

OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

INSTALLATION ET
DEPANNAGE DE MOTEURS
MODULE N°:22 ET GENERATRICES A
COURANT CONTINU

SECTEUR : ELECTROTECHNIQUE

SPECIALITE : TECHNICIEN EN
ELECTRICITE

NIVEAU : TECHNICIEN

Document élaboré par :

Nom et prénom	EFP	DR
Mme KISSIOVA- TABAKOVA Raynitchka	Institut Spécialisé Industriel de Casablanca	Grand Casablanca

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

SOMMAIRE

	<i>Page</i>
<i>Présentation du module</i>	8
<i>Résumé de théorie</i>	9
I. GENERATRICES A COURANT CONTINU	10
I.1. Constitution	10
I.2. Fonctionnement	21
II. MOTEURS A COURANT CONTINU	29
II.1. Couple électromagnétique	29
II.2. Réversibilité	31
II.3. Importance de la caractéristique mécanique	33
II.4. Caractéristiques des moteurs électriques	36
II.4.1. Moteurs shunt	36
II.4.2. Moteurs série	38
II.4.3. Choix d'un moteur à courant continu	40
II.4.4. Exercices	41
II.5. Performances des moteurs	43
II.5.1. Moteurs shunt	43
II.5.2. Moteurs série	50
III. INSTALLATION ET DEPANNAGE DES MACHINES A COURANT CONTINU	57
III.1. Pose des machines	57
III.2. Entraînement des machines	58
III.3. Raccordement des canalisations au moteur	61
III.4. Entretien et réparation des machines électriques.....	61
III.5. Démontage, vérifications mécanique et électrique	62
III.6. La méthode de diagnostic	65
III.6.1. Exemple de diagnostic	67
<i>Guide de travaux pratiques</i>	68
TPI- GENERATRICE A EXCITATION INDEPENDANTE	69
I. But	69
II. Etude à vide.....	69
III. Etude en charge	72

<i>TP2 - MOTEUR SHUNT</i>	<i>75</i>
<i>I. But</i>	<i>75</i>
<i>II. Exemple de démarrage semi-automatique par élimination des résistances dans le circuit de l'induit</i>	<i>76</i>
<i>TP3 MOTEUR SERIE</i>	<i>79</i>
<i>I. But</i>	<i>79</i>
<i>II. Exemple de démarrage semi-automatique par élimination des résistances dans le circuit de l'induit</i>	<i>80</i>
<i>Evaluation de fin de module</i>	<i>83</i>
<i>Liste bibliographique</i>	<i>86</i>

MODULE :22

Durée :60 heures

23 heures : théorique

33 heures : pratique

4 heures : évaluation

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

- Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit savoir installer et dépanner les moteurs et les génératrices à courant continu et leurs dispositifs de commande.

CONDITIONS D'EVALUATION

- Prendre connaissance des directives, des plans et des manuels techniques
- Planifier l'installation
- Installer les équipements
- Analyser l'état réel de l'équipement
- Poser un diagnostic
- Remplacer les composants défectueux
- Vérifier le fonctionnement de l'équipement
- Ranger et nettoyer
- Consigner les interventions

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Acquérir les connaissances relatives aux divers types demoteurs et de génératrices à courant continu
- Reconnaître les composants des machines rotatives
- Expliquer le fonctionnement des moteurs et des génératrices à courant continu.
- Connaître les dispositifs de commande et expliquer leur fonctionnement
- Reconnaître les dispositifs de protection
- Décrire la méthode de vérification du dispositif d'entraînement de machines rotatives

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT

PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU

CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE

- | | |
|--|---|
| <p>A. Prendre connaissance des directives, des plans et des manuels techniques</p> <p>B. Planifier l'installation</p> <p>C. Installer les équipements</p> <p>D. Analyser l'état réel de l'équipement</p> <p>E. Poser un diagnostic</p> <p>F. Remplacer les composants défectueux</p> <p>G. Vérifier le fonctionnement de l'équipement</p> <p>H. Ranger et nettoyer</p> <p>I. Consigner les interventions</p> | <ul style="list-style-type: none">• Connaissance des directives• Lecture des plans et des manuels techniques
• Le schéma du circuit• Choix de l'équipement, de l'outillage et du matériel nécessaire
• La conformité à la méthode et au plan
• Analyse de l'état réel de l'équipement
• Le diagnostic• Le remplacement des composants défectueux• La vérification du fonctionnement de l'équipement• Ranger et propreté des lieux
• L'information présentée |
|--|---|

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-PERCEVOIR OU SAVOIR-ETREJUGES PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE:

Avant d'apprendre à connaître les directives, les plans et les manuels techniques (A) le stagiaire doit:

1. Distinguer les types de moteurs et de génératrices à c.c.
2. Reconnaître les composants des machines rotatives
3. Expliquer le fonctionnement des moteurs et des génératrices à c.c.
4. Interpréter les renseignements inscrits sur la plaque signalétique d'un moteur et d'une génératrice à c.c.
5. Expliquer le fonctionnement de différents dispositifs de commande de moteurs et de génératrices à c.c.
6. Reconnaître les dispositifs de protection des moteurs et des génératrices à c.c.
7. Reconnaître les éléments (composants, sections, entrées, sorties) du plan d'un dispositif de commande de moteur à c.c.
8. Décrire la méthode de vérification du dispositif de commande de moteur à c.c.

Avant d'apprendre à planifier l'installation (B) le stagiaire doit:

9. Identifier les normes en vigueur au regard de l'installation de moteurs à c.c. et leurs dispositifs de commande.
10. Expliquer les méthodes d'installation
11. Reconnaître les mesures de sécurité à prendre lors de l'installation de moteurs à c.c. et leurs dispositif de commande.

Avant d'apprendre à installer l'équipement (C) le stagiaire doit:

12. Déterminer le conditions exigées par le lieu d'emplacement.
13. Savoir installer les conduits et tirer les conducteurs.
14. Choisir le mode de couplage de la machine avec l'installation.

Avant d'apprendre à analyser l'état réel de l'équipement (D) le stagiaire doit:

15. Savoir analyser l'ensemble des données.
16. Connaître les spécifications du fabricants relatives à un équipement donné.

Avant d'apprendre à poser un diagnostic (E) le stagiaire doit savoir:

17. Analyser un circuit à c.c.
18. Analyser un circuit à c.a.

19. Analyser un circuit à semi-conducteurs.
20. Appliquer des notions de logique combinatoire.
21. Appliquer des notions de logique séquentielle.
22. Distinguer les sources de problèmes dans le dispositif de commande d'un moteur à c.c.

Avant d'apprendre à remplacer les composants défectueux (F) le stagiaire doit:

23. Reconnaître les règles de sécurité relatives à la réparation de systèmes industriels.
24. Sélectionner les composants de remplacement.
25. Effectuer les opérations d'usinage manuel.
26. Savoir expliquer l'importance de la qualité dans l'exécution des travaux.

Avant d'apprendre à vérifier le fonctionnement de l'équipement (G) le stagiaire doit:

27. Savoir décrire les méthodes de vérifications mécanique et électrique.
28. Appliquer les techniques de gestion de la maintenance.

Avant d'apprendre à ranger et à nettoyer (H) le stagiaire doit:

29. Développer une méthode de rangement efficace et sécuritaire.

Avant d'apprendre à consigner les interventions (I) le stagiaire doit:

30. Utiliser la terminologie appropriée.
31. Utiliser un micro-ordinateur pour produire des documents techniques.

PRESENTATION DU MODULE

Ce module de compétence particulière est situé au troisième semestre et il est le premier de deux modules traitant des machines rotatives et leurs dispositifs de commande. Il est basé sur les connaissances acquises dans les précédents modules: 4 - Analyse de circuits à courant continu; 6 - Micro-ordinateur; production de documents techniques; 7 - Analyse de circuits à courant alternatif; 8 - Sensibilisation à la qualité; 13 - Gestion de la maintenance; 14 - Analyse de circuits à semi-conducteurs; 19 - Logique combinatoire; 20 - Logique séquentielle. Il devient aussi le préalable au module 24 - Installation et dépannage de moteurs et de génératrices à courant alternatif.

L'objectif de module est de faire acquérir les connaissances relatives aux divers types de moteurs et de génératrices à courant continu, à l'interprétation des dispositifs de commande, au diagnostic de fonctionnement ainsi qu'au remplacement de composants défectueux. Il vise à rendre le stagiaire apte à installer et dépanner des moteurs et des génératrices à c.c. et leurs dispositifs de commande.

*Module 22: INSTALLATION ET
DEPANNAGE DE MOTEURS ET
GENERATRICES A COURANT
CONTINU*

RESUME THEORIQUE

Il y a encore quelques domaines dans l'industrie qui ont besoin des machines avec un couple important et une vitesse réglable. Dans ce cas les moteurs à courant continu jouent ce rôle.

La construction des génératrices à courant continu, ou dynamos, diffère grandement de celle de l'appareil élémentaire décrit dans le module TE-4 "Analyse de circuits à courant continu". Les moteurs à courant continu ont une construction identique à celle des dynamos, c'est pourquoi on peut utiliser une machine à courant continu soit comme moteur, soit comme génératrice.

Aujourd'hui les génératrices à c.c. jouent un rôle mineur car le courant continu est produit surtout par des redresseurs électroniques. Ces redresseurs convertissent le courant alternatif d'un réseau (ou d'un alternateur) en courant continu sans utiliser d'éléments mécaniques tournants. Il est quand même indispensable d'étudier les génératrices car certains moteurs à c.c. fonctionnent en génératrice pendant de courtes périodes. C'est le cas, par exemple, des moteurs utilisés dans les grues et dans les laminoirs.

I. GENERATRICES A COURANT CONTINU

1.1. Constitution

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

Inducteur

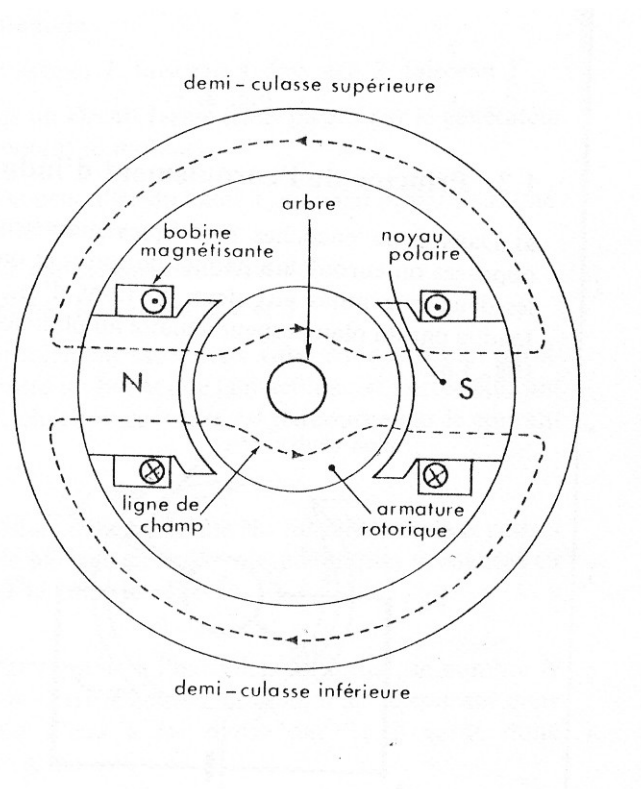


Fig.

1.1.

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). et le circuit magnétique est complété par deux *demi-culasses*. 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*. Quand l'inducteur est constitué d'un aimant permanent, la machine porte le nom de magnéto.

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. En utilisant plus de deux pôles on réduit les dimensions et le coût des grandes machines.

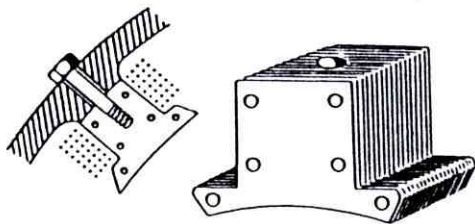


Fig. 1.2. Pôle d'inducteur
d'une

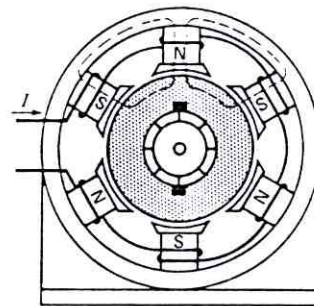


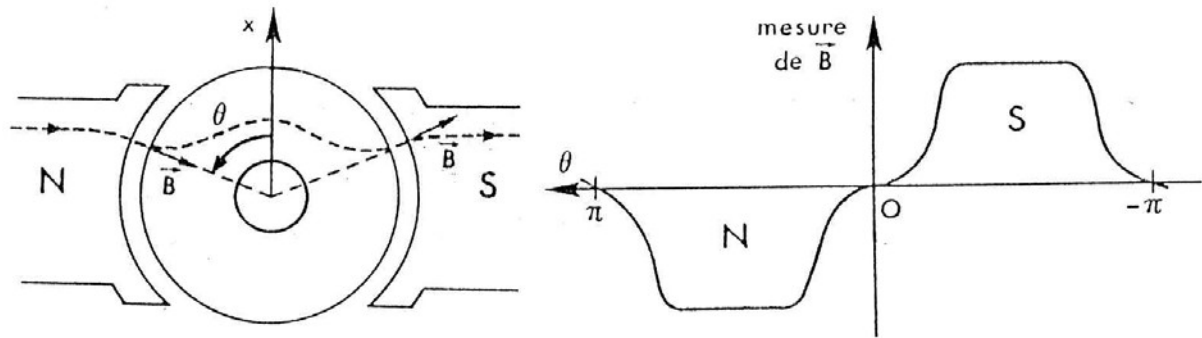
Fig. 1.3. Polarité magnétique
génératrice à 6 pôles

Les bobines magnétisantes d'un inducteur multipolaire (qui comporte un nombre de pôles $2p$ supérieur à deux, mais nécessairement pair) 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 porte un courant relativement faible. Elles sont enveloppées de plusieurs couches de ruban de coton et bien isolé 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 $1,5\text{ mm}$ à 5 mm .

Comme l'induit et l'inducteur sont construits avec des matériaux possédant une bonne perméabilité, la majeure partie de la f.m.m. sert à produire le flux dans l'entrefer. Donc, en réduisant la longueur de celui-ci, on peut diminuer les dimensions des bobines magnétisantes.

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



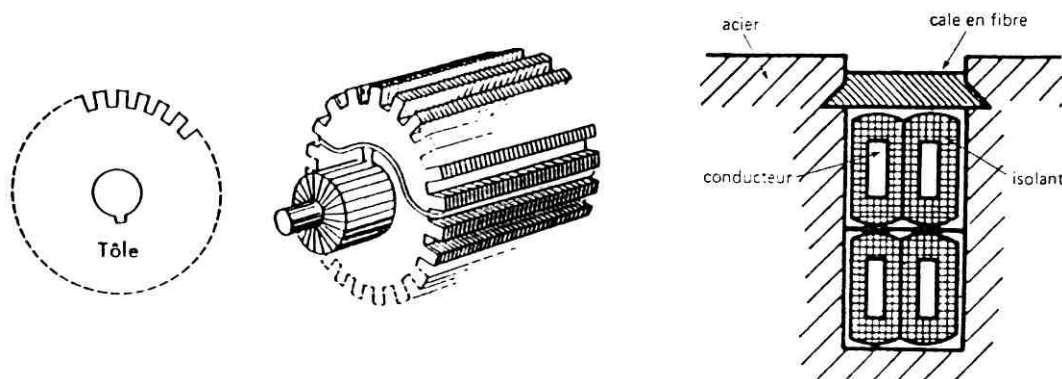
Flux magnétique dans l'entrefer
Fig. 1.4

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.

L'induit

L'induit constitue l'ensemble des conducteurs qui coupent le flux magnétique. Ces conducteurs sont enroulés sur une *armature (noyau) magnétique* (fig.1.5a) formée 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.1.5b).

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. 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.



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

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

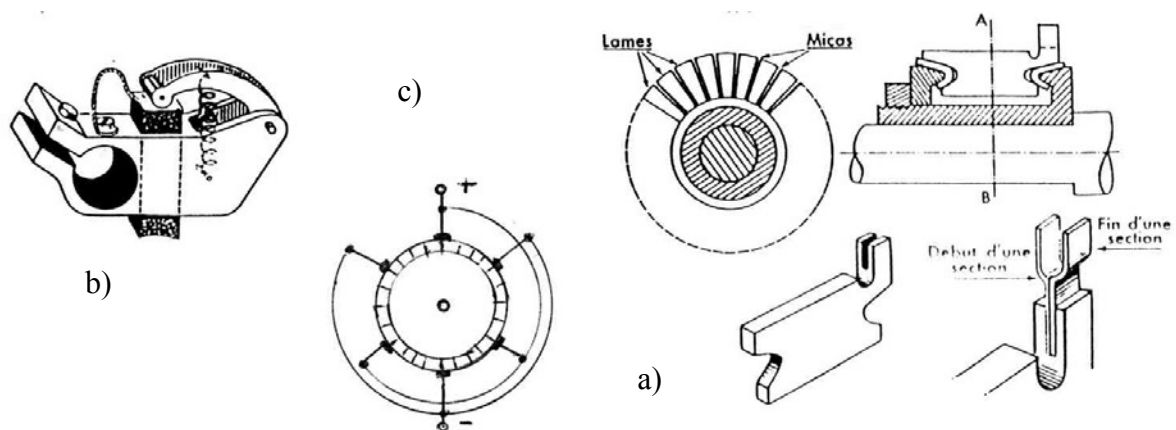
Collecteur et balais

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

L'ensemble des spires situées entre deux lames porte le nom de section; les conducteurs actifs, c'est-à-dire disposés dans les encoches, constituent deux faisceaux (numérotés 1 et 2). Si N est le nombre total des conducteurs actifs de l'enroulement, chaque faisceau comporte $N/2$ de ces conducteurs.

La construction du collecteur demande un soin considérable, car, s'il fallait qu'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 et ces balais sont reliés entre eux en deux groupes distincts pour constituer deux bornes (fig.1.6c). Plus le courant venant du collecteur est grand, plus on connecte de balais en parallèle.



a) Collecteur avec la fixation des sections; b) Balais avec le porte-balais; c) Groupement des balais sur une machine à 6 pôles

Fig. 1.6

Les balais (fig.1.6b) sont faits en carbone car ce matériau possède à la fois une bonne conductivité thermique et 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. 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. La pression des balais sur le collecteur est généralement de l'ordre de $1,5 \text{ N/cm}^2$ et la densité du courant qui les traverse est d'environ 10 A/cm^2 . Par exemple, un balai ayant une largeur de 3 cm et une épaisseur de 1 cm exerce une pression de $4,5 \text{ N}$ sur le collecteur et porte un courant de 30 A .

Enroulement imbriqué

Les bobines de l'induit peuvent être reliées entre elles et au collecteur de plusieurs manières; une des plus employées est l'*enroulement imbriqué*.

Afin de comprendre ce genre d'enroulement, considérons une simple bobine qui tourne entre les deux pôles d'un inducteur (fig.1.7a). Une tension alternative sera induite entre ses bornes (fig.1.7b). La valeur instantanée de cette tension dépend de la position de la bobine (fig.1.7c). Supposons que la tension maximale soit de 10 V . Sur la figure ci-dessous on peut voir les valeurs et les polarités des tensions pour les positions successives de la bobine (fig.1.7d).

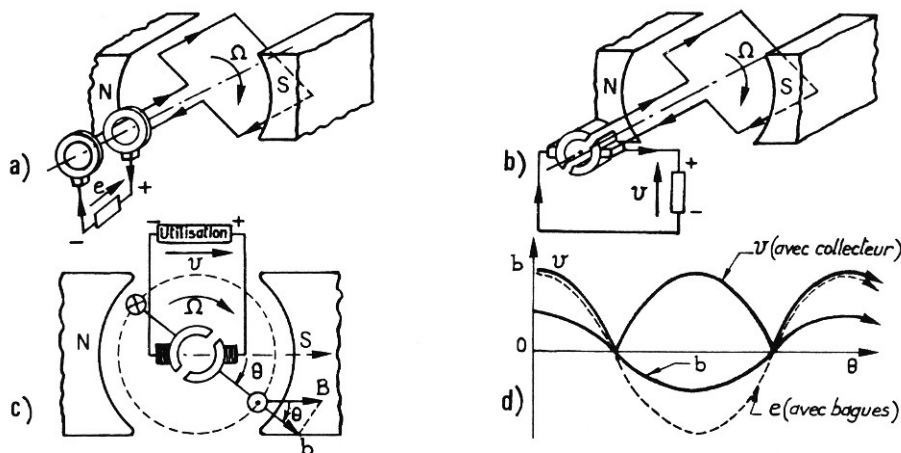
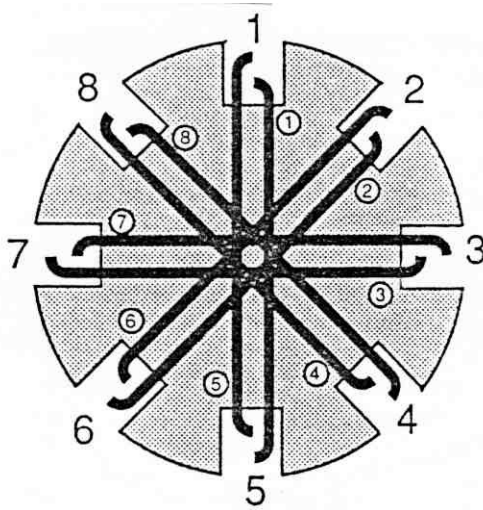


Fig. 1.7.

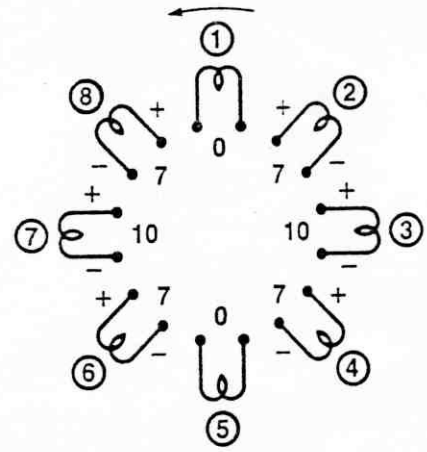
Imaginons maintenant un induit possédant 8 bobines, identiques à la décrite (fig. 1.8). Les bobines sont distribuées uniformément autour de l'induit, à 45° les unes par rapport aux autres. Elles sont numérotées de 1 à 8 et logées dans 8 encoches.

Faisons tourner cet ensemble de 8 bobines à la même vitesse. Chaque bobine génère une tension et une polarité correspondant à sa position. Notons que les bobines 1,5 sont logées dans les mêmes encoches; par conséquent, les tensions induites sont les mêmes, mais de polarités contraires. Il est de même pour les bobines 2,6; 3,7 et 4,8.



Induit portant 8 bobines. Les bobines logées dans les mêmes encoches produisent des tensions dans identiques mais de polarités contraires

Fig.



Vue instantanée des tensions induites les 8 bobines

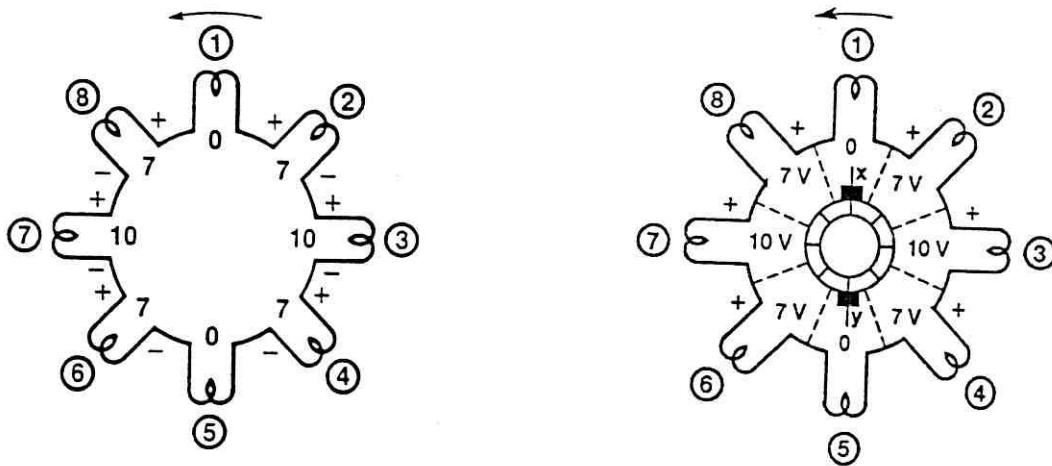
1.8.

Si l'on considère l'instant particulier où la bobine 1 est à 0° , la tension dans cette bobine est nulle, et les tensions dans les autres bobines sont telles que sur la figure. Un instant plus tard, lorsque l'induit tourne à 45° , la tension de la bobine 1 est de $+7V$, celle de bobine 2 est nulle, celle de bobine 3 est de $-7V$, et ainsi de suite.

Si on relie les bobines pour créer une boucle fermée, comme les tensions induites dans les bobines logées dans les mêmes encoches s'annulent, la somme algébrique des tensions autour de la boucle est nulle à tout instant. Donc, aucun courant ne circule dans la boucle et les tensions restent les mêmes.

Si on connecte les bobines à un collecteur de 8 segments (fig.1.9), il est évident que la tension induite dans chaque bobine apparaît entre deux segments consécutifs. La tension E_{xy} entre les balais x et y est égale à la somme des tensions entre les segments:

$$E_{xy} = +7 + 10 + 7 = +24 V$$



Etant donné que la somme des tensions autour de la boucle est nulle, on peut la fermer sans produire un courant de circulation

On place les balais à l'endroit produisant la plus grande tension E_{xy}

Fig. 1.9.

Lorsque l'induit tourne de 45° , les tensions induites sont les mêmes, sauf qu'elles sont générées par un autre groupes de bobines. Il s'ensuit que la tension entre les balais demeure constante à 24 V et que le balai x demeure toujours positif par rapport au balai y . Il faut noter que lorsque l'induit tourne de $22,5^\circ$ par rapport à la position originale, il y a 4 bobines entre les balais (au lieu de 3), de sorte que la tension est légèrement différente de 24 V. La tension entre les balais fluctue donc autour d'une valeur moyenne de 24 V.

Comme on voit sur la figure le balai x est en contact avec deux segments, mettant la bobine 1 en court-circuit. De la même façon, le balai y court-circuite la bobine 5. Mais comme la tension induite dans ces bobines est nulle, ce court-circuit momentané n'a aucun effet. Par contre, si les balais sont déplacés de 45° dans le sens horaire, ils court-circuiteront les bobines 2 et 6. Mais la tension de 7 V générée par ces bobine donnera naissance à un courant de court-circuit important qui risque de produire des étincelles et de provoquer la destruction progressive des balais et de la surface du collecteur. On dit que ces étincelles sont dues à une *mauvaise commutation*.

Le déplacement des balais occasionne aussi une diminution de la tension entre les balais, même si la tension induite dans les bobines demeurent inchangées. En effet, si les balais sont déplacés de 45° , la tension $E_{xy} = 17$ V au lieu de 24 V. Enfin, si l'on déplace les balais de 90° , la tension tombe à 0 V, mais les balais court-circuitent les deux bobines qui génèrent une tension de 10 V.

Si on représente le schéma *panoramique* de l'enroulement (fig.1.10) qui est obtenu en *développant* sur un plan la surface latérale du rotor, ainsi que celle du collecteur et en disposant *côte à côte* les deux faisceaux *superposés* dans une même encoche (les faisceaux périphériques sont représentés par des segments droits et les faisceaux profonds par des pointilles), on voit que les sections apparaissent *imbriquées* les unes dans les autres: ainsi cet enroulement est dit *imbriqué*.

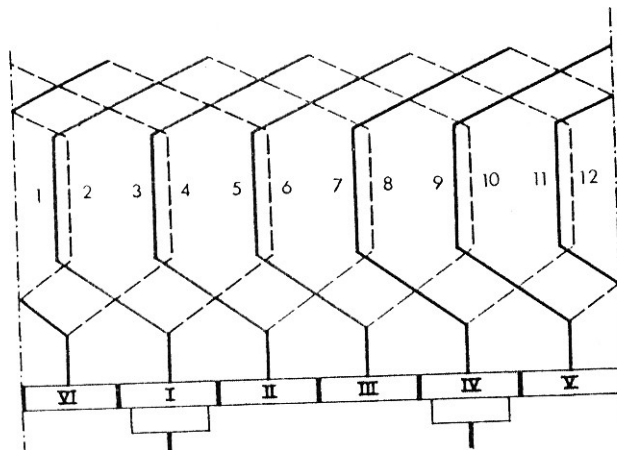


Schéma panoramique d'enroulement imbriqué
Fig. 1.10.

En pratique, l'induit comporte beaucoup plus que 8 bobines (par exemple, une génératrice de 250 kW, 250 V, 1200 tr/min peut contenir 240 bobines) et le collecteur respectivement est composés de même nombre de segments.

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.

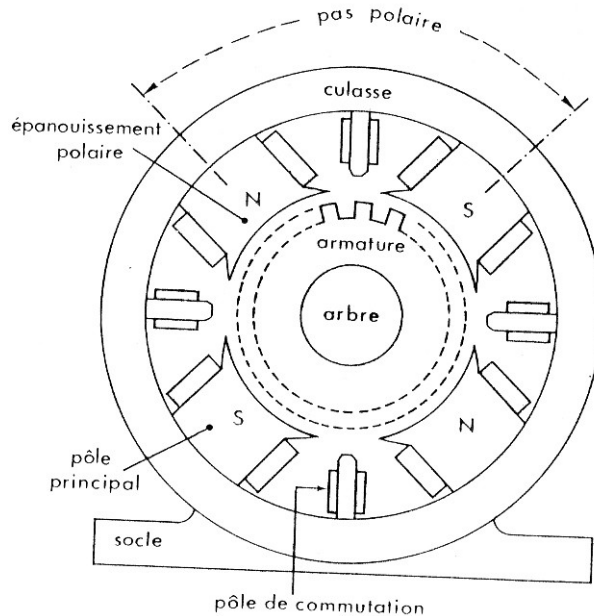
Génératrices multipolaires

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 (mais nécessairement pair); ces pôles alternativement Nord et Sud sont régulièrement disposés à la périphérie du rotor (fig. 1.11). Son enroulement d'induit présente alors $2a$ voies (nombre pair) en parallèle.

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.



Génératrice multipolaire
Fig. 1.11.

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 E (on confond désormais E et 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

$$e = \frac{\Phi}{\Delta t}$$

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

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

$$E = p/a N \Phi n$$

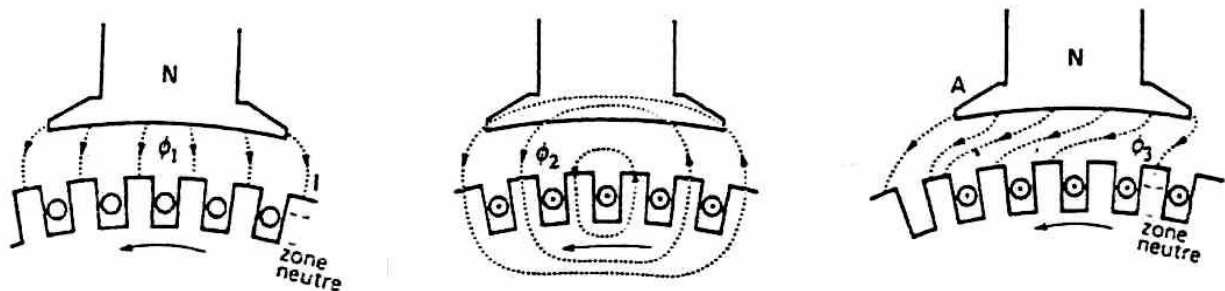
où: Φ en Wb; n en tr/s; E en V.

Réaction d'induit

Jusqu'à présent nous avons supposé que seule la f.m.m. de l'enroulement inducteur agissait sur le circuit magnétique d'une machine à courant continu. Cependant, le passage du courant dans les conducteurs de l'induit crée également 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. Il s'ensuit que les courants circulant dans les conducteurs doivent *s'opposer* au déplacement (la loi de Lenz).

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.1.12a). Mais quand le courant dans l'induit devient important, il produit une f.m.m. élevée créant un champ magnétique Φ_2 (fig.1.12b). La somme des champs Φ_1 et Φ_2 donne le champ résultant Φ_3 (fig.1.12c) On constate que la densité du flux augmente sous la moitié gauche du pôle, alors qu'elle diminue sous la moitié droite.



a) Champ dû à l'inducteur dans

b) Champ dû au courant circulant l'induit réaction Réaction d'induit

c) Champ résultant dû à la d'induit

Fig. 1.12.

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 générateur cette diminution peut être de l'ordre de 5%.

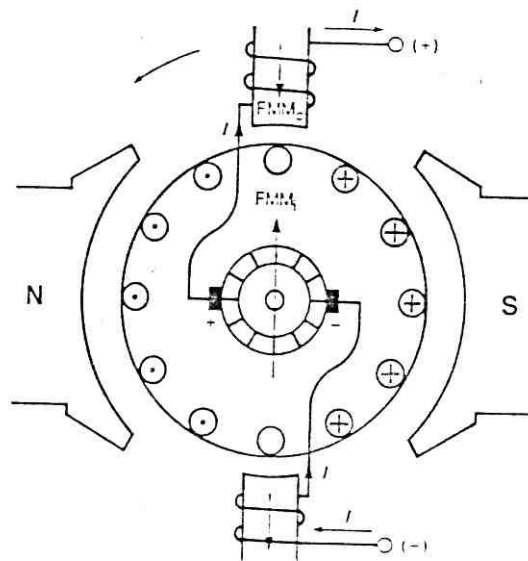
En outre, si l'on veut éviter une mauvaise commutation, on doit réajuster les balais sur la nouvelle zone neutre. Pour les génératrices les balais doivent être déplacés *dans le sens de rotation*.

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.

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. 1.13). 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 court-circuitées par les balais se trouvent dans une zone où la densité du flux est nulle. Il n'est donc plus nécessaire de déplacer les balais.



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

Fig.

1.13.

I.2. Fonctionnement

Différents modes d'excitation

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.

- *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.1.14).

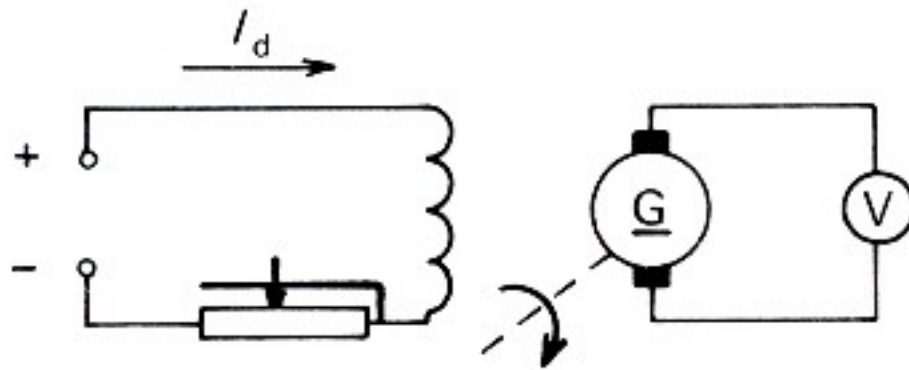


Fig.

1.14

- *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 dit être *auto-excité* (fig.1.15).

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

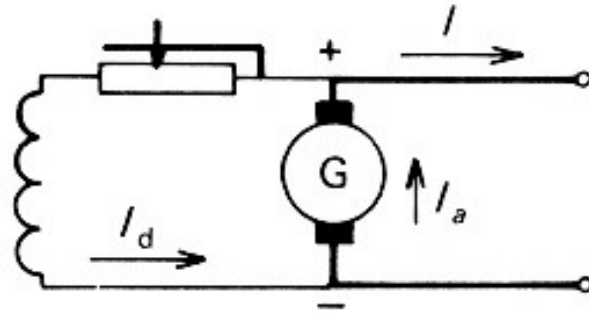


Fig. 1.15.

- *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.1.16).

Exemple: Machine 3 kW, 220 V, I = 15 A
Résistances à froid: $R_{\text{inducteur}} = 0,55 \Omega$; $R_{\text{induit}} = 1,1 \Omega$



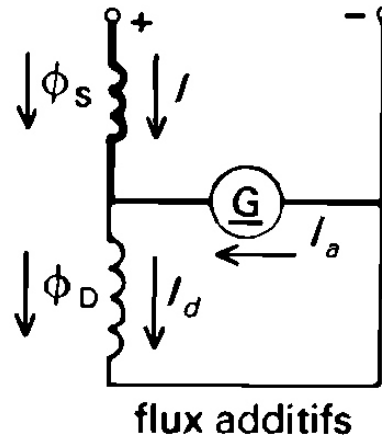
Fig. 1.16

- *Génératrice à excitation composée*

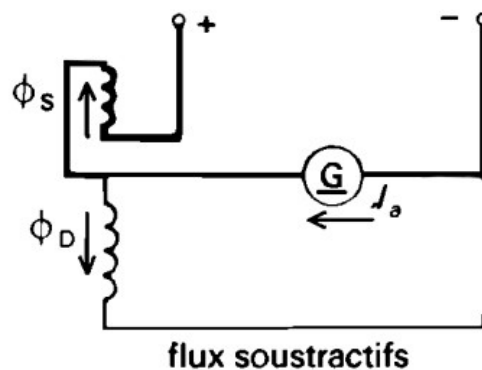
C'est la combinaison des deux modèles précédents. Les deux enroulements peuvent être montés en *courte* (fig.1.17a) ou en *longue dérivation* (fig.1.17b). Les flux peuvent s'ajouter (flux additifs) ou se retrancher (flux soustractifs).

Exemple: Machine 3 kW, 220 V, I = 14 A, J = 0,4 A
Résistances à froid: $R_{\text{inducteur}} = 1,82 \Omega$; $R'_{\text{induit}} = 208 \Omega$; $R''_{\text{induit}} = 0,44 \Omega$

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. 1.17

Essais des génératrices

- *Marche 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 l'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 sature, la perméabilité diminue et le flux ne croît plus. On dit que la machine est *saturée*.

Si l'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.1.18).

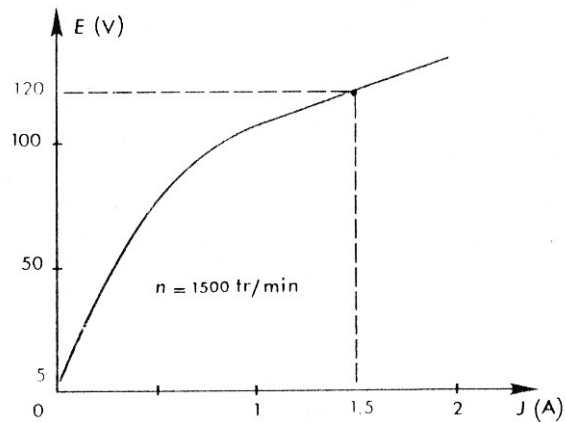


Fig. 1.18.

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 interverties, 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_{xy} est proportionnelle à la vitesse de rotation de l'induit (fig. 1.19).

$$\begin{aligned} E_1 &= (p/a) N \Phi n_1 \\ E_2 &= (p/a) N \Phi n_2 \end{aligned} \quad \} \Rightarrow E_1 / E_2 = n_1 / n_2$$

Quand on change le sens de rotation de la génératrice, la polarité des bornes x et y change aussi. Si l'on change à la fois la polarité de la tension d'excitation et le sens de rotation, la polarité ne change pas.

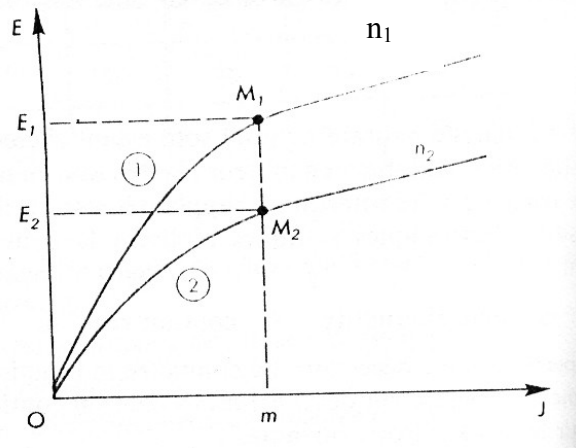


Fig. 1.19.

• *Réglage de la tension*

Les particularités citées ci-dessus sont valables entièrement pour une génératrice à *excitation indépendante*. 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 au moyen d'une résistance variable intercalée en série avec l'enroulement de l'inducteur (fig. 1.20). Cette résistance variable porte le nom de rhéostat d'excitation.

La tension E_{xy} 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 se passe l'inverse et la tension induite diminue.

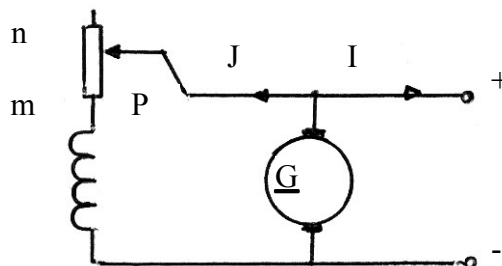


Fig. 1.20.

Si l'on connaît la courbe de saturation et la résistance totale R_{Σ} 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_{Σ} . Le point de coupure de cette droite avec la courbe correspond à la tension induite. Par exemple (fig.1.21), 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 $E_0 = 120 \text{ V}$.

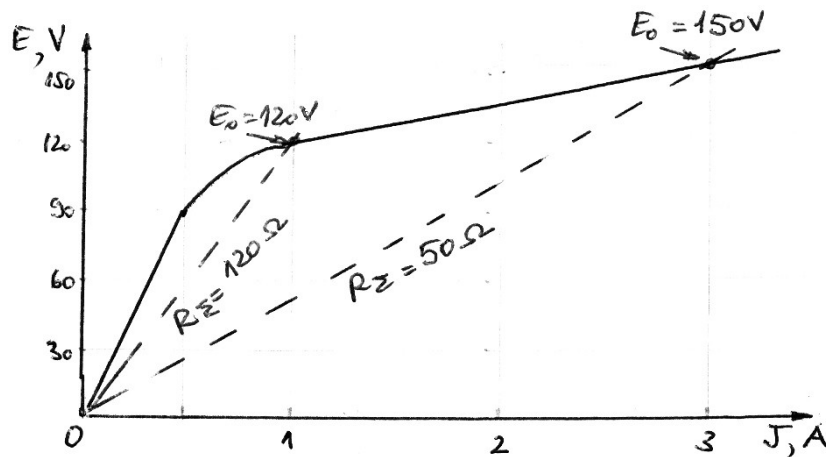


Fig. 1.21. Méthode pour déterminer la valeur de la tension induite

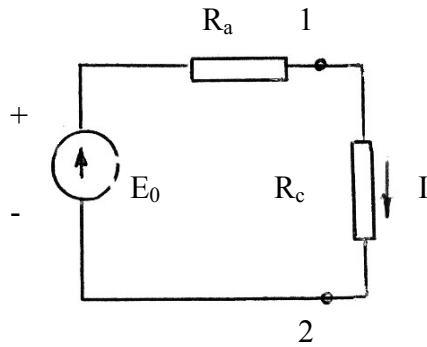
- *Marche en charge*

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.

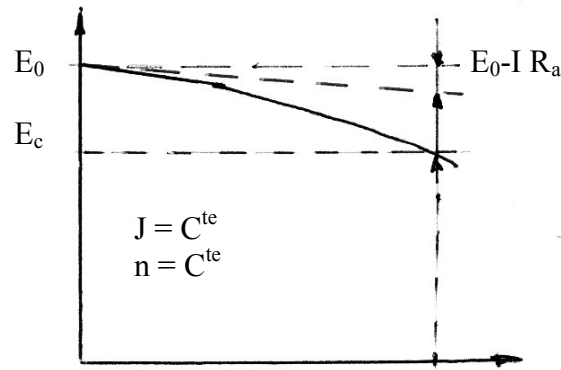
On peut donc représenter le circuit de l'induit par une résistance R_a en série avec une tension E_0 , cette dernière représentant la tension induite (fig.1.22a). Lorsque la machine tourne à vide, la tension entre les balais E_c est égale à la tension induite E_0 , car la chute de tension dans la résistance 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.1.22b)

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 en charge



b) Caractéristique en charge d'une génératrice à c.c.

Fig.

1.22

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 varient avec la tension entre les balais.

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%.

Lorsqu'il s'agit d'une dynamo dont l'inducteur est *en série* avec l'induit, le phénomène est plus compliqué. La petite f.é.m. due à la rémanence du circuit magnétique crée un courant de faible intensité dans le circuit induit - inducteur - rhéostat. Deux cas sont alors possibles:

- le courant précédent (qui circule dans l'inducteur) renforce le champ rémanent: la f.é.m. augmente, entraînant un accroissement du courant si bien que la dynamo peut atteindre son fonctionnement normal (on parle alors d'*auto-amorçage*);
- le courant circule dans un sens tel qu'il réduit le champ rémanent: le champ s'annule pratiquement, si bien que la dynamo ne peut plus s'auto-amorcer; le courant débité reste pratiquement nul.

EXERCICE:

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

Résistance de l'induit:	15	mΩ
Résistance des pôles de commutation:	9	mΩ
Résistance du champ shunt:	60	Ω
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 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:

$$E_{\text{induit}} = R_{\text{induit}} \cdot I_n = 0,015 \times 600 = 9 \text{ V}$$

La chute de tension dans les pôles de commutation est:

$$E_{\text{commutation}} = R_{\text{commutation}} \cdot I_n = 0,009 \times 600 = 5,4 \text{ V}$$

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:

$$E_0 = 97\% \times 260 \text{ V} = 252,2 \text{ V}$$

et la tension aux bornes de la génératrice est:

$$E = E_0 - E_{\text{induit}} - E_{\text{commutation}}$$

$$E = 252,2 - 9 - 5,4 = 237,8 \text{ V}$$

II. MOTEURS A COURANT CONTINU

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 composé

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.

II.1. Couple électromagnétique

Théoriquement si un courant I passe dans l'induit, chacun des deux faisceaux, parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique, est soumis à une force de Laplace $F = (N/2) I l B$.

Le sens du courant dans chaque faisceau s'inverse lorsque l'encoche franchit le plan neutre, c'est-à-dire lorsque le sens du champ, en regard de l'encoche, s'inverse: donc, le sens de la force qui s'exerce sur le faisceau n'est pas modifié.

Le rotor est soumis à un *couple électromagnétique*

$$T = (N/2 \cdot I l B) \cdot 2r = N l r I B$$

Sous l'action des forces F_1 et F_2 , c'est-à-dire de T , le rotor tourne à la fréquence n (en tr/s).

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

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.2.1).

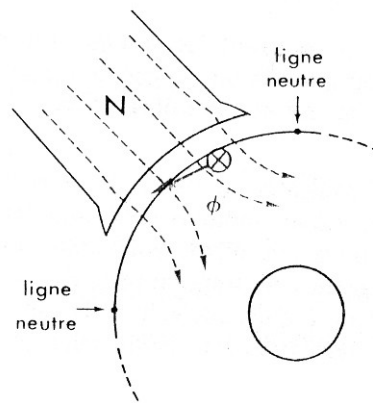


Fig.

2.1.

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 I tour, est

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

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

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

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

(Φ en Wb; I en A; T en Nm).

II.2. Réversibilité

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;
 $P_e = E I$ - la puissance, dite *électromagnétique*.

Cette puissance peut être exprimée sous forme:

$$P_e = E I = (p/a) (N \Phi_n) I$$

et transformée comme:

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

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 $P_{méc}$ 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

$$P_u = P_e - (P_{mag} + P_{mec})$$

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

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

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

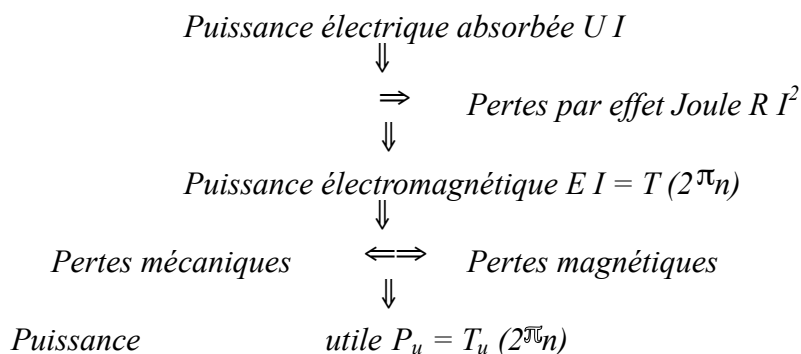
La différence entre T et T_u est appelé couple de pertes T_p

$$T_u = T - T_p$$

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 $T = (1/2\pi) (p/a) N \Phi I$ avec le couple utile T_u .

Le couple utile T_u d'un moteur à courant continu est *sensiblement proportionnel* au courant de l'induit et au flux de l'inducteur. Ce résultat est très important car il est ainsi possible de déterminer le couple par des mesures purement électriques.

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 balais s'écrit:

$$U = E - R I$$

Si le sens du courant I est le même que dans le fonctionnement en moteur, le sens de la f.é.m. E induite dans l'enroulement rotorique est donc renversé. 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

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

passé 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 .

II.3. Importance de la caractéristique mécanique

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.

Mesure des couples

- Il est toujours possible de mesurer *directement* le couple d'un moteur. A cet effet on peut utiliser un *frein mécanique* ou *électrique*. Cependant, la mesure directe d'un couple est une opération compliquée qui nécessite des machines bien adaptées l'une à l'autre avec un important dispositif mécanique. C'est pourquoi, dans la pratique, on préfère calculer le couple en fonction de grandeurs faciles à mesurer: tension, intensité, vitesse.
- Il est également important de pouvoir déterminer la caractéristique mécanique $T_r = f(n)$ d'une machine destinée à être entraînée: ventilateur, monte-charge, etc. Dans ce cas on utilise habituellement la méthode du *moteur taré*. A cet effet, on entraîne la machine par un moteur électrique dont on a, au préalable, déterminé le rendement en fonction de sa charge, soit: $\eta = f(I)$. Ainsi, connaissant la tension d'alimentation de ce moteur, puis son débit que l'on mesure, il est facile de calculer la puissance absorbée par le moteur taré ($P_a = U I$), puis la puissance mécanique que ce moteur taré délivre à la machine entraînée, soit: $P_m = \eta P_a$. On mesure la vitesse de rotation du groupe avec un tachymètre et on déduit le couple résistant, soit:

$$T_r = P_m / 2\pi n = \eta U I / 2\pi n$$

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*

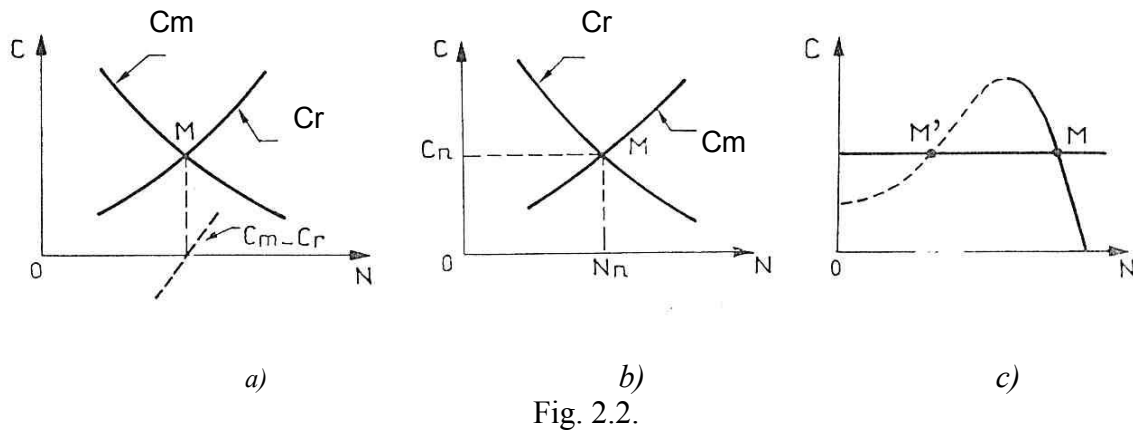
Il est intéressant de rechercher à quelle condition le fonctionnement de cet ensemble est stable. A cet effet, supposons que pour une cause extérieure ce groupe ralentisse, il y a deux possibilités:

- 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:

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



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.

- 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:

$$T_m - T_r = K \frac{d\Omega}{dt}$$

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

Dans la pratique on utilise une méthode graphique en créant des intervalles pour lesquels on peut déterminer une valeur moyenne. Pour chacun de ces intervalles on a:

$$t_1 - t_0 = \left[\frac{2\pi K}{T_m - T_r} \right] (n_1 - n_0)$$

La connaissance du temps du démarrage d'un groupe est important 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.

- 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.

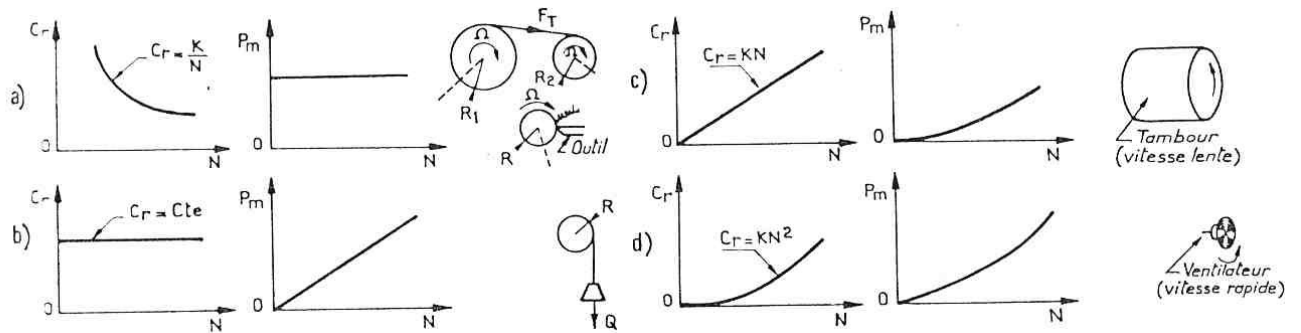


Fig.

2.3.

- Couple inversement proportionnel à la vitesse* (fig.2.3a) - 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.2.3b) - 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.2.3c) - 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.2.3d) - 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.

II.4. Caractéristiques des moteurs électriques

II.4.1. Moteur shunt (ou excitation séparée)

Contrairement à la génératrice, il n'y a pas lieu de faire une distinction entre les machines shunt et à excitation séparée car, dans les deux cas, leur excitation est assurée par une source extérieure à l'induit.

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 et les caractéristiques correspondent à la valeur nominale de la tension U .

Caractéristiques électromécaniques

Ce sont les caractéristiques qui établissent des relations entre des grandeurs électriques et mécaniques: $T_m = f(I)$ et $n = f(I)$.

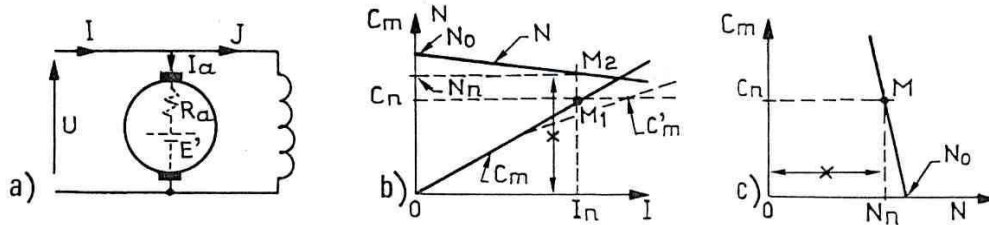


Fig. 2.4.

- *Caractéristique de couple $T_m = f(I)$ (fig.2.4b)*

On a: $I_n = I + J$ avec $J = U / R$

La résistance de l'inducteur R_i étant toujours élevée, le courant inducteur J peut être négligé par rapport au courant induit (fig.2.4a), ce qui permet d'écrire:

$$I_n \approx I$$

Comme le flux d'excitation est constant, dans la mesure où l'on néglige la réaction de l'induit, il vient:

$$T_m = (1/2\pi) (p/a) N \Phi I = K \cdot I_n \quad \text{avec} \quad K = (1/2\pi) (p/a) N$$

La caractéristique $T_m = f(I)$ est sensiblement une droite passant par origine.

- *Caractéristique de vitesse $n = f(I)$ (fig.2.4b)*

Par ailleurs, on a:

$$U - R_a I = E' = (p/a) N n \Phi = K' n \quad \text{avec} \quad K' = (p/a) N \Phi$$

d'où:
$$n = (U - R_a I_n) / K'$$

Dans la pratique, la chute de tension dans l'induit ne dépasse pas un à deux pour cent de la tension appliquée, aussi on peut conclure:

La caractéristique $n = f(I)$ est une droite descendante de pente très faible.

Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ (fig.2.4c)

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

En effet, par calcul, on a:

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

et

$$I = (U - E) / Ra \quad \Rightarrow \quad I = (1/Ra) (U - p/a N \Phi n)$$

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

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

Lorsque T_r augmente, n diminue faiblement à partir de n_0 . Le couple utile T_u étant lié à T par la relation:

$$T_u = T - T_p$$

La caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ est une droite faiblement inclinée par rapport à la verticale, dont l'abscisse à l'origine est $n(I_0) \approx n_0$.

II.4 2. Moteur série

Caractéristiques électromécaniques

- Caractéristique de couple $T_m = f(I)$ (fig.2.5b)

Les courants de l'induit et de l'excitation sont identiques ($I = I_a = J$) (fig.2.5a) et si on suppose, pour simplifier, que le circuit magnétique n'est pas saturé, le flux utile est proportionnel au courant d'excitation J (ou $\Phi = \alpha I$), soit:

$$T_m = K \Phi I_a \approx K' I^2 \quad \text{avec} \quad K' = K \alpha$$

La caractéristique $T_m = f(I)$ est sensiblement une parabole qui passe par l'origine.

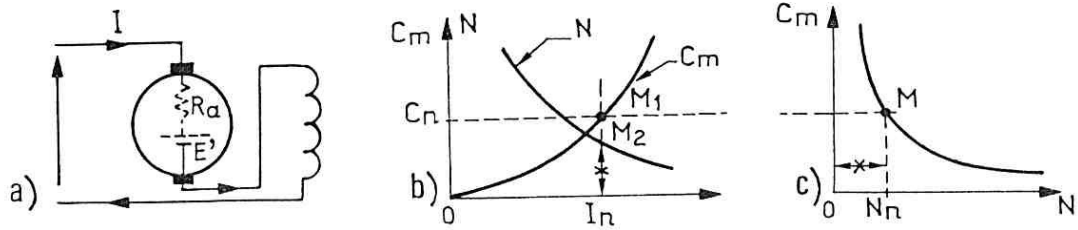


Fig.

2.5.

- Caractéristique de vitesse $n = f(I)$ (fig.2.5b)

Par ailleurs, on a: $U - (R_a + R_i) I = E' = p/a n N \Phi = K'' n I$

avec $K'' = p/a N \alpha$

soit $n = (I/K'')$ $[U - (R_a + R_i) I] / I$

La caractéristique $n = f(I)$ est la branche positive décroissante d'une hyperbole.

Grâce à la méthode graphique, on peut tenir compte de la saturation de la caractéristique à vide aux intensités élevées (fig.2.6).

A cet effet, on considère deux domaines distincts:

- Pour I faible, on a: $\Phi = \alpha I$, ce qui conduit à l'étude précédente.
- Pour I grand, on a: $\Phi = \beta$, d'où: $T_m = K \Phi I = K' I$

soit: $n = [U - (R_a + R_i) I / \beta] = \beta' [U - (R_a + R_i) I]$

Les graphes sont des droites qui passent respectivement par l'origine et par le point de court-circuit $I_{cc} = U / (R_a + R_i)$.

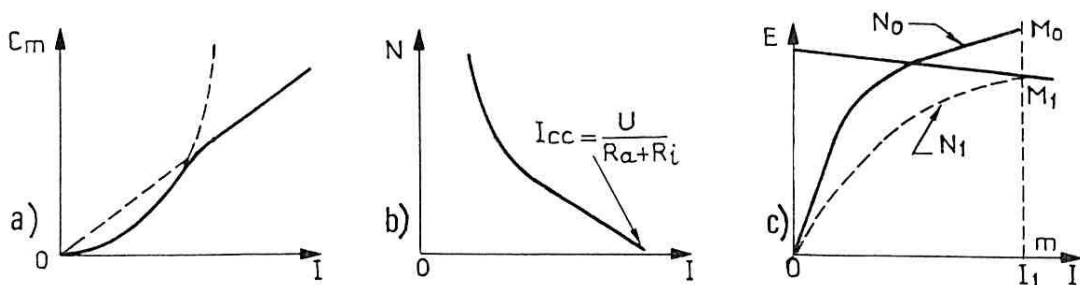


Fig.

2.6.

Caractéristique mécanique (fig.2.5c)

En éliminant I entre les deux caractéristiques précédentes on peut obtenir graphiquement la caractéristique mécanique.

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

$$T_u \approx K / n \quad \text{avec} \quad K = C^{te}$$

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

Lorsque $T_r = 0 \Rightarrow T_u = 0$: on observe alors sur la caractéristique du couple $T_m = f(I)$ que $I = I_0 \ll I_n$. La caractéristique de vitesse 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 série s'emballe à vide.

II.4.3. 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.2.7a);
- la caractéristique série - si la vitesse du moteur varie beaucoup avec la charge (fig.2.7b).

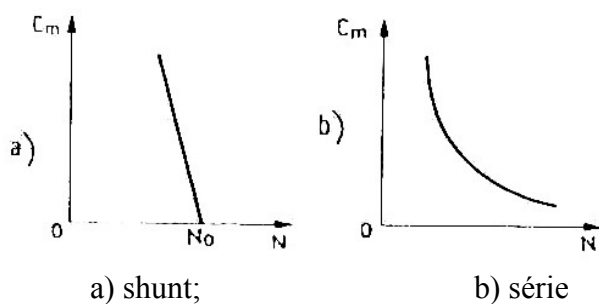


Fig. 2.7. Caractéristiques mécaniques

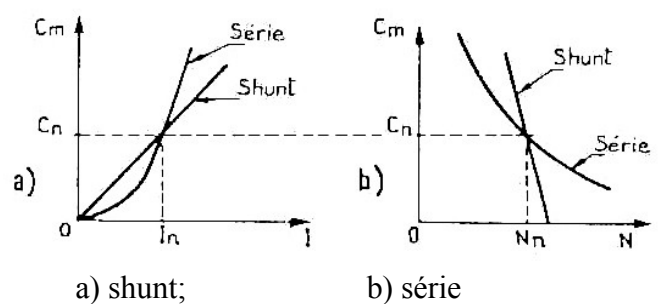


Fig. 2.8. Caractéristiques mécaniques de comparaison

Cette nomination qui provient de l'allure des caractéristiques des moteurs shunt et série à courant continu s'applique également aux moteurs à courant alternatif. C'est ainsi que le moteur asynchrone, dont la caractéristique mécanique est compliquée, présente une allure shunt dans sa partie stable car la vitesse varie peu avec la charge.

Afin d'analyser les propriétés de ces deux types de caractéristiques, il est intéressant de comparer les comportements de deux moteurs (fig.2.8), 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'une 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, mais 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.

II.4.4. Exercice

Un moteur série dont la résistance totale (à la température de fonctionnement) est 1Ω doit fonctionner sous 110 V.

Le relevé en excitation séparée (à 3000 tr/min) de sa caractéristique à vide a donné les points suivants :

E, V	20	38	73,5	101	117	126	131	135	136					
I, A		1	2	4	6	8	10	12					15	16

Tracer en moteur série, alimenté sous 110 V les courbes suivantes :

- a) La courbe de E en fonction de I ;
- b) La courbe de $k\Phi$ en fonction de I, si on a posé : $E = k n \Phi$;
- c) La courbe du couple moteur C en fonction de I ;
- d) Déduire de ces trois courbes, la courbe du couple moteur en fonction de la vitesse.

Application : Calculer les vitesses correspondant aux couple 7, 5, 3 et 1 Nm.

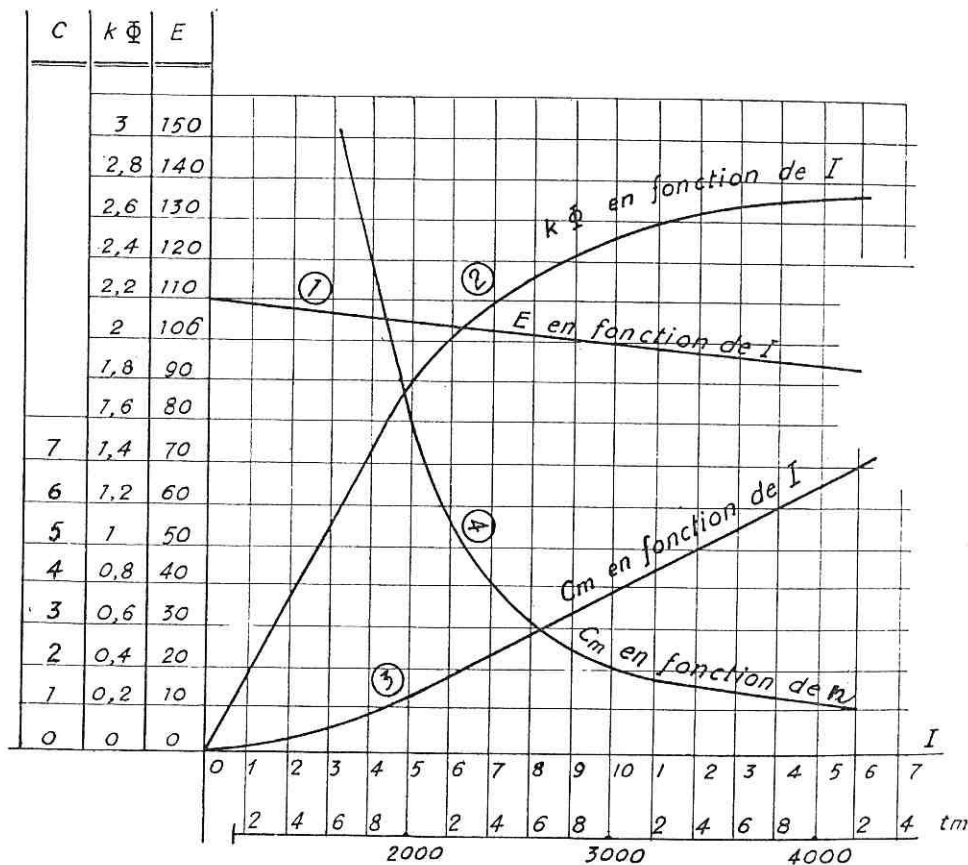


Fig. 2.9

Par application de la loi d'Ohm, on a :

$$E = U - R I = 110 - I$$

La courbe représentative de E en fonction de I est la courbe 1 (fig. 2.9).

Pour représenter les autres caractéristiques, nous allons compléter le tableau de la caractéristique à vide par les valeurs suivantes :

$$E / n = k \Phi = E / 50, \quad \text{puis: } C = k I \Phi / 2\pi$$

Il vient:

E, V	20	38	73,5	101	117	126	131	134	136				
I, A	1	2	4	6	8	10					12	14	16
kΦ		0,4	0,76	1,47	2,02	2,34	2,52	2,62	2,68	2,72			
C=kIΦ/2π		0,064	0,24	0,94	1,93	2,98	4,02	5,60	6,95				

On en déduit les graphes de k Φ en fonction de I (courbe 2) et de C en fonction de I (courbe 3).

Pour représenter la caractéristique mécanique (courbe 4), on choisit sur (3) une valeur C' à laquelle correspond le courant I' . Pour I' , la courbe (1) donne E' et la courbe (2) donne $(k \Phi)'$.

En faisant le quotient, on a : $n' = E' / (k \Phi)'$,

Application :

C, Nm	7	5	3	1
n, tr/min	2060	2250	2600	4220

II.5. 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 laminoires, 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.

II.5.1. Moteur shunt

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 appelé 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_a 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 :

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

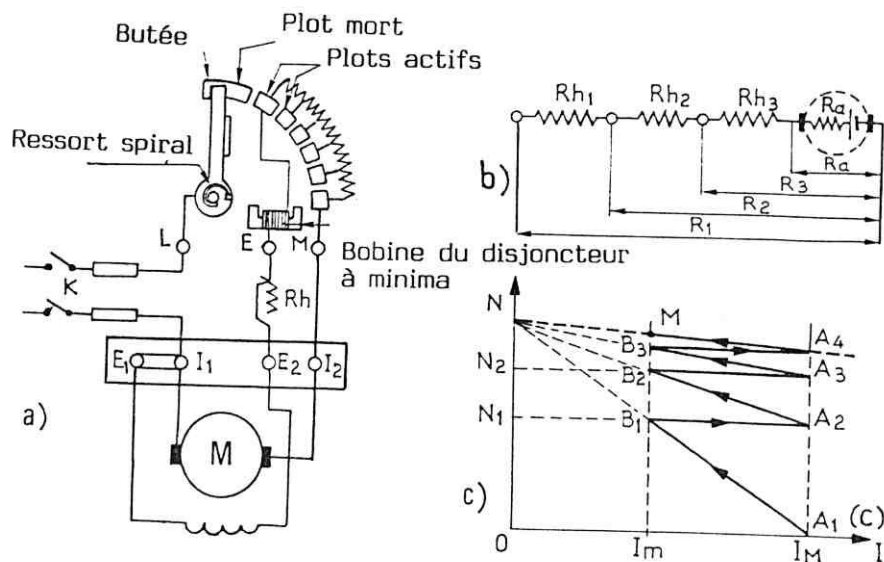
Une telle surintensité entraînerait la destruction de l'induit. Pour la limiter, on pourrait réduire la tension d'alimentation. Malheureusement, cette solution, qui est utilisée dans le groupe Léonard, n'est pas possible si la tension d'alimentation est fixe. Dans ce cas on est obligé d'utiliser un rhéostat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

• *Branchements du rhéostat de démarrage*

Le branchement d'un rhéostat de démarrage (fig. 2.10) 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 E_1 à I_1 au moyen d'une barrette sur la plaque à bornes, puis de relier E_2 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 manoeuvrant 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. 2.10

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:

$$U = E' + R_a I_a \approx E' = p/a n N \Phi, \quad \text{puisque } R_a I_a \approx U/50$$

d'où:

$$N \approx U / \Phi \quad \text{et si} \quad \Phi \rightarrow 0, N \rightarrow \infty$$

C'est pour éviter cet inconvénient grave en cas de rupture accidentielle 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'une bilame.

Le démarrage d'un moteur peut s'effectuer manuellement ou (semi-)automatiquement. Le schéma du démarrage semi-automatique, comportant des contacteurs et des relais électromagnétiques, fait partie d'un travail pratique. Ici 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.

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:

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

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:

$$n = (U - RI) / K \Phi = K' (U - RI) \quad T = k I \Phi = k' I$$

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.2.11a), soit:

Pour $T = 0, I = 0, n = K' U$; pour $n = 0, I = U / R, T = k' U / R$

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.

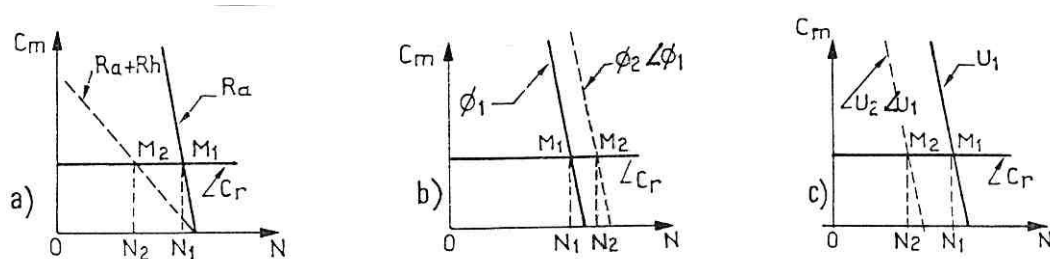


Fig.

2.11

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 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.2.11b).

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 ($T_m = k I \Phi = C^{te}$), 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 ($P = UI = C^{te}$). 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 de 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 nominale (fig.2.11c). 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.

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.2.12a). 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.

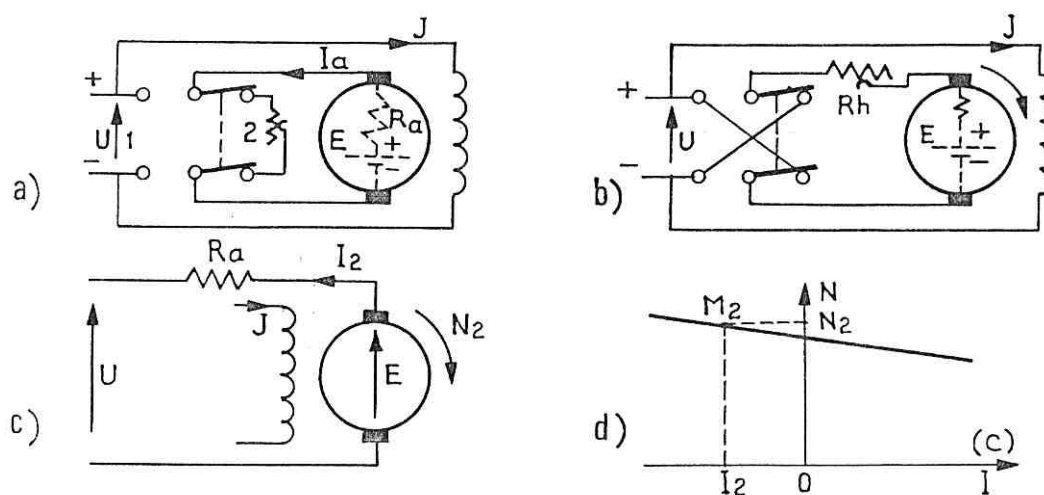


Fig.

2.12

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.2.12b). 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:

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

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, qui est très séduisant, n'est pas simple à réaliser. En effet, si l'on considère le circuit équivalent d'une réceptrice (fig.2.12c), 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.2.12d). 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.

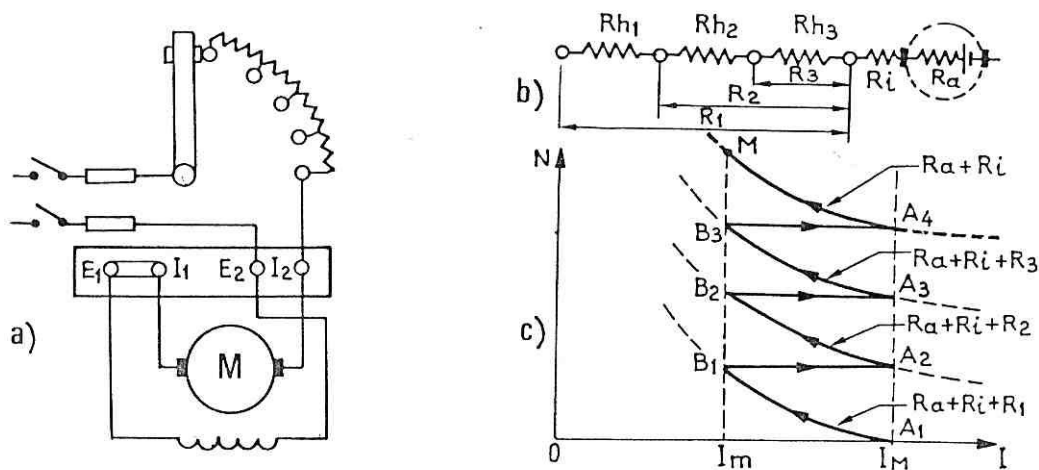
Inversion du sens de la marche

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.

II.5.2. Moteur série

Démarrage

Le montage est simple car il suffit de relier le rhéostat en série avec l'induit et l'inducteur (fig.2.13a). 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. 2.13

Réglage de la vitesse

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

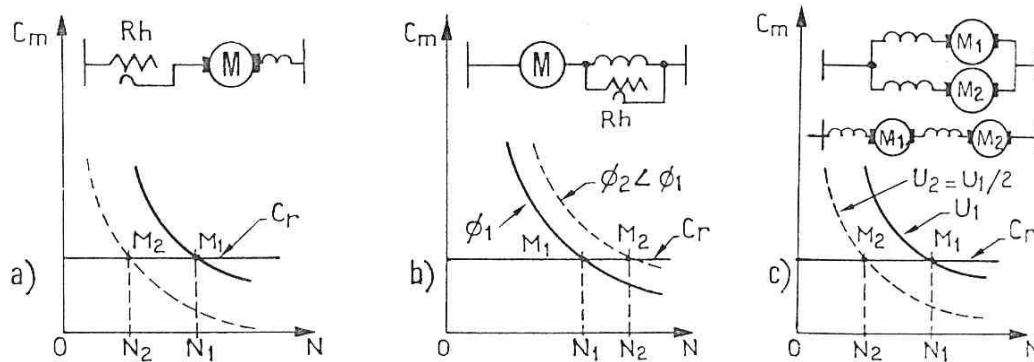


Fig. 2.14

- *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.2.14a).

- *Réglage par le flux*

Comme pour le moteur shunt, la caractéristique se déplace sensiblement parallèlement à elle-même (fig.2.14b). La diminution du flux produite en court-circuitant progressivement les spires inductrices 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.2.14c). 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 $U/4$.

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.

Le moteur shunt peut théoriquement fonctionner en courant alternatif, mais il n'est pas utilisé avec cette alimentation car, en raison de déphasage entre le courant de l'induit et du flux de l'inducteur, le couple qu'il développe est très faible.

II.5.3. Exercices

1. 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.

- à 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).

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.

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 .

Calculer la fréquence de rotation:

- à vide;
- lorsque le couple résistant vaut 10 Nm .

Solution:

1) Au démarrage

$$n = 0 \Rightarrow E = 0$$

le modèle du moteur se réduit à une résistance.

La loi d'Ohm permet de calculer

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

On en déduit la valeur du rhéostat de démarrage

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

2) 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

$$T = EI / 2\pi n$$

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.

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

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

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:

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

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

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

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

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:

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

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

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

2. Un moteur à courant continu excité en série, alimenté sous 440 V, entraîne un véhicule de 10 tonnes; son rendement est de 0,80 tandis que celui de la transmission est égal à 0,90.

En palier, la vitesse du véhicule est de 36 km/h; on admet que les résistances passives au roulement représentent 3% du poids du véhicule.

- Calculer le courant absorbé par le moteur;
- On a relevé la caractéristique à vide $E(I)$ de ce moteur à 500 tr/min:

$I (A)$	25	50	100		150	200	
$E (V)$	108	202	326	383	418		

Sachant que la résistance de l'induit et celle de l'inducteur valent respectivement $0,08 \Omega$ et $0,02 \Omega$, calculer la fréquence de rotation du moteur lorsque le véhicule est en palier.

Le véhicule absorbe une rampe: on constate alors que l'intensité du courant absorbé double. Calculer la nouvelle vitesse du véhicule.

Solution

- 1) La force qui tend à s'opposer au roulement a pour valeur:

$$F = 0,03 M g \quad \text{avec } M = 10 \text{ tonnes} = 10 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$F = 0,03 \times 10 \cdot 10^3 \times 9,8 = 2940 \text{ N} \quad \text{avec } g = 9,8 \text{ m/s}$$

La puissance utile de l'ensemble "moteur + transmission" est égale au travail de F pendant 1 seconde

$$P_u = 2940 \times 36 \cdot 10^3 / 3600 = 29400 \text{ W}$$

La puissance électrique absorbée par le moteur vaut

$$P_a = P_u / \eta_m \eta_t \quad \Rightarrow \quad P_a = 29400 / (0,8 \times 0,9) = 40830 \text{ W}$$

On en déduit immédiatement le courant absorbé

$$I = P_a / U \quad \Rightarrow \quad I = 40830 / 440 = 92,8 \text{ A} \approx 93 \text{ A}$$

La loi d'Ohm permet de calculer la f.é.m. du moteur

$$U = E + (R + R_i) I \quad \Rightarrow \quad E = 440 - 0,1 \times 93 = 431 \text{ V}$$

Lorsque $n = 500$ tr/min, la caractéristique à vide montre que

$$\text{pour } I = 93 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad E = 315 \text{ V}$$

Pour un même courant I , les f.é.m. étant proportionnelles aux fréquences de rotation correspondantes, on a

$$n / 431 = 500 / 315 \quad \Rightarrow \quad n = 500 \times 431 / 315 = 684 \text{ tr/min}$$

2) Le nouveau courant absorbé a pour valeur

$$I' = 93 \times 2 = 186 \text{ A}$$

si bien que la nouvelle f.é.m. vaut

$$E' = 440 - 0,1 \times 186 = 421 \text{ V}$$

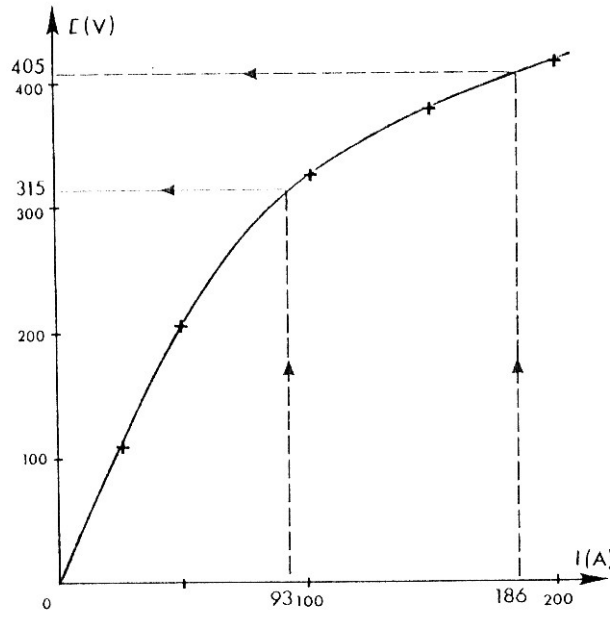
Lorsque $n = 500$ tr/min, nous avons avec $I = 186 \text{ A} \Rightarrow E = 405 \text{ V}$

Pour $I = 186 \text{ A}$, écrivons à nouveau la proportionnalité entre les f.é.m. et les fréquences de rotation:

$$n' / 421 = 500 / 405 \quad \Rightarrow \quad n' = 500 \times 421 / 405 = 520 \text{ tr/min}$$

La fréquence de rotation du moteur et la vitesse du véhicule sont proportionnelles; or cette vitesse vaut 36 km/h lorsque $n = 628$ tr/min; par suite, lorsque la fréquence de rotation ne vaut que 520 tr/min le véhicule se déplace à la vitesse v' telle que

$$v' / 520 = 36 / 684 \quad \Rightarrow \quad v' = 36 \times 520 / 684 = 27,37 \approx 27,4 \text{ km/h}$$



Courbe représentative de la fonction $E = f(I)$

Fig. 2.15

III. INSTALLATION ET DEPANNAGE DES MACHINES A COURANT CONTINU

III.1. Pose des machines

Levage des machines

L'installation des petites machines électriques (jusqu'à 5 kW) ne pose pas de problème, leur mise en place s'effectue à bras d'homme avec l'aide d'une barre de fer rond, passé dans l'anneau de levage.

Les machines excédant le poids de 150 kg demandent le secours d'un appareil de levage tel qu'un palan accroché à une chèvre, à un monorail ou à un pont roulant. Une grue convient également.

L'amarrage des machines à installer s'effectue généralement en passant le crochet du palan dans l'anneau de levage. A défaut d'anneau d'élevage, on amarre la machine au moyen d'un cordage en chanvre ou d'un câble souple en acier.

Précautions de sécurité à prendre:

- choisir un appareil de levage correspondant à la charge à lever;
- ne pas dépasser la limite de sécurité des câbles utilisés (cordage de chanvre - 1 kg/mm²; câble en acier - 6 kg/mm²);
- éviter de placer les câbles sur des arêtes tranchantes qui pourraient les cisailer durant les manipulations. Si le câble doit passer sur une arête vive, on recouvre celle-ci d'une planchette ou de toile;
- ne pas placer un pied ou une main sous la machine manipulée, sans y introduire une cale plus épaisse que le membre engagé;
- éviter de stationner sous une charge.

Fixation des machines électriques

- *Rigide, avec fixation par boulons scellés*, soit contre un mur, soit sur le sol cimenté, soit sur un massif de béton.
- *Rigide, par boulonnage sur chaises* ou sur le bâti d'une machine-outil.
- *Réglable*, avec fixation sur des glissières.
- *Souple, sur un axe*. Le socle du moteur est fixé à un axe par une de ses extrémités; l'autre est soulevée par des ressorts qui jouent le rôle de tendeurs de courroie.

III.2. Entraînement des machines

Une génératrice a besoin d'être entraînée pour fournir un courant. Un moteur électrique est accouplé soit à une autre machine électrique, soit à une machine-outil., pour lui transmettre son énergie mécanique.

L'entraînement d'une machine par un moteur peut s'effectuer avec une courroie plate ou avec une courroie trapézoïdale à un ou plusieurs brins.

L'accouplement de deux machines se fait au moyen d'un manchon qui peut être rigide, semi-élastique, élastique.

Entraînement par courroie

- *Courroie plate*

Il est employé chaque fois que la vitesse de la machine motrice est différente de celle que doit avoir la machine entraînée. C'est par le jeu du diamètre des poulies que l'on obtient la vitesse désirable de la machine ou de l'arbre récepteur:

$$D = d x (n / N), \text{ où:}$$

- n - la vitesse de la machine réceptrice;
- d - le diamètre de sa poulie;
- N - la vitesse du moteur;
- D - le diamètre de sa poulie.

Dans la pratique, il y a lieu de tenir compte du glissement de la courroie, qui peut réduire de 3 à 5% la vitesse linéaire, surtout avec les courroie plate. De ce fait, il faut prévoir une légère augmentation du diamètre D ou une diminution e l'ordre de 2 à 5% du diamètre d .

Il existe des courroies en:

- *Caoutchouc* - elles résistent à l'humidité, mais sont altérées par l'huile;
- *Balata* ou *poil de chameau* - elles résistent à l'humidité lorsque la température ambiante est inférieure à 40°C pour les premières et au-dessus pour les secondes;
- *Coton* - elles doivent être rendues imperméables (pour les petits moteurs);
- *Matière plastique* (nylon, perlon, polychlorure de vynil) - elles sont très résistantes à l'usure et à la traction et peuvent être soudées à chaud;
- *Soie* - pour entraînement à grande vitesse;
- *Cuir* - les plus employées.

Les deux extrémités des courroies sont reliées pour former une boucle. Pour réaliser la jonction on peut utiliser les procédés suivants: par collage, par agrafage, par plaques à griffes, par double T, par lançage.

Les dimensions géométriques (largeur des poulies et des courroies plates) sont fonction de la charge à entraîner.

Pour effectuer la mise en place d'une courroie plate, il est nécessaire que:

- les deux poulies se trouvent exactement sur le même alignement;
- la tension de la courroie soit suffisante pour éviter son glissement;

- la courroie soit croisée, lorsque deux poulies doivent tourner en sens inverse;
- la courroie soit semi-croisée pour permettre de relier deux arbres qui ne se trouvent pas dans le même plan;
- le rapport de transmission ne soit pas exagéré;
- la distance entre axes de deux poulies ne dépasse pas 4,50 m;
- les distances minimales (en *m*) entre axes de deux poulies (la petite étant motrice) se limitent aux valeurs données dans le tableau:

Diamètre de la petite poulie (<i>mm</i>)	Diamètre de la grande poulie (<i>mm</i>)						
	200	300	400	600	800		
50	0,80	1,00	1,30	2,00	2,50		
100	0,50	0,80	1,00	1,80	2,00		
200	0,50	0,60	0,70	1,40	1,90		
300 -	0,50	0,55	1,20	1,70			

Après un certain temps de fonctionnement, la courroie s'allonge et glisse exagérément. On y remédie de trois manières:

- en tendant au moyen de glissières, s'il en existe;
 - en frottant au moyen d'un chiffon sec ou imbibé d'essence, en appliquant en marche de la cire ou une graisse spéciale;
 - en raccourcissant la courroie quand l'allongement est important.
- *Courroie trapézoïdale*

Les courroies trapézoïdales sont généralement d'une seule pièce et glissent peu, en raison de leur encastrement dans une gorge. Elles existent également en long métrage et dans ce cas le raccordement se fait au moyen d'une colle spéciale.

Pour calculer le diamètre des poulies à gorge en fonction de la vitesse, on tient compte du diamètre primitif, c'est-à-dire pris au milieu de l'épaisseur de la courroie mise sur place. Les courroies trapézoïdales ont une âme en textile enrobée dans du caoutchouc. Elles ont un profil en forme de trapèze, avec les côtés obliques formant un angle de 40°.

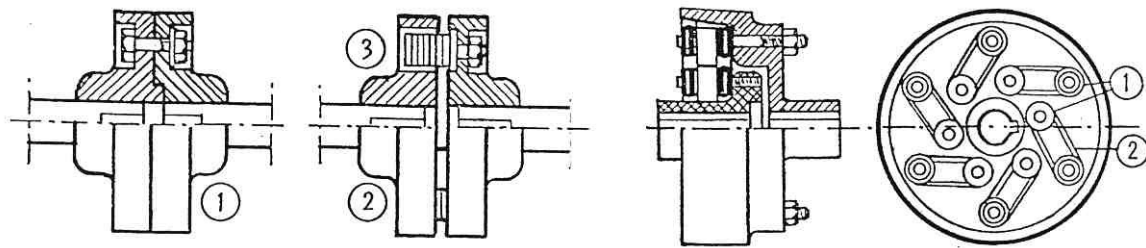
Pour la pose d'une courroie trapézoïdale il faut savoir que la base inférieure ne doit jamais s'appliquer au fond de la gorge, la partie large doit effleurer le niveau extérieur de la poulie.

Entraînement par manchons d'accouplement

Les accouplements d'arbres bout à bout sont de plusieurs types.

- *Accouplement rigide*

Le manchon qui réunit les deux extrémités des arbres est constitué par deux plateaux en fonte, clavetés sur les bouts d'arbres et boulonnés ensemble. Ce montage exige un alignement parfait des deux arbres des machines accouplées.



Accouplement rigide en deux pièces boulonnées (1),
accouplement semi-élastique (2), à doigts (3)

Accouplement élastique "Raffard" composé de tocs
(1) et de petites courroies en cuir ou en caoutchouc(2)

Fig. 3.1. Fig.

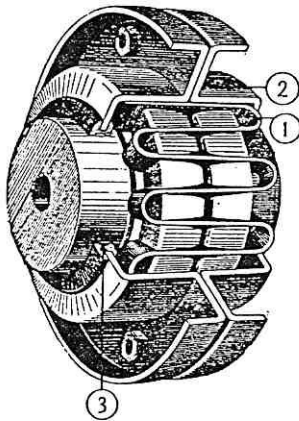
3.2.

- *Accouplement semi-élastique*

L'un des plateaux est percé de trous, l'autre comporte un nombre identique de doigts qui s'encastrent dans les trous. Les doigts sont constitués par un axe en acier entouré de rondelles en cuir ou en caoutchouc qui assouplissent l'accouplement. Avec ce montage on laisse un intervalle de quelques millimètres entre les plateaux.

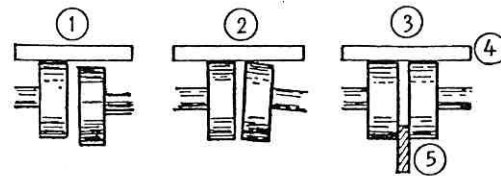
- *Accouplement élastique*

Le système varie avec les constructeurs. L'un des plus connus comporte des tocs d'entraînement sur chacun des plateaux. Le mouvement est transmis par l'intermédiaire de petites courroies en cuir ou en caoutchouc qui réunissent deux à deux les tocs des deux plateaux.



Manchon d'accouplement élastique "Citroën".
Il est constitué par un ressort continu en acier (1),
travaillant dans la graisse sous boîtier étanche (2).
Joint étanche en caoutchouc synthétique (3).
partout

Fig. 3.3.

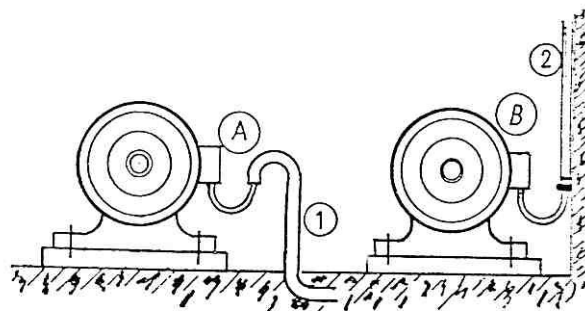


Réglage des manchons d'accouplement.
En (1) et (2) le réglage indique que les
Plateaux ne sont pas alignés. En (3) les
Plateaux sont alignés et la jauge (5) indique
le même écartement.

Fig. 3.4.

III.3. Raccordement des canalisations au moteur

Le raccordement de la ligne électrique à la boîte à bornes des génératrices ou des moteurs doit être souple. On doit éviter toute traction entre ligne et bornes et les conducteurs exigent un certain mou, voir même un boudinage de quelques spires, à proximité de la plaque à bornes.



Raccordement d'une ligne à un moteur. En (A), arrivée souterraine par tube d'acier (1); en (B), arrivée en tube tôle agrafée (2). Aucune traction ne doit pas exister entre les bornes et les conducteurs de la ligne.

Fig. 3.5.

III.4. Entretien et réparation des machines électriques

Leur *entretien* est assez réduit, car il se limite:

- au *renouvellement de la graisse* pour les paliers à roulements à billes et au *niveau d'huile* dans les paliers à coussinets;
- au *dépoussiérage*, qui peut être fait au soufflet, à l'air comprimé et à l'aide de chiffons ou d'étope pour les parties accessibles;
- à la *propreté du collecteur*, que l'on peut entretenir en utilisant soit une pierre ponce, soit du papier de verre à grain fin;
- à la *vérification des charbons des balais*, tant au point de vue de leur pression sur le collecteur ou les bagues que de leur usure. S'il y a lieu de les remplacer, il faut choisir les balais de même composition que les anciens;
- à la *vérification du serrage des fils d'arrivée* à la plaque à bornes;
- à la vérification de la tension de la courroie ou du serrage du manchon d'accouplement.

Les *réparations* qui peuvent se présenter dans les parties électriques d'une machine proviennent:

- d'un court-circuit entre lames du collecteur;
- de l'usure du collecteur (que l'on rafraîchira au tour);
- du débordement des micas entre les lames du collecteur (que l'on supprime avec une fraise ou une lame de scie à métaux);
- de sections en court-circuit;
- d'un défaut d'isolement entre sections ou entre le bobinage et la masse métallique du moteur;
- d'une coupure dans le bobinage ou entre le bobinage et le collecteur.

Remarque:

La plupart de ces anomalies sont graves et nécessitent presque toujours le remplacement de la partie en cause.

III.5. Démontage, vérification mécanique et électrique

Démontage

Le démontage d'une machine électrique doit toujours être précédé d'un certain nombre de précautions, telles que:

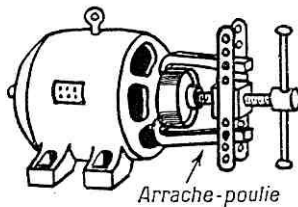
- Vidange des paliers, s'il s'agit d'une machine à coussinets;
- Repérage de la position des flasques par rapport au bâti. Pour cela, on donne un léger coup de pointeau, face à face, entre les deux parties qui devront retrouver leur place exacte au remontage;
- Sortie des balais de leur cage.

a) *Démontage de la poulie ou du manchon d'accouplement*

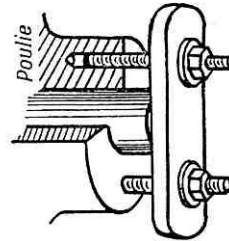
Pour démonter la poulie, deux procédés peuvent être employés:

- se servir d'un arrache-poulie (cas d'une petite poulie) (fig. 3.6a);

- se servir de deux goujons filetés, vissés dans le moyeu de la poulie; l'autre extrémité des goujons traverse une plaque en acier placée en bout d'arbre. Deux écrous vissés sur les goujons feront office d'arrache-poulie (fig. 3.6b).



a) Démontage d'une poulie avec un arrache-poulie



b) Démontage d'une grande poulie à l'aide de deux goujons filetés

Fig. 3.6.

b) Démontage des flasques

Dévisser et déboulonner tous les assemblages, puis donner des coups de marteau obliques sur le rebord des flasques en se servant d'une cale de bois dur comme intermédiaire. Les flasques en fonte risqueraient de se briser au contact du marteau.

On commence par sortir un flasque avec l'induit ou sans celui-ci, selon que le serrage est plus important sur un flasque que sur l'autre. Si l'induit est demeuré en place, on veillera à ne pas fausser l'arbre du côté où il est retenu, en supportant l'autre extrémité de l'arbre.

Pour sortir l'induit, on aura soin de le centrer, afin d'éviter que les tôles du tambour ne frottent sur le stator ou sur les pôles.

Remontage du moteur

- On commence par fixer un flasque en se basant sur les repères que l'on avait faits avant le démontage. On est ainsi certain de ne pas inverser le côté des flasques par rapport à la carcasse.
- On glisse l'induit dans le stator, en ayant soin de relever la bague de coussinet, s'il s'agit d'un moteur à coussinets, ainsi que les balais si la machine en possède.
- On met en place le deuxième flasque en le tournant de 180° par rapport à sa position normale (cas d'un moteur à coussinets). De cette façon, la bague de graissage n'obstrue pas le passage de l'arbre. Dès que le flasque est à sa place, on met les repères face à face et on bloque les vis ou les boulons.
- Pour trouver le logement exact du flasque, on est souvent obligé d'avoir recours à quelques petits coups de marteau que l'on appliquera toujours par l'intermédiaire d'une cale en bois dur.

Vérification mécanique

- Le moteur remonté, l'induit doit tourner à la main sans effort. Si cela n'est pas le cas, il faut desserrer un flasque, puis l'autre si c'est nécessaire et leur trouver une position qui donne satisfaction. On obtient souvent un bon résultat en serrant progressivement et alternativement les vis de fixation diamétralement opposées et en frappant légèrement sur le rebord des flasques avec l'extrémité du manche d'un marteau.
- Les flasques étant en place, on met les balais dans leurs cages et on règle leur pression. Celle-ci doit être la même pour tous.
- Si le moteur est à coussinets, on fait le plein avec une huile spéciale (pour moteur électrique), à l'exclusion des huiles pour auto ou de l'huile de lin. Pour effectuer le remplissage de la boîte, on retire la vis qui donne le niveau maximal et on la remet en place dès que l'huile coule par cet orifice.
- Si le moteur est à roulements à billes ou à rouleaux, on utilise une graisse consistante neutre, exempte de toute impureté abrasive et dont le point de goutte est d'environ 110°C.
- Avant de remettre le moteur en service, il faut veiller à ce que les bagues de graissage soient à leur place.
- Pour remonter la poulie, on se sert d'un marteau et d'un morceau de bois dur, afin de ne pas marquer ou fendre la poulie qui est généralement en fonte. Selon le type de clavette, celle-ci se place avant ou après le remontage de la poulie.

Vérification électrique

Avant le remontage du moteur certaines vérifications peuvent être faites:

- Vérification de l'isolement entre la masse et le bobinage de l'induit et l'inducteur. Cette vérification peut s'effectuer soit avec une lampe témoin en série avec une source de courant, soit avec un voltmètre, ce qui est beaucoup plus précis, soit avec un ampèremètre et une résistance réglable en série avec une source basse tension. On peut utiliser aussi un ohmmètre.
- L'isolement du collecteur peut également avoir un défaut et occasionner une mise à la masse
- Si les connexions à la plaque à bornes ont été démontées, on doit les remettre correctement en place, de manière que le sens de rotation soit celui que l'on désire.

Réparation du défaut

Il arrive que la mise à la masse soit facilement réparable. Quand elle est accessible, il suffit de placer un isolant (mica, léathéroïd) entre la masse et le bobinage. Lorsqu'il s'agit d'une partie accessible du collecteur, il existe des ciments spéciaux que l'on coule dans la partie détériorée.

Dans tous les cas où le défaut est caché, il est nécessaire de démonter le collecteur ou le bobinage.

III.6. La méthode de diagnostic

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

Il est précédé par deux actions :

- *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 le(s) quel(s) la défaillance se manifeste.

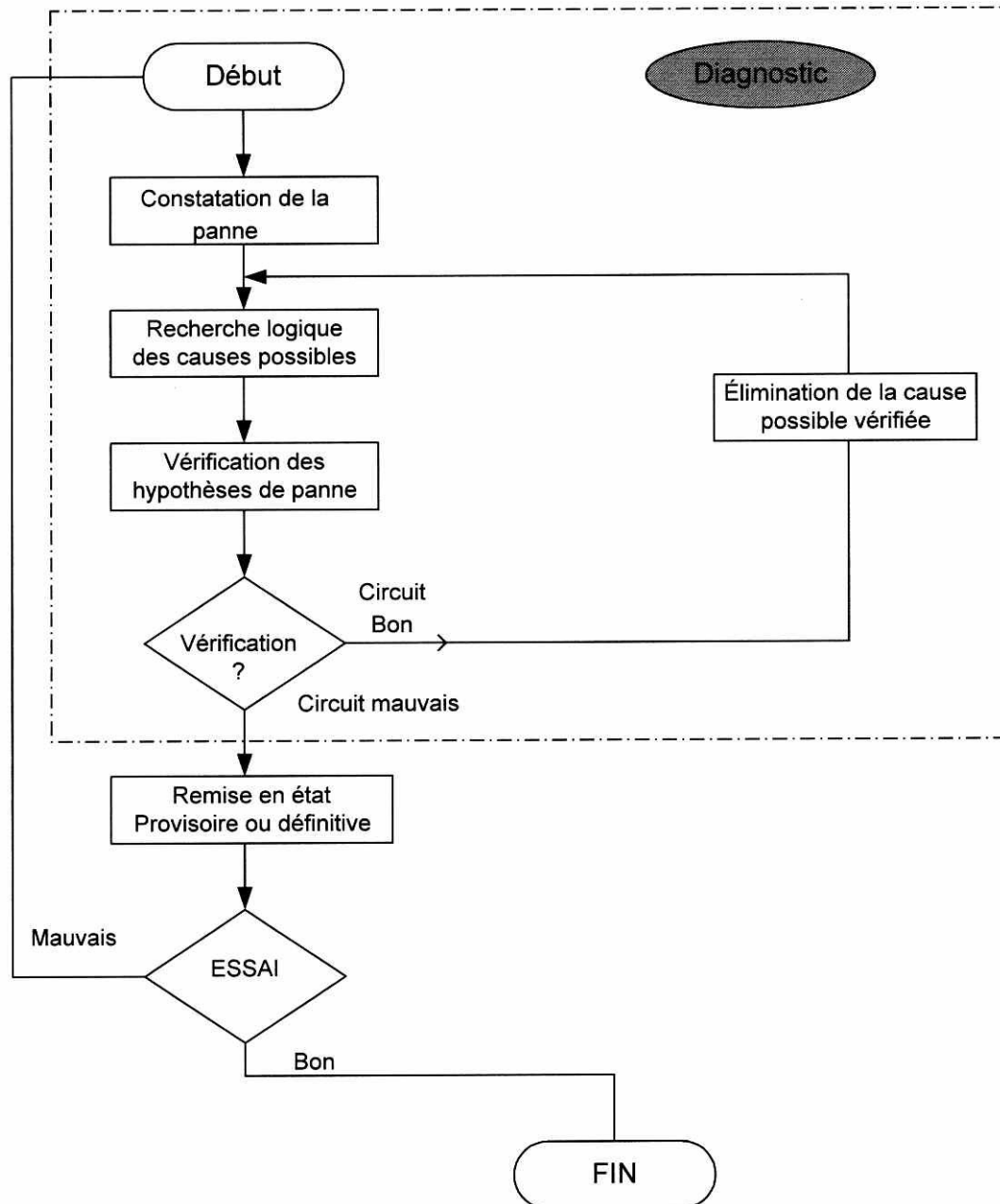
Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

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

- Auprès des utilisateurs de la machine ;
- Dans les documents des constructeurs ;
- Dans les documents du service technique ;
- Dans les documents des méthodes de maintenance.

La méthode générale du diagnostic comporte (fig.3.7) :

- *L'inventaire des hypothèses* :
 - Le diagnostic doit identifier les causes probables de la défaillance ;
 - L'efficacité du diagnostic doit conduire à hiérarchiser les hypothèses par rapport à deux grands critères : leur probabilité de se révéler vraies et la facilité de leur vérification.
- *La vérification des hypothèses retenues*
 - En les prenant dans l'ordre de leur classement chaque hypothèse doit être vérifiée.
 - L'enchaînement de ses vérifications jusqu'à la constatation d'un essai Bon.
 - La recherche d'une panne dans un circuit électrique ou électronique relève d'un raisonnement logique faisant appel aux étapes suivantes :



Méthode générale d'un diagnostic
Fig. 3.7.

Les vérifications à effectuer sont faites à l'aide des appareils de contrôle tel que :

- Lampe-test à source auxiliaire pour vérifier la continuité des circuits ;
- Lampe néon et ohmmètre à magnéto pour la détection de mise à la masse ou à la terre ;
- Contrôleur universel à fonctionnement en ampèremètre, voltmètre et ohmmètre (exemple : Instrument Metrix) ;
- Oscilloscope, contrôleur universel numérique ou analogique pour la vérification des circuits électroniques de puissance.

*Module 22: INSTALLATION ET
DEPANNAGE DE MOTEURS ET
GENERATRICES A COURANT
CONTINU*

GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

TP-1. GENERATRICE A EXCITATION INDEPENDANTE

Durée:

(6 + 6) heures

I. BUT

I.1. Etude à vide

Etudier les variations de la f.é.m. d'une génératrice à excitation indépendante en fonction de l'intensité d'excitation à vitesse constante.

Constater la proportionnalité de la f.é.m. à la vitesse pour une excitation constante.

I.2. Etude en charge

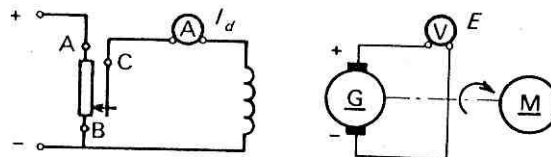
Etudier les variations de la tension aux bornes de l'induit d'une génératrice à excitation indépendante en fonction de l'intensité débitée à vitesse et intensité d'excitation constantes.

Déterminer la réaction totale de l'induit.

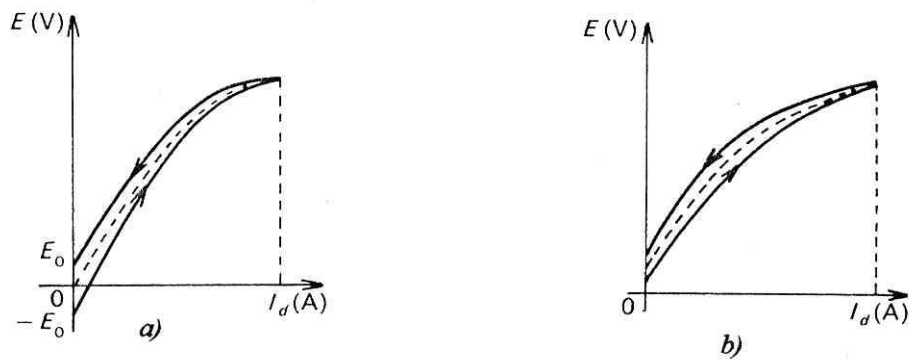
II. ETUDE A VIDE

II.1. Courbe $E = f(I_d)$ pour $n = \text{constante}$

On entraîne la génératrice à sa vitesse de régime nominal en alimentant l'inducteur sous tension variable à l'aide d'un potentiomètre. On fera ainsi varier I_d depuis zéro jusqu'à une valeur maximale ($I_d + 30\%$) et de cette valeur jusqu'à zéro sans jamais couper le courant.



Si le courant d'excitation est de sens tel qu'il s'oppose à l'aimantation rémanente des pôles, on obtiendra un demi-cycle d'hystérésis comme l'indique la courbe (a): la caractéristique à vide sera la courbe moyenne.



Si au contraire, le courant d'excitation renforce dès le départ l'aimantation rémanente, le diagramme obtenu sera décalé vers les E positifs (b).

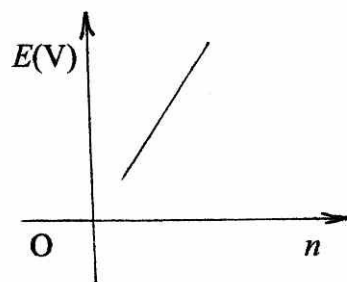
Dans le cas où l'inducteur n'a jamais été alimenté (machine neuf) ou bien a été désaimanté, la caractéristique à vide part de zéro.

Cette caractéristique n'est autre que la courbe d'aimantation du circuit magnétique de la machine. Même allure que $B = f(H)$.

II.2. Courbe $E = f(n)$ pour $I_d = \text{constante}$

Même montage. On fixe I_d à sa valeur normale et on fait varier n progressivement. On obtient sensiblement une droite passant par zéro, ce qui vérifie la relation

$$E = N n \Phi, \text{ le flux } \Phi \text{ étant constant.}$$



Cette propriété est mise à profit pour la fabrication des génératrices tachymétriques. Pour ces génératrices à l'usage particulier et afin d'obtenir un flux constant, l'électro-aimant est remplacé par un aimant permanent.

On pourra, en outre, effectuer les opérations suivantes dans les deux cas:

- Inversion du sens de rotation;
- Inversion de sens du courant dans l'inducteur.

II.3. Essais (exemple)

Caractéristique $E = f(I_d)$ pour $n =$ constante

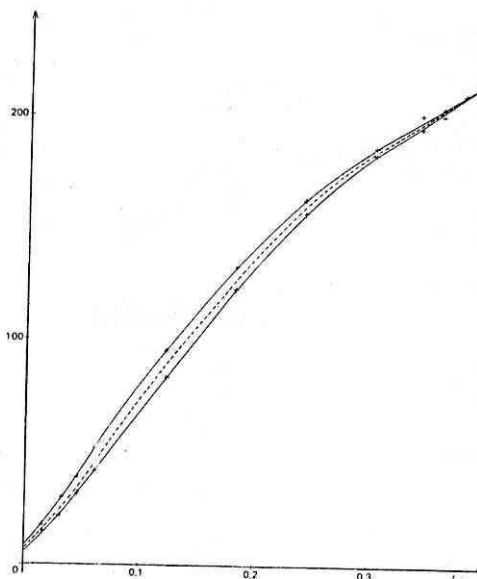
- Plaque signalétique - Génératrice 3 kW, 220 V, 1500 tr/min, I_a induit 14 A, I_d inducteur 0,4 A.
- Schéma de montage - il est identique à celui expliqué ci-dessus.
- Matériels nécessaires

Désignation	Caractéristiques	Nombre
Moteur d'entraînement	3 kW, 220 V, 1500 tr/min	1
Potentiomètre	300 Ω , 1,6 A	1
Voltmètre	cadre mobile - 3, 15, 30, 150, 300 V	1
Milliampèremètre	cadre mobile - 0,003, 0,1, 0,3, 1 A	1
Tachymètre mécanique	0 à 5000 tr/min	1

- Tableau des relevés, courbe

E (V) \uparrow																					
I_d (mA)																					
E (V) \downarrow																					
I_d (mA)																					
n (tr/min)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Note. - En pratique avant de tracer cette courbe point par point, il y a lieu de la stabiliser en effectuant quatre à cinq "aller et retour" de $I_d = 0$ à $1,3 I_d$.

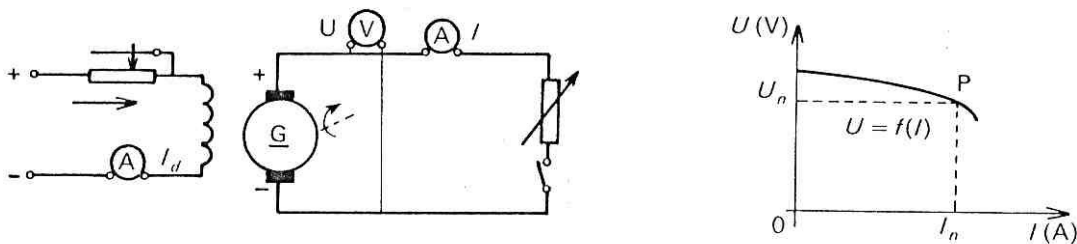


III. ETUDE EN CHARGE

III.1. Rappels et principes généraux

Principe.

C'est la courbe $U = f(I)$, de la tension qui existe aux bornes de l'induit de la génératrice en fonction de l'intensité débitée dans un circuit extérieur, l'excitation et la vitesse de la machine restant constantes.

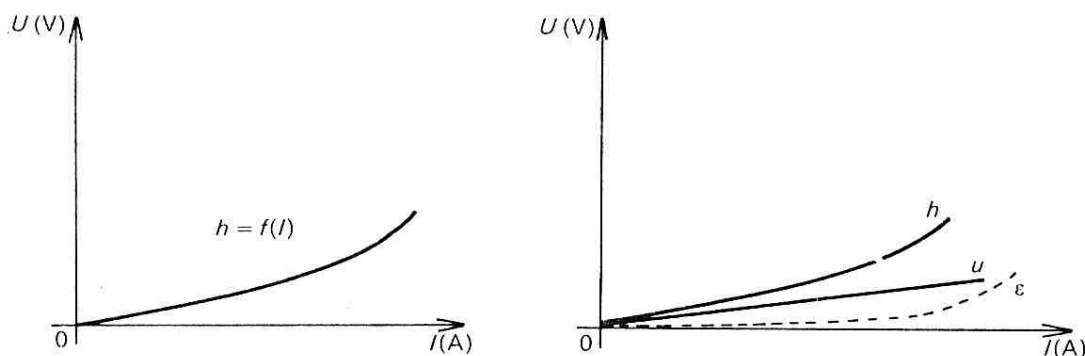


En pratique, cette courbe doit passer par le point P représentant le régime nominal (U nominale et I nominale). Le réglage préliminaire consiste à obtenir ce régime par tâtonnements en agissant à la fois sur le rhéostat de charge et sur le rhéostat de champ. Lorsque le régime nominal est obtenu, ne plus toucher à l'excitation, agir sur le rhéostat de charge pour obtenir les différents points de la courbe.

Pour conserver constante la vitesse de la machine on emploie un moteur d'entraînement à excitation à dérivation avec rhéostat de champ. Cependant, si la vitesse varie pendant l'essai, établir la correction suivante: $U = U' n/n'$ (U' est la tension pour la vitesse n').

Réaction totale d'induit $E - U = f(I)$

C'est la courbe de chute de tension totale dans la machine en fonction de l'intensité débitée pour n et I_d constantes.



La loi d'Ohm - Pouillet ne s'appliquant pas à une génératrice, on a $U = E - R_a \cdot I_a - \varepsilon$.

$R_a \cdot I_a$ - chute de tension due à la résistance interne de l'induit, que l'on appelle chute ohmique (u),

ε - chute de tension supplémentaire due à la réaction magnétique de l'induit sur le flux inducteur.

C'est la différence entre la chute de tension totale $h = E - U$ et la chute ohmique $R_a \cdot I_a$:

$$\varepsilon = h - u$$

III.2. Essai (exemple)

Caractéristique externe

- Plaque signalétique - Génératrice 3 kW, 220 V, 1500 tr/min, I_a induit 14 A, I_d inducteur 0,4 A, $R_a = 2,15 \Omega$, $R_d = 214 \Omega$.
- Schéma de montage - il est identique à celui expliqué ci-dessus.
- Matériels nécessaires

Désignation	Caractéristiques	Nombre
Moteur d'entraînement	3 kW, 220 V, 1500 tr/min	1
Rhéostat d'excitation	750 Ω , 0,82 A	1
Voltmètre	cadre mobile - 3, 15, 30, 150, 300 V	1
Milliampèremètre	cadre mobile - 0,05 V	1
Shunt	0,05 V, 20 A	1
Rhéostat de charge	220 V, 4 kW	1

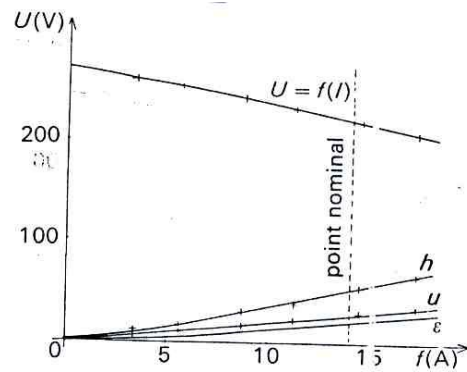
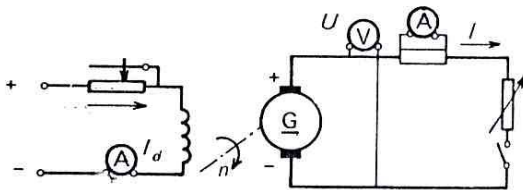
Tableau de relevés. Calculs. Courbes

$I_d = 0,75 \text{ A}$				$n = 1500 \text{ tr/min}$			
U (V)							
I (A)							
h (V)							
$R_a \cdot I_a$ (V)							
ε (V)							

Conclusion

La tension aux bornes d'une génératrice à excitation indépendante en charge est diminuée par:

- la chute de tension due à la résistance interne de l'induit $u = R_a \cdot I_a$
- la baisse de la force électromotrice due à la réaction magnétique de l'induit $\varepsilon = h - u$.



TP-2. MOTEUR A EXCITATION SHUNT

Durée:

(6 + 6) heures

I. BUT

I.1. Principes de conception

Caractéristique générale des équipements de force motrice

Dans un équipement de force motrice l'ensemble des circuits et des matériels associés est utilisé pour:

- la commande
- le contrôle
- la protection.

d'un ou de plusieurs récepteurs qui sont toujours des moteurs.

Le processus de mise en service d'une machine met en évidence deux types de phases:

- *les phases stables*: fonctionnement en régime nominal et arrêt
- *les phases transitoires*: démarrage, freinage, changement de sens de rotation et changement ou variation de vitesse.

Problème de démarrage de l'ensemble moteur - machine

L'équipement de force motrice doit assurer le démarrage suivant un procédé qui élimine ou qui réduit dans leurs limites réglementaires les perturbations pour le réseau et pour les autres récepteurs et qui évite toute détérioration.

I.2. Organisation générale d'un équipement de démarrage

Dans un équipement de démarrage il convient de distinguer:

- le circuit de puissance
- le circuit de commande

L'étude de ces deux circuits se traduit par deux schémas explicatifs distincts:

- le schéma de circuit de puissance
- le schéma de circuit de commande

En ce qui concerne le circuit de commande il est intéressant de constater la présence de deux familles d'information qui précisent les conditions d'exploitation et les contraintes du réseau d'alimentation. Il s'agit des:

- informations relatives aux différents modes de marche: automatique, manuelle, un ou plusieurs sens de rotation, qui sont gérées par l'opérateur de la machine.
- informations relatives au déroulement du cycle qui sont internes ou intégrées à l'équipement.

Le circuit de commande:

- reçoit des informations de commande, de contrôle et de sécurité,
- enregistre et assure le traitement des données correspondantes,
- transmet aux organes de commande des actionneurs les ordres .

Pour satisfaire à ces différentes fonctions le circuit de commande fait appel à deux formes de logiques:

- la logique combinatoire qui, à une combinaison des états des variables d'entrée, fait correspondre une, et une seule combinaison d'états des variables;
- la logique séquentielle qui prend en compte à la fois les combinaisons des états des variables d'entrée et la succession chronologique des combinaisons d'états relatives aux situations antérieures.

I.3. Solutions générales au problème du démarrage

A l'instant du démarrage, mise sous tension du moteur, l'expression:

$$E' = U - R_a I_a$$

dans laquelle $E' = 0$ (moteur à l'arrêt) montre que le courant I_a prend une valeur très grande dépendant uniquement des grandeurs U et R_a .

$$I_a \approx I_a = U / R_a$$

avec: I_a - courant de démarrage; U - tension d'alimentation; R_a - résistance de l'induit (de l'ordre de quelques 1/10 d'ohm).

La limitation du courant de démarrage est obtenue:

- soit par une diminution de la tension d'alimentation (dispositifs mécanique et électronique);
- soit par une augmentation de la résistance du circuit de l'induit (démarrage manuel et semi-automatique).

II. EXEMPLE DE DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE PAR ELIMINATION DES RESISTANCES DANS LE CIRCUIT DE L'INDUIT.

Il est possible de dire que les procédés de démarrage manuelle ont presque disparu au profit des dispositifs de commande semi-automatiques qui, à la souplesse dans les conditions d'exploitation, associent des facteurs importants de sécurité.

II.1. Matériels nécessaires

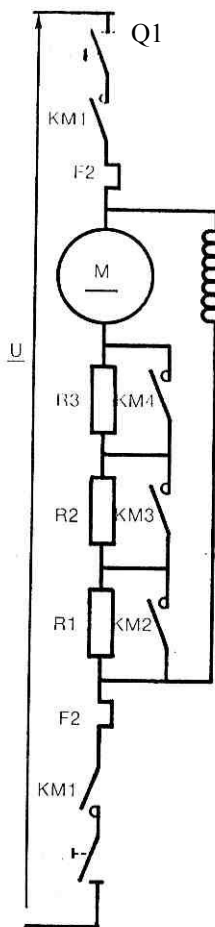
Désignation	Caractéristiques	Nombre
Moteur shunt	3 kW, 220 V, 1500 tr/min	1
Rhéostat d'excitation	750 Ω , 0,82 A	1
Rhéostat de démarrage	*	3
Contacteur 220	V 4	
Relais thermique	220 V, 16 A	1
Bouton-poussoir	Marche - Arrêt	1

o La valeur des différents éléments de la résistance du rhéostat de démarrage doit être calculer en limitant généralement le courant de démarrage dans les cadres: $I_n < I_d < 2 I_n$.
Cette intensité dépend de la charge que la machine aura à entraîner.

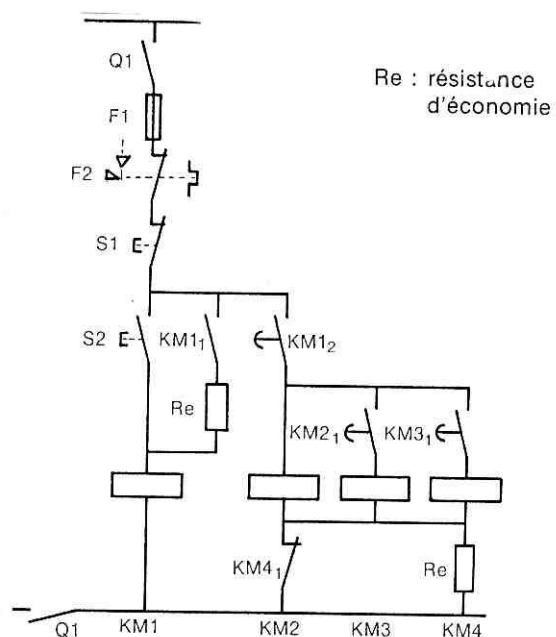
$$R_1 = U / I_d \quad R_2 = R_1 \cdot I_d / I_n \quad R_3 = R_2 \cdot I_d / I_n$$

II.2. Schémas:

- a) de puissance
- b) de commande



a)



b)

Les schémas doivent remplir les fonctions suivantes: l'action sur le bouton-poussoir "Marche" (S2) doit provoquer le démarrage automatique du moteur - mise sous tension des inducteurs et mise sous tension progressive de l'induit par élimination successive des résistance de démarrage. L'action sur le bouton "Arrêt" met hors tension le moteur.

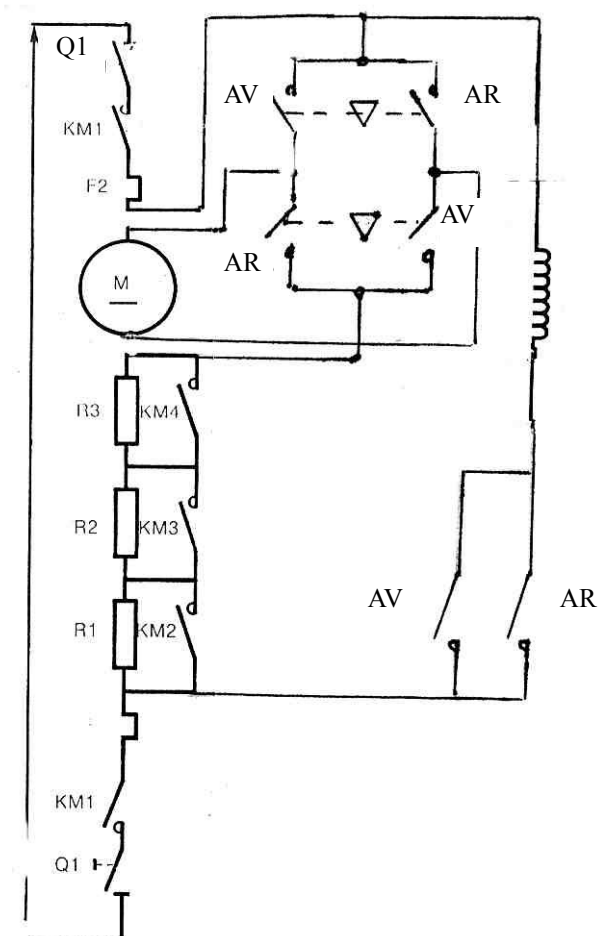
Au moment du démarrage le rhéostat d'excitation doit être au minimum de résistance (flux maximal). Après l'élimination des résistances de démarrage le moteur est alimenté sous pleine tension et le contact $KM1_1$ met la résistance d'économie R_e en service.

L'ajustage de la vitesse s'effectue par réglage manuel de rhéostat d'excitation.

II.3. Inversion du sens de rotation

Pour changer le sens de rotation, il faut inverser le sens du courant soit dans l'induit, soit dans l'inducteur.

Exemple: Schéma de puissance - courant inversé dans l'induit



TP-3. MOTEUR A EXCITATION SERIE

Durée: (6 + 6) heures

I. BUT

I.1. Principes de conception

Les principes de conception ainsi que les problèmes de démarrage pour les moteurs à excitation série restent les mêmes que pour les moteurs à excitation shunt.

I.2. Organisation générale d'un équipement de démarrage

Dans un équipement de démarrage il convient de distinguer:

- le circuit de puissance
- le circuit de commande

L'étude de ces deux circuits se traduit par deux schémas explicatifs distincts:

- le schéma de circuit de puissance
- le schéma de circuit de commande

Le circuit de commande:

- reçoit des informations de commande, de contrôle et de sécurité,
- enregistre et assure le traitement des données correspondantes,
- transmet aux organes de commande des actionneurs les ordres .

I.3. Solutions générales au problème du démarrage

A l'instant du démarrage, mise sous tension du moteur, l'expression:

$$E' = U - R_a I_a$$

dans laquelle $E' = 0$ (moteur à l'arrêt) montre que le courant I_a prend une valeur très grande dépendant uniquement des grandeur U et R_a .

$$I_d \approx I_a = U / R_a$$

avec: I_d - courant de démarrage; U - tension d'alimentation; R_a - résistance de l'induit (de l'ordre de quelques 1/10 d'ohm).

La limitation du courant de démarrage est obtenue:

- soit par une diminution de la tension d'alimentation (dispositifs mécanique et électronique);
- soit par une augmentation de la résistance du circuit de l'induit (démarrage manuel et semi-automatique).

II. EXEMPLE DE DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE PAR ELIMINATION DES RESISTANCES DANS LE CIRCUIT DE L'INDUIT.

Il est possible de dire que les procédés de démarrage manuelle ont presque disparu au profit des dispositifs de commande semi-automatiques qui, à la souplesse dans les conditions d'exploitation, associent des facteurs importants de sécurité.

II.1. Matériels nécessaires

Désignation	Caractéristiques	Nombre
Moteur série	3 kW, 220 V, 1500 tr/min	1
Rhéostat d'excitation	750 Ω , 0,82 A	1
Rhéostat de démarrage	*	3
Contacteur 220	V 4	
Relais thermique	220 V, 16 A	1
Bouton-poussoir	Marche - Arrêt	1

- La valeur des différents éléments de la résistance du rhéostat de démarrage doit être calculer en limitant généralement le courant de démarrage dans les cadres: $I_n < I_d < 2 I_n$. Cette intensité dépend de la charge que la machine aura à entraîner.

$$R_1 = U / I_d \quad R_2 = R_1 \cdot I_d / I_n \quad R_3 = R_2 \cdot I_d / I_n$$

- Une résistance de protection R_p évitant l'emballement du moteur lorsque le rhéostat d'excitation est entièrement éliminée est à prévoir dans le circuit d'excitation.

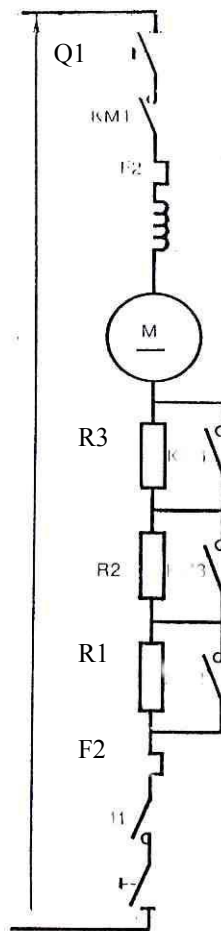
II.2. Schémas:

- a) de puissance
- b) de commande

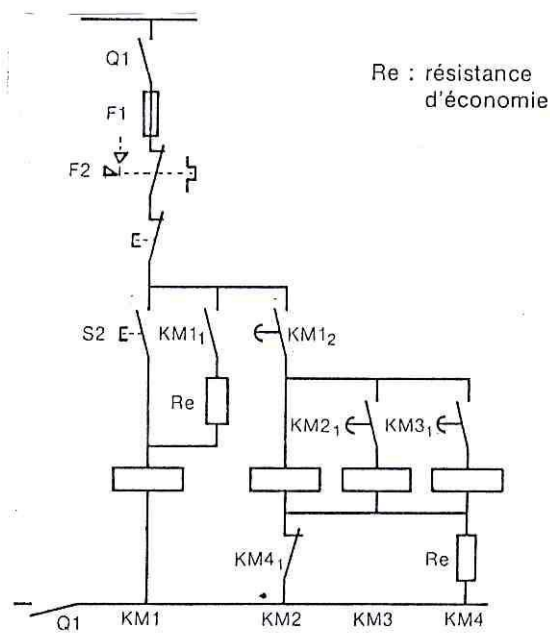
Les schémas doivent remplir les fonctions suivantes: l'action sur le bouton-poussoir "Marche" (S2) doit provoquer le démarrage automatique du moteur - mise sous tension des inducteurs et mise sous tension progressive de l'induit par élimination successive des résistance de démarrage. L'action sur le bouton "Arrêt" met hors tension le moteur.

Au moment du démarrage le rhéostat d'excitation doit être au minimum de résistance (flux maximal). Après l'élimination des résistances de démarrage le moteur est alimenté sous pleine tension et le contact $KM1_1$ met la résistance d'économie R_e en service.

L'ajustage de la vitesse s'effectue par réglage manuel de rhéostat d'excitation.



a)



Re : résistance
d'économie

b)

II.3. Inversion du sens de rotation

Pour changer le sens de rotation, il faut inverser le sens du courant soit dans l'induit, soit dans l'inducteur.

Exemple:

Schéma de puissance - courant inversé dans l'inducteur

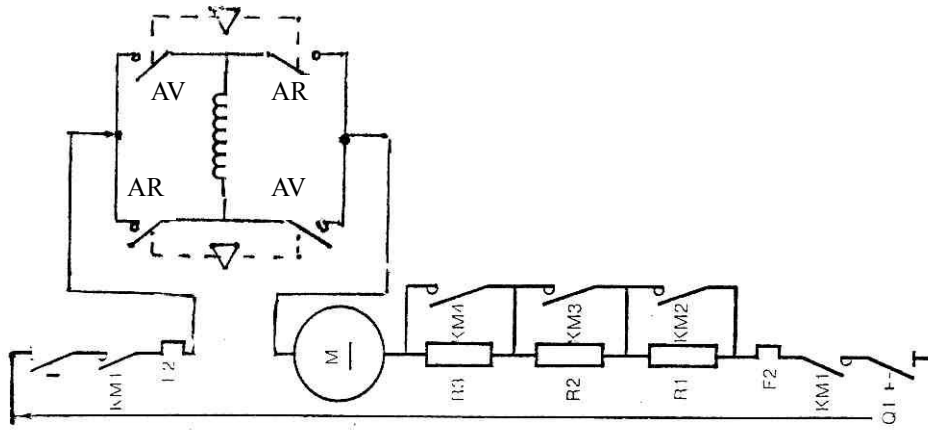
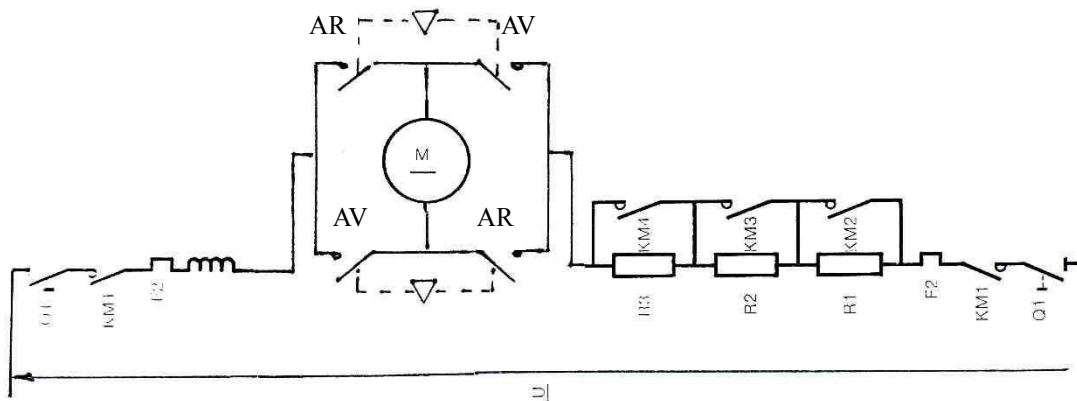


Schéma de puissance - courant inversé dans l'induit



*Module 22: INSTALLATION ET
DEPANNAGE DE MOTEURS ET
GENERATRICES A COURANT
CONTINU*

EVALUATION DE FIN DE MODULE

L'évaluation du module doit être faite selon les directives du Guide d'évaluation pour la spécialité. Chaque formateur doit suivre les lignes générales mais peut toujours introduire les composants propres sans sortir du contexte de la formation. Pour le niveau « Technicien » l'élément de créativité est conseillé.

La Fiche de travail proposée n'est pas obligatoire mais seulement une variante recommandée.

O.F.P.P.T.
EFP

*MODULE 22 : INSTALLATION ET REPARATION DE MOTEURS ET DE
GENERATRICES A COURANT CONTINU*

FICHE DE TRAVAIL

Stagiaire : _____ Code : _____
Formateur : _____

1. DIAGNOSTIC DU PROBLEME

1.1. Pour la machine à entraîner dont la caractéristique mécanique est donnée ci-dessous faire le choix du moteur à courant continu. Justifier le choix.

...../20

1.2. Pour le moteur dans le point précédent expliquer les problèmes de démarrage. Composer le schéma de démarrage semi-automatique.

...../20

1.3. Faire le montage du schéma du démarrage semi-automatique .Détecer une panne proposée par le formateur.

.../30

2. INSTALLATION DES MACHINES A COURANT CONTINU

2.1. Constitution générale d'un moteur à courant continu. Expliquer : le circuit magnétique ; les enroulements, les organes mécaniques.

...../10

2.2. Proposer le schéma de fixation du moteur et l'entraînement de la machine, ainsi que le raccordement de la ligne électrique.

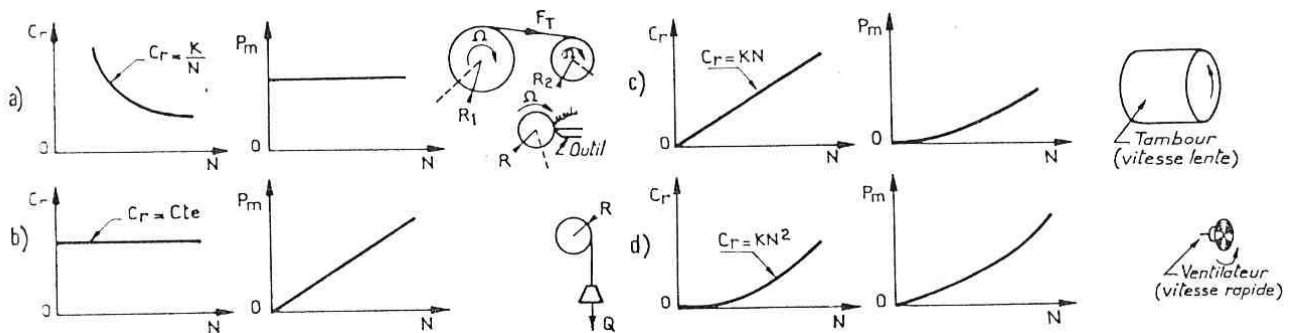
...../10

3. ETAT DE FONCTIONNEMENT DE L'EQUIPEMENT

1.1. Proposer une vérification de l'état de fonctionnement du moteur à courant continu.

.../10

Variantes des schémas



Liste des références bibliographiques.

<i>Ouvrage Auteur Edition</i>		
Electrotechnique, tome II, Machines électriques	Milsant F.	Ellipses, 1991
Les machines électriques	Lucas F., P. Charruault	Delagrave, 1987
Mesures et essais d'électricité	Floc'h J., B. Dupart, A. Le Gall, R. Pret	Dunod, 1997
Le schéma en électrotechnique	Bianciotto A., P. Boye	Delagrave, 1981