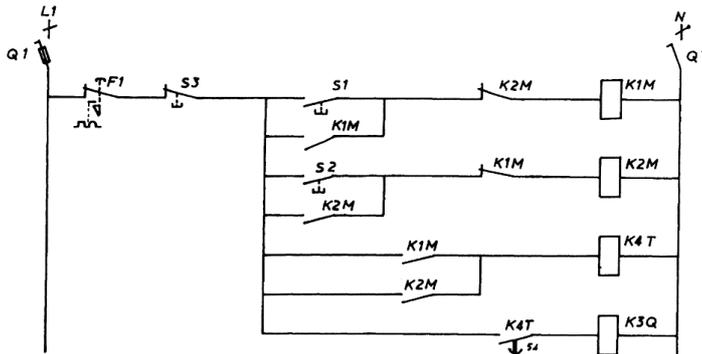


Schéma développé du circuit de commande



- Légende :**
- Q1 : fusible sectionneur
 - S1 : bouton poussoir marche avant
 - S2 : bouton poussoir marche arrière
 - S3 : bouton poussoir arrêt
 - K1M : discontacteur marche avant
 - K2M : discontacteur marche arrière
 - K3Q : contacteur deuxième temps
 - K4T : relais temporisé
 - R1 : résistance triphasée
 - F1 : relais magnéto-thermique
 - M : moteur asynchrone avec rotor bobiné

Figure 2-57



Fonctionnement

Une impulsion sur le bouton poussoir S1 excite la bobine K1M qui :

- S'auto-alimente.
- Alimente le stator du moteur qui démarre avec la résistance triphasée R1 dans le circuit du rotor (1er temps).
- Alimente la bobine du relais K4T.

Au bout de cinq secondes, le contact du relais K4T se ferme et alimente la bobine K3Q ; la résistance triphasée R1 est shuntée (2ème temps). Le démarrage du moteur est alors terminé.

Une action sur le bouton poussoir arrêt (S3) ou un fonctionnement du relais magnétothermique désexcite toutes les bobines et le moteur s'arrête.

Une action sur le bouton poussoir S2 excite la bobine K 2M qui nous donne le même cycle décrit précédemment mais le moteur tourne dans le sens contraire car il y a eu inversion de deux phases du circuit de puissance.

11. Les moteurs synchrones triphasés

11.1. Fonctionnement des moteurs synchrones triphasés :

❖ Principe :

Soit une aiguille aimantée libre autour d'un axe.

Soit un aimant permanent tournant autour du même axe, cet aimant étant équivalent, du point de vue de ses effets à un champ tournant.

L'aiguille aimantée est soumise à un couple moteur qui l'anime d'un mouvement de rotation de fréquence rigoureusement égale, donc synchrone, à celui de l'aimant représentatif du champ tournant (figure 3-1).

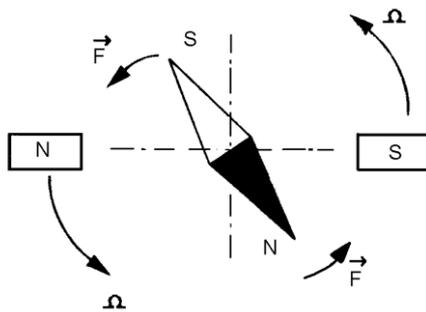


Figure 3-1

Pratiquement, le moteur synchrone est un alternateur entraîné en rotation jusqu'à la fréquence de synchronisme puis couplé au réseau et chargé mécaniquement.



Ses enroulements statoriques génèrent un champ tournant.

L'enroulement induit rotorique, alimenté en continu est analogue un aimant permanent tournant à la même fréquence de rotation que la fréquence de synchronisme du champ tournant.

Le moteur synchrone ne possède pas de couple de démarrage : Il n'engendre un couple moteur que lorsque son rotor est amené à la vitesse de synchronisme.

❖ **Caractéristiques spécifiques :**

Les deux caractéristiques importantes du moteur synchrone :

Constance de sa fréquence de rotation (égale à la fréquence du synchronisme).

Capacité à produire de l'énergie réactive.

C'est ce qui détermine son emploi en compensateur synchrone, car il permet au même titre que les batteries de condensateur, de relever le facteur de puissance des installations industrielles.

❖ **Inversion du sens de Marche :**

L'inversion du sens de rotation du moteur synchrone triphasé se réalise en inversant le champ magnétique tournant c'est à dire en croisant deux phases au niveau des enroulements du stator.

❖ **Démarrage des Moteurs synchrones triphasés :**

Pour accrocher au réseau un moteur synchrone à l'arrêt il est indispensable de l'amener en voisinage de la vitesse de synchronisme :

soit à l'aide d'un moteur auxiliaire de lancement, l'accrochage au réseau s'effectuant comme pour un alternateur.

Soit en le démarrant en mode asynchrone, grâce aux amortisseurs, mais sous une tension réduite (autotransformateur abaisseur). Pendant cette phase de démarrage le circuit inducteur est mis en court-circuit.

Lorsque la vitesse se stabilise, à proximité de la vitesse synchrone, on alimente l'inducteur et le moteur est accroché.

11.2. Fonctionnement des Moteurs asynchrones monophasés :

11.2.1. Principe de fonctionnement :

Un courant alternatif sinusoïdal monophasé parcourant un bobinage crée un champ magnétique alternatif qui peut être considéré comme la somme de deux champs tournants symétriques.

Si l'on place une aiguille aimantée en face de la bobine parcourue par un courant alternatif monophasé. Elle reste immobile, étant sollicitée par les deux champs tournants. Le couple moteur au repos est nul (figure 4 -1).

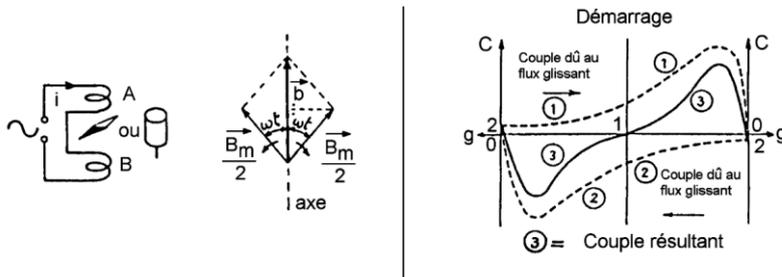


Figure 4 -1

Si l'on lance l'aiguille dans un sens, elle continue à tourner, le champ qui tourne dans le même sens que l'aiguille aimantée exerce alors un couple supérieur à l'autre.

Il y a production d'un couple moteur.

11.2.2. Démarrage des Moteurs asynchrones monophasés :

❖ Par lancement :

Après la mise sous tension, on peut lancer le moteur à la main dans un sens ou dans l'autre. Le couple moteur résultant des deux couples inverses entretient la rotation dans le sens du lancement.

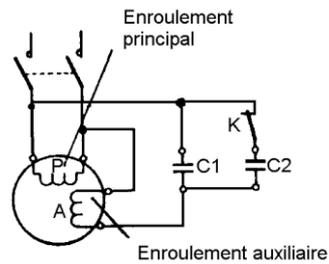
❖ Par phase auxiliaire :

On transforme le moteur monophasé en un moteur diphasé par l'adjonction d'un enroulement auxiliaire.

Cet enroulement auxiliaire est parcouru par un courant déphasé par rapport au courant qui circule dans l'enroulement principal.

Le déphasage entre les deux courants est réalisé par une capacité placée en série avec l'enroulement auxiliaire appelée condensateur de démarrage, ce condensateur est mis hors circuit, lorsque le moteur est à sa vitesse nominale.

Un condensateur appelé de marche peut être conservé en marche nominale et servir au relèvement du facteur de puissance du moteur. (Figure 4 - 2).



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

Figure 4 -2

11.2.3. Démarrage et démarreur :

Démarrage semi-automatique par condensateur avec élimination de l’enroulement auxiliaire par un contact temporisé.

Démarrage semi-automatique par condensateur (voir figure 4 -3).

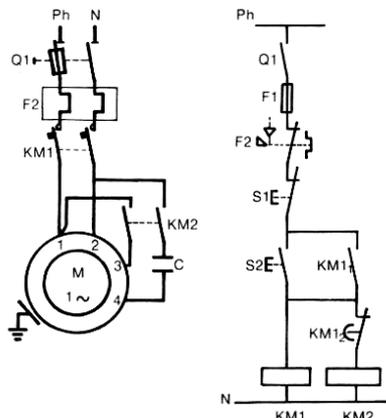


Figure 4 -3

1.2. : bornes enroulement principal.

3.4. : bornes enroulement auxiliaire

❖ 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.

❖ **Caractéristiques spécifiques :**

Le couple de démarrage est nul :

Il est nécessaire d'utiliser des artifices de démarrage tels que : enroulement auxiliaire ou spire de déphasage.

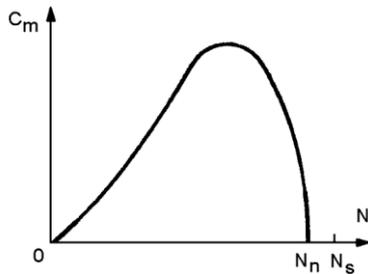


Figure 4-4

Commenté [MY14]: EEI110C53

La vitesse : comme en triphasé, elle dépend de la fréquence du réseau et du nombre de pôles.

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

Le glissement : $g = \frac{n_s - n'}{n_s}$, est plus élevé qu'en triphasé.

Tension d'alimentation : (voir figure 4-5).

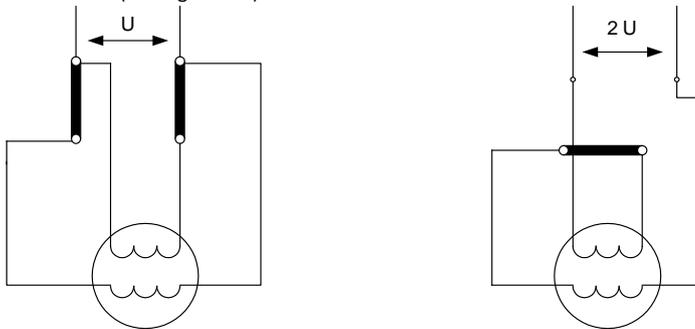


Figure 4-5

Commenté [MY15]: EEI110C54

L'enroulement est réalisé en deux parties pouvant être couplés en série ou en parallèle pour une utilisation sous la tension U et la tension 2U.

Exemple :

Enroulement en parallèle : 110V.

Enroulement en série 220V.

11.3. Les procédures de vérification des moteurs asynchrones

11.3.1. Vérification électrique

Exemple : Vérifications électriques des moteurs asynchrones triphasés à cage.

Rupture du circuit stator

Pour découvrir la rupture, il faut « sonner » chaque phase du moteur séparément. Pour cela on débranche le moteur, on enlève les barrettes de la plaque à bornes, on repère les entrées et sorties de chaque phase, soit à l'aide d'un ohmmètre, soit à l'aide d'une source auxiliaire et un voltmètre. Si le voltmètre dévie la phase est bonne, s'il reste au zéro la phase est rompue (on peut aussi au lieu d'un voltmètre employer une lampe) (voir figure 5-1).

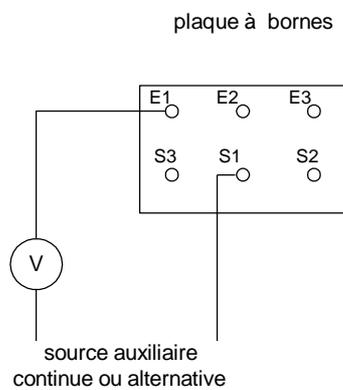


Figure 5-1

Commenté [I16]: EEI111452

Court-circuit entre phases du stator

Il faut vérifier l'isolement entre phases. On débranche le moteur et on enlève les barrettes de la plaque à bornes.

En fermant le circuit d'un voltmètre par les entrées des phases l'aiguille doit rester au zéro. Si le voltmètre dévie, les deux phases touchées sont en court-circuit. (Voir figure 5-2)

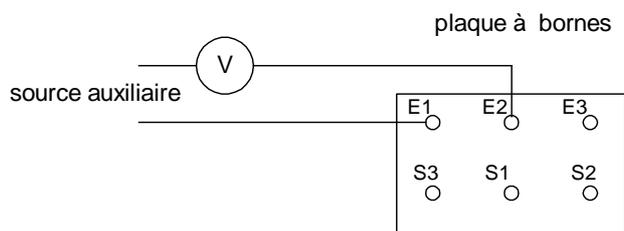


Figure 5-2

Commenté [I17]: EEI111453

Après E1 E2, on passe à E1 E3 et ensuite E2 E3.

Bobinage du stator à la masse

On débranche le moteur et on enlève les barrettes, on ferme le circuit du voltmètre par une phase et un boulon de la carcasse. Si le voltmètre dévie, la phase essayée est à la masse. (Voir figure 5-3)

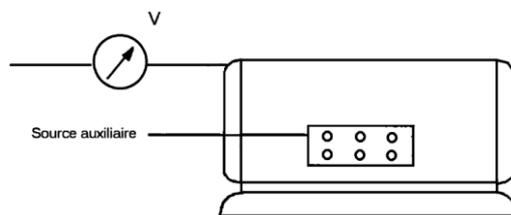


Figure 5-3

Commenté [I18]: EEI111454

Pour déterminer le point de contact phase –masse, on suit la méthode suivante :

Avec une source à fort courant (batteries de voiture 12V par exemple), on alimente entre les enroulements et le fer, le circuit se ferme par le défaut. Le point avarie chauffe et fume et peut aussi être facilement cédé.

On peut aussi prendre comme source le réseau alternatif avec un transformateur de tension comprise entre 0 et 25 V. (voir figure 5-4)

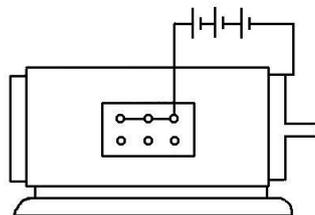


Figure 5-4

11.3.2. Vérifications mécaniques

Avant de faire des vérifications d'ordre électrique, il faut vérifier les parties mécaniques, car souvent la cause de la panne est une défaillance d'un organe mécanique (paliers en mauvais état, rotor calé, entrefer inégal, frottement du rotor dans le stator, rotor déséquilibré, écrous desserrés, bagues de prise de courant usé ou mal propres, etc...)

Vérifications des roulements et des coussinets

En essayant de faire tourner l'arbre de la machine à la main, si la rotation est difficile alors les roulements sont très serrés.

On fait bouger verticalement à la main l'arbre de la machine. S'il bouge, alors soit que le roulement ou l'arbre est usé. (Voir figure 5-5)

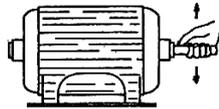


Figure 5-5

Commenté [I19]: EEI111456

Vérifications des paliers

Si on considère que les roulements sont en bon état et qu'on constate les anomalies telle que : rotor calé, frottement du rotor dans le stator, bruit ou sifflement pendant la marche de la machine, ce sont les paliers qui sont défectueux.

Vérification du ventilateur :

Lors de la mise en marche de la machine, cette anomalie entraîne un bruit du coté capot de ventilation ce qui rend l'anomalie facile à déceler.

Vérifications des liaisons mécaniques

Une liaison mécanique défectueuse peut amener au freinage de la machine. Prenons comme exemple : les tiges de montage ne sont pas bien serrées.

Pour éviter des liaisons défectueuses, on doit faire un montage correct de la machine tout en serrant convenablement les écrous et les boulons d'assemblage des pièces mécaniques constituant la machine.

Vérifications de la vitesse

La prise de vitesse peut se faire :

Directement, par accès au bout de l'arbre ;

Indirectement, sans possibilités de lier le dispositif de mesure à l'arbre de la machine.

Pour la méthode directe on utilise généralement des tachymètres à main du type : mécanique, magnétique ou numérique.

Pour la méthode indirecte de la mesure de vitesse on utilise par exemple le dispositif à barrière photo-électrique.

❖ Les vérifications électriques du dispositif de commande :

Exemple : Cas d'un équipement électromécanique (voir figure 5-6)

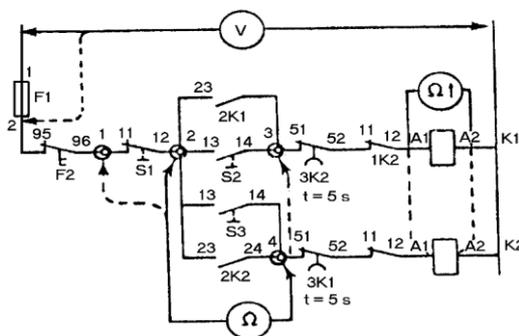


Figure 5-6



a) Hypothèses de pannes

- (1) Absence de tension d'alimentation ;
- (2) Coupure d'une bobine ;
- (3) Mauvais contact dans les capteurs ou contacts auxiliaires ;
- (4) Coupure d'une liaison électrique.

b) Vérifications à effectuer

Installation sous tension

- (1) Mesure de la tension à l'arrivée et après les fusibles (V).

Installation hors tension

- (2) Mesure de la résistance des bobines à l'ohmmètre (Ω) ;
- (3) et (4) Vérification de la continuité des circuits en utilisant les pointes-tests.

Vérifications du circuit de puissance : exemple : l'état des fusibles on utilise la lampe témoin. (Voir figure 5-7)

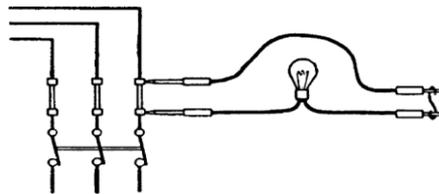


Figure 5-7

11.3.3. Diagnostic

Le diagnostic est une phase importante de la maintenance corrective. De sa pertinence et de sa rapidité dépend l'efficacité de l'intervention entreprise.

La détection qui décèle au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant,

La localisation qui conduit à rechercher précisément l'(les) élément (s) par (les) la défaillance se manifeste.

Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

Les outils du diagnostic sont nombreux et diversifiés mais tous guident la réflexion de l'agent de maintenance suivant un cheminement logique et structuré.

La conduite d'un diagnostic nécessite un grand nombre d'informations saisies :

- Auprès des utilisateurs du système,
- Dans les documents des constructeurs,
- Dans les documents du service technique,
- Dans les documents des méthodes maintenance.



❖ Méthode générale de diagnostic

Inventaire des hypothèses

A partir de la défaillance d'un matériel dont :

- Le mode de défaillance a été défini,
- Et l'élément par lequel la défaillance se manifeste a été localisé,
- Le diagnostic doit identifier les causes probables de la défaillance.

La première démarche du diagnostic est d'envisager un certain nombre d'hypothèses qui sont autant de causes possibles.

L'efficacité du diagnostic doit conduire à hiérarchiser les hypothèses par rapport à deux grands 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 suivant la méthode générale de la figure 5-8. L'enchaînement de ces vérifications jusqu'à la constatation d'un essai bon est représentatif de la méthode de diagnostic.

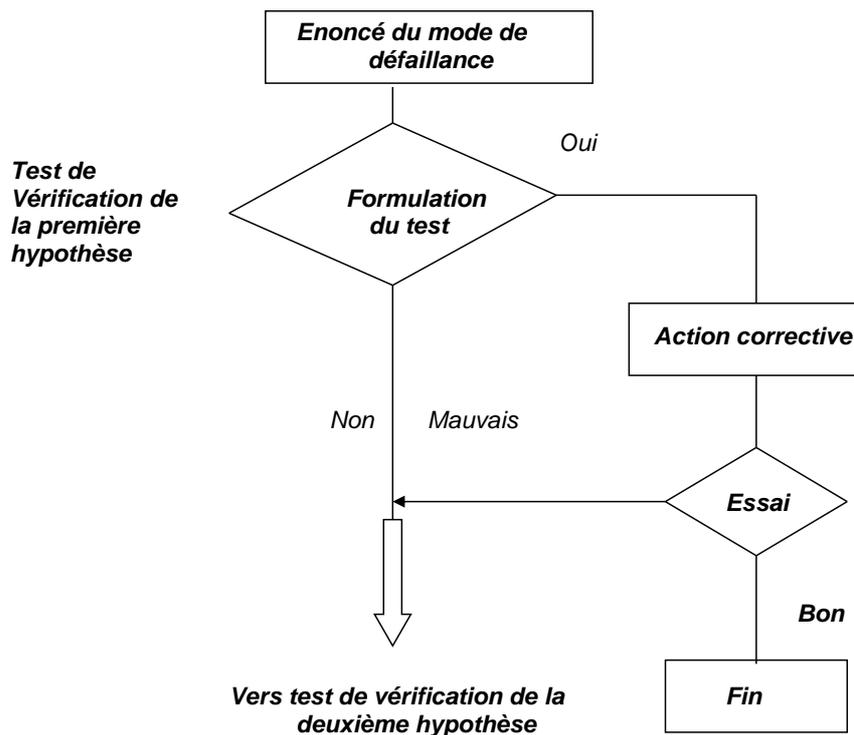


Figure 5-8 : Méthode de vérification d'une hypothèse