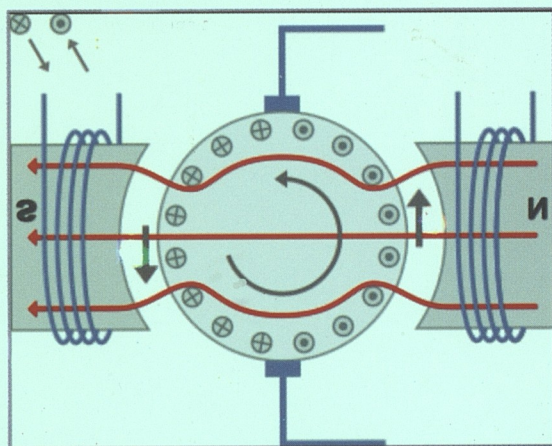


ELECTROTECHNIQUE
MACHINES ELECTRIQUES



Machines Electriques I et II

Travaux Pratiques

ST 2^{em} et 3^{em} année

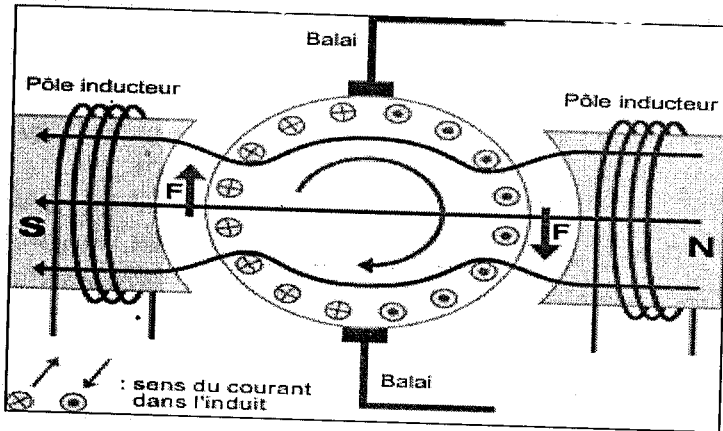
1^{er} master

A.KARIM GUEDIRI

Septembre 2009

ELECTROTECHNIQUE

MACHINES ELECTRIQUES



Machines Electriques I et II

Travaux Pratiques

A.KARIM GUEDIRI

Septembre 2009

REMERCIEMENTS

Après ces années d'études et d'enseignement, je pense tout particulièrement aux nombreux enseignants que j'ai eu l'honneur de rencontrer pendant et après ma formation, qui ont su me communiquer leurs connaissances et me faire partager leurs motivations.

Je pense aussi à tous les étudiants que j'ai eu le plaisir d'encadrer pour leur formation et qui durant cette période m'ont permis grâce à leurs nombreuses questions d'améliorer la compréhension de cet ouvrage.

Enfin, à tous mes amis amis et collègues qui n'ont cessé de m'encourager pour la finalisation de ce travail.

Je tiens à remercier très vivement M.C : **BEN ATTOUS DJILLANI** pour son appui moral .

M.C : BEN ATTOUS DJILLANI et HAMSAS KEMAL pour leurs précieuses lectures.

A.K.GUEDIRI

PREFACE

Le document est un support de travaux pratiques sur les machines électriques tournante et statique.

Par sa présentation et son contenu le document peut servir de référence pour les étudiants de 3^{ème} et 4^{ème} année Electrotechnique .

Il a été conçu pour convenir aussi bien aux étudiants des sciences de la technologie du nouveau système LMD.

DJILANI BENATTOUS

Mètrre de conférences à

L'institut des sciences et technologie

Centre universitaire d'ELOUED.

SOMMAIRE

Remerciements

Preface

Sommaire

Introduction aux machines électriques

CHAPITRE I

Machine à courant continu

01	Génératrice à excitation indépendante (Ou séparée).....	15
02	Génératrice à courant continu à excitation en dérivation (Shunt).....	23
03	Moteur à courant continu à excitation en dérivation (shunt).....	30

CHAPITRE II

Le transformateur

04	Essai d'un Transformateur Statique en Monophasé.....	45
05	Essai d'un Transformateur en court-circuit Diagramme de Kapp.....	52
06	Essai d'un Transformateur Tri phase	58

CHAPITRE III

Ma chine à courant alternative

1. Machine synchrone :

-Generalites sur les Machines synchrones.....	65
01 Essai des alternateurs a puissance réduite.....	75
02 Rendement approché alternateur	87
03 Couplage de la machine synchrone avec le réseau	105

II. Machines asynchrones :

-Generalites sur les machines asynchrones.....	119
04 Mesure du rapport de Transformation et Détermination des Paramètres.....	125
05 Diagramme circulaire d'une machine Asynchrone.....	130
06 Mesure du rendement du moteur asynchrone par La méthode de directe.....	134
07 Mesure du glissement par la méthode stroboscopique et la fréquence rotiforme	137

Introduction

Aux machines électriques

Afin d'entamer l'étude des machines électriques, il est nécessaire d'introduire certaines généralités fondamentales qui présenteront et faciliteront par la suite la compréhension de leur fonctionnement ainsi que les différents phénomènes qui en découlent ou qui siègent.

L'objectif de ce chapitre est d'introduire les machines électriques comme étant les organes essentiels dans leur environnement de travail qui est le réseau électrique.

En effet, il y a divers type de machines électrique qui sont destinées à :

- * La production de l'énergie électrique (Dynamos, Alternateurs),
- * La transformation de l'énergie électrique (Transformateurs),
- * L'utilisation pour la production de l'énergie mécanique (Moteurs).

THE HISTORY OF THE UNITED STATES

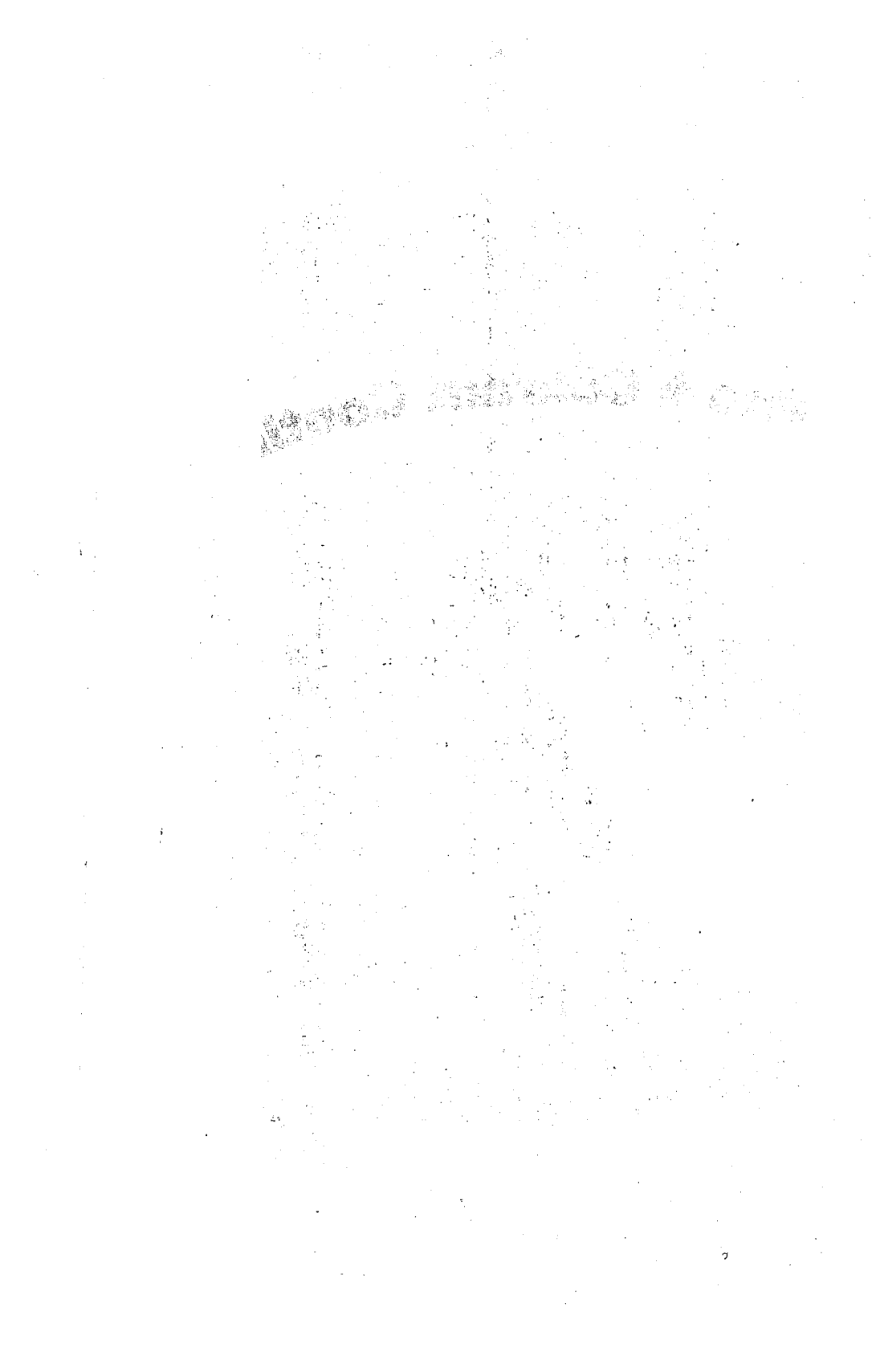
The history of the United States is a story of growth and change. It begins with the first people who lived on this continent, and continues through the years of exploration, settlement, and the struggle for independence. The story is one of a people who have built a great nation from a small group of pioneers. The history of the United States is a story of the triumph of the human spirit over adversity. It is a story of the power of the American dream, and the strength of the American people. The history of the United States is a story of the values that have shaped our nation, and the principles that have guided us through the most difficult times. It is a story of the courage and sacrifice of our forefathers, and the hope and faith of our future generations. The history of the United States is a story of the land we call home, and the people who call it theirs. It is a story of the love and loyalty that have bound us together, and the dreams and aspirations that have driven us forward. The history of the United States is a story of the best of us, and the best of our country. It is a story of the power of the American spirit, and the strength of the American people. The history of the United States is a story of the values that have shaped our nation, and the principles that have guided us through the most difficult times. It is a story of the courage and sacrifice of our forefathers, and the hope and faith of our future generations. The history of the United States is a story of the land we call home, and the people who call it theirs. It is a story of the love and loyalty that have bound us together, and the dreams and aspirations that have driven us forward. The history of the United States is a story of the best of us, and the best of our country. It is a story of the power of the American spirit, and the strength of the American people.

CHAPITRE I

Machine à Courant Continu

Après avoir étudié les machines à courant alternatif, nous allons maintenant nous occuper des machines à courant continu. Les machines à courant continu sont des machines électriques qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique ou vice versa.

Les machines à courant continu sont classées en deux catégories : les machines à courant continu à excitation indépendante et les machines à courant continu à excitation auto-excitée.



TP : 01

Génératrice à excitation indépendante

(Ou séparée)

1. Generalites :

Une machine électrique à courant continu est un dispositif tournant qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique (cas d'une génératrice) ou réciproquement (cas d'un moteur). L'énergie électrique étant sous forme de courant continu.

Le principe de fonctionnement des machines électriques à courant continu est basé sur les phénomènes de l'induction électromagnétique (Loi de Laplace pour le moteur et loi de Faraday Lenz pour la génératrice :

- a) Une partie fixe appelée « inducteur génératrice » destinée surtout à créer le flux magnétique grâce aux pôles principaux qui comportent l'enroulement d'excitation.
- b) Une partie mobile appelée « induit » dans laquelle a lieu la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique ou inversement.

Les deux parties sont séparées par un « entrefer ». La structure générale d'une machine électrique à courant continu est représentée par la figure (01) suivante :

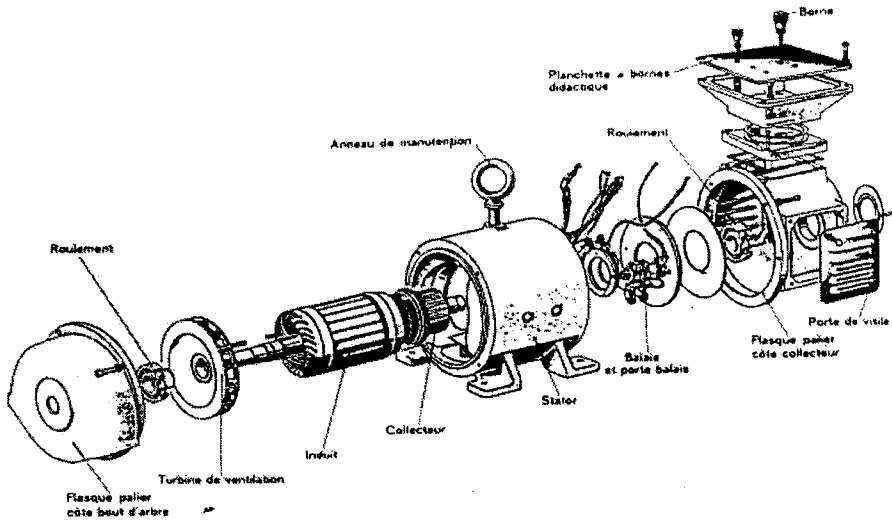


Figure 1: Constitution générale d'une machine à courant continu

Les machine électrique à courant continu sont classées selon le type d'excitation permettent de créer le flux magnétique. Nous avons donc :

✓ **Machine électrique à courant continu à « excitation séparée » :**

Le courant d'excitation est emprunté à une source indépendante (exemple : batterie ou une autre dynamo).

✓ **Machine électrique à courant continu « auto-excitée » :**

Le flux magnétique est créé par la machine elle-même. On distingue les machines à excitation shunt (en dérivation), à excitation série ou à excitation composée (compound).

2. But de la manipulation

Etude de la génératrice (ou dynamo) à courant continu à excitation indépendante (ou séparée) à vide et en charge.

- **Caractéristique à vide :**

1) $J \rightarrow E = f(J) \text{ à } N = \text{cte}$; 2) $N \rightarrow E = f(N) \text{ à } J = \text{cte}$.

Avec :

E : f.é.m. induite à vide en [V] ;

J : Courant d'excitation en [A] ou [mA] ;

N : Vitesse de rotation, en [tr/min].

- **Caractéristique en charge**

1) $I \rightarrow U = f(I) \text{ à } N = \text{cte} \text{ et } \Phi = \text{cte}$. Pour $J = \text{cte}$

Avec :

U : Tension aux bornes du rhéostat de charge ;

I : Intensité du courant débité, par la génératrice, dans la charge.

3. Principe

Pour faire fonctionner la génératrice à excitation séparée, on doit l'entraîner par un moteur (à courant continu ou alternatif) à sa vitesse nominale N_n (tr/min).

En fonctionnement à vide elle ne débite aucun courant dans un circuit de charge (extérieur) $I=0$.

- **Relation de base :**

$$E = K N \Phi = \frac{pn}{60a} N \Phi$$

E : Fém. en volt

K : Coste électrique

N : Vitesse de rotation en tr/min.

Φ : Flux d'excitation (inducteur) en wb.

n : Nombre de brins actifs de l'induit

p : nombre de paires de pôles

a : Nombre de paires de voies de l'enroulement d'induit.

-Exploitation : $E=f(N, \Phi)$ deux variables N et Φ , donc deux caractéristiques à vide . $E=f(N)$ à $\Phi = \text{cte}$ donc $J = \text{cte}$, $E=f(J)$ à $N = \text{cte}$ avec J variable .

En fonctionnement en charge elle débite dans rhéostat de charge. On réglera le courant d'excitation à $J = J_{\text{nominale}}$ et

la vitesse de rotation à $N_{nominale}$.

Loi d'ohm appliquée au générateur :

$$U = E - (R_a I_a + \varepsilon)$$

U (v) : Tension aux bornes de la charge (ou induit).

$R_a I_a$ (v) : Chute de tension ohmique d'induit.

ε (v) : Chute de tension due à la réaction magnétique d'induit.

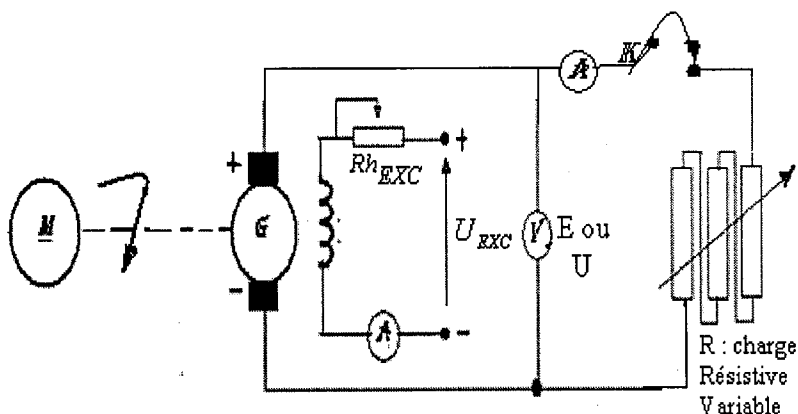
$(R_a I_a + \varepsilon)$: Chute de tension totale d'induit.

E fém. : Mesurée à vide.

Remarque :

La machine étant munie d'un enroulement de compensation de la RMI et d'un enroulement de commutation destiné à éliminer les étincelles sous les balais, donc leurs résistances sont comprises dans R_a .

4. Montage (schéma de principe) :

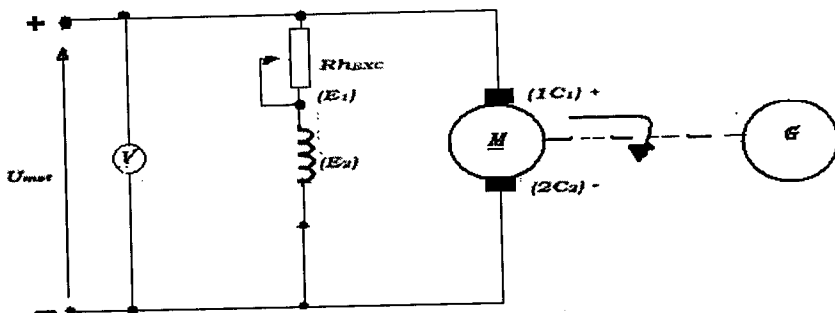


Avec :

K : Intérieure

Rh_{EXC} : Rhéostat de champ ou d'excitation pour varier le courant inducteur ou d'excitation J.

Dans le but de faciliter le réglage de la vitesse de rotation, on utilise un moteur à courant continu shunt pour l'enroulement de la génératrice. Son montage est comme suit :



5. Mode Opératoire :

5.1 Essai à vide : K : ouvert, $I=0$

Pour relever $E=f(J)$ à $N = N_{nominal}$ maintenue constante, faire varier J de 0 à $J_{nominal} = 1.11 \text{ A}$ à l'aide du rhéostat de champ $Rhex$ et pour chaque valeur de J ; mesurer au voltamètre la f.é.m E aux bornes de l'induit .

Caractéristique à vide $E=f(J)$ à $N=2000$ tr/min =constante											
J (A)	0.00	0.05	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
E (V)											

Pour relever $E=f(N)$ à $J = J_{no\ min\ ale}$ maintenue constante (c'est-à-dire à Φ constant. Faire varier la vitesse de rotation N est l'aide de U_{mot} et pour chaque valeur de N , mesurer E . La vitesse est mesurée à l'aide d'une génératrice tachymétrie « GT ».

Caractéristique à vide $E=f(N)$ à $J = J_{no\ min\ ale} = \text{constante}$								
N(tr/min)	2000	1800	1600	1400	1200	1000	700	500
E (v)								

5.1 Essai en charge : K : ferme

Pour relever $U=f(I)$ à $N = N_{nominal}$ et $J = J_{no\ min\ ale}$ maintenus, faire varier I de 0 jusqu' à $1.2 I_{nom}$ au moyen du rhéostat de charge R et pour chaque variation mesurer U aux bornes de la à l'aide du voltmètre.

Caractéristique en charge $U=f(I)$ à $N=2000$ tr/min et $J=1.1A$ =constante											
I (A)	0.50	1.00	2.00	2.50	3.00	4.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
U (v)											
$\Delta U(v)$											

6. Travail À Effectuer

Mesurer les résistances d'enroulement à chaud après fonctionnement à l'aide de l'ohmmètre.

- a) Tracer les caractéristiques à vide : $E=f(J)$ à N égale à une constante et $E=f(N)$ à J constant , commentez . Pourquoi $E \neq 0$ pour $J=0$?
- b) Tracer la caractéristique externe ou en charge $U=f(I)$ à N et J constants , commentez ? .Déterminent le point de fonctionnement nominal en le précisant sur le graphe $U=f(I)$.
- c) Complétez le tableau de l'essai en charge en calcule $\Delta U=f(I)$, interprétez ? Donne ΔU pour le point de fonctionnement nominal et en déduire la chute de tension due à la réactance mantique d'induit $\mathcal{E}$.

7) Conclusion générale.

Génératrice à courant continu à excitation

En dérivation (Shunt)

1. Generalites :

La génératrice à excitation shunt est une machine auto excitée c'est à dire elle assure son excitation par elle même en prélevant une faible parti du courant généré par l'induit. L'enroulement inducteur (d'excitation) est branché en dérivation (parallèle) sur l'enroulement de l'induit. Fonctionnement de la génératrice shunt ecessite l'entraînement de celle-ci par une moteur (Exemple moteur à courant continu à excitation en dérivation).

2. Conditions d'amorçage

Pour assurer l'amorçage de la génératrice shunt on doit l'entraîner vide, avec un rhéostat d'excitation (de champ) au maximum de résistance (donc à J minimal) , ensuite on augmente progressivement la ietsse de rotation jusqu à sa valeur nominal et on observe j sur ampèremètre du circuit d'excitation et E sur le voltmètre aux bornes de induit

Si E n'augmente pas, donc la machine ne s'amorce pas. D'où la nécessité de vérifier les conditions d'amorçage :

- Existence du flux rémanent : contrôle au voltmètre (E quelques volts) inducteur débranché de l'induit ($J=0$) . Si le contrôle est négatif ($E=0$) , on doit exciter la machine en injectant un courant continu dans l'enroulement d'excitation au moyen d'une source indépendante ;
- Pour un sens de rotation défini, à la vitesse nominale, il existe un sens de connexions inducteur – induit : lorsqu'on branche l'inducteur sur l'induit et avec un contrôle (un Voltmètre), si E augmente implique le sens des connexion est convenable (flux additif) et la machine s'amorce. Mais si E décroît, le sens est inversé et la machine ne s'amorce pas on doit rétablir alors le sens convenable (correct) en inversant les connexion de l'inducteur sur l'induit ;

Si E reste faible c'est que la résistance ($R_{ex} + R_h$) $> R_{cr}$ (résistance critique d'amorçage). Donc diminuer progressivement la résistance du rhéostat d'excitation R_h jusqu'à ce l'on obtienne E et J désirées.

3. But la manipulation

.Etude de la génératrice shunt à vide pour déterminer les conditions 'amorçage et par suite le relevé de la caractéristique à vide : $E=F(J)$ à vitesse de rotation N égale à une constante. De plus l'étude de cette même génératrice (shunt) en charge pour relever la caractéristique en charge : $U = F(I)$ à $N = \text{cste}$

et $(R_{ex}+R_h)$ égale à une constante et aussi la détermination du point de fonctionnement nominale.

- **caractéristiques à vide:**

1) $J \rightarrow E = f(J)$ à $N = \text{constante}$

Avec :

E : f.é.m. induite à vide en [V]

J : courant d'excitation en [A] ou [mA] ;

N : vitesse de rotation, en [tr/min].

- **caractéristique en charge :**

2) $I \rightarrow U = f(I)$ à $N = \text{constante}$

Avec :

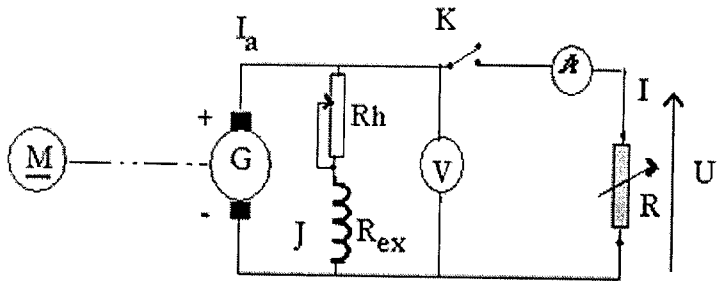
U : tension aux bornes de la charge (aux bornes de $R_h + R_{ex}$)

;

I : Intensité du courant débité, par la génératrice, dans la charge.

4. Principe :

-Etablir les relations de fonctionnement à vide et en charge :



à vide : K ouverte $I = 0 \Rightarrow I_a = J$

Voltmètre mesure $U_0 \approx E$, car $U_0 = E - R_a J$ et $R_0 J$ négligeable par rapporte à E. (E : si $R_a = 0.6 \Omega$ et $J = 0.6 A \Rightarrow r_a J = 0.36 V$; $0.36 \ll E = 220 V$)

Loi d'Ohm appliqué au circuit inducteur :

$$U_0 \approx E = (R_{ex} + R_h) J \Rightarrow J \approx \frac{E}{R_{ex} + R_h}$$

E : f.é.m induit à vide, réglée par R_h .

$E = K N \phi = K' \phi$ et $\phi = k J \Rightarrow E$ est proportionnelle à J .

Donc E est proportionnelle à J donc E est contrôlé par R_h .

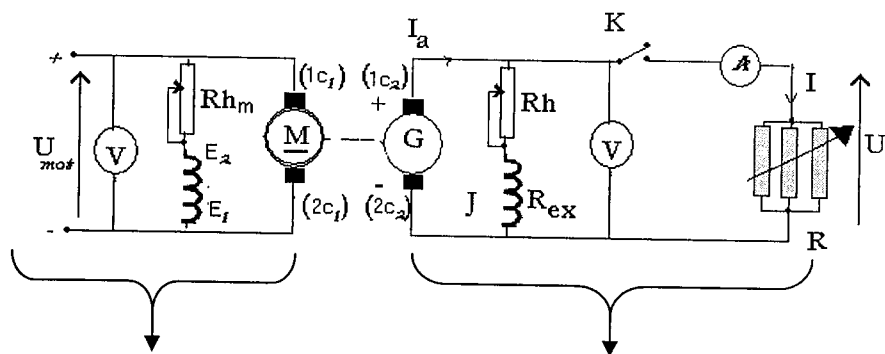
En charge : K fermé $\Rightarrow I_a = I + J$

$U = E - R_a I_a = E - [R_a (I + J) + \varepsilon]$.

$$J = \frac{U}{R_{ex} + R_h}; U = R \cdot I.$$

(R : résistance de la charge).

5. Montage (schéma de principe):



Montage du moteur à
Excitation Shunt
(charge)

Montage de la Génératrice à
Excitation shunt (avide et en

K : interrupteur.

La vitesse N est mesurée à l'aide d'une dynamo tachymétrie (GT)

6. Mode opératoire:

6.1 Essai à vide :

K ouverte, $I = 0$ (Courant de charge nul).

Entraîne la génératrice à une vitesse $N = N_{\text{nominale}}$ maintenue constante (après avoir vérifié l'amorçage de celle-ci). Varie J à l'aide de R_h et pour charge variation, mesure la f.é.m. E aux bornes de l'induit grâce au voltmètre

Caractéristique à vide $E = f(J)$ à $N = 2000 \text{ tr/min} = \text{cte}$								
J(A)	0.0	0.20	0.30	0.50	0.60	0.70	0.80	0.85
E(V)								

On peut relever aussi $E = f(N)$ et $J = f(N)$. Varier la vitesse de rotation à l'aide de U_{mot} et pour chaque valeur de N , mesurer E et J :

Caractéristique à vide $E = f(N)$ et $J = f(N)$								
N (tr/min)	2000	1900	1800	1700	1600	1400	1200	1000
E (V)								
J (A)								

Remarque : Il est préférable de tracer la courbe à vide $E = f(J)$ en excitation indépendante avec ce type d'excitation.

6.2 Essai en charge : K fermé, $I_a = I + J$.

Pour $N = N_{\text{nom}}$ et $(R_{\text{ex}} + R_h) = \text{cte}$ et maintenus constants. Varier I à l'aide du rhéostat de charge "R" et pour chaque valeur de I ?

Mesurer U du voltmètre placé aux bornes de la charge

Caractéristique en charge : $U = f(I)$ à $N = N_{\text{nom}}$ et $(R_{\text{ex}} + R_h) = \text{cte}$.									
I(A)	0.50	2.20	4.00	3.60	3.00	2.20	3.60	3.00	4.60
U(V)									
J (A)									

7. Travail à effectuer :

Mesurer les résistances d'enroulement à chaude après fonctionnement à l'aide de l'ohmmètre .:

a) Tracer les caractéristique à vide : $E = f(J)$ à N égale à une constante et $E = f(N)$,

Commentez ? Justifiez ?

b) Tracer la droite des inducteurs ($R_{ex} + R_h$). $J = E$ et déterminer les coordonnées du point de fonctionnement à vide pour $N = 2000$ tr/min.

Déterminées la valeur de la résistance critique d'amorçage R_{cr} et en déduire R_h correspondante.

c) Tracer la caractéristique en charge $U = f(I)$ à $N = cte$ et $(R_{ex} + R_h) = cte$.commentez ?

- Comment détermine-t-on le point de fonctionnement en charge
- Tracer $J = f(I)$, interprétez ?
- Déterminer la chute de tension ΔU pour le point de fonctionnement en nominale.

d) Comparer les caractéristiques d'une génératrice à excitation shunt à celles d'une génératrice à excitation séparée.

e) citez quelque applications de génératrice à excitation shunte.

8. Conclusion générale.

TP : 03

Moteur à courant continu à excitation

En dérivation (shunt)

1. Generalites :

Un moteur à courant continu est une machine rotative qui transforme l'énergie mécanique disponible sur l'arbre moteur. Les parties constituant le moteur à courant continu sont les mêmes que celles d'une génératrice à courant continu. D'un point de vue structurel, un moteur à courant continu comporte un induit tournant et inducteur fixe. Cette dernière partie peut être soit bobinée, soit réalisée avec des aimants permanents. La machine à courant continu est réversible (c'est-à-dire elle peut fonctionner comme génératrice ou comme moteur).

1-1. Différentes configuration d'excitation :

Comme pour la génératrice, l'excitation pour le moteur à courant continu peut être fournie :

- Soit par une source extérieure à la machine, le moteur est alors à excitation séparée ou indépendante.
- Soit par le moteur lui-même qui est alors auto excitée ; parmi les modes d'auto excitation on trouve principalement :

- Le moteur shunt ou moteur dérivation ;
- Le moteur série ;
- Le moteur composé à flux additif.

a) Moteur à excitation séparée (indépendante) :

Si ce mode d'excitation présente l'inconvénient de nécessiter deux sources distinctes d'alimentation (figure 01) , il l'intérêt d'offrir à l'utilisateur une fréquence de rotation indépendante de la charge et largement réglable par action :

-soit sur la tension.

-soit sur le courant.

Remarque :

Dans certains moteurs, l'excitation constante est fournie par un aimant ; ce sont les moteurs à aimants permanents.

$$I = I_a$$

$$U = E_{ch} + R_a I_a$$

$$\varepsilon_m = E - E_{ch}$$

$$U = E - (\varepsilon_m - R_a I_a)$$

$$\text{Si } \varepsilon_m \approx 0$$

$$\Rightarrow E = E_{ch} = E' \Rightarrow U = E' + R_a I_a$$

$$= E' + R_a I$$

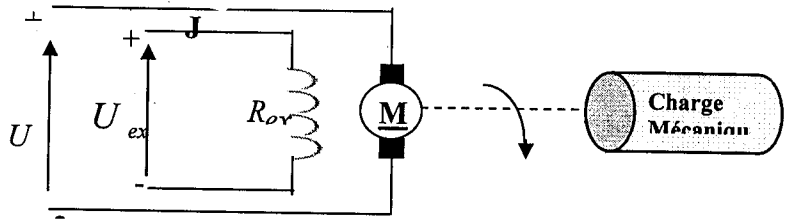


Figure 01 : Excitation séparée.

b) Moteur à courant continu série :

Dans ce montage (figure 02) courant d'excitation et courant moteur sont confondus, ce qui entraîne :

Un emballement du moteur si le couple résistant est peu important (flux faible).

-Un couple moteur élevé si la charge est conséquent.

-Une vitesse variant beaucoup avec la charge.

Le moteur série est notamment utilisé traction électrique (véhicule électrique) et dans les application de levage .

$$I = I_a = J$$

$$U = E_{ch} + (R_a + R_{ex}).I_a$$

$$\varepsilon_m = E - E_{ch}$$

$$U = E - (\varepsilon_m - (R_a + R_{ex}).I_a)$$

$$\text{Si } \varepsilon_m \approx 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow E = E_{ch} = E' \Rightarrow U &= E' + (R_a + R_{ex}).I_a \\ &= E' + (R_a + R_{ex}).I \end{aligned}$$

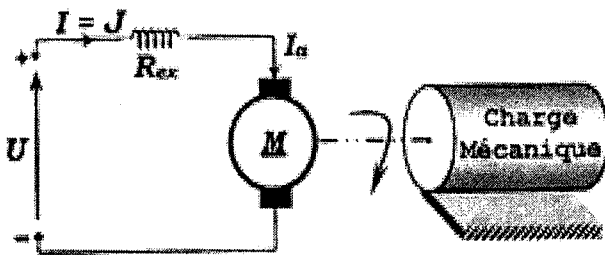


Figure 02 : Excitation série

c) Moteur à excitation en dérivation (shunte)

Une seule tension d'alimentation est exigée pour ce mode d'excitation qui permet de réaliser un moteur à vitesse pratiquement constante (figure .03) . Le courant absorbé par l'induit est proportionnel au couple résistant opposé au moteur.

$$I = I_a + J$$

$$U = E_{ch} + R_a I_a$$

$$\varepsilon_m = E - E_{ch}$$

$$U = E - (\varepsilon_m - R_a I_a)$$

$$\text{Si } \varepsilon_m \approx 0 \Rightarrow E \approx E_{ch} = E' \Rightarrow U = E' + R_a I_a$$

$$\text{Or } I_a = I - J \Rightarrow U = E' + R_a (I - J)$$

$$\text{et } J = \frac{U}{(R_{ex} + R_h)}$$

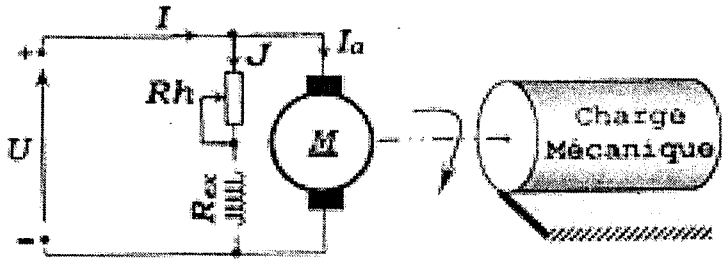


Figure 03 : Excitation shunt

d) Moteur à excitation composée :

Le moteur à excitation composée se comporte : à vide , comme un moteur dérivation , en charge , comme un moteur série .

Le moteur composé peut être monté à flux additif ou à flux soustractif on distingue deux types :

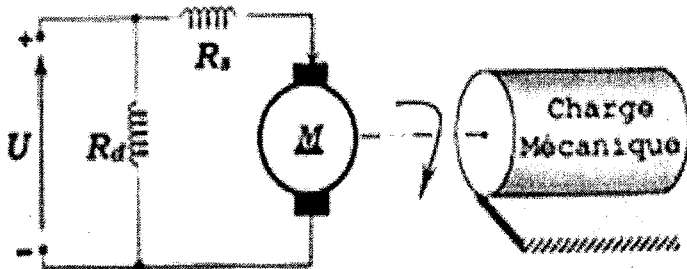


Figure 03 : a- Moteur composé à longue courte dérivation

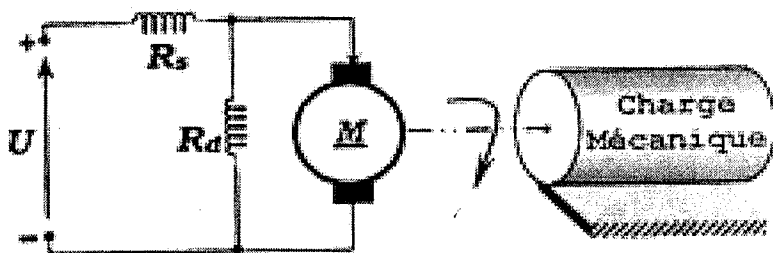


Figure 03 : b- Moteur composé à courte dérivation

R_a : Résistance de l'enroulement.

R_d : Résistance de l'enroulement dérivation.

Si la F.m.m. série agit dans le même sens que la F.m.m. dérivation, le moteur composé est à flux additif . Dans le cas contraire il est à flux soustractif.

2. But de la manipulation

Cette manipulation a pour objet l'étude caractéristique à vide et en charge du moteur à courant continu à excitation en dérivation. Relevé des caractéristiques :

- **A vide :**

1. $J \rightarrow N = f(J) \text{ à } U = Cte.$

- **En charge :**

1. caractéristique de vitesse :

$$I \rightarrow N = f(I) \text{ à } U = Cte \text{ et } (R_{ex} + R_h) = Cte$$

2. caractéristique de couple moteur :

$$I \rightarrow C = f(I) \text{ à } U = Cte \text{ et } (R_{ex} + R_h) = Cte$$

3. caractéristique mécanique :

$$C \rightarrow N = f(C) \text{ à } U = Cte \text{ et } (R_{ex} + R_h) = Cte$$

4. caractéristique de rendement :

$$C \rightarrow \eta = f(C) \text{ à } R_{EX} + R_h = Cte$$

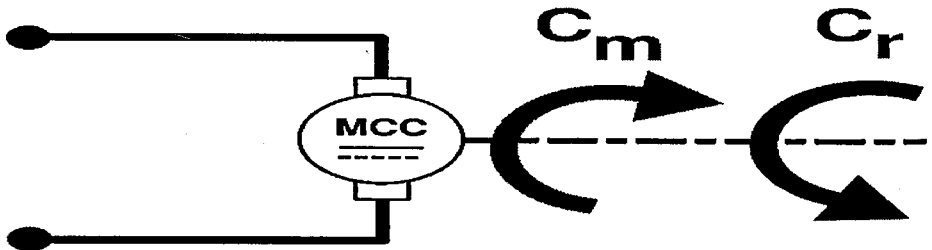


Figure 04 : caractéristique mécanique de M.C.C

3. Principe

A vide, le moteur shunt $\Rightarrow$ entraîne un frein électromagnétique. Pour créer une résistance à la fois constante et réglable, on peut utiliser aussi, comme charge, une génératrice - balance (dynamo -frein) qui débite dans un rhéostat de charge .

- Relation de fonctionnement :

3.1 A vide :

$$E = U - R_a I_a = K N \Phi \Leftrightarrow N = \frac{U - R_a I_a}{K \Phi}$$

$$\text{Généralement } R_a I_a \ll U \Rightarrow N \approx \frac{U}{K \Phi}$$

Sous tension U constante, N est inversement proportionnel au flux. Si le circuit magnétique du moteur n'est pas saturé, Φ est proportionnel au courant d'excitation J : $\Phi = \alpha J$
donc $J \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow N \downarrow$.

Remarque : Si $J \rightarrow 0$, $\Phi \rightarrow 0$ et la vitesse tend vers une très grande valeur , donc il y aurait risque d'emballement du moteur .
D'où le moteur shunt s'emballe s'il y a coupure dans l'enroulement inducteur.

3. 2. En charge :

Pour un moteur compensé ($\varepsilon_m = 0$).

$$\triangleright N = \frac{E'}{K\Phi} = \frac{U - R_a(I - J)}{K\Phi} = \frac{U - R_a I_a}{K\Phi}$$

(1)

$$\triangleright C_{ém} = K' \Phi I_a = K' \Phi (I - J)$$

(2)

En éliminant I_a entre (1) et (2) on obtient l'équation $C_{ém} = f(N)$, qui représente presque la caractéristique mécanique $C_u = f(N)$.

$$\circ C_{ém} = C_u + C_p$$

Ou :

C_u : couple utile disponible sur l'arbre du moteur (couple moteur).

C_p : Couple de pertes et $C_{ém}$: couple électromagnétique.

❖ **Le rendement :**

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{C_u \cdot \omega}{U \cdot I}$$

Ou :

○ La vitesse de rotation (red/s) :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60}$$

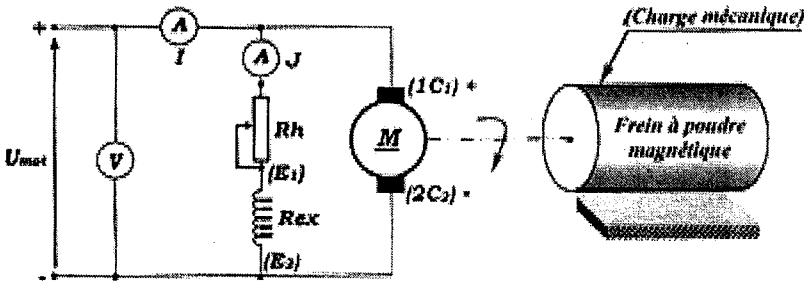
○ Le puissance utile (w) :

$$P_u = C_u \cdot N \frac{2\pi}{60}$$

○ Le puissance absorbée :

$$P_{abs} = U \cdot I = U (I_a + J)$$

4. Montage (schéma de principe) :



Avec :

Rhex : Rhéostat de champ ou d'excitation pour varier le courant inducteur ou d'excitation J.

5 Mode opératoire :

5.1 Essai à vide :

Pour cet essai la charge mécanique est découplée du moteur. Alimenter le moteur sous la tension $U = U_{nom}$ maintenue constante , ensuite variez le courant d'excitation J à l'aide du rhéostat de champ Rh et relevez la vitesse N , mesurée au moyen d'une dynamo tachymétrie (GT) , pour chaque variation de J .

Tableau des relevées :

Caractéristique à vide $N=f(J)$ à $U=200\text{ V}=\text{constante}$								
J (A)	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.35
N(tr/min)								

5.2 Essai en charge :

La charge du moteur est un frein à poudre magnétique .La vitesse et le couple du moteur shunt à étudier sont mesures à l'aide d'instruments grâce à l'unité de commande qui fournit le courant de freinage nécessaire au frein.

Faites varier (C) à l'aide de l'unité de commande. Pour chaque variation, mesurez N, I, à $U=\text{Constante}$ et $R_h + R_{ex} = \text{constante}$.

Tableau des relevées :

Caractéristique en charge $U=220\text{V}=\text{Cte} = (R_h+R_{ex})=\text{Cte}$										
C(N.m)	0.4	1.2	2.00	3.60	4.80	5.60	7.20	8.00	8.80	9.60
N(r/min)										
I(A)										
Pabs(W)										
Pu (W)										
η										

à calculer

6) Travail à effectuer :

Mesurer les résistances d'enroulement à chaud après fonctionnement à l'aide de l'ohmmètre.

a) Pour l'essai à vide , tracer la caractéristique : $N=f(J)$ et interprétez la courbe obtenue. Quel est le rôle du rhéostat de champ R_h ? Justifiez votre réponse.

b) Pour l'essai en charge, tracer sur le même graphique les caractéristiques :

I , N , $\eta = f(C)$ et $N=f(I)$ sur un autre graphique interprétez les courbes obtenues .

c) La vitesse varie peu avec la charge (C) , pourquoi ?

d) Vous disposez d'une « charge » (machine à entraîner) , comment choisissez-vous son moteur d'entraînement ?

e) Citer quelques applications du moteur shunte.

f) Conclusion générale

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

Quesada et al. • *CaMKII α and β in the Hippocampus*

100-443887-100

[illegible]

4. *Stigmaphyllon* *Stigmaphyllon* (L.) Benth.

CHAPITRE II

Transformateur

CHAPTER 1

Introduction

TP : 04

Essai d'un Transformateur Statique

En Monophasé

1. Generalites :

Les transformateurs ont de modifier les amplitudes des grandeurs électrique alternatives, ils transforment des signaux tensions et courant de fréquence f en signaux de même fréquence (en Electrotechnique) mais de valeurs efficaces différentes. L'intérêt de tels dispositifs se trouve dans la description du réseau de transport et de distribution de l'énergie électrique.

Généralement l'énergie électrique utilisée est en basse tension (B.T), puisqu' elle est plus facile à exploiter et présente moins de danger.

▪ Mode de fonctionnement

Un transformateur est constitué d'un circuit ferromagnétique fermé portant plusieurs enroulements sans liaison conductrice. Un des enroulements, nommé « primaire » est alimenté par une source de tension alternative sinusoïdale, un flux magnétique, forcé par cette alimentation, s'établit donc la carcasse magnétique. Les autres bobines voient apparaître entre leurs bornes des fém. inducteur (loi de Lenz): Le primaire module

donc les valeurs de l'intensité et de la puissance appelée sur la source en fonction des courants et des puissances fournis par les autres enroulements. Dits « secondaires ».

2. But de trenail

Afin de déterminer les caractéristiques d'un transformateur monophasé et calculer certains paramètres caractérisant son fonctionnement, on effectue sur cet appareil les essais suivants :

- Essai à vide
- Essai en charge.

3. Mode opératoire :

3.1. Essai à vide

Le transformateur à vide se comporte comme une bobine à noyau de fer. Cet essai permet de déterminer le rapport de transformation et les pertes fer .

Réaliser le montage d'essai à vide.

Construire les courbes :

$$I_{10} \rightarrow U_1 = f(I_{10}) \quad \text{ou} \quad U_1 \rightarrow I_{10} = f(U_1)$$

$$U_1 \rightarrow P_{fer} = f(U_1)$$

$$U_1 \rightarrow \cos \varphi_{10} = f(U_1)$$

Montage :

U_1 Variable par autotransformateur (essai à vide).

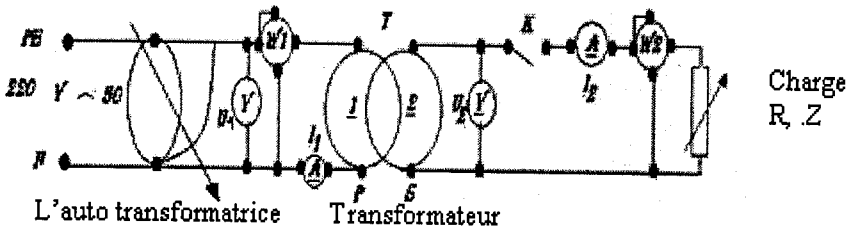


Figure 1 : schéma de montage de l'essai à vide et en charge

Avide : $K_{ouvert} I_2 = 0$ et $U_2 = E_2$. Vérifier l'influence (perturbation introduite) des appareils et choisissez leur « pace » dans le circuit en conséquence.

a) Travail à faire « essai à vide » :

1. Calculs préliminaires : repérage des enroulements sur la plaque à bornes.

Couplage (a' l'ohmmètre a' pile) . Déterminer le rapport de transformation m et la puissance apparente du transformateur.

Couplage des enroulements par barrettes de connexion :

En série pour $U = 220\text{ V}$ et pour $U = 110\text{ V}$;

En dérivation pour $U = 220\text{ V}$ et pour $U = 110\text{ V}$.

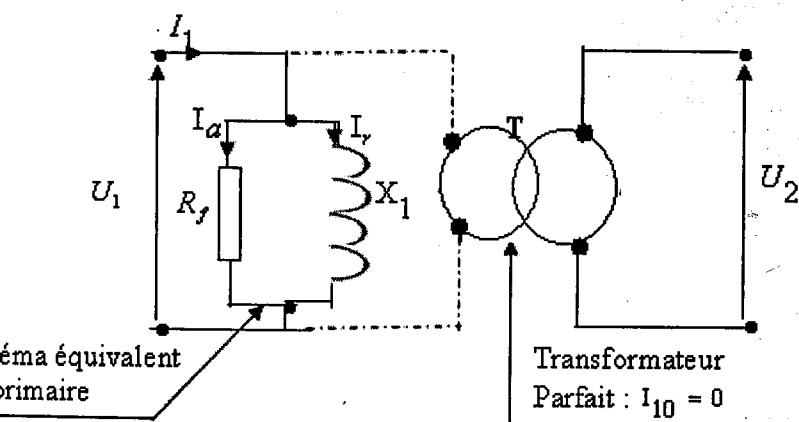
2. Réaliser le montage de la (figure 1) et compléter le tableau de mesure suivant :

Tableau de mesurées et calculs

$U_1(V)$	I_0 (mA)	U_{21} (V)	P_{10} (W)	m_0	$\cos \varphi_0$	P_f	Observations
20							
40							
60							
80							
100							
120							
140							
160							
180							
200							
220							

Pour la même variable U_1 on peut construire les trois courbes sur le même graphique. Tirez les conclusions pratiques.

3. Calculez Z_1 pour U_1 nominal et déduire L_1 par la méthode de Joubert. Si l'on considère le schéma équivalent du transformateur a vide ci-dessous, déterminer les courants actifs $I_a = I_{10} \cos \varphi_0$ et réactif $I_r = I_{10} \sin \varphi_0$ et la résistance fictive équivalente aux pertes fer $R_f = \frac{U_1}{I_a}$.



4. Comment on peut déterminer la tension nominale du transformateur, si cette dernière est inconnue ?

3.2 Essai en charge

A $U_{1 \text{ nominale}} = 220V = \text{constante}$, $f = 50\text{HZ}$, charge résistive (R)

$$\Rightarrow \cos \varphi_2 = 1 - P_f = \text{Cte}$$

Construire les courbes en charge :

$$I_2 \rightarrow U_2 = f(I_2) \quad \text{à } \cos \varphi \approx 1$$

$$I_2 \rightarrow P_f = f(I_2) \quad \text{Pertes joule dans le cuivre.}$$

$$I_2 \rightarrow \cos \varphi_1 = f(I_2)$$

$$I_2 \rightarrow \eta = f(I_2).$$

Rendement direct : $\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{P_2}{P_1}$ et le rendement par pertes séparées.

b) Travail à faire « essai en charge » :

1. Calcule I_2 pour η maximale quand $P_f = P_j$

2. Utiliser et retrouver la relation établie en cours :

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_f}{m^2 R_1 + R_2}}$$

3. Pour $I_{2 \text{ min imale}} = 1.36 \text{ A}$, calculez le rendement par la méthode des pertes séparées.

4. Comparez les rapports de transformation à vide m_0 et en charge nominale.

5. Comparez les puissances apparentes S_1 et S_2 à la charge nominale.

6. Réaliser le montage de la figure (1) et compléter le tableau de mesure ci-dessous, avec $U_1 = \text{constante} = 220 \text{ V} - 50\text{HZ}$, K fermé-

I_2 réglée par une charge résistive (R) variable .

Tableau de mesures et calculs

I_2 (A)	I_1 (A)	U_2 (V)	P_1 (W)	P_2 (W)	$\cos \varphi_1$	η_{dir}	P_J (W)	P_i (W)	η_{sep}
0									
0.2									
0.4									
0.6									
0.8									
1.0									
1.3									
1.36									

TP : 05

Essai d'un Transformateur

En court-circuit

Diagramme de Kapp

1. Essai en court-circuit :

Cet essai est intéressant pour les transformateurs de puissance car il permet, sans essai en charge, par la représentation vectorielle seulement (diagramme de kapp) de tracer la courbe $U_2 = f(I_2)$ à $\cos \varphi_2$ variable et de calculer le rendement par la méthode des pertes séparées puisque $P_{lcc} = P_f$ (Pertes joule « dans le cuivre » des enroulements).

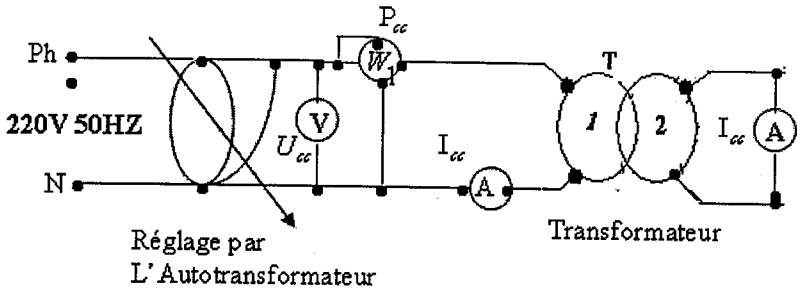
Remarque :

On a :

$$P_{lcc} = (m^2 R_1 + R_2) I_{2cc}^2$$

Car $P_f = 0$ du fait que U_{1cc} est faible.

2. Montage :



La figure ci-dessus indique le schéma de principe de l'essai en court-circuit.

- Brancher le circuit du montage après vérification

- Limiter I_{2cc} à $1.25 I_2$ nominale en réglant U_{1cc} par autotransformateur à faible valeur .

Le secondaire est en court circuit sur un ampèremètre de faible résistance :

3. Tableau de mesures et calculs

Compléter le tableau de mesure de l'essai en court-circuit suivant :

I_2 (A)	U_{1cc} (V)	I_{1cc}	P_{1cc} (W)	$m' = \frac{I_{1cc}}{I_2}$	Observation
0.11					
0.61					
0.86					
1.11					
1.36					à I_2 nominale
1.70					

Approximation de kapp : on néglige le courant à vide I_0 (faible) et les fuites magnétiques. Donc P_{fer} faible, $P_f \approx P_{10}$ mesurée à vide. (Reportez- vous à l'étude du transformateur monophasé).

Avec les mêmes valeurs de I_2 en charge sur R pure, on mesuré P_2 et calculé $P = P_f + P_j$ en prenant $P_j \approx P_{1cc}$ et. $P_f \approx P_{10}$ Pour obtenir le rendement par les pertes séparées.

Tracez les courbes $P_f = f(I_2)$ et η par la méthode des pertes séparées, après le remplissage du tableau ci-dessous et vérifiez leur

coïncidence avec celles tracées dans le travaux pratique numéro deux
« Essai d'un transformateur en monophasé » .

I_2 (A)	P_2 (W)	$P_J \approx P_{1cc}$ (W)	$P = P_f + P_J$ (W)	$P_{abs} = P_2 + P$ (W)	η_{sep}	Observation
0.11						
0.61						
0.86						
1.11						
1.36						
1.70						

$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ est calculée avec U_2 relevées manip précédent pour les I_2 correspondants avec $\cos \varphi_2 = 1$ (débit sur R).

4. Diagramme de Kapp :

A l'aide du tableau de l'essai en court circuit, construire le triangle de Kapp, puis le diagramme de Kapp (construction classique).

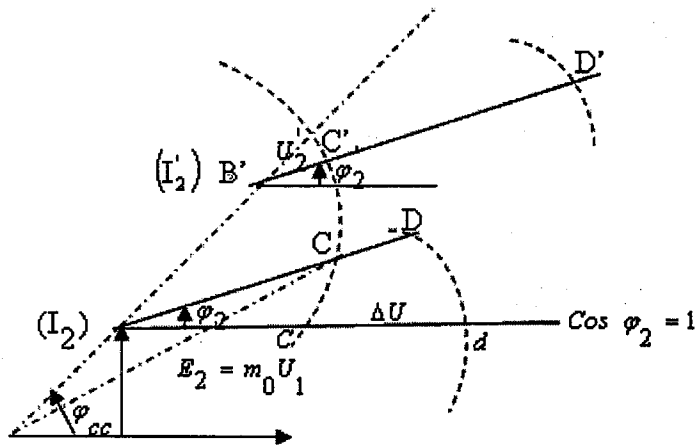
Vous rappelez-vous de la construction du diagramme de Kapp ? Si vous l'avez déjà étudié, quelles étaient les difficultés rencontrées. ? On vous propose ci-dessous une des constructions du

diagramme de Kapp (construction classique).

$U_1 = \text{constante}$, $\varphi = \text{const}$ I_2 variable

Construire le triangle de kapp-OAB

avec :



$$OA = u_a = \frac{P_{1cc}}{I_2} \quad ; \quad OB = m U_{1cc} = u$$

m' correspondant à I_2 (Voir le tableau de l'essai en court-circuit)

Puis construire OC tel que :

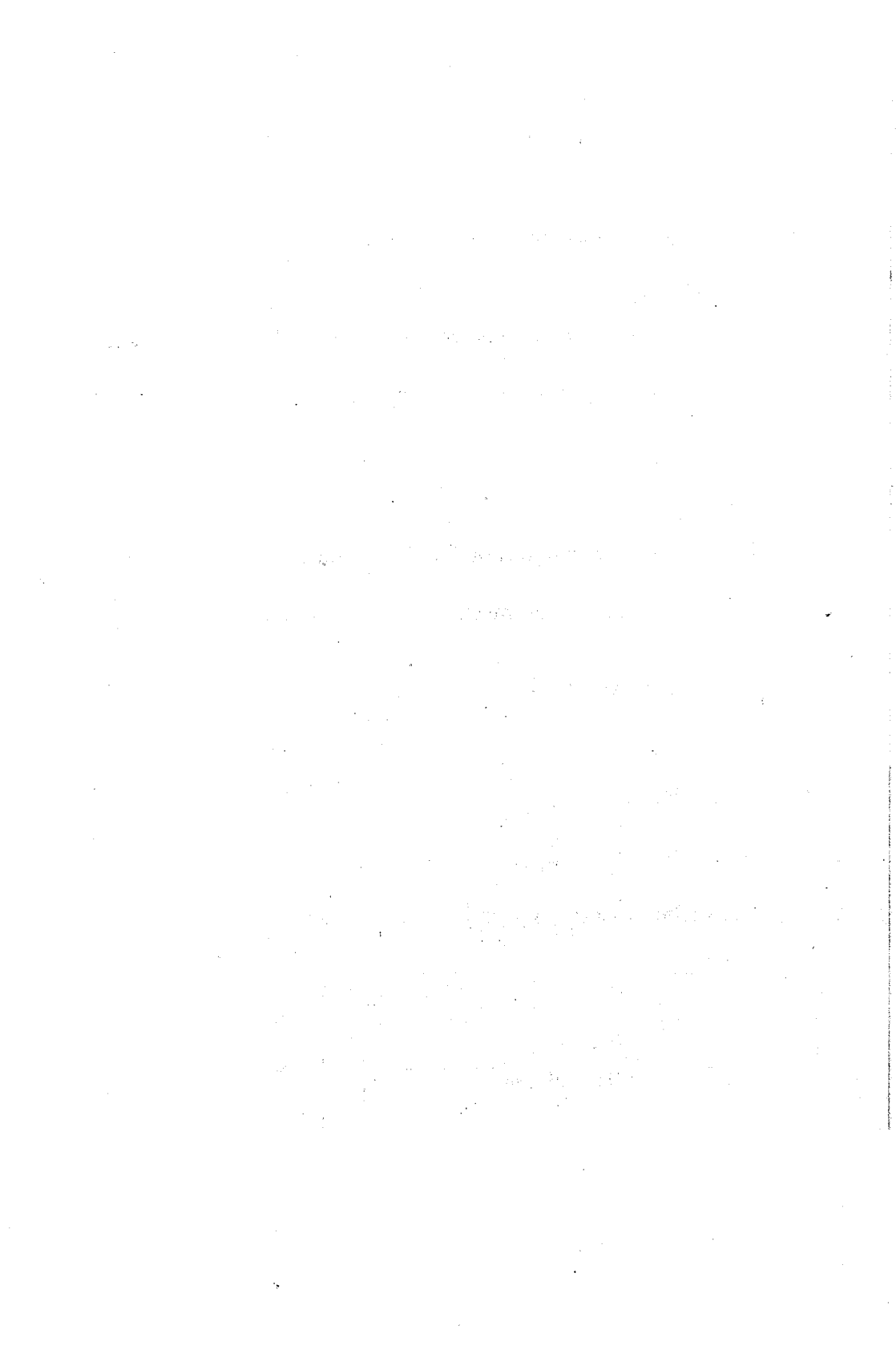
$OC = E_2 = m_0 U_1$, m_0 à vide pour $I_2 = 0$ et construire BD tel que :

$BD = OC$

A $\cos \varphi_2$ correspond φ_2 pour $\cos \varphi_2 = 1$ donc $\varphi_2 = 0$ et la chute de tension interne $\Delta U = cd$, pour $\cos \varphi_2 = 0.8$ AR d' ou $\varphi_2 = 37^\circ$ et $\Delta U \rightarrow$ quand.

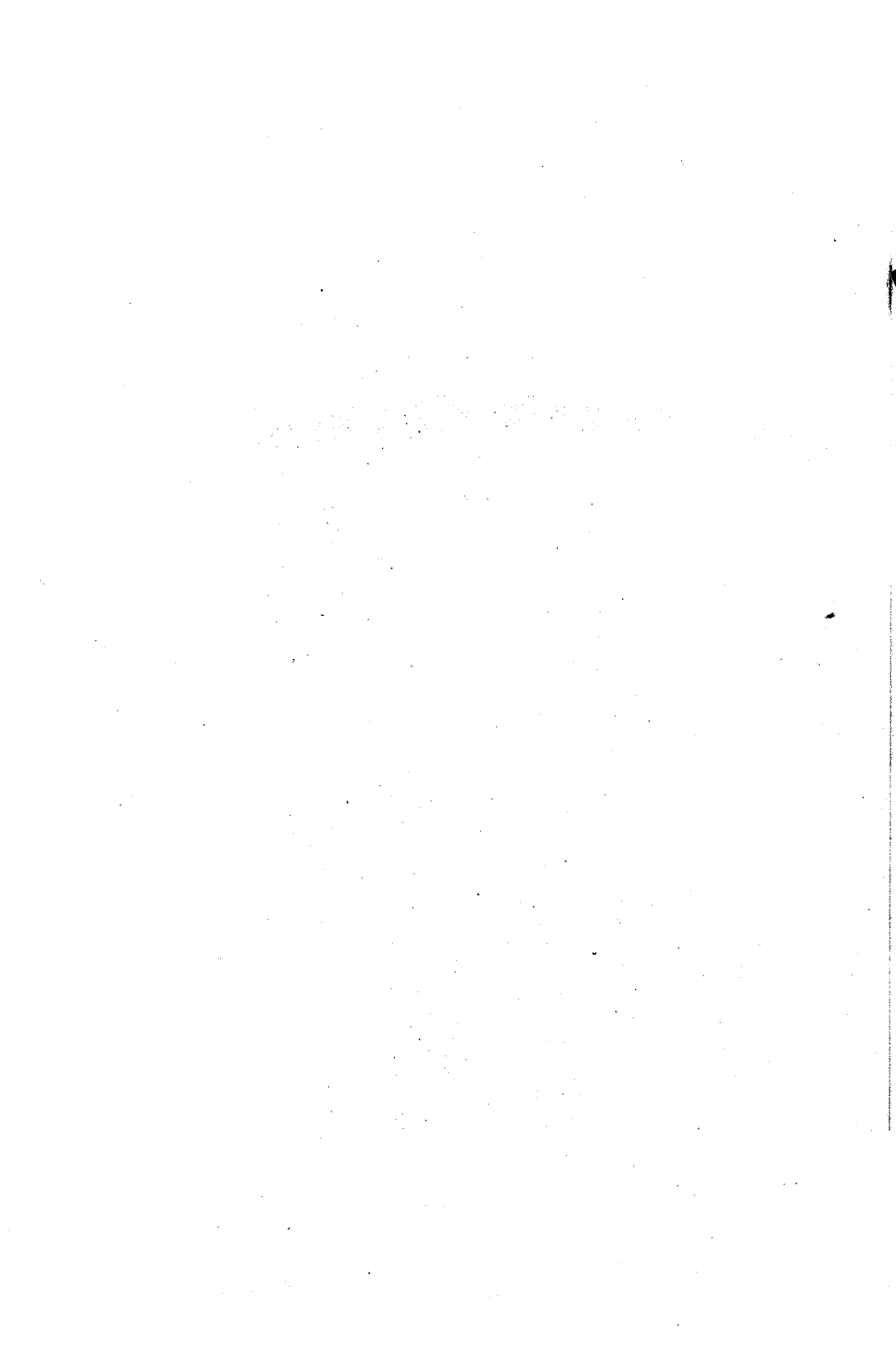
I_2 Varie : si $I_2' > I_2$ donc construire OB' tel que : $\frac{OB}{OB'} = \frac{I_2}{I_2'}$

Calculer OA, OB, OC et construisez le diagramme de Kapp pour $I_2 = 1.36A$.



CHAPITRE III

Ma chine à courant alternatif



Machine synchrone

Généralités sur les Machines synchrones

1. Présentation :

Comme toutes les machines électriques tournantes, une machine synchrone est un convertisseur d'énergie. Elle est réversible et peut fonctionner soit en générateur (alternateur), soit en moteur.

Un alternateur transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique et inversement pour le moteur synchrone.

Applications :

Production d'énergie électrique (alternateur) : centrales électriques, groupes électrogènes,.....

Traction électrique (moteur) : TGV Atlantique

II. Constitution de l'alternateur :

La machine synchrone possède 2 parties principales :

- L'inducteur (ici le rotor parcouru par un courant continu, ou parfois constitué d'aimants permanents pour les faibles puissances).
- L'induite (ici stator) parcouru par des courants alternatifs.

1. rotor où roue polaire

Il a pour rôle de créer dans l'entrefer de la machine un champ magnétique tournant représentant $2p$ pôles :

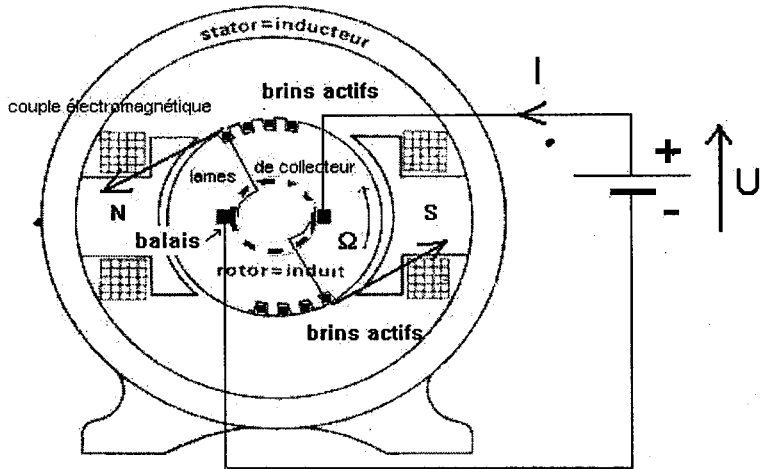


Figure -1- Moteur synchrone

2. stator

Il est constitué d'enroulements disposés à 120° dans le cas d'un alternateur triphasé. Chaque enroulement sera le siège d'une f.e.m. induit puisque soumise au flux magnétique variable de l'inducteur.

3. symboles

L'alternateur est aussi appelé génératrice synchrone :

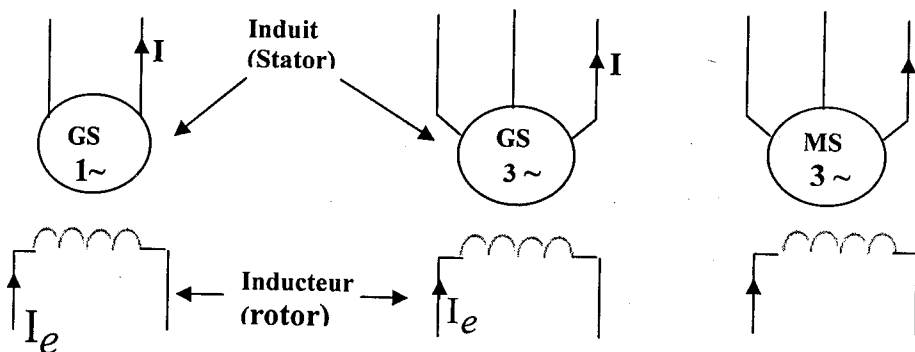


Figure -2- Symboles de la machine synchrone

III. Forces électromotrices des alternateurs

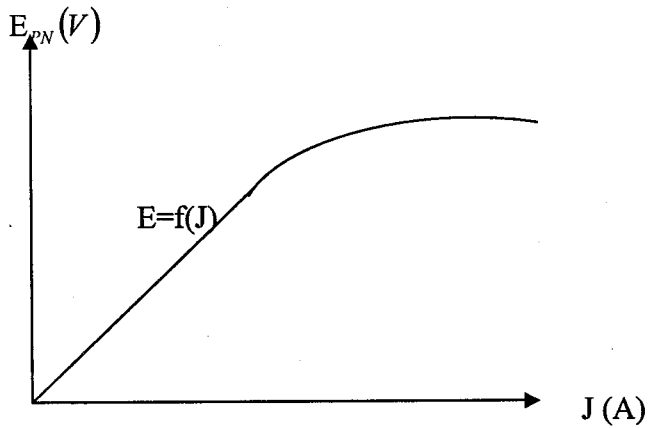
III.1. Principe

Nous savons que tout circuit électrique que soumis à un flux est le siège d'une f.e.m induite E . Alternateur triphasé est composé de 3 enroulements d'induit qui se comportent chacun conducteur l'enroulement de l'alternateur monophasé.

III.2. Expression des f.é.m. induites E

a) alternateur monophasé

La f.é.m. synchrone est donne par :



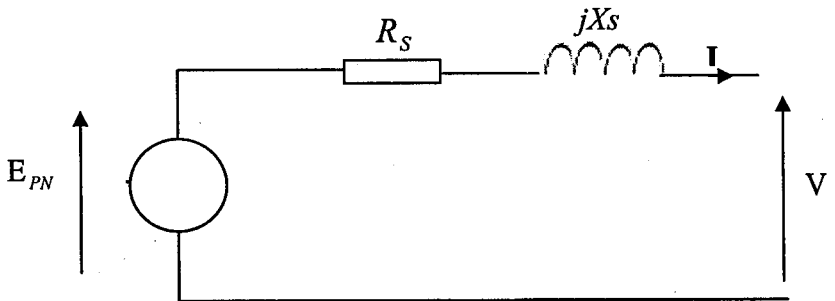
E_{PN} : est la tension entre phase et neutre

Dans la zone utile :

E_{PN} est proportionnel à courant d'excitation I_{ex} .

Le seul réglage possible de l'alternateur est d'agir sur I_{ex} .

1. Modèle équivalent d'une phase de l'induit (stator) :



Ce modèle est celui de l'alternateur monophasé ou bien celui d'une phase de l'alternateur triphasé.

E_{PN} : Fém. à vide (fém. synchrone) (V).

$X_S = L_S \omega$: Réactance synchrone (Ω)

R_S : Résistance d'un enroulement du stator.

I : intensité efficace du courant dans un enroulement.

V : tension efficace (simple) aux bornes d'un enroulement.

Obtention des éléments des modèles :

$E_{PN} = V_0$ (Essai à vide).

$Z = \frac{E_{PN}}{I_{cc}}$ (Essai en court-circuit).

R_S Mesurée directement si la plaque à bornes est accessible ou

$R_S = \frac{R_a}{2}$ en étoile et $R_S = \frac{2.R_a}{3}$ en triangle

R_a : est la résistance apparente mesurée entre 2 bornes de phase de l'alternateur couplé .

$$X_S = \sqrt{(Z_S^2 - R_S^2)}$$

2. Diagramme synchrone d'une phase du stator

Le modèle précédent permet d'écrire la relation vectorielle :

$$\vec{E}_{PN} = \vec{V} + R_S I + X_S I$$

On utilise un diagramme de Fresnel de diagramme synchrone pour représenter ces vecteurs et recherche celui qui est inconnu. On recherche V ou plus souvent E_{PN} pour déduire le courant d'excitation appliquer au rotor.

Etapes de construction

R_S est souvent très faible devant X_S , dans ces cas on ne le dessinera pas sur le diagramme de Fresnel.

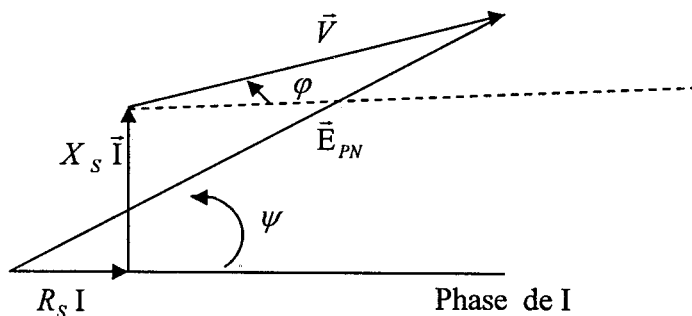


Figure Diagramme synchrone d'une phase du stator

Remarques :

φ : est le déphasage entre le courant I et la tension V , imposé par la charge (par son facteur de puissance $\cos \varphi$).

Ψ : est le déphasage entre le courant I et la tension E (fém.).

3. Bilan énergétique de l'alternateur :

a) Puissance absorbée

L'alternateur est une machine entraînée (par une turbine par exemple). Il absorbe donc une puissance sous forme mécanique

$$P_a = P_m + T_m \Omega$$

T_m est le moment du couple mécanique et Ω la fréquence de rotation en red/s.

b) Puissance utile

L'alternateur fournit de la puissance utile électrique P_u qui dépend de la charge qui y est connil.(influence du $\cos \varphi$). Dans le cas de

l'alternateur triphasé on a $P_u = \sqrt{3}.U.I$

c) Pertes :

- Pertes par effet joules (en watts)

Dans l'inducteur (rotor) : $P_{Jr} = r.I_{ex}^2 = U_{ex}I_{ex}$

Dans l'induit (stator) $P_{JS} = 3.R_S I_S^2$

- Pertes constantes

Ce sont les pertes magnétiques et mécaniques indépendantes de la charge. On peut les déterminer par un essai à vide.

d) rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + \sum \Delta P}$$

VI.3 Réversibilité de l'alternateur

Il est possible de coupler une machine synchrone sur le réseau pour la faire fonctionner en moteur synchrone. Il faut au préalable la faire fonctionner en alternateur de sorte que le système de tension produit soit adapté au réseau sur lequel on doit la coupler (fréquence et tension).

Le schéma équivalent d'une phase du moteur synchrone est le suivant (il n'y a que le sens de I qui change. C'est un moteur).

On a maintenant :

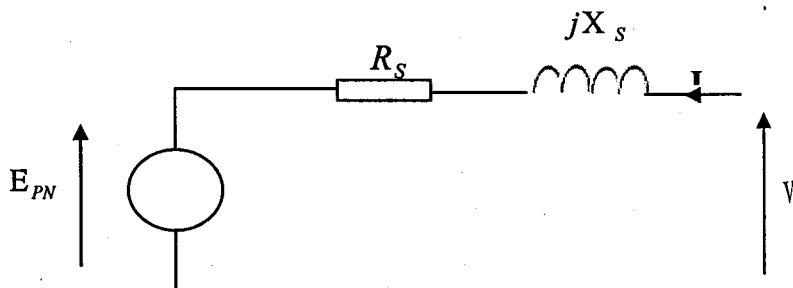
$$\vec{E}_{PN} = \vec{V} + R_s \vec{I} + X_s \vec{I}$$

Les pertes restent identiques à celles de l'alternateur mais on a :

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

et

$$P_u = T_m \Omega$$



Essai des alternateurs a puissance réduite

I.1 Position du problème :

Le problème consiste essentiellement à déterminer le courant d'excitation J nécessaire pour adapter la machine à des régimes d'utilisation déterminés $.U., I., \cos \varphi$; donc globalement $J=f(.U., I., \cos \varphi)$ ou plus simplement régulation $=f(\text{consommation})$; d'où en simplifiant le problème, on se limite à :

$U=f(I)$ à $J=\text{constante}$ pour différents $\cos \varphi$ (caractéristiques externes).

$J=f(I)$ à $U=\text{constante}$ pour différent $\cos \varphi$ (caractéristiques de réglage).

Comme ces essais ne peuvent être réalisés sur des alternateurs en machine industrielle, on a recours à des méthodes de prédétermination avec des puissances réduites et en fin en trier les caractéristiques citées.

I.2 But de la manipulation :

C'est la détermination des éléments du diagramme à réactance synchrone (méthode de BEHN-ESCHENBENRG) et ceux du diagramme de POITIER. Dans le deux ces on supposera que l'entrefer est constant.

I.3 Introduction théorique

Quand la charge de l'alternateur varie, sa tension aux bornes varie comme dans la génération à courant continu.

Cette variation de tension V est due à plusieurs causes :

- Chute ohmique (R).
- chute due à la réactance de fuite $X_l = l\omega$.
- chute due à la réactance d'induit $X_a = K\alpha$.

I.3.1 Reactance synchrone (méthode de BEHN-ESCHENBENRG)

Pour un même courant d'excitation, la tension aux bornes de l'alternateur décroît de valeur

E_0 à vide la valeur V en charge pour les raisons citées ci-dessus .

La chute de réaction d'induit sera assumée à la présence d'une réactance fictive $X_a = K\alpha$ de l'induit.

Les réactances X_l et X_a seront combinées pour donner la réactance synchrone X_s .

$$X_s = X_l + X_a \quad \text{avec} \quad \begin{cases} X_l = l\omega \\ X_a = K\alpha \end{cases} \quad (\text{I-a})$$

D'où l'équation : $E = V + R_s I + X_s I = V + Z_s I$ (I-b)

Ou Z_s est l'impédance synchrone.

De la relation (I-b), on en déduit le diagramme vectoriel de la figure-1

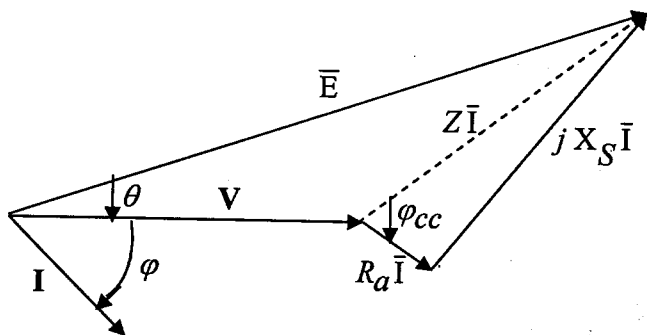


Figure-1

Cas du court-circuit :

Pour $V=0$, $E = Z_s . I_{cc}$

E et $Z_s . I_{cc}$ seront en phase d'où on peut déterminer X_s :

Réactance synchrone ou $l\omega$:

Inductance de BEHN-ESCHENBENRG..

BEHN-ESCHENBENRG utilise :

- La courbe à vide $E=f(J)$
- La courbe en court-circuit $I_{cc} = f(J)$.

Les deux courbes seront reportées sur le même graph. En mesurant AC et BC.

On obtient :

$$Z_S = \frac{E}{I_{cc}} = \frac{AC}{BC} = \sqrt{R_a^2 + X_S^2}$$

D'où, la détermination de R_a , X_S ayant été mesurée auparavant

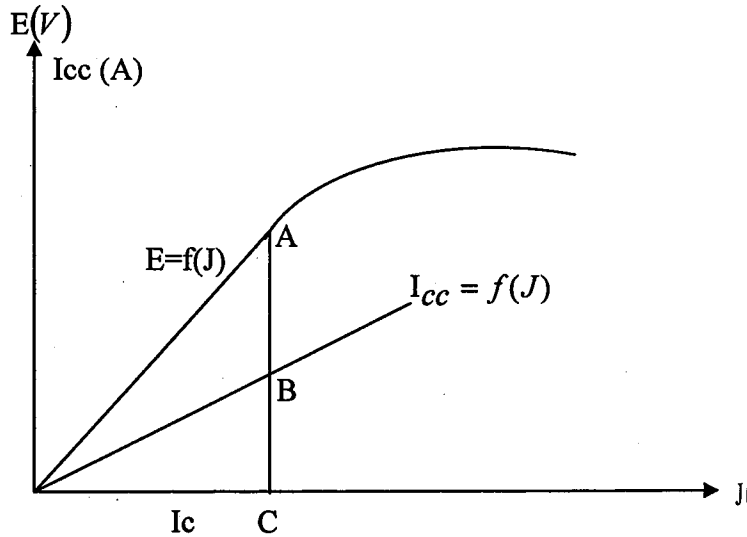


Figure -2

1.3.2 Méthode de Poitier :

Cette méthode est basée sur la séparation de la chute due à la réactance de fuite et la réaction d'induit. Dans ce cas la machine est supposée à pleine charge donc à la saturation.

- $X_1 = l\omega$ et la remplacer par un coefficient λ .

- La réaction d'induit est prise en compte par un coefficient α , dit coefficient d'équivalence qui permet de ramener les ampères-tours équivalents induite à ceux de l'inducteur.

$$E_r = V + R_s I + j\lambda I$$

$$J = J_r + j\alpha I$$

Ou :

J : courant d'excitation réel qu'il faut donner à la machine.

αI : courant de l'induit ramené à l'inducteur.

J_r : courant d'excitation résultant, créateur du flux réel à l'inducteur de la machine.

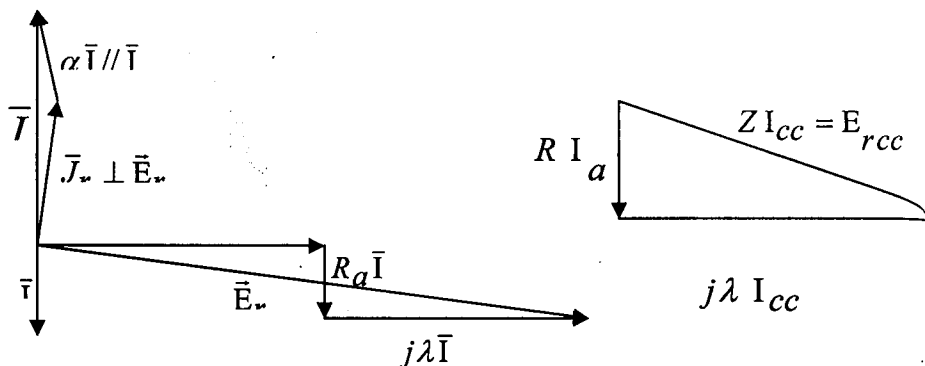
Comment déterminer λ et α .

Poitier utilise des essais réels, mais à puissance réduite :

- Essai à vide donnant $E_0 = f(J)$.

- Essai en court circuit.

- Essai en déwatté ($\varphi = \pi/2$; $\cos\varphi = 0$), (la charge est une self pur ou ayant une résistance faible par rapport à la réactance).



Comme R est pratiquement faible, RI sera négligeable devant λI , E et V sont pratiquement en phase et on peut confondre l'écriture vectorielle à la relation arithmétique :

$$Er = V + \lambda I \quad \& \quad J = Jr + j \alpha I$$

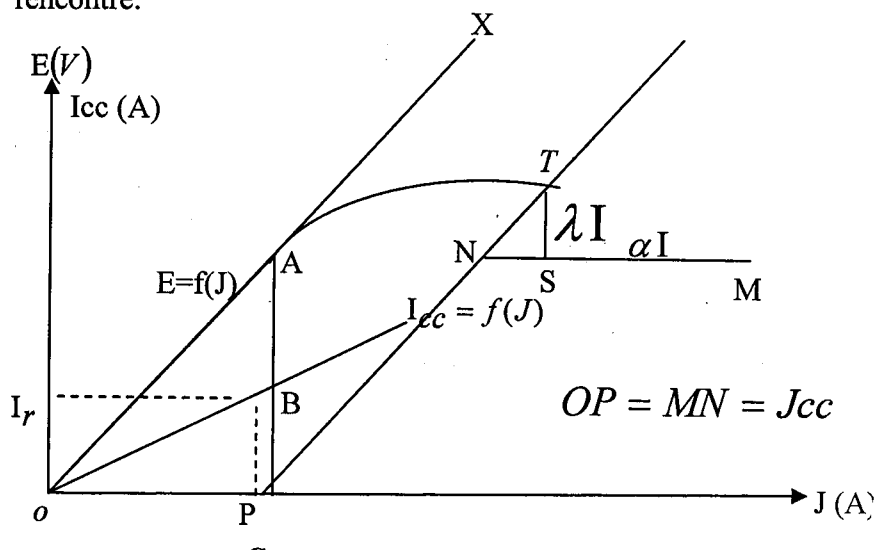
▪ **Détermination de λ et α .**

- On trace la caractéristique à vide $E=f(J)$.
- On trace la caractéristique en court circuit $I_{cc} = f(J)$
- On détermine un point en déwatté et on relève U , I_r et J correspondants soit M ce point.

Sur la caractéristique $I_{cc}=f(J)$ on détermine le point d'ordonné I_r qui donne J_{cc} (point P)

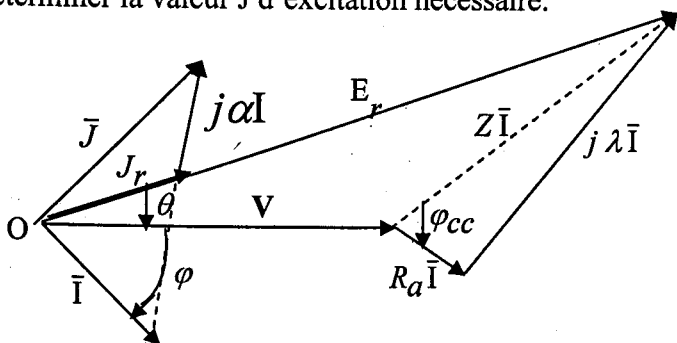
Par M on trace une parallèle à l'axe des abscisses et on porte $MN=OP$.

De N on mène la parallèle à OX qui coupe $E= f(J)$ en un point T. De T on abaisse une perpendiculaire à MN soit S le point de rencontre.

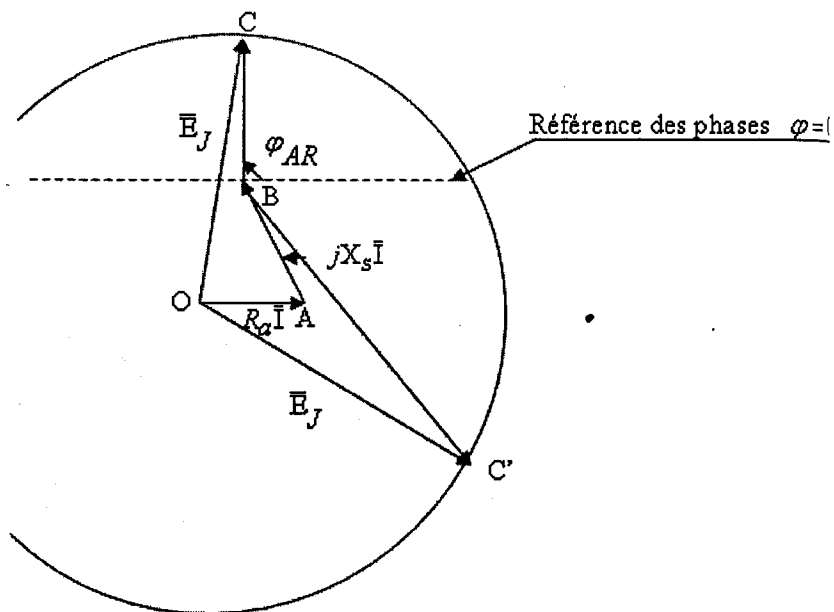


• **Diagramme de Poitier :**

λ et α . Déterminés comme ci-dessus ; $U, I, \cos\varphi$ donnés ; R_a déterminée on peut alors tracer le diagramme vectoriel de Poitier et de déterminer la valeur J d'excitation nécessaire.



I-4 Caractéristique externes $U=f(I)$ à $J=\text{constante}$ (réactance synchrone) :

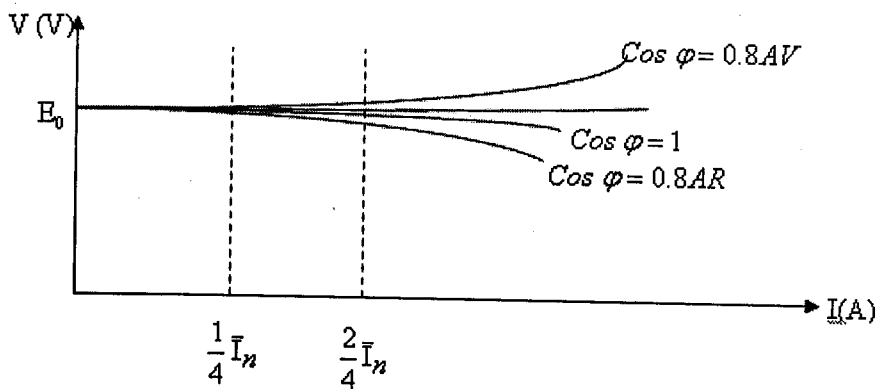


Procédure de travail:

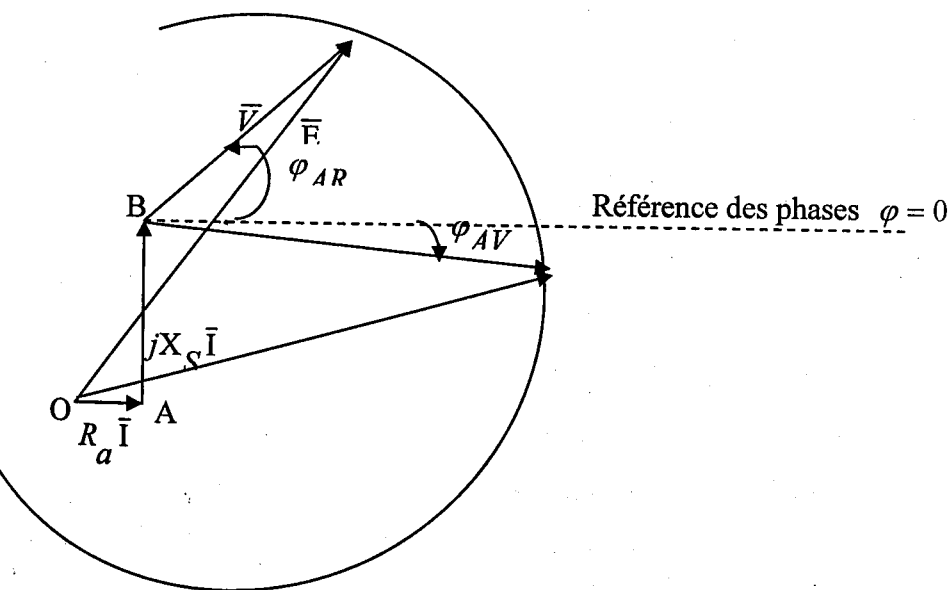
1- Pour I Donnie ($I=1/4 I_n$; $I=2/4 I_n$; $I=4/4 I_n$; $I=5/4 I_n$); tracer $OA=R_a I$; $AB=X_s I$.

2- A partir de O tracer un cercle de rayon $OC=E=K_v J = \text{constante}$.

3. Pour φ donnée relever V correspondant. Exemple: $\cos \varphi = (0.8AR ; 1 ; 0.8AV)$.

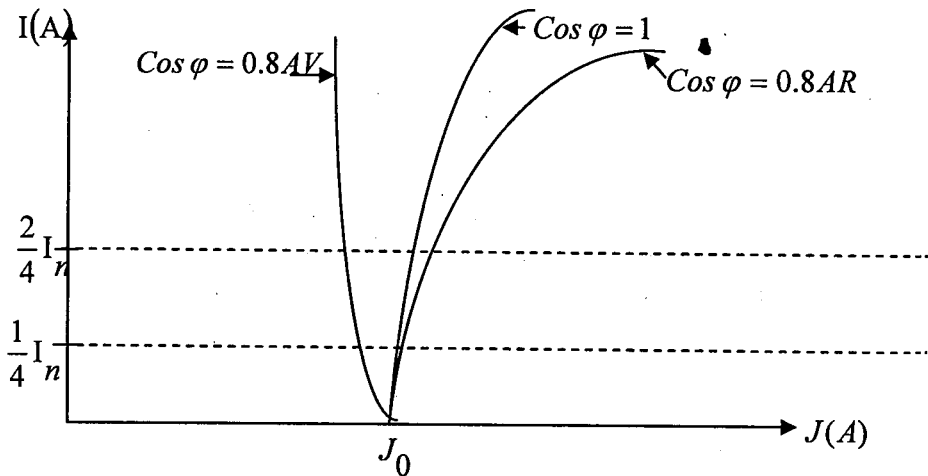


I.5 Caractéristique de réglage $I=f(J)$ à $V=\text{constante}$ (à réactance synchrone) :



• **Procédure de travail**

1. Pour I Donnie ($I=1/4 I_n$; $I=2/4 I_n$; $I=4/4 I_n$; $I=5/4 I_n$); tracer $OA=R_a I$; $AB=X_s I$.
2. A partir de B, tracer un cercle de rayon $BC=V=$ constant.
3. Pour φ donnée, relever E donc J ($E=KV J$) .on prendra $\cos \varphi = (0.8AR ; 1 ; 0.8AV)$.



I.6 Manipulation :

I.6.1 Exécution des Essais :

a) Essai à vide à vitesse nominale :

- Exciter l'alternateur à 0,7 A et fixer la vitesse à 1500 tr/mn (indication 50 Hz sur le fréquence- mètre, puis le débrancher de

l'alternateur) . la vitesse ne varie pas .

- Faire varier J de $0,7 = J_{\max}$ à $0 = J_{\min}$ par bond de $0,05 \text{ A}$, puis de $J = 0$ à $J_{\max} = 0,7 \text{ A}$

Pour chaque valeur relever E correspondant.

b) Essai en court-circuit à vitesse nominale :

*NB : cet essai devra être réalisé à excitation faible à partir de $J = 0$.

- Exciter l'alternateur de manière à avoir le courant $I_{cc} = I_{\text{nom}} = 3,6 \text{ A}$. Relever J de l'excitation correspondante.

c) Essai en déwatté à vitesse nominale :

- Charger l'alternateur sur des selfs pures de manière à avoir $I_d = 3,2 \text{ A}$.

- Relever U_d et J_d correspondants.

Mesurer R_a : résistance d'une phase de l'alternateur.

I-6.2 Travail demandé :

1) A remettre sur place

1-a) Rassembler les résultats de $E = f(J)$ dans un tableau .

1-b) Tracer sur un même graphe $E_{\text{moy}} = f(J)$; $I_{cc} = f(J)$.

1-c) Déterminer X_s (partie linéaire).

1-d) Déterminer les coefficients de Poitier α et λ .

2) Travail supplémentaire :

2-a) Pourquoi utilise-t-on un moteur shunt ?

2-b) Par les deux méthode vérifier le point plaque de la machine

(trouver l'excitation à donner à la machine et comparer les différences éventuelles).

- Détermination de J à partir du diagramme de Poitier pour satisfaire un régime donné ($U, I, \cos\varphi$ connus).

1- Tracer le diagramme.

2- Déterminer E_r (F.E.M résultante) .

3- A partir de la caractéristique $E = f(J)$ trouver J_r .

4- Résolution du triangle des ampères-tours.

2.c) En utilisant le diagramme de réactance synchrone, tracer les caractéristiques externes $U=f(I)$ $J=\text{constante}=0.6$ et réglage $I=f(I)$ à $v=\text{constante}=220V$ pour différents $\cos\varphi$.

A partir de vos résultats expliquer le phénomène de la réaction d'induit dans le cas ou on a un déphasage arrière, nul et avant.

N.B : Soyez bref et précis dans vos réponses.

Rendement approché alternateur

1. Introduction

Le coût de la conversion d'énergie n'est pratiquement jamais gratuit , il est payable en pertes (actives) que l'on essayera de minimisés . Ainsi pour le cas des alternateurs (surtout industriels) , le constructeur est appeler par des normes internationaux à priser la garantie du rendement de la machine fonctionnant à pleine charge $\cos\varphi = 1$ sur son cahier de charge et plus spécialement la méthode adoptée pour l'évaluation de ce rendement (souvent approché) .

2. Position du problème

Le rendement d'un alternateur est donné sous deux formes :

Première forme, le rendement vrai :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a + P_{exci}}$$

Deuxième forme, le rendement approché :

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

Ou :

P_u : Puissance utile électrique active fournie.

P_a : Puissance mécanique absorbée.

Pexci: Puissance nécessaire à l'excitation.

En réalité, la mesure du rendement vrai est une pratique réservée uniquement pour l'alternateur de faible puissance ou l'essai direct ne nécessite pas un grand apport d'énergie.

Pour les alternateurs puissance cette technique est quasiment irréalisable pour deux raisons :

La première c'est l'existence sur la plate forme d'un récepteur aussi puissance qui convient à l'appelle de puissance mise en jeu.

La deuxième. Est l'imprécision de la mesure de la puissance mécanique, même en interposant un dynamomètre pour la mesure du couple entre les arbres en rotation. Ceci dit que pour l'alternateur industriel , le constructeur ne peut nous garantir qu'un rendement approché, qui par les méthodes indirectes nécessite la disponibilité d'un moteur taré de puissance beaucoup plus faible que celle de l'alternateur permettent ainsi une précision suffisamment bonne de la mesure de la puissance mécanique .

Donc avec la disponibilité d'une puissance réduite. on cherchera à évaluer le rendement d'un alternateur à partir des pertes mesurables en corrélation avec les méthodes usuelles des diagrammes vectoriels.

3. Pertes de puissance

Elles sont réparties en deux grandes catégories :

A : Pertes principales, elles sont mesurables et dues aux phénomènes mécaniques et électromagnétiques principales ; c'est :

- les pertes dans le fer dans les tôles de l'induit.
- les pertes joules dans les enroulements de l'induit.
- les pertes joules dans les enroulements de l'excitation.

B : Pertes supplémentaires, elles sont surtout liées aux phénomènes électromagnétique secondaires apparaissant lors du débit de la machine ou parfois même à vide. Parmi elles on citera l'effet de peau dans les conducteurs induits, la présence d'harmoniques de rangs supérieurs dues à certaines dissymétries électrique ou de construction , aux flux de dispersion etc . Ces pertes sont en réalité inaccessibles par la mesure et le calcul direct.

4. Procédé de mesure du rendement approché par la méthode du moteur taré (ou auxiliaire) :

Cette méthode repose sur la connaissance du rendement du moteur entraînant en fonction de la puissance absorbée que l'on accouple à l'alternateur qui saura soumis à des essais de puissance permettant de déterminer les pertes mesurables.

5. Pertes mesurables

En dehors des pertes joules, qui par la mesure des résistances statorique R_s et excitation R_{ex} et la relation $f(I, J)=0$ à U_M constante sont facilement déterminées. Nous mesurons par la méthode du moteur taré, les pertes mécaniques ΔP_{mec} , les pertes fer ΔP_{fer} et les pertes supplémentaires $\Delta P_{sup p}$. Pour cela, on dispose

d'un moteur dont on connaît $\eta = f(P_{abs\ mot})$ ou bien $\eta = f(I_M)$ à U_M constante.

5.1 Les pertes mécaniques

Elles sont constantes tant que la vitesse de rotation reste constante (synchronisme). On les mesure comme suit :

- L'alternateur accouple au moteur et non excité, tournant à la vitesse de synchronisme.
- On prélève le courant absorbé (puissance absorbée) coté moteur entraînant.

- On déduit alors : $\Delta P_{mec} = \eta_M(I_{abs\ mot}) \cdot U_M \cdot I_M$, U_M

Constante.

Ici l'alternateur ne consomme que ses pertes mécaniques fournies par le moteur .

5.2. Les pertes fer ΔP_{fer} :

Celles-ci sont proportionnelles au carrée de l'induction dans l'entrefer et au carrée de la fréquence (ici constante) . On les mesure à vide et on peut les calculer en charge . Avec :

$$\Delta P_{fer} (1) = \frac{\Delta P_{fer} (0) \cdot E_r (I)^2}{E_r (0)^2}$$

Ou :

$\Delta P_{fer} (1)$ étant les pertes fer lorsque la machine débite un courant I.

$\Delta P_{fer} (0)$ étant les pertes fer à vide de l'alternateur excité .

$E_r(I)$ et $E_r(0)$ étant les fém. résultantes dans l'entrefer respectivement en charge et à vide et qui sont proportionnelles aux induction résultantes correspondantes à ces deux fém. résultantes. Les $\Delta P_{fer}(0)$ accessible à la mesure, ont les déterminees comme suit :

-l'alternateur accouplé au moteur est entraîné au synchronisme et est excité de manière à avoir $E_r(0) = t.E_r(I) = V_{nom}$ tension à vide nominale.

On peut prélevé le courant absorbé (puissance absorbée) coté moteur. Donc au rendement près du moteur, la puissance appelée du réseau à servi à comparer les ΔP_{mec} et les ΔP_{fer} de l'alternateur excité d'où :

$$\Delta P_{abs \text{ à vide}}^{(alt)} = \eta(I_{Mot}) U_M \cdot I_{Mot}$$

Alors

$$\Delta P_{fer}(0) = \Delta P_{abs \text{ à vide}}^{(alt)} - \Delta P_{mec}$$

5.3 Les pertes supplémentaires ΔP_{supp}

Les phases de l'alternateur sont mises en court-circuit à travers un ampermètres. Entraîné à sa vitesse nominale, la puissance au rendement près. (Absorbée par l'alternateur) appelée du réseau par le moteur servira à compenser les pertes joules induit, les pertes fer totalement négligeables, (induction dans l'entrefer négligeable).

Les pertes mécanique et une autre partie représente les pertes supplémentaires, qui sont liées dans ce cas en majorité à la distorsion

totale du flux résultant , que l'on estimera désormais intervenir dans les essais en charge de la machineur faisant débiter celle-ci en court-circuit égaux à ceux en charge.

Donc, il vient :

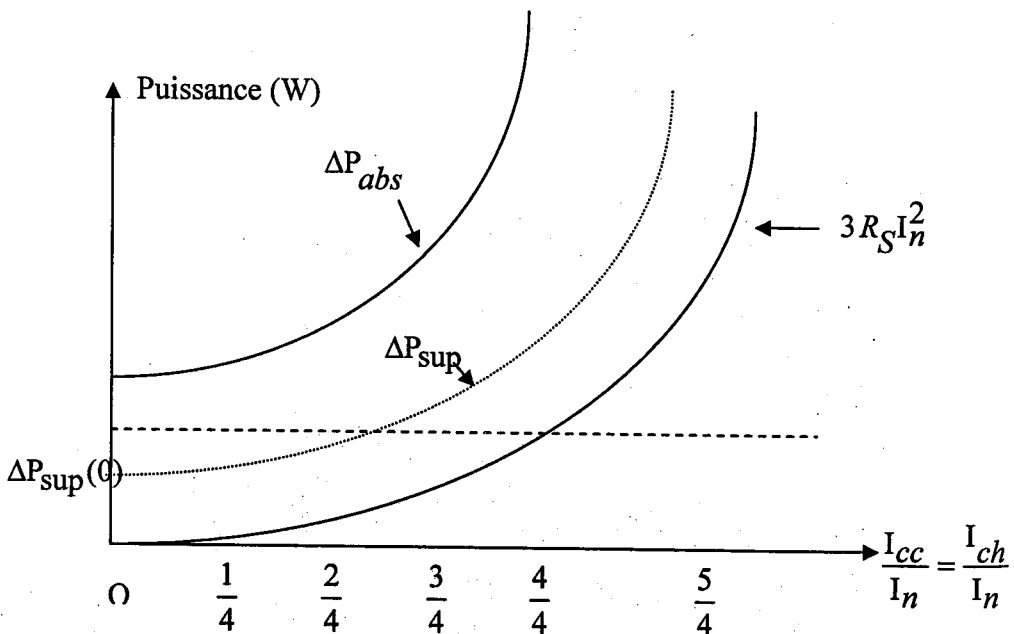
$$P_{abs\ cc}(alt) = \eta_M (I_{abs\ mot}) U_M I_{abs\ Mot} \quad U_M$$

Constante.

D'où :

$$\Delta P_{sup\ p} (I_{cc}=I_{ch}) = P_{abs\ cc}(alt) - 3.R_S.I_{cc}^2 - \Delta P_{mec}$$

Note : à chaque courant de court-circuit coresponsable un courant $I_{abs\ Mot}$ le relevé expérimentai de $\Delta P_{sup\ p} = f(I_{cc})$ est donnée dans le graphique suivant :



-Parfois, la mesure usuelle de $\Delta P_{sup p}$ en ce est très délicates et necissetera un bagage adéquat et précis du moteur entrainant, faute de quoi dans la plupart des cas, on préférera les fixer conventionnellement d'avance à une constante selon certain normes en leurs attribuant un pourcentage allant de 0.5 à 5% de P_{nom} , selon le type d'alternateur.

- Le relevé expérimental de $\Delta P_{sup p} \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)$ révèle une tendance presque parabolique, que l'on peut interpoler par la méthode des moindres carrés , résumé comme suit pour les six points du graphe (0, 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 , 5/4).

$$\Delta P_{sup p} = a \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)^2 + b$$

Ou a et b sont déterminés par le systèmes d'équation linéaire suivant :

$$\begin{bmatrix} \sum_i^6 \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)_i^4 & \sum_i^6 \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)_i^2 \\ \sum_i^6 \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)_i^2 & 6 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i^6 \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)_i^2 \Delta P_{sup i} \\ \sum_i^6 \Delta P_{sup i} \end{pmatrix}$$

Ou :

$(I/I_n)_i$ étant les fractions du courants nominale prenant les valeur (0, 1/4 , 2/4 , 3/4 , , 4/4 , 5/4). Et $i = 1$ à 6

$\Delta P_{sup p(i)}$ étant les valeurs expérimentales enregistées pour chaque fraction du courant $(I/I_n)_i$

Pertes liées au débit, analyse de fonctionnement

Le rendement approché devient alors :

$$\eta(I) = \frac{\sqrt{3}UI\cos\varphi}{\sqrt{3}UI\cos\varphi + 3R_S I^2 + R_{EXC} J^2 + \Delta P_{fer}(I) + \Delta P_{sup}(I) + \Delta P_{mec}(I)}$$

Avec

U = constante (tension composée)

6. Analyse selon le modèle linéaire de Ben-eschenburg

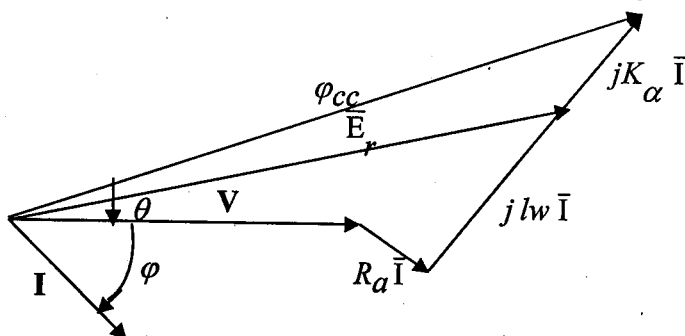
On suppose connaître les paramètres suivants :

- la pente de la caractéristique à vide K_v
- la réactance synchrone, constante de la partie linéaire de $E = f(J)$
- La résistance R_S d'une phase de l'induit.
- α le coefficient d'équivalence (Potier).

- La résistance R_{exc} de l'enroulement d'excitation.
- ΔP_{mec} et ΔP_{fer}
- La courbe $\Delta P_{sup p(i)}$, approximée par

$$\Delta P_{sup p} = a \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)^2 + b.$$

On reprend le diagramme vectoriel de Ben-eschenburg



On a : $\vec{E}_r(I) = \vec{V} + R_S \vec{I} + j l w \vec{I}$

Avec : $l w = X_S - K_v \alpha$

Et :

$$\bar{E}_v(I) = \bar{V} + R_s \bar{I} + jX_s \dot{\bar{I}}$$

$$\text{Avec : } \bar{E}_v = K_v J, \quad \bar{E}_r = K_v J_r,$$

les projections selon des axes orthogonaux, ou méthodes des triangles permettent d'écrire RJ_{exc}^2 et E_r^2 , de la forme :

$$\Delta P_{exc} = R_{exc} J^2 = A_1 I^2 + B_1 I + C \quad \left(J^2 = A_1' I^2 + B_1' I + C' \right)$$

$$E_r^2(I) = A_2 I^2 + B_2 I + C$$

$$\Delta P_{JS} = 3R_s I^2$$

$$\Delta P_{fer}(I) = \frac{\Delta P_{fer}(0)}{V_n^2} A_2 I^2 + B_2 I + C = A_3 I^2 + B_3 I + C$$

$$\Delta P_{sup} = A_4 I^2 + B_4 I$$

Ou :

$$\Delta P_{sup} = \Delta P_{sup} \left(\frac{I}{I_{nom}} \right) = \frac{a I^2}{I_{nom}^2} + b = A_4 I^2 + B_4$$

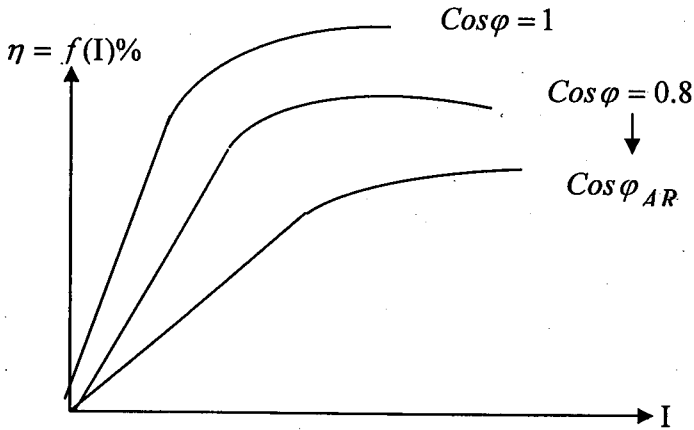
$$\text{Ou : } A_4 = \frac{a}{I_{nom}^2}$$

Ceci permet donc de mettre l'expression de η_a sous la forme :

$$\eta(I) = \frac{D I}{A I^2 + B I + C} \quad \text{Pour un } \cos \varphi \text{ donné.}$$

-Le maximum du rendement est réalisé quand :

$I = I_{\max} = \sqrt{\frac{C}{A}} \quad \forall D, \forall B \quad \text{Donc } \forall \text{ le } \cos \varphi, \text{ d'où la famille de caractéristique } \eta = f(I).$



Remarquons que le rendement est d'autant plus faible que le récepteur est inductif.

Correction du rendement à la saturation

D'après le modèle précédent on saurait d'avantage à partir de quel courant I , c'est-à-dire l'excitation correspondante J , on tombe dans la saturation.

Donc, il est souhaitable de reprendre l'étude par Potier pour quelques points de la saturation, c'est-à-dire le calcul sera fait uniquement pour les points pouvant aller jusqu'à $5/4 I_{\text{nom}}$.

Puis tracer les courbes de $\eta = f(I)$ pour ces points.

On rappelle le diagramme de Potier (Fig. ci-dessous).

On a :

$$E_{rx} = V \cos \varphi + RI$$

$$E_{ry} = V \sin \varphi + X_S I$$

Donc/

$$E_r(I) = \sqrt{E_{rx}^2 + E_{ry}^2} ; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{E_{rx}}{E_{ry}}$$

Et j_0 (l'excitation réelle de la machine) ; donnent les pertes d'excitation réelle serait alors données par :

$$J_0^2 = J_r^2 + \alpha^2 I^2 + 2\alpha I J_r \sin \beta$$

Ou :

J_r est l'excitation résultante .

Sur la caractéristique à vide correspondantes à E_r .

7. Partie expérimentale :

• Matériel :

- 1- Un moteur à courant continu.
- 2- Une machine synchrone (alternateur).
- 3- Bloc d'alimentation (source continue)
- 4- Un rhéostat de démarrage.
- 5- Rhéostat d'excitation.
- 6- Quatre ampermètres.
- 7- Quatre voltmètres dont deux seront utilisés comme ampermètres d'excitation.

8. Procédé de mesure :

Pour le calcul du rendement approché d'un alternateur, il faut considérer les pertes suivantes :

1- pertes mécaniques et dans le fer :

A évaluer à la vitesse et tension nominales .Elles doivent être considérées comme constantes dans le passage de vide à charge.

L'alternateur non excité est entraîné à sa vitesse nominale, soit W_1 la puissance mécanique que le moteur lui fournit. On a :

$$W_1 = P_m \quad (P_m = \text{pertes mécaniques})$$

On donne à l'alternateur entraîné à vitesse normale l'excitation de tel façon que le flux de l'alternateur est égal au flux utile que possédera la machine en charge.

Ayant son flux et sa vitesse de marche en charge , l'alternateur a sensiblement les même pertes dans le fer qu'en charge. Si W_2 la puissance mécanique qu'il reçoit du moteur taré ; on a :

$$W_2 = P_m + P_{fer}$$

2-pertes supplémentaires :

On entraîne l'alternateur ayant un ampèremètre entre ses borne à sa vitesse normale et on l'excite de façon qu'il débite en court-circuit dans l'ampèremètre le courant de charge pour lequel on veut déterminer le rendement.

Dans cet essai , les pertes fer sont négligeables . Dés lors la puissance mécanique W_3 , fournie par le moteur taré représente les pertes mécaniques, les pertes joule dans l'induit, plus les pertes supplémentaires.

On aura :

$$W_3 = P_m + P_{ja} + P_{sup} \quad (P_{sup} = \text{pertes supplémentaires})$$

Et

$$P_{ja} + P_{sup} = W_3 - P_m = W_3 - W_1$$

$$\text{Donc : } P_{sup} = W_3 - W_1 - P_{ja} \quad (P_{ja} = \text{pertes Joule dans l'induit}).$$

Et :

$$\eta_{\text{approché}} = \frac{P_u}{P_u + P_{je} + P_m + P_{fer} + P_{ja} + P_{sup}}$$

9. Succession des opérations :

9.1- Détermination de la puissance consommée par le moteur à courant continu :

-Découplez le moteur à courant continu de l'alternateur en ouvrant le joint de couplage.

-Rhéostat de démarrage R_a au maximum, et rhéostat d'excitation R_e au minimum.

- Protégez l'ampèremètre A_1 contre le courant d'amorçage avec le 'shunt'. Fermer l'intercepteur de l'alimentation continu (220 V) .

Le moteur doit démarrer.

- Réglez la vitesse du groupe à sa valeur nominale (1500 tr/min) ,à l'aide de R_a et R_e .

- Relevez le 'shunt' de protection à ampèremètre A_1 , et relevez les valeur I_1 et V_1 indiqués par les instruments de mesure sur le moteur .

Il résulte clairement :

$$V_1 X I_1 = P_1 = \text{puissance absorbée par l'induit du moteur .}$$

Cette puissance correspond aux pertes à vide du moteur (en excluant les pertes d'excitation).

- Arrêtez le moteur en ouvrant l'interrupteur de l'alternateur continu.

9.2. Détermination des pertes mécaniques et dans le fer :

-Assemblez axialement les deux machines de l'ensemble en fermant le joint de couplage ; remettez le moteur en répétant exactement les opérations décrites aux points précédents.

Les nouvelles indications V_2 et I_2 des instruments sur le moteur permettant de calculer la nouvelle puissance qu'il absorbe :

$$V_2 X I_2 = P_2 \quad \Rightarrow \text{Pertes mécaniques de l'alternateur}$$

$$W_1 = P_2 - P_1$$

-Fermer l'interrupteur de l'alimentation continue variable, ajuster la tension de façon à faire émettre à l'alternateur, à vide et avec exactement de 1500 tr/min, sa tension nominale .Relisez les

indication V_3 et I_3 des instruments sur le moteur. La nouvelle puissance absorbée sera :

$$V_3 I_3 = P_3$$

Donc :

$P_3 - P_2 =$ pertes mécaniques + pertes dans le fer de l'alternateur.

- Arrêtez l'ensemble en ouvrant les interrupteurs de la tension et variable.

9.3. Détermination des pertes supplémentaires :

- Déconnectez le voltmètre V_2 et mettez en court circuit l'induit de l'alternateur en réalisant les connections hachurées.

- Remettez en rotation l'ensemble en répétant exactement les opérations décrites aux points précédents.

- La nouvelle puissance absorbée sera :

$$V_4 I_4 = P_4$$

Donc :

$P_4 - P_2 =$ pertes mécaniques + pertes dans le cuivre de l'alternateur $= P_m + P_{cu}$.

Donc on peut calculer :

$$P_{\text{sup}} = P_{\text{cu}} - 3 R I_{\text{cc}}^2 \text{ (R= résistance de l'induit).}$$

- En excitant la machine à partir de zéro , relevez les valeur du courant A_1 pour les courants de court-circuit correspondants à $I_n/4$, $I_n/2$, $I_n/3$, I_n , $(5/4) I_n$. Avec $N=1500\text{tr/min}$, $V_n=220\text{V}$.
- Relevez également le courant d'excitation correspondant.

9.4. Mesure des résistance a chaud,on mesure.:

- R_S (stator).
- R_{exci} (Rotor) .

10. Travail à remettre sur place :

- Retrouver le système d'équation donnant a et b de l'approximation de $\Delta P_{\text{sup } p} = f(I/I_n)$ à une

Parabole par la méthode des moindre carrée.

-Tracer la caractéristique $\eta_M (I_{\text{mot}})$ à $U_M = \text{const.} = 220$, $N = 1500\text{tr/min}$. Pourquoi elle n'est pas passante par le point (0,0)

-En déduire ΔP_{mec} , $\Delta P_{\text{fer}}(0)$.

-Par un diagramme simplifier (R_s) , selon Ben-Eschenburg , explique l'influence de X_s

Sur le rendement d'une machine synchrone.

-La stabilité d'une machine synchrone est-elle compromise par un bon rendement.

-L' influence de l'entrefer sur le rendement.

11. Travail à domicile

- Déterminer les paramètres de la machine $X_s, K_v, \alpha, \lambda$
- Tracer pour les fractions de courant $I/I_n = (0, 1/4, 2/4, 3/4)$, les pertes supplémentaires $\Delta P_{sup p} = f(I/I_n)$.
- Calculer a et b de la fonction $\Delta P_{sup p} = a \left(I/I_n \right)^2 + b$ et tracer avec une autre couleur sa caractéristique.
- En déduit les $\Delta P_{sup p}$ à vide. Conclure et interpréter.
- Sur le modèle linéaire, tracer les caractéristiques $\eta_M = f(I)$ pour $\cos \varphi = \pi/2$ AR, et $\cos \varphi = 1$ après avoir donné leur formulation analytique.
- Préciser le point donnant η_{Max} et placer le point nominal. Conclure et interpréter.
- Corriger, s'il y a lieu l'allure des caractéristiques $\eta = f(I)$ que l'on tracera en pointille, pour les points alternants la saturation selon Ben-Eschenburg.. Conclure et interpréter.

Couplage de la machine synchrone avec le réseau

1.Position de problème :

Il y a des installations électriques où la présence de l'énergie électrique est très importante d'où l'alimentation par plusieurs sources est obligatoire pour que la l'absence de l'une sera récupérées par les autres.

Pour réaliser cela on doit d'abord réaliser le couplage entre ces différentes sources.

2. But de travail :

Exécuter le couplage de la machine synchrone réseau .

Vérifier l'échange de puissance P et Q .

3.Machine synchrone couplée au réseau

Il est impossible de brancher directement une machine synchrone sur le réseau .

-Procédure de couplage machine synchrone :

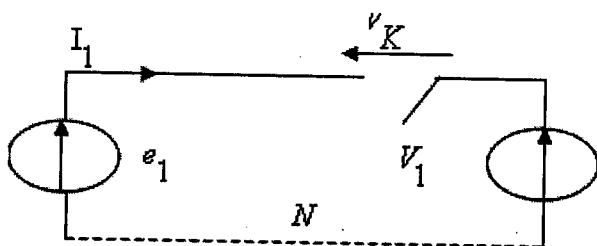
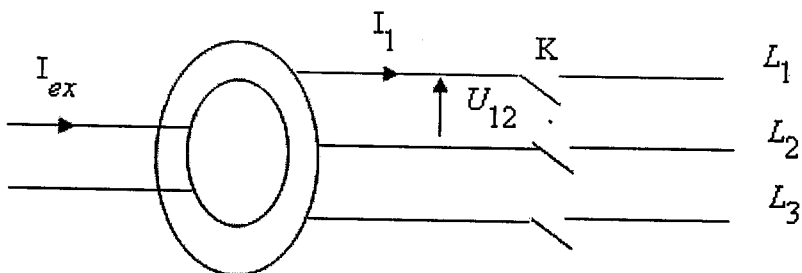
Il faut :

-exciter la machine

- l'entraîner par la turbine (alternateur ou un moteur auxiliaire (moteur synchrone).

- établir les égalités $f=f$ réseau (en agissant sur la vitesse).
- La tension $U=U$ réseau (en agissant sur l'excitation)

On ne peut fermer K que si



- les 2 systèmes de tension tournent dans le même sens.
- et présentent la même phase.

En pratique, on utilisera, en plus des voltmètres , un synchroscope à lampes qui permet de ne fermer K que lorsque $K=0$ (couplage à l'extinction) .

Lorsque $v=e$, on ferme l'interrupteur K.

$$\overrightarrow{V=E}$$

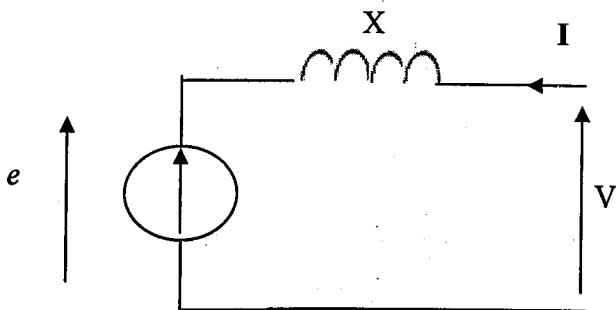
Comme $E_{10} = V_1$, il n'y a aucun courant.

4. Echanges de puissances

Pour se ramener à une convention de puissance facile, on choisit une convention récepteur .Compte tenu de l'allure du diagramme vectoriel ($R \ll X$), on négligera la résistance R d'une phase de l'induit.

E proportionnel à I_{ex} .

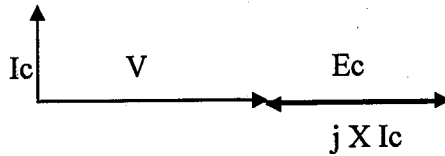
$$E = V + j X I$$



4.1 On agit sur I_{ex} : (au couplage, on avait réglé $I_{ex0} \rightarrow E_c > V$..

$j X I_L$ Impose $\varphi = \pi/2$,

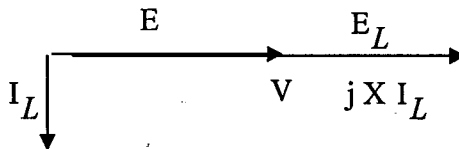
La machine a un comportement de condensateur $j X I_C$.



$I_{exL} < I_{ex0}$ et $E_L < V$.

$j X I_L$ Impose $\varphi = +\pi/2$

La machine a un comportement d'inductance.



❖ I_{ex} permet de régler les échanges de puissance réactive
(compensateur synchrone)

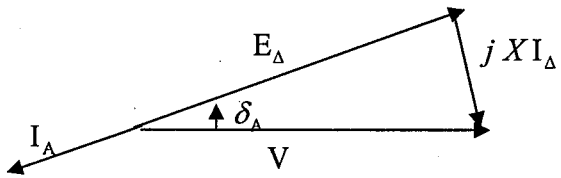
4.2. On agit sur l'arbre (on revient à I_{ex0})

Rappel :

Les trois tensions $V_k(t)$ créent le champ tournant statorique.

Le rotor (I_{ex}) crée le champ qui induit la fém. à vide, donc E.

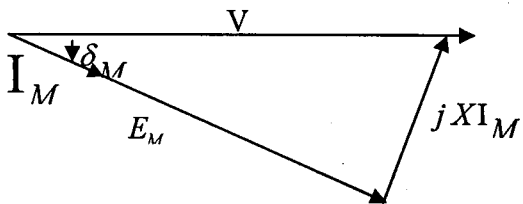
Si on accélère la vitesse de l'arbre, instantanément il prend de l'avance sur le champ rotor ; D'où décalage interne $\delta \geq 0$ circulation de I_A presque réel ($\varphi \approx 180^\circ$) échange d'une puissance active.



$P_A = 3 V I \cos \varphi_A < 0$, donc fournie par machine synchrone au réseau.

• **Fonctionnement alternateur :**

L'arbre qui doit fournir cette puissance ($I \Omega$) ralentit et la vitesse se stabilise. Elle revient



A la vitesse du champ tournant stator $\Omega = \omega/p$.

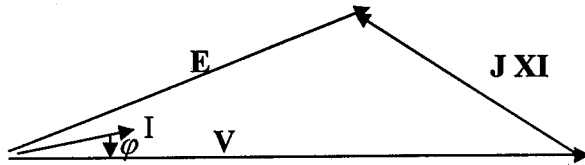
Si on ralentit l'arbre $\delta < 0$.

$$\varphi_M \approx 0^\circ$$

$$P_M > 0$$

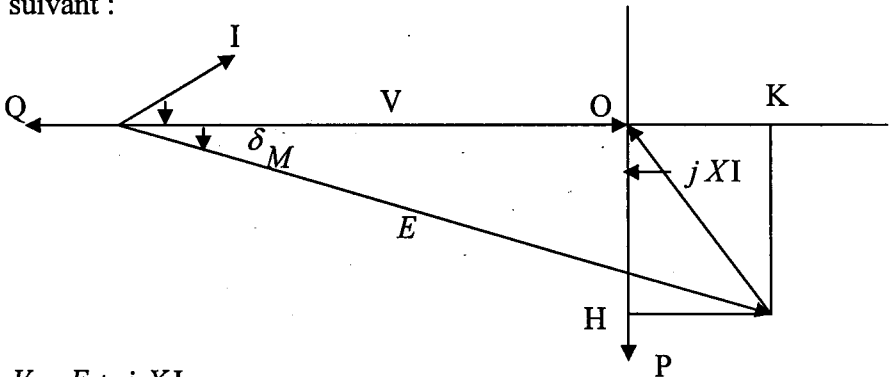
- **Fonctionnement moteur synchrone :**

L'arbre règle les échanges de puissance active.



4.3 cas général

Imaginons un réglage qui donne un débit tel que le diagramme soit le suivant :



$$V = E + j XI$$

$$P = 3 V I \cos \varphi$$

$$Q = 3 V I \sin \varphi$$

Le diagramme est dessiné à l'échelle u V/cm.

$u.OH = X(I \cos \varphi) = X(P/3V)$ Donc OH peut représenter la puissance active P .

Soit $P = p \text{ OH}$.

$u.OK = X(I \cos \varphi) = X(Q/3V)$ DONC OK peut représenter la puissance réactive Q.

Soit $Q = p \text{ OH}$.

Avec p =échelle de puissance en W/cm ou VAR/cm.

En identifiant on calcule : $P = 3 VU/X$

on pourra donc directement graduer OH et OK en échelle de puissance .

Exemple numérique :

Echelle de tension : $u=20\text{V/cm}$; $\text{OH}=3\text{cm}$ correspond à 60V.

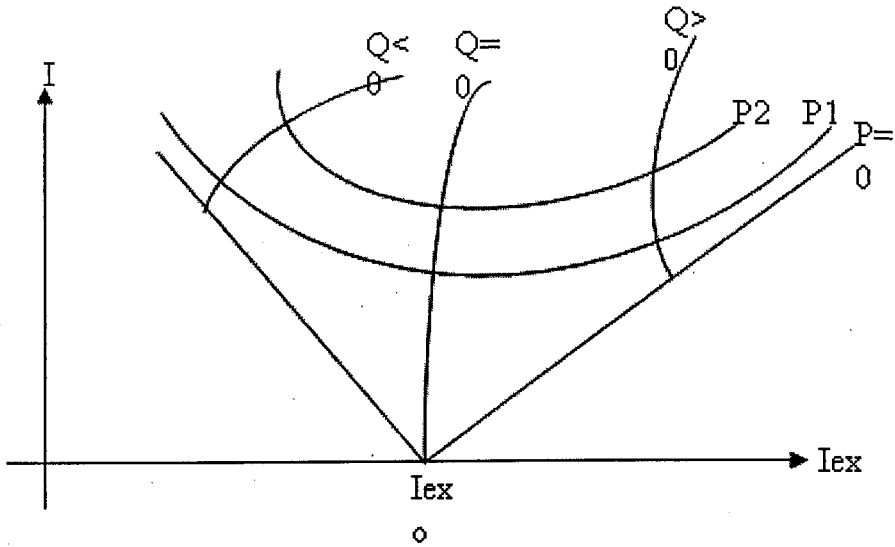
Si $V=230\text{V}$ et $X=11.5 \Omega \rightarrow p=1200\text{W/cm}$.

Donc OH représente $P=3.6 \text{ KW}$..

5. Caractéristique de réglage

Afin de procéder facilement au réglage du courant d'excitation de la machine dans des conditions de fonctionnement particulières : par exemple la machine doit fournir 150KVA sous tension nominale alors que la puissance sur l'arbre vaut 58 KW.

On construit dans ce but des familles de courbes I_{ex} en fonction de I pour différentes puissances actives et différentes puissances réactives appelées courbes en « Vé » ou de Moray :



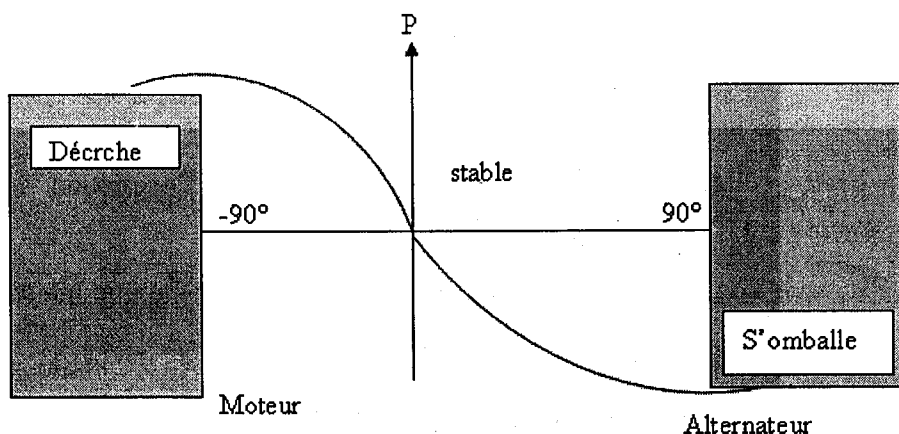
Le courant d'excitation I_{ex0} correspond au courant d'excitation lors de la procédure de couplage sur le réseau.

6. stabilité :

Jusqu' où peut-on aller dans les échanges de puissance ?

Plus la puissance échangée augmente, plus le décalage interne δ augment.

$P = 3 V I \cos \varphi = T \Omega$. En observant le diagramme de Fresnel, on constate que les projections : $X I \cos \varphi$ et $E \sin \delta$ sont égales. On en déduit que $P = -3 V (E/X) \sin \delta$ et le domaine de fonctionnement possible correspond à $|\delta|$ inférieur à 90°



7. Succession des opérations :

- Activer l'alimentation du MCC.
- Le moteur doit démarrer.
- exclure le rhéostat de démarrage graduellement.
- régler avec le poussoir la tension d'alimentation du moteur a sa valeur nominale et donc le rhéostat d'excitation la vitesse atteint la valeur nominale de l'alternateur
- contrôler la tension et la fréquence du réseau
- régler l'excitation de l'alternateur de façon a émettre de l'alternateur une tension près au réseau
- régler la valeur du groupe en agent sur le rhéostat d'excitation et l'alimentation a courant continu de façon que la fréquence de l'alternateur soit égale a celle du réseau.

-régler de nouveau la tension de l'alternateur en agent sur l'excitation.

- observer les lampes L1-L2-L3.

-rendre celle rotation la plus lente en agent sur l'excitation du MCC..

-lorsque L1 soit éteinte et L2-L3 présentes, l'intensité lumineuse exécute le couplage.

8. Travail demande :

- Contrôle de l'échange de puissance.
- Augmenter l'excitation du MCC.
- Que remarquez vous ? (Puissance, vitesse)
- Expliquer ?
- Comment fonctionne la machine synchrone ?
- Diminuer l'excitation du MCC.
- Que remarquez vous ? (Puissance, vitesse)
- Expliquer ?
- Comment fonctionne la machine synchrone ?
- Relèvement en condition de couplage (puissance et courant=0)
- Vérification de l'échange de puissance réactive entre alternateur et réseau.
- Se rapporter aux conditions de parallèle, en annulant courant et
- puissance entre réseau et alternateur en agent sur l'excitation du moteur.

- Agir lentement par le poussoir de courant continu sur l'excitation de l'alternateur de façon à la augmenter ou la diminuer.
- On remarquera que la tension émise reste constante mais naît à nouveau un échange de courants et de puissance entre machine et réseau.

NB: ne pas dépasser la valeur de courant nominal de l'alternateur.

1. The first of these is the

fact that the number of

the number of people who

Machine Asynchrone

merged on

Introduction

&

Généralités sur la machine asynchrone

1. Définition & Constitution :

On appelle machine asynchrone tout machine , moteur ou génératrice, qui , ayant $2p$ pôles et étant reliée à un réseau de fréquence f , ne tourne pas exactement à la vitesse synchrone N définie par $N = f/p$.

On peut distinguer deux types de machine asynchrones :

- **Les machines d'induction :**

Une des armatures, ordinairement le rotor, n'est alimenté, les courants qui y circulent sont induits par l'autre armature.

- **Les machines à collecteur :**

L' armature tournante est reliée au par un collecteur, ce qui permet d'apporter ou de prélever de la puissance au rotor sans imposer la fréquence de celui-ci .

Cependant, vu la large utilisation des moteurs à induction, que lorsqu'on parle de moteur asynchrone on sous-entend d'induction .Les autres sont appelés moteurs à courant alternatifs à collecteur.

Dans les deux cas on parle de moteurs car ces machines sont destinées à fournir de la puissance mécanique à partir du réseau

électrique. Elles ne fonctionnent en génératrices que lors du freinage en récupération.

Le moteur d'induction se comporte comme un transformateur à couplage par champ tournant et à secondaire en court-circuit. C'est pour cela que les notations et les procédés de calculs utilisés pour l'étude des transformateurs statiques sont fréquemment adoptés.

Le moteur asynchrone est formé :

D'un stator, anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé.

Cet enroulement est presque toujours relié à la source par l'intermédiaire de la plaque à bornes, ce qui permet, grâce un jeu de barrettes de l'alimenter en étoile ou en triangle. Dans ce cas il constitue l'inducteur ou le primaire.

D'un rotor, anneau de tôles rainuré à l'extérieur, concentrique au premier et séparé de lui par un entrefer étroit d'épaisseur constante. Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie, il porte un enroulement polyphasé mis en court-circuit constituant l'induit ou le secondaire. Il présente plusieurs configuration (à bagues, à cage, doubles cagesetc.), dont le choix dépend de l'utilisation de la machine.

Les deux enroulements statorique et rotorique peuvent avoir des nombres de phases différents, mais ils doivent avoir le même nombre de pôles $2p$.

2. Théorie & Principe de fonctionnement

Théorème de **FERRARIS** .Un enroulement polyphasé ayant p paires de pôles et parcouru par des courants polyphasés équilibrés de pulsation w produit un ensemble de p paires de pôles fictifs glissant le long de l'enroulement , sans subir de modification , à la vitesse angulaire w/p .

Théorème de **LENZ** : Dans un circuit électrique fermé soumis à une variation de flux d'induction, les phénomènes d'induction ont un sens tels qu'ils tendent à s'opposer à la cause qui leurs a donné naissance.

Pourquoi le rotor tourne lorsqu'on couple les enroulements statoriques à un réseau de tensions triphasées ?

Le principe repose entièrement sur les lois de l'induction : la machine asynchrone est un transformateur à champ magnétique tournant.

La vitesse de rotation du champ tournant d'origine statorique , qualifiée de synchronisme , est , comme dans le cas des machines synchrones , rigidement liée à la fréquence f_s , des tension triphasées d'alimentation :

$$N_s = 60 f_s / p \text{ (tr/min)}.$$

Ou p est le nombre de paire de pôles de chacun des enroulements des phases statorique. Lorsque le rotor tourne à une vitesse N

différente de N_s (i.e. asynchronisme) l'application de la loi de Faraday aux enroulements rotoriques montre que ceux-ci deviennent le siège d'un système de forces électromotrices triphasées engendrant elles même trois courants rotoriques, d'après la loi de Lenz ces derniers s'opposent à la causes qui leur a donné naissance, c'est à dire la vitesse relative de l'induction tournante statorique par rapport au rotor.

Ainsi les effets de l'induction statorique sur les courants rotorique induits se manifestent par l'élaboration d'un couple de forces électromagnétiques sur le rotor tel que soit réduit l'écart de vitesses. De ce fait, selon que N est inférieur (hypofonctionnement) ou supérieur (hyper synchronisme) à N_s , la machine développe respectivement un couple moteur tendant à accroître N ou un couple résistance (génératrice) tendant à réduire N ; de toute évidence le couple électromagnétique s'annule à l'égalité de vitesse. L'échange énergétique avec le réseau dépend donc du signe de l'écart ($N_s - N$); c'est pourquoi on caractérise le fonctionnement asynchrone par le glissement g ainsi défini

$$\text{par } g = (N_s - N) / N_s.$$

Dans les conditions nominales de fonctionnement de la machine en moteur, le glissement exprimé en pourcent est de quelques unités; une augmentation de la charge mécanique provoque une augmentation du glissement et des pertes Joule dans les enroulement statorique et rotorique.

Raccordé à un réseau à tension et à fréquence constantes, le moteur asynchrone présente donc en régime permanent une

vitesse sensiblement constante. Pour la faire variable on intervient sur la vitesse de synchronisme donc ce qui revient à la modification de la fréquence la source, sur son amplitude ou sur les paires de pôles. Il est aussi possible, avec beaucoup d'avantages, de faire une variation commandée de la vitesse par l'interposition d'un convertisseur statique changeur de fréquence (Redresseur + Onduleur) entre le réseau à fréquence fixe et la machine asynchrone.

3. Grandeurs nominales :

Les moteurs asynchrones fabriqués par les usines sont destinés à être utilisés dans des conditions bien déterminées, avec des caractéristiques techniques définies, variant dans de très larges limites, dites nominales.

Les caractéristiques nominales des moteurs asynchrones qui sont indiquées sur la plaque signalétique de la machine fixée à la carcasse sont les suivantes :

- La puissance mécanique développée par le moteur $P_n = P_{2n}$..
- La fréquence f_1 du réseau d'alimentation.
- La tension composée statorique pour chacun des couplages $U_{1 \text{ ln } Y}; U_{1 \text{ ln } \Delta}$.
- Le courant statorique pour chacun des couplages $I_{1 \text{ ln } Y}; I_{1 \text{ ln } \Delta}$

- La vitesse nominale de rotation $N_n = N_{2n}$.
- Le facteur de puissance $\cos \varphi_{1n}$.
- Le rendement η_n .
- La classe d'isolement F.

Le rendement nominal des moteurs asynchrones croît avec leurs puissance et vitesse de rotation

Pex. $P \geq 0.5 \text{ KW} : 0.65 \leq \eta_n \leq 0.95$ pour les micromoteurs :

$$0.2 \leq \eta_n \leq 0.65$$

Le facteur de puissance nominale des moteurs asynchrones, égales au rapport de la puissance active à la puissance apparente absorbée, il croît lui aussi avec la puissance et la vitesse.

Pex. $P \geq 1 \text{ KW} : 0.7 \leq \eta_n \leq 0.9$, pour les micromoteurs $0.3 \leq \eta_n \leq 0.7$.

Mesure du rapport de Transformation

et

Détermination des Paramètres.

1. But :

Le but de la présente manipulation est de calculer les paramètres du schéma équivalent d'un moteur asynchrone à bagues.

Introduction :

Le moteur asynchrone est constitué de deux enroulements, l'un fixe (stator) ou primaire l'autre tournant secondaire (rotor) .

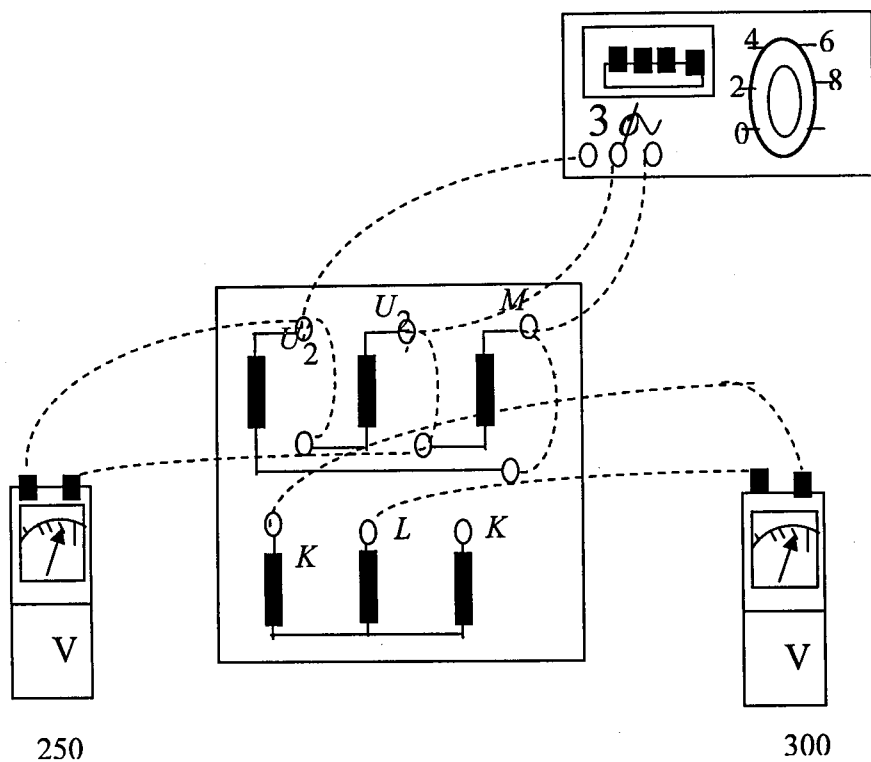
Connaître la liaison entre les grandeurs statoriques et rotoriques.

En effectuant deux autre essais , détermination des paramètres du schéma équivalent

du moteur asynchrone à bague sera établie .

2. Mesure du rapport de transformation stator – rotor :

1)- Réaliser le circuit ci-dessous



2)- Régler le variateur jusqu' à obtenir la tension nominale au (220/380,d/y) .

3)- Remplir le tableau suivant :

Tension de phase Statique (V)	Tension de phase Rotorique (V)	K_1	K_{m1}
$L_1 - L_2$	$L_1 - L_2$		
$L_2 - L_3$	$L_2 - L_3$		
$L_1 - L_3$	$L_3 - L_1$		

$$K_1 = \frac{V_{\text{stator}}}{V_{\text{rotor}}}$$

K_{m1} : Valeur moyenne.

4)- Ouvrir l'interrupteur :

• **Mesure du rapport de transformation rotor-stator**

NB : On alimente le moteur par son rotor, le stator est branché en Y

1- Réaliser le schéma

2- Remplir le tableau suivant :

Tension de phase Statistique (V)	Tension de phase Rotorique (V)	K_2	K_{m2}
L_1L_2	L_1L_2		
L_2L_3	L_2L_3		
L_3L_1	L_3L_1		

$$K_2 = \frac{V_{stator}}{V_{rotor}}$$

K_{m2} : Valeur moyenne.

$$K = a = m = \sqrt{K_{m1} \cdot K_{m2}}$$

-Essai à vide ($s = g = 0$)

On applique la tension nominale au moteur , et on le laisse tourner à vide Relevez les indication p_0 , I_0 , V_0 : par phase . le branchement des enroulements statoriques étant en étoile .

-Essai à rotor bloqué ($s = g = 1$)

Bloquer l'arbre du moteur par le dispositif de blocage ; et court-circuiter les bornes de l'enroulement rotorique.

Alimenter le moteur sous tension très réduit (15 à 20% de la tension nominale, tension qui correspond à un courant absorbé

égale au courant nominale). Relever les indications : p_{1CC} , I_{1CC} ,
et V_{1CC}

-Mesure des résistances statoriques et rotoriques :

Mesurer par la méthode voltampérométrique les résistances statoriques et rotoriques puis calculer la valeur moyenne de chacune d'elles.

Travail à faire :

A) Avant la manipulation : Les schémas de montage.

B) Après la manipulation :

➤ Calculer la valeur du rapport K .

➤ Déterminer R_F , X_m , R_R , et X_R .

➤ Déterminer les schémas équivalents ramenés au stator et au rotor.

Diagramme circulaire d'une machine asynchrone

But :

Tracer le diagramme circulaire d'une machine asynchrone à partir des essais réduits à vide et en court-circuit.

Par la suite, à l'aide de ce diagramme, on pourra tracer les différentes caractéristiques de fonctionnement.

Introduction :

Pour tracer le diagramme circulaire d'une machine asynchrone il est suffisant d'avoir les données des essais à vide et en court-circuit.

La valeur de la résistance statorique (et rotorique) sont aussi nécessaires .

Au cours de l'essai à vide on relève I_0, P_0 (courant et puissance absorbés par phase à vide) .

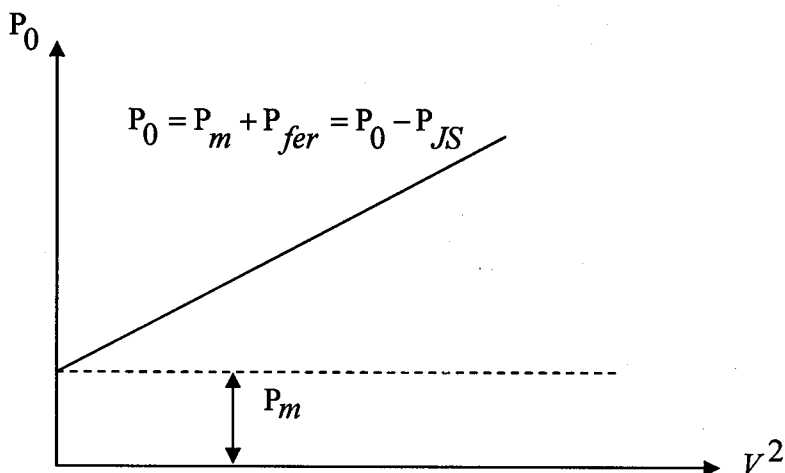
Cette puissance correspond à 3 types de pertes : P_{js}, P_{fer} et P_m .

Pour pouvoir séparer ces pertes on procède comme suit :

Puisque les pertes mécaniques sont constante (l'essai à vide se fait à vitesse = constante) et les pertes fer sont proportionnelles à V^2 (V : tension de phase).

Donc $P_0 = 3 R I_0^2 = F(V^2)$ est une droite (figure).

Par extrapolation on obtient le point ($V = 0, P_0 = 0$), qui correspond aux pertes mécaniques.



L'essai à vide nous permet d'avoir un point A_{10} sur le diagramme circulaire, en plus, il nous permet d'avoir les pertes fer et les pertes mécaniques sous tension nominale.

L'essai en court-circuit nous permettra d'avoir le point A_1 (qui correspond à $G=1$, G étant le glissement). Au court de cet essai on relève I_{cc} et P_{cc} .

Manipulation :

- 1) En utilisant la méthode voltampérométrique, mesurer les résistances statoriques et rotoriques.
- 2) Essai à vide : Réaliser le schémas suivant.

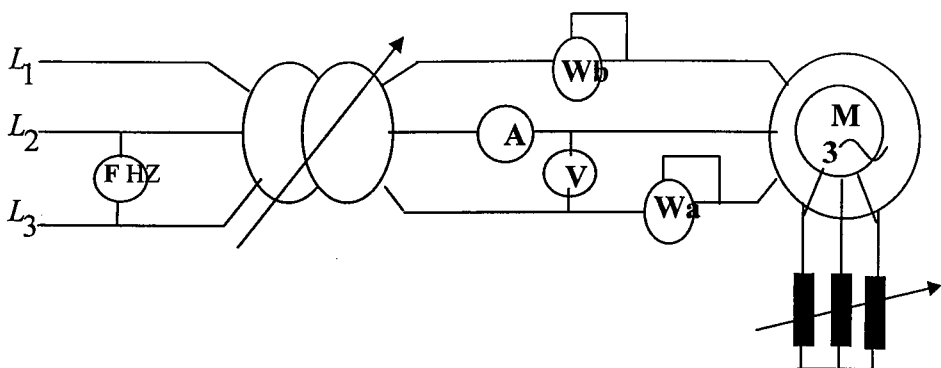


Figure : Essai à vide stator Y

Appliquer graduellement la tension d'alimentation et remplissez la table suivant :

	U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	$\cos \varphi_0$
1				
2				
3				
4				
5				

$$P_0 = W_A + W_0, \quad P_0 - 3 R_S I_0^2 = P_m + P_{fer}$$

3) Essai en court-circuit :

Court-circuit nous les bornes du rotor et caler l'arbre à l'aide du dispositif de blocage. Cet essai doit se faire avec la plus grande prudence et un temps très réduit.

Remplissez le tableau suivant :

	I_{cc} (A)	V_{cc} (V)	P_{cc} (W)	$\cos \varphi_{cc}$
1				
2				
3				
4				
5				

4. Travail à faire :

1) Montrez qu'on peut calculer le facteur de puissance sans avoir la valeur de la tension et du courant.

$$\cos \varphi = \frac{n+1}{2\sqrt{n^2 - n + 1}}$$

2) Décrivez comment on trace le diagramme circulaire.

3) Tracez le diagramme circulaire correspondant au moteur étudié.

4) Calculez les grandeurs $I_{1\text{ nom}}$, P_{nom} , $\cos \varphi_{\text{nom}}$.

Comparez les avec celles de la plaque signalétique.

5) Tracez $C = f(p_u)$ et $n = f(C_{em})$: caractéristique mécanique .

Commentez les caractéristiques tracées

NB : Utilisez du papier millimétrique (50x 50)

TP N° :06

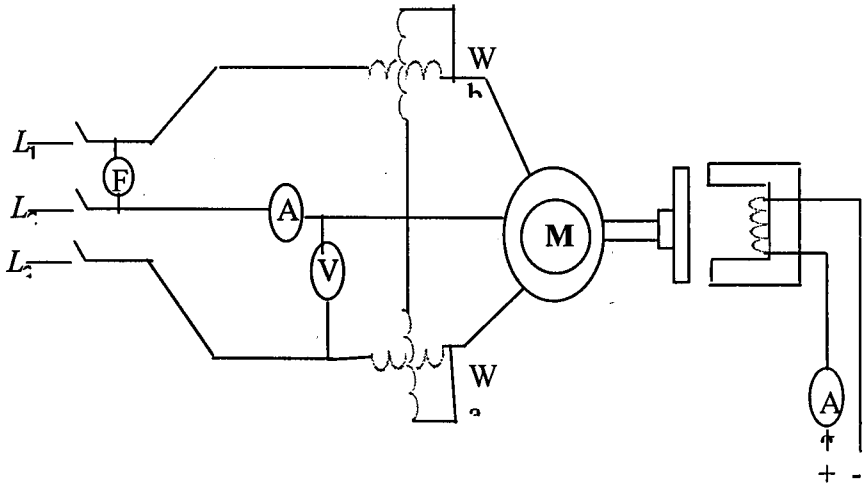
Mesure du rendement du Moteur asynchrone par La méthode de directe.

1. Introduction :

Le but de cette manipulation est de faire l'essai du moteur asynchrone en charge réelle et de déterminer son rendement. Cet essai ne peut être réalisé que pour les moteurs de faible puissance, car pour ceux de grande puissance il nous faut une plate forme d'essai

2. Manipulation :

A – Branchement : réaliser le schéma de montage suivant :



-Remarque : branchement du stator Y .

-Relevez les caractéristiques de la plaque signalétique du moteur étudié.

B – Essais à effecteur :

- Réaliser le schéma topographique, le moteur couplé au frein.

- Auto transformateur positionner sur O.

- On met sous tension le moteur en faisant augmenter la tension de l'autotransformateur jusqu' à $U = U_{nom}$ (Après la mise en équilibre du moteur avec le contre poids).

- Le moteur tourne, en charge le moteur en excitant le frein électromagnétique.

-Pour chaque valeur du courant I_1 absorbé par le moteur on relève :

$$W_1, W_2, N_2, L_1, F.$$

-Sachant que :

- g : glissement, $g\% = 100(N_s - N_r)/N_s$.

- C_u : moment du couple moteur mesuré par frein électromagnétique : $C_u = I_f \cdot [m.n]$.

- P_u : puissance retirée sur l'arbre du moteur : $P_u = C_u \cdot M_r$.

$$-\eta : \text{rendement} : \eta = \frac{P_u}{P_a}$$

P_a : puissance absorbée mesurée par la méthode des deux wattmètres

$$P_a = W_1 + W_2$$

$$F.P : \text{facteur de puissance} : F.P = \frac{W_1 + W_2}{W_3 U_1 I_1}$$

-Remplissez le tableau suivant :

	I_1	L_1	F	Nr	Cu	P_0	W_1	W_2	Pa	η	g	$\cos \varphi$
$1/4 I_n$												
$1/2 I_n$												
$3/4 I_n$												
I_n												
$5/4 I_n$												

3. Travail demander :

1)- Tracer les caractéristiques suivantes sur le même papier.
(Graphe)

$I=f(P_u)$, $I_a=f(P_u)$, $\cos \varphi=f(L_1)$, $g=f(P_u)$ $Cu=f(P_u)$, $\eta=f(P_u)$.

2)- Déterminer les valeur correspondantes à une puissance utile nominale et comparer avec celle de la plaque signalétique.

4)- Commenter les résultats obtenus graphiquement.

5)- Donner un mode opératoire pour la mesure du glissement. Et dite pour quoi tachymètre ordinaire n'est pas efficace pour la mesure de la vitesse.

**Mesure du glissement par la
Méthode stroboscopique
Et la fréquence rotiforme**

1. But :

Déterminer le glissement d'un moteur asynchrone.

2. Introduction :

Le glissement du rotor par rapport au champ tournant est une grandeur d'une très grande importance dans les moteurs asynchrones, et doit souvent être mesuré en court de fonctionnement de relever la vitesse.

Acte effet, l'utilisation d'une tachymètre permettant de relever la vitesse du rotor N_r semble évidente, si l'on connaît la fréquence d'alimentation et donc N_0 , le calcul sera simple : $g = N_0 - N_r$ et $G\% = 100g / N_0$.

Or cette méthode doit être évitée, en raison de l'incidence énorme que peuvent avoir ici les erreur de mesure. Il ne faut pas oublier que le glissement d'un moteur asynchrone est en pourcentage très faible, et qu'il serait obtenu par différence de deux grandeurs N_0 et N_r pratiquement égales. Les méthodes à suivre sont par conséquent

celles qui mesurent directement la différence entre les vitesses N_0 et N_r , ou une grandeur qui lui soit équivalente.

Les méthodes les plus suivies sont :

- La méthode stroboscopique
- La méthode de la fréquence rotorique.

-La méthode stroboscopique :

Cette méthode exploite le phénomène de la persistance de l'image sur la rétine des yeux.

- La méthode de la fréquence rotorique :

Cette méthode se base sur la relation de proportionnalité directe entre fréquence rotorique f_r et le relatif glissement ; on remarque en effet la relation, où f est la fréquence fondamentale d'alimentation du moteur :

$$f_r = S f_0 \quad \text{Où } S = (N_0 - N_r) / N_0.$$

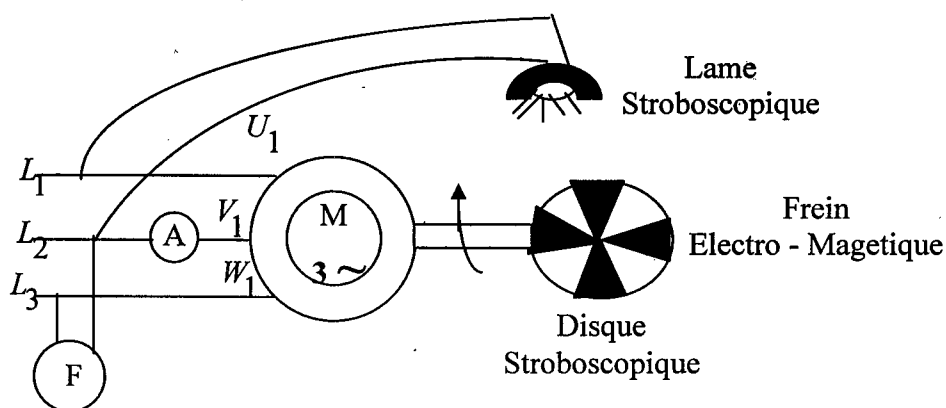
Le relatif glissement est donc déterminé par la mesure de la fréquence rotorique qui, étant réduite, demande un instrument différent des habituels fréquencesmètres.

On fait généralement recours à un millivoltmètre ordinaire à bobine mobile (unidirectionnel) auquel on applique une partie de la tension du rotor à bagues –donc les fréquences sont de l'ordre de 1.5 à 2 périodes par seconde , lorsque le moteur est sous charge normale .

3. Essai N°.6A : Méthode stroboscopique

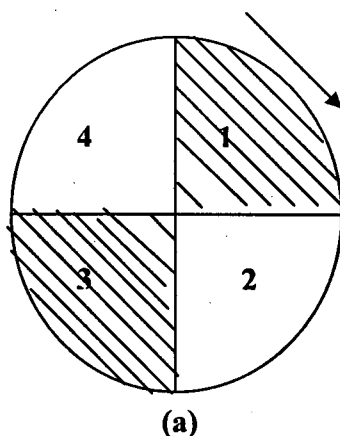
Cette méthode exploite le phénomène de la persistance de l'image sur la rétine des yeux .

Schéma électrique



On fixe sur l'axe du moteur, un disque subdivisé en autant de secteurs blancs et de secteurs noirs que la machine compte de pôles, et on les éclaire au moyen d'une lampe, par exemple un tube fluorescent, alimentée à la même fréquence que le moteur.

Dans le cas d'un moteur à deux pôles, le disque prend la configuration représentée sur la figure a



Lorsque le disque est éclairé par la lampe, il est frappé par une lumière à pulsation, caractéristique de ce type de lampe : le flux lumineux est maximal à chaque pointe de courant de la lampe, tandis qu'il est nul lorsque le courant passe par zéro.

En d'autres termes, le disque est éclairé par une série de "flash" qui se succèdent périodiquement.

En raison du phénomène de la persistance de l'image sur la rétine de l'œil, un observateur "voit" le disque uniquement aux instants où le flux lumineux est maximale, c'est-à-dire à chaque demi-période de la tension de réseau.

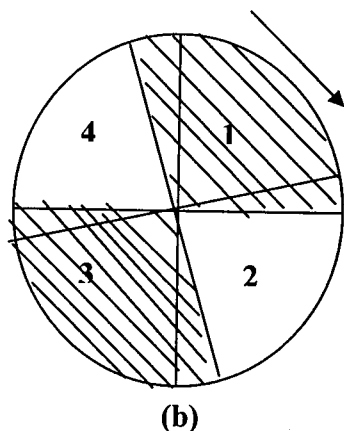
Si le moteur tourne exactement à sa vitesse synchrone et si la première pointe de lumière éclaire le disque dans la position dessinée sur la figure a, le second flash lumineux atteindra le disque après une demi-période du réseau, lorsque le moteur aura exactement effectué un demi-tour. le secteur 1 aura ainsi pris la même position que le secteur 3 et le secteur 2 retrouvera à la place du secteur 4 : l'image qui parvient à l'œil de l'observateur est donc la même que celle du premier flash.

La totalité du phénomène se renouvelle à chaque demi-période, avec des changements continuels de position des secteurs qui n'entraînent toutefois pas une modification de la figure d'ensemble : l'observateur a par conséquent l'illusion de voir les secteurs arrêtés.

Si par contre le rotor glisse par rapport à la vitesse synchrone, lorsque le second flash lumineux arrive, le disque n'aura pas exactement accompli un demi-tour, mais un peu moins, puisqu'il est

plus lent que le champ tournant. Le secteur 1 ne sera donc les trois autres secteurs.

A l'arrivée du troisième flash lumineux, l'échange de secteur sera encore incomplet avec un autre petit retard, et de même pour les flashes suivants..



L'observateur aura par conséquent l'illusion optique de voir l'ensemble des secteurs tourner dans le sens opposé au mouvement effectif, à une vitesse d'autant plus grande que le glissement est plus élevé figure b

On comprend facilement en outre que lorsque toute la figure et donc aussi l'un quelconque de ses vecteurs a apparemment accompli un tour dans le sens opposé au mouvement, c'est signe que le rotor a perdu un tour par rapport au champ tournant.

Si l'observateur, muni d'un chronomètre, relève le nombre de tours N , apparemment effectués par un secteur pendant le temps t''

secondes, il pourra calculer les tours perdus par le rotor en 1 seconde à l'aide du rapport simple suivant : N_1/t'' (trs/seconde) .

Les tours perdus par minute, et donc le glissement, sont par conséquent : $S = 60(N_1/t'')$ (tours par minute)

Si l'on connaît la fréquence d'alimentation et le nombre des pôles, il est facile de calculer la vitesse synchrone, et le glissement en pourcentage

$$S\% = 100(S/N_0)$$

Et le nombre de tours effectifs du rotor $N = N_0 - S$ (trs/minute)

Cette méthode peu être utilisée chaque fois que la fréquence par laquelle se produisent les éclairages du disque est supérieure à une vingtaine de flash par seconde de façon que l'intervalle entre une image et la successive ne dépasse pas le temps normal de persistance caractéristique de la rétine des yeux .

Du moment que la mesure prévoit seulement l'emploi d'un compte - secondes, on doit prolonger le temps de lecture pour au moins une demi- minute, afin de réduire les erreurs d'évaluation, on obtient des résultats très précis.

La mesure devient très difficile avec des glissements élevés car ils augmentent la vitesse apparente des secteurs et le mouvement même résulte difficile à suivre.

La méthode stroboscopique, en mesurant directement le glissement du moteur , peut être employée aussi pour mesurer des glissements très réduits ou pour vérifier la parfaite marche synchrone , quand cette condition est réalisée avec l'aide d'un convenable couple externe .

Le glissement absolu ainsi déterminé n'est pas influencé par la précision avec laquelle est mesurée la fréquence d'alimentation ni se ressent d'un éventuel écart par rapport à la valeur de plaque du moteur. A la variation de la fréquence de réseau varient dans la même proportion soit la vitesse de synchronisme que la rapidité de flash lumineux qui revêtent le disque et le résultat de la mesure donne toujours la vitesse de glissement.

charge	1/4	2/4	3/4	4/4	5/4
Courant absorbé (A)					
Tours apparents de 1 secteur					
Temps de lecture (sec)					
Vitesse de synchronisme (tr/mn)					
Glissement (%)					

4. Essai N° 6.B : Méthode de la fréquence rotorique

Cette méthode se base sur la relation de proportionnalité directe entre fréquence rotorique f_r , est le relatif glissement s ; on remarque en effet la relation : $f_r = s \cdot f$

Où $S = (N_0 - N)/N_0$ et f est la fréquence d'alimentation du moteur.

Le relatif glissement S donc est déterminé par la mesure de la fréquence rotorique qui, étant réduit, demande un instrument différent des habituels fréquencemètres.

On fait généralement recours à un millivoltmètre ordinaire à bobine mobile auquel on applique une partie de la tension du rotor dont les fréquences son d'ordre de 1.5 à 2 périodes par seconde,

Lorsque le moteur est sous charge normale.

Note : A différent de la méthode stroboscopique, cette méthode n'est facile à appliquer que lorsque le moteur comporte un rotor à bagues ; dans ce cas, pour obtenir la déviation du millivoltmètre à bobine mobile, il suffit d'en faire frotter les pointes de mesure sur deux bagues du rotor , même si elles sont court-circuitées par le dispositif de lavage des balais . La chute de tension du système de court-circuit est en effet habituellement suffisante. Si le moteur est du type à cage d'écureuil, cette méthode peut par fois encore être appliquée, mais dans des conditions plus difficiles. Il convient dans ce cas d'utiliser un millivoltmètre très sensible et d'en appuyer les fiches de mesure sur les deux extrémités de l'arbre qui , traversé par

le flux dispersé , est toujours le siège de faible fém. induites ayant une fréquence rotorique .

Résultat de l'essai

Le millivoltmètre à bobine mobile qui , comme on le sait , est unidirectionnel , inversera continuellement son indication à chaque demi période négative ; au cours de la demi période positive , l'indication traduira le mouvement sinusoïdale , c'est - à -dire qu'en partant de zéro , elle atteindra graduellement la valeur maximale pour diminuer ensuite jusqu'à zéro.

Il est alors facile de déterminer au moyen d'un chronomètre, le temps t'' mis par l'instrument pour marquer un nombre générique α d'indications maximales positives, et de calculer ensuite l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux de ces indications, cet intervalle coïncide avec la

$$t_r = (t'' / \alpha) \quad (\text{Seconde})$$

et donc calculer la fréquence rotorique $f_r = 1/t_r = \alpha / t'' \text{ (H}_Z\text{)}$

Une fois mesurée la fréquence d'alimentation f avec un fréquencemètre ordinaire, il est possible de déterminer le glissement : $S = f_r / f$

Tableau des relevées

	1/4	2/4	3/4	4/4	5/4
Courant absorbé (A)					
Fréquence statorique (H _z)					
Oscillation du millivoltmètre					
Temps de lecture (sec)					
Fréquence rotorique (H _z)					
Glissement ($\frac{0}{0}$)					

