

# Machines c.a./c.c.

FESTO

**FESTO**

Électricité et énergies  
nouvelles

LabVolt Series

Manuel de l'étudiant



## Allemagne

Festo Didactic SE  
Rechbergstr. 3  
73770 Denkendorf  
Tél.: +49 711 3467-0  
Télec.: +49 711 347-54-88500  
did@festo.com

## États-Unis

Festo Didactic Inc.  
607 Industrial Way West  
Eatontown, NJ 07724  
Tél.: +1 732 938-2000  
Sans frais: +1-800-522-8658  
Télec.: +1 732 774-8573  
services.didactic@festo.com

## Canada

Festo Didactic Ltée/Ltd  
675, rue du Carbone  
Québec (Québec) G2N 2K7  
Tél.: +1 418 849-1000  
Sans frais: +1-800-522-8658  
Télec.: +1 418 849-1666  
services.didactic@festo.com

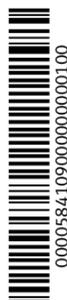
Manuel de l'étudiant

Machines c.a./c.c.

[www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com)

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic  
fr  
584109



000058410900000000000100

**Électricité et énergies nouvelles**  
**Machines c.a./c.c.**

**Manuel de l'étudiant**

584109

Numéro de manuel : 584109  
Niveau de révision : 09/2015

Par l'équipe de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 1996

Internet: [www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com)

Courriel : [did@de.festo.com](mailto:did@de.festo.com)

Imprimé au Canada

Tous droits réservés

ISBN 978-2-89289-354-0 (Version imprimée)

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 1996

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 1996

L'acheteur reçoit un seul droit d'utilisation qui est non exclusif, non limité dans le temps et limité géographiquement au site de l'acheteur tel que décrit ci-bas.

L'acheteur a le droit d'utiliser cette publication pour la formation de son personnel au site de l'acheteur et a également le droit d'utiliser des parties du matériel protégé par le droit d'auteur comme base pour la production de sa documentation didactique destinée à la formation de son personnel au site de l'acheteur avec reconnaissance de la source et de faire des copies à cette fin. Dans le cas d'écoles et de collèges techniques, de centre de formation et d'universités, le droit d'utilisation inclut également son utilisation à des fins didactiques par les étudiants et stagiaires de l'école ou du collège au site de l'acheteur.

Dans tous les cas, le droit d'utilisation exclut le droit de publier le matériel protégé par le droit d'auteur ou de le rendre disponible pour utilisation sur intranet, Internet, ou sur un système de gestion de l'apprentissage (LMS) ou une base de données tel que Moodle permettant l'accès à une grande variété d'utilisateurs, incluant ceux hors du site de l'utilisateur.

L'admissibilité à d'autres droits liés à la reproduction, copie, adaptation, traduction, au microfilmage et transfert, ainsi qu'à l'emmagasiner et au traitement dans des systèmes électroniques, que ce soit entièrement ou en partie, requiert préalablement la permission de Festo Didactic.

Les informations dans ce document sont sujettes à modification sans préavis et ne représentent pas un engagement de la part de Festo Didactic. Le matériel Festo décrit dans ce document est fourni sous accord de licence ou accord de non-divulgaration.

Festo Didactic reconnaît les noms de produit comme étant des marques de commerce ou des marques de commerce déposées de leurs détenteurs respectifs.

Toutes les autres marques de commerce sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. Il est possible que d'autres marques de commerce et noms de commerce soient utilisés dans ce document afin de référer soit à l'entité détenant les marques ou les noms, soit à leurs produits. Festo Didactic renonce à tout intérêt propriétaire concernant les marques de commerce et les noms de commerce autres que les siens.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Avant-propos

Les techniques de formation informatisées sont de plus en plus répandues dans le domaine de l'éducation, et le système d'acquisition et de gestion de données pour électrotechnique (LVDAM-EMS) ainsi que le logiciel de simulation en électrotechnique de Lab-Volt (LVSIM<sup>®</sup>-EMS) en sont des exemples.

Le système LVDAM-EMS est un ensemble d'appareils de mesure complet fonctionnant à l'aide d'un ordinateur personnel de type Pentium dans un environnement Microsoft<sup>®</sup> Windows<sup>®</sup>. Les appareils de mesure assistés par ordinateur (voltmètres, ampèremètres, appareils de mesure de puissance, oscilloscope, analyseur de vecteurs de phase et analyseur d'harmoniques) permettent aux instructeurs de démontrer clairement des concepts de l'électrotechnique qui, jusqu'à présent, ne pouvaient être présentés qu'à l'aide de manuels didactiques et de dessins traditionnels.

Le système LVDAM-EMS utilise un module Interface d'acquisition de données (I.A.D.) pour raccorder les modules du système électrotechnique de Lab-Volt à l'ordinateur personnel. Un logiciel spécialisé achemine les données de l'I.A.D. vers les appareils de mesure assistés par ordinateur effectuant toutes les mesures standard associées à la tension, au courant, à la puissance ainsi qu'à d'autres paramètres électriques. Cependant, ce système est capable de beaucoup plus en raison de ses fonctions intégrées d'observation de signaux et d'analyse de vecteurs de phase, de stockage de données et de représentation graphique, ainsi que de ses fonctions de mesure programmables qui permettent des techniques de présentation de cours insoupçonnées.

LVSIM<sup>®</sup>-EMS est un logiciel qui simule fidèlement le système électrotechnique de Lab-Volt (EMS). Comme le système LVDAM-EMS, LVSIM<sup>®</sup>-EMS fonctionne à l'aide d'un ordinateur personnel de type Pentium dans un environnement Microsoft<sup>®</sup> Windows<sup>®</sup>.

LVSIM<sup>®</sup>-EMS reproduit un laboratoire tridimensionnel à l'écran d'un ordinateur. À l'aide de la souris, les étudiants peuvent installer un système didactique EMS dans ce laboratoire virtuel, effectuer des montages d'équipement et réaliser des expériences de la même façon que s'ils avaient devant eux un équipement EMS réel. L'équipement EMS que l'on peut installer dans le laboratoire virtuel reproduit fidèlement et en détail l'équipement EMS réel faisant partie du système didactique en électrotechnique 0,2 kW assisté par ordinateur (modèle 8006). Comme dans le système EMS réel, on peut observer le fonctionnement et le comportement des circuits simulés par LVSIM<sup>®</sup>-EMS en effectuant des mesures de la tension, du courant, de la vitesse et du couple au moyen d'appareils de mesure assistés par ordinateur identiques à ceux trouvés dans le système LVDAM-EMS.

Le cours EMS existant a été complètement révisé et adapté au système LVDAM-EMS ainsi qu'à LVSIM<sup>®</sup>-EMS, et la nouvelle série s'intitule *Electrotechnique à l'aide de l'acquisition de données*. On a regroupé les expériences dans deux volumes séparés : *Volume 1 – Éléments de circuits et transformateurs* et *Volume 2 – Machines c.a./c.c.* La nouvelle série a été structurée suivant un format Bloc-Expérience, et les Volumes 1 et 2 comportent respectivement 9 et 7 blocs.

## Avant-propos (suite)

Chaque expérience aborde la matière d'un point de vue pratique en suivant la démarche donnée pour l'étude de l'électrotechnique. Les étudiants sont guidés, étape par étape, dans une démarche appuyant les principes et la théorie présentés au début de l'expérience. Une conclusion et une série d'exercices terminent chaque expérience. De plus, un test de 10 questions récapitulatives facilite l'évaluation des connaissances acquises dans le bloc.

# Table des matières

## Introduction

### **Bloc 1 Introduction aux machines tournantes** ..... 1-1

*Introduction aux machines tournantes. Travail, vitesse, couple et puissance. Fonctionnement du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Pertes et rendement d'un moteur.*

#### **Exp. 1-1 Fonctionnement d'un moteur d'entraînement** ..... 1-11

*Familiarisation avec le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre fonctionnant en mode Moteur d'entraînement. Vitesse du moteur d'entraînement en fonction de la tension. Couple de frottement en fonction de la vitesse. Mesure du couple d'opposition généré par la machine entraînée par le Moteur d'entraînement.*

#### **Exp. 1-2 Fonctionnement d'un dynamomètre** ..... 1-23

*Familiarisation avec le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre fonctionnant en mode Dynamomètre. Mesure de la vitesse et du couple à la sortie d'un moteur utilisant le Dynamomètre.*

#### **Exp. 1-3 Puissance motrice, pertes et rendement** ..... 1-33

*Détermination de la puissance mécanique à la sortie d'un moteur au moyen de la vitesse et du couple. Pertes mécaniques et électriques dans les moteurs. Détermination du rendement d'un moteur.*

### **Bloc 2 Moteurs et génératrices c.c.** ..... 2-1

*Principes de fonctionnement des moteurs et génératrices à courant continu (c.c.). Les différents types de moteurs et génératrices c.c. et leurs particularités.*

#### **Exp. 2-1 Le moteur c.c. à excitation séparée** ..... 2-7

*Fonctionnement d'un moteur c.c. à excitation séparée. Circuit équivalent simplifié d'un moteur c.c. Relation entre la vitesse à vide et la tension d'induit. Relation entre le couple du moteur et le courant d'induit. Résistance d'induit. Caractéristique de la vitesse en fonction du couple.*

#### **Exp. 2-2 Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound** ..... 2-23

*Effet du courant d'excitation sur les caractéristiques de vitesse en fonction de la tension et de couple en fonction du courant d'un moteur c.c. à excitation séparée. Description et fonctionnement des moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound.*

# Table des matières (suite)

**Exp. 2-3 Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound** ..... 2-39

*Fonctionnement et caractéristiques d'une génératrice c.c. à excitation séparée. Effet du courant d'excitation sur les caractéristiques d'une génératrice c.c. à excitation séparée. Circuit équivalent simplifié d'une génératrice c.c. Fonctionnement et caractéristiques des génératrices c.c. à excitation séparée. Comparaison des caractéristiques de la tension en fonction du courant des génératrices c.c. à excitation séparée, shunt, compound cumulative et compound différentielle.*

**Bloc 3 Caractéristiques particulières des moteurs c.c.** ..... 3-1

*Comportement de machines c.c. lorsque les courants d'induit et d'excitation excèdent les courants nominaux. Fonctionnement du moteur universel.*

**Exp. 3-1 Réaction d'induit et effet de saturation** ..... 3-3

*Réaction d'induit. Effet de la réaction d'induit sur les caractéristiques des machines c.c. Inductance d'induit. Utilisation d'aimants permanents pour réduire la réaction d'induit. Saturation. Effets de la saturation sur les caractéristiques des machines c.c.*

**Exp. 3-2 Le moteur universel** ..... 3-19

*Sens de rotation en fonction des polarités des courants d'induit et d'excitation. Fonctionnement d'un moteur universel en c.c. et en c.a. Amélioration du fonctionnement en c.a. par l'ajout d'un enroulement de compensation réduisant l'inductance d'induit.*

**Bloc 4 Moteurs c.a. à induction** ..... 4-1

*Principes de l'induction électromagnétique. Champ magnétique tournant et vitesse synchrone. Démonstration du fonctionnement et des caractéristiques des moteurs c.a. à induction.*

**Exp. 4-1 Le moteur triphasé à cage d'écureuil** ..... 4-3

*Création d'un champ magnétique tournant dans un moteur triphasé à cage d'écureuil. Vitesse synchrone. Description et fonctionnement d'un moteur triphasé à cage d'écureuil. Caractéristique du couple en fonction de la vitesse. Puissance réactive nécessaire à la création du champ magnétique tournant.*

# Table des matières (suite)

**Exp. 4-2 Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones** ..... 4-17

*Description et fonctionnement du frein électromagnétique. Fonctionnement d'un moteur triphasé à cage d'écurueil en génératrice asynchrone. Démonstration du fait qu'une génératrice asynchrone peut fournir une puissance active au réseau d'alimentation triphasé. Démonstration du fait que le fonctionnement d'une génératrice asynchrone nécessite une puissance réactive.*

**Exp. 4-3 Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs** ..... 4-31

*Saturation dans les moteurs à induction. Tension nominale d'un moteur à cage d'écurueil. Démonstration de l'effet de la tension du moteur sur la caractéristique du couple en fonction de la vitesse d'un moteur à cage d'écurueil.*

**Exp. 4-4 Moteurs à induction monophasés** ..... 4-41

*Description et fonctionnement d'un moteur monophasé à cage d'écurueil simplifié. Caractéristique du couple en fonction de la vitesse du moteur à induction monophasé simplifié. Ajout d'un enroulement auxiliaire (avec ou sans condensateur) pour améliorer le couple de démarrage du moteur à induction monophasé simplifié.*

**Bloc 5 Moteurs synchrones** ..... 5-1

*Description et fonctionnement du moteur synchrone triphasé. Démarrage d'un moteur synchrone. Vitesse de rotation en fonction de la fréquence du réseau d'alimentation triphasé.*

**Exp. 5-1 Le moteur synchrone triphasé** ..... 5-3

*Caractéristiques intéressantes du moteur synchrone triphasé. Effet du courant d'excitation sur l'échange de puissance réactive entre un moteur synchrone triphasé et le réseau d'alimentation triphasé. Utilisation d'un moteur synchrone tournant à vide comme compensateur synchrone.*

**Exp. 5-2 Moteur synchrone et couple de décrochage** ..... 5-13

*Effet du courant d'excitation sur le couple de décrochage d'un moteur synchrone triphasé.*

# Table des matières (suite)

## **Bloc 6 Génératrices synchrones triphasées (alternateurs triphasés) ..... 6-1**

*Principe de fonctionnement des alternateurs. Description et fonctionnement de l'alternateur. Caractéristiques de l'alternateur. Régulation de fréquence et de tension. Synchronisation d'un alternateur.*

### **Exp. 6-1 Alternateur fonctionnant à vide ..... 6-3**

*Relation entre la vitesse de rotation, la tension et la fréquence d'un alternateur fonctionnant à vide. Relation entre le courant d'excitation et la tension générée par un alternateur fonctionnant à vide. Saturation dans les alternateurs.*

### **Exp. 6-2 Caractéristiques de la régulation de tension ..... 6-15**

*Circuit équivalent simplifié d'une génératrice c.c. Caractéristiques de la régulation de tension d'un alternateur lorsqu'il fournit une puissance à des charges résistives, inductives et capacitives.*

### **Exp. 6-3 Régulation de fréquence et de tension ..... 6-25**

*Effet des charges résistives, inductives et capacitives sur la tension de sortie et la fréquence d'un alternateur. Réglage de la vitesse et du courant d'excitation d'un alternateur pour en réguler la fréquence et la tension lorsque la charge varie.*

### **Exp. 6-4 Synchronisation d'un alternateur ..... 6-35**

*Conditions préalables au raccord d'un alternateur à un réseau d'alimentation c.a. ou à un autre alternateur. Réglage du couple appliqué à l'arbre d'un alternateur pour déterminer la puissance active qu'il fournit. Réglage du courant d'excitation d'un alternateur pour obtenir un facteur de puissance unitaire.*

- Annexes A Symboles des schémas électriques**
- B Tableau des impédances des modules de charge**
- C Tableau d'utilisation de l'équipement**
- D Terminologie nouvelle**

## **Bibliographie**

**Votre opinion est importante!**

# Introduction

Les 18 expériences de ce manuel, intitulé Machines c.a./c.c., constituent une base pour une étude plus approfondie des machines tournantes.

Ce manuel comporte 6 blocs :

- Le bloc 1, constitue une révision élémentaire des concepts et de la théorie sur les machines tournantes, le couple et la vitesse, et il met en relief des détails particuliers relatifs à la puissance, aux pertes et au rendement des moteurs électriques. Il décrit également le fonctionnement du moteur d'entraînement et du dynamomètre utilisés dans les expériences.
- Les blocs 2 et 3 traitent du fonctionnement de base et des caractéristiques des moteurs et génératrices à courant continu. Ils explorent certaines particularités des machines c.c.
- Les blocs 4, 5 et 6 définissent et expliquent les principes associés aux moteurs et génératrices à courant alternatif. Ils traitent également du fonctionnement des moteurs à induction, des moteurs synchrones et des génératrices synchrones (alternateurs).

Les expériences de ce manuel peuvent être effectuées soit au moyen du système électromécanique (système EMS) réel, soit au moyen du logiciel de simulation du système électromécanique (LVSIM<sup>®</sup>-EMS). Lorsque vous utilisez le système EMS réel, vous devez mettre l'ordinateur sous tension et lancer Windows<sup>®</sup> avant chaque expérience. Cependant, lorsque vous utilisez le logiciel de simulation, vous devez mettre l'ordinateur sous tension, lancer Windows<sup>®</sup> et lancer LVSIM<sup>®</sup>-EMS avant chaque expérience.

Les expériences guident les étudiants dans le montage et l'utilisation du circuit. Elles permettent également l'exploration de nombreuses possibilités de mesure et d'observation du système de mesure virtuel. De l'information plus détaillée sur les paramètres des machines tournantes (tensions et courants, couple et vitesse, puissance de sortie et rendement, etc.) peut être visualisée à l'aide des appareils de mesure virtuels et les étudiants sont encouragés à exploiter au maximum les possibilités du système.

Différents symboles sont utilisés dans les nombreux schémas des expériences pratiques de ce manuel. Chaque symbole est une représentation fonctionnelle d'un élément utilisé en électrotechnique. L'utilisation de ces symboles simplifie beaucoup les schémas en réduisant le nombre des interconnexions indiquées et en facilitant la compréhension du fonctionnement des circuits. L'Annexe A de ce manuel donne les symboles utilisés, le nom de l'élément de chaque symbole représenté, un schéma montrant l'équipement et les raccordements nécessaires pour obtenir l'élément.

Les expériences pratiques de ce manuel peuvent être effectuées avec les tensions de réseau c.a. suivantes : 120 V ca, 220 V ca et 240 V ca. Les valeurs des composants des différents circuits utilisés dépendent souvent de la tension du réseau. Pour cette raison, dans les schémas, chaque composant est identifié avec une lettre majuscule et un nombre en indice. Un tableau accompagnant le schéma indique la valeur de chaque composant pour les différentes tensions de ligne (120, 220 et 240 V ca).

L'Annexe B de ce manuel comporte un tableau des valeurs usuelles des impédances qui peuvent être obtenues à l'aide des versions 120 V ca et 240 V ca des modules de charge EMS.

## Introduction (suite)

L'Annexe C comporte un tableau décrivant de façon précise l'équipement nécessaire à la réalisation de chaque expérience.

L'Annexe D est un glossaire comportant la terminologie nouvelle utilisée dans ce manuel.

## Introduction aux machines tournantes

### OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure d'expliquer le fonctionnement d'un moteur et d'une génératrice à l'aide des principes de base du magnétisme. Vous serez également capable de mesurer le couple, la vitesse et la puissance mécanique au moyen du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

### PRINCIPES FONDAMENTAUX

Tout le monde est familier avec un type de **moteur électrique**, qu'il s'agisse du petit **moteur c.c.** que l'on trouve dans les jouets à piles, du moteur c.c. d'un démarreur d'automobile ou du **moteur c.a.** d'une machine à laver ou d'une sècheuse. Les moteurs électriques sont également utilisés dans les ventilateurs, les perceuses électriques, les pompes et de nombreux autres dispositifs courants. Mais comment et pourquoi ces moteurs fonctionnent-ils et pourquoi tournent-ils? La réponse est étonnamment simple : c'est à cause de l'interaction entre deux champs magnétiques.

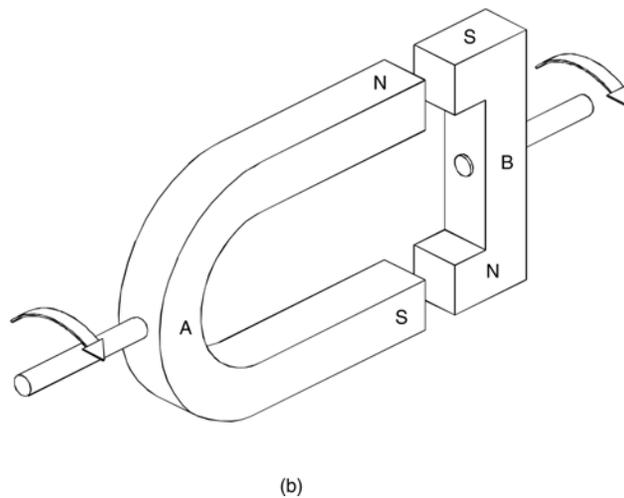
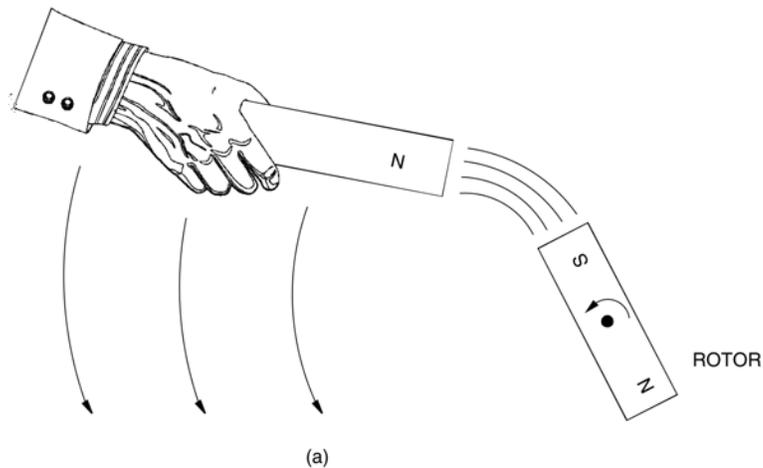
Si vous prenez deux aimants et en fixez un sur un arbre pour qu'il tourne, puis que vous déplacez l'autre selon une trajectoire circulaire autour du premier, celui fixé au **rotor** est attiré par la **force magnétique** produisant une attraction entre les deux aimants, comme le montre la figure 1-1 (a). L'aimant fixé au rotor tourne alors en suivant l'autre aimant.

Cette image simple de l'interaction entre deux aimants est illustrée de façon plus réaliste à la figure 1-1 (b), où les aimants A et B peuvent tous deux tourner librement autour du même axe. Lorsque l'aimant A tourne, l'aimant B suit, et vice versa, à cause de l'attraction magnétique entre eux.

### Principe de l'électro-aimant tournant

La figure 1-2 (a) montre comment on peut fabriquer l'aimant A de la figure 1-1 (b) en faisant circuler un courant électrique dans une bobine de fil enroulé autour d'un noyau en fer. En d'autres mots, l'aimant A est devenu un **électro-aimant**. Les extrémités de la bobine sont raccordées à une source de tension c.c., afin de faire circuler un courant dans la bobine et de créer des **pôles magnétiques** nord et sud.

# Introduction aux machines tournantes



**Figure 1-1. Rotation d'un moteur provoquée par l'interaction de forces magnétiques.**

Lorsqu'on fait tourner l'électro-aimant manuellement, l'aimant B tourne également, comme si deux aimants étaient utilisés. À première vue, ce montage ne semble offrir aucun avantage, car on doit faire tourner un premier objet (l'électro-aimant) pour provoquer la rotation d'un deuxième objet (l'aimant B). De plus, pour empêcher les fils raccordant la source de tension c.c. à l'électro-aimant de se tordre, la source doit tourner en même temps que les électro-aimants, ce qui n'est pas très pratique.

# Introduction aux machines tournantes

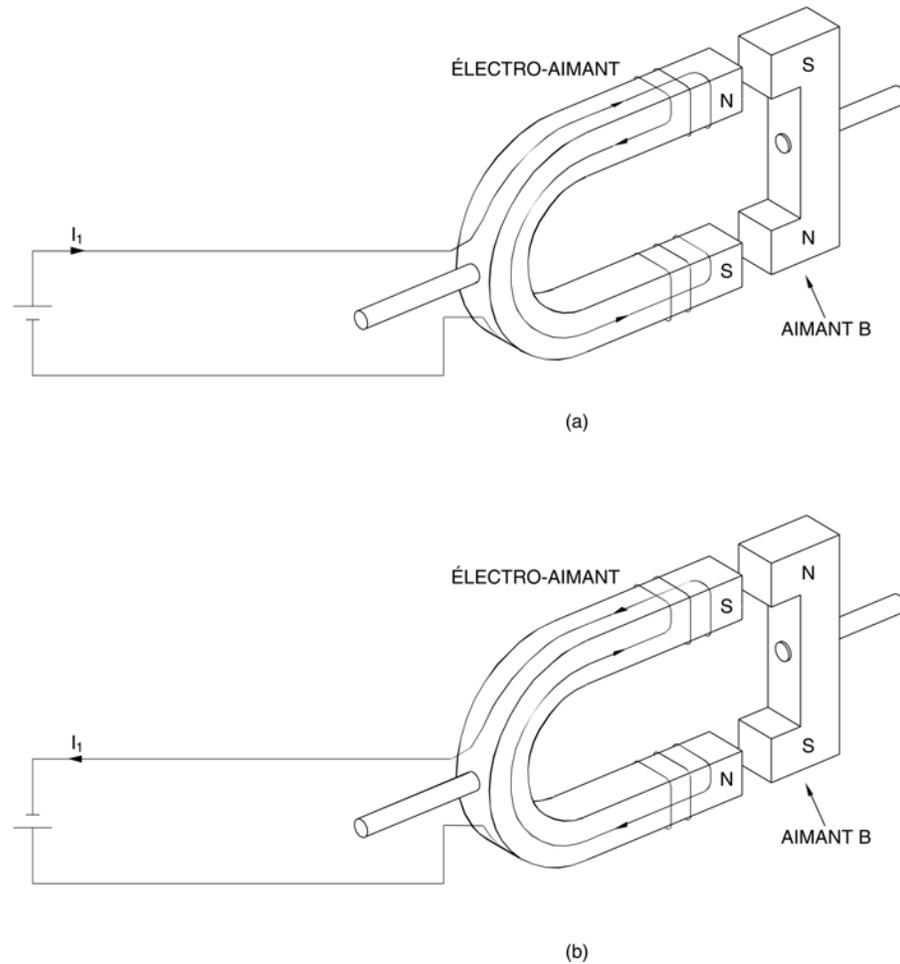


Figure 1-2. Électro-aimant créé par la circulation d'un courant électrique.

Cependant, si la polarité de la source de tension c.c. est inversée, comme à la figure 1-2 (b), la position des pôles nord et sud de l'électro-aimant est modifiée, étant donné que l'aimant B tourne d'un demi-tour. Ce montage permet donc de faire tourner l'aimant B sans avoir à faire tourner l'électro-aimant, le sens de rotation étant indéterminé. En combinant deux électro-aimants, deux sources de tension c.c., et en faisant varier les tensions et polarités des sources, il est possible de faire tourner l'aimant B dans un sens sans avoir à déplacer d'autres objets (électro-aimants). La figure 1-3 montre comment on peut, pour ce faire, modifier le montage avec l'électro-aimant de la figure 1-2. Lorsque les courants ( $I_1$  et  $I_2$ ) circulant dans les deux électro-aimants sont tels que ceux illustrés à la figure 1-3, la polarité des pôles magnétiques est inversée aux moments appropriés et il y a rotation vers la droite, à cause du phénomène attraction-répulsion qui se répète. Il y a donc simple commutation de courant à l'intérieur de l'équivalent électrique d'un aimant tournant. Le principe de fonctionnement de tous les moteurs est basé sur la création de l'équivalent électrique d'un aimant tournant, afin d'éviter toute rotation manuelle.

# Introduction aux machines tournantes

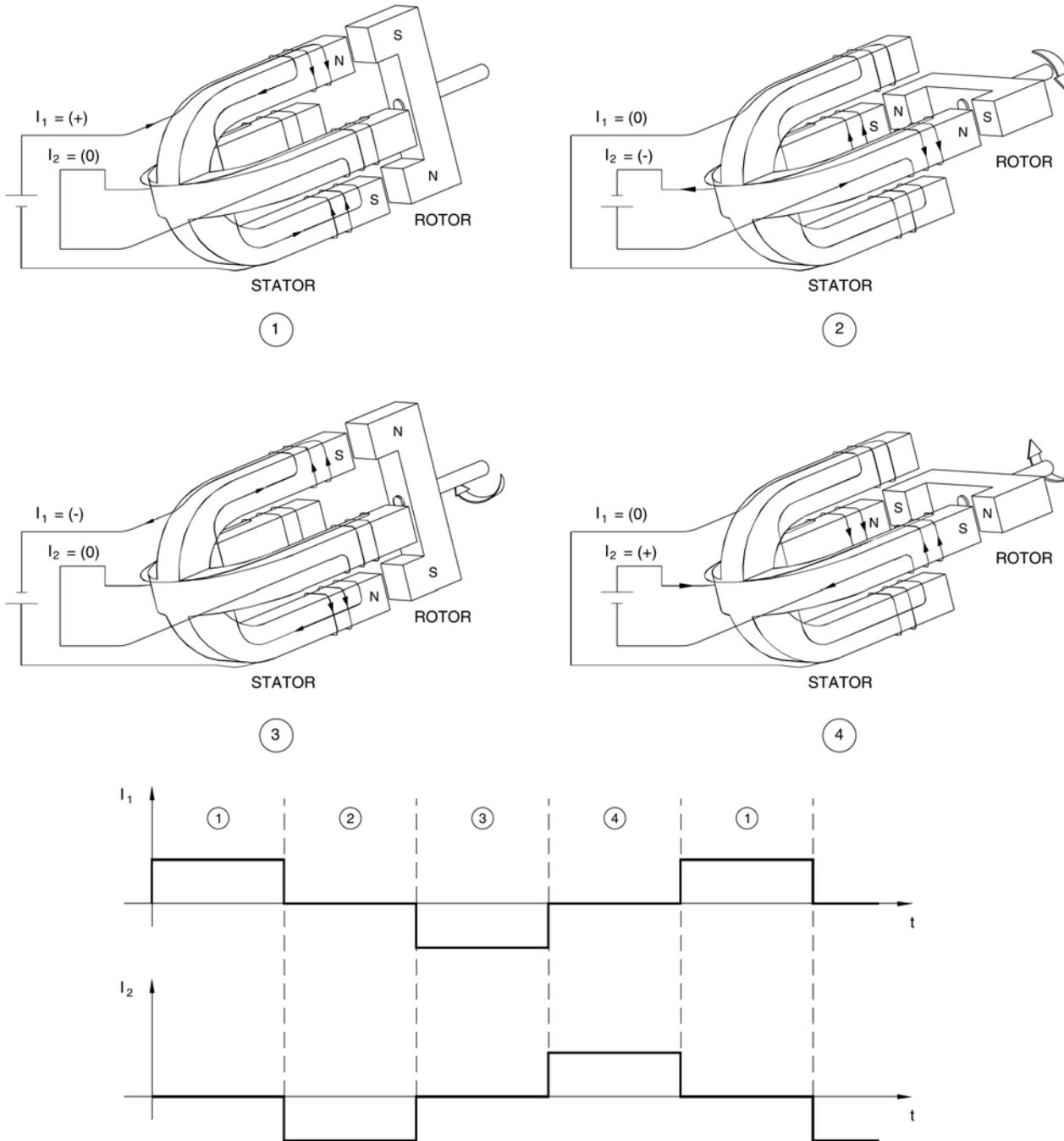


Figure 1-3. Aimant tournant vers la droite réalisé au moyen d'un électro-aimant.

Comme le montre la figure 1-4, le sens de rotation peut être inversé en interchangeant les courants  $I_1$  et  $I_2$ .

# Introduction aux machines tournantes

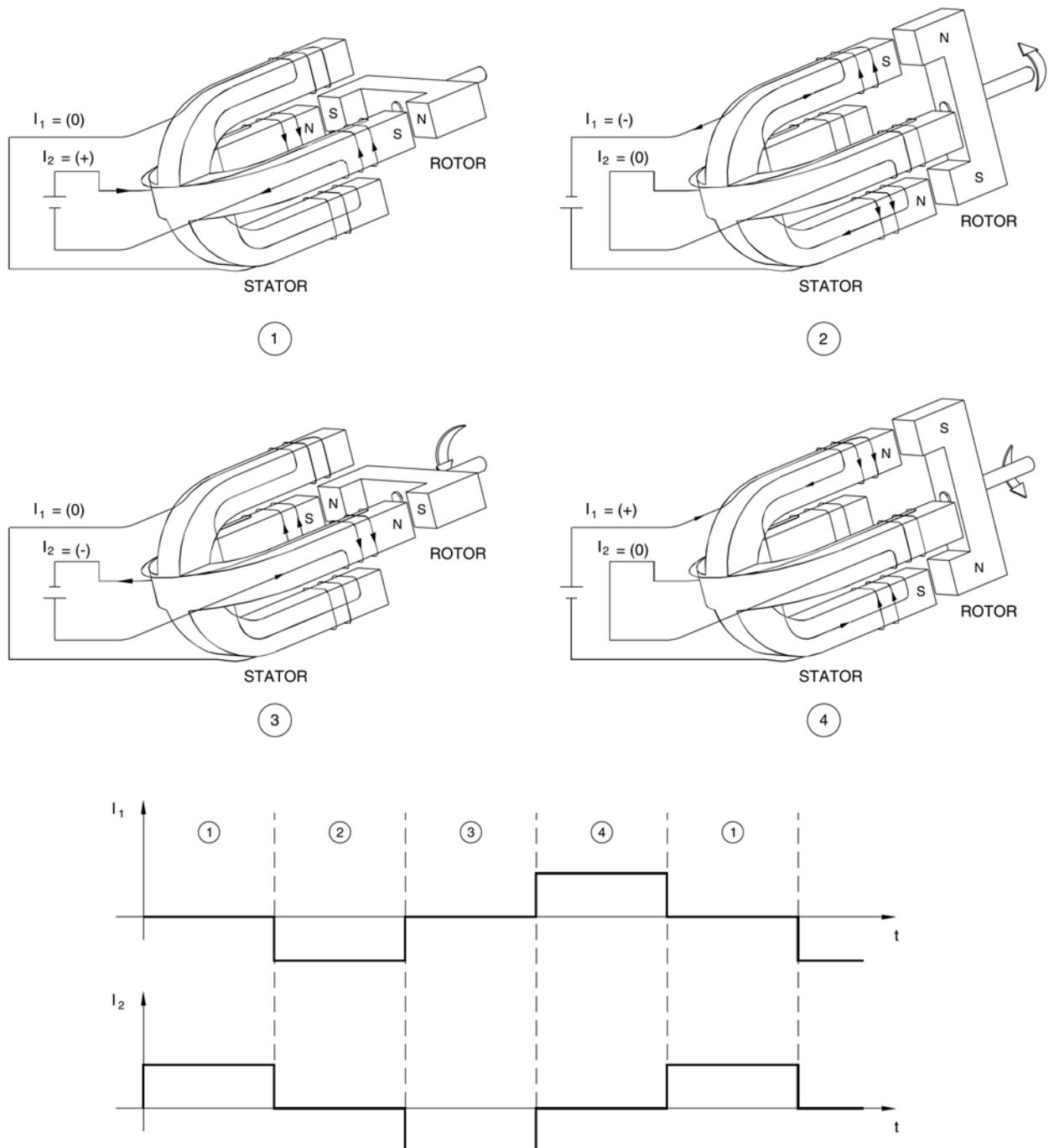


Figure 1-4. Aimant tournant vers la gauche réalisé au moyen d'un électro-aimant.Principe de la génératrice

# Introduction aux machines tournantes

Le fonctionnement des **génératrices** et des alternateurs est basé sur la loi de l'**induction électromagnétique** de Faraday, selon laquelle :

1. Une tension est induite aux bornes d'un enroulement de fil si le flux magnétique généré par cet enroulement varie en fonction du temps.
2. La tension induite est proportionnelle au taux de variation du flux magnétique.

L'équation suivante exprime la tension induite et la figure 1-5 illustre le principe du flux magnétique, qui varie à l'intérieur d'une bobine de N tours.

$$E = N \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- où E est la tension induite, en volts [V],  
N est le nombre de tours de fil de la bobine,  
 $\Delta\phi$  est la variation du flux à l'intérieur de la bobine, en webers [Wb],  
 $\Delta t$  est l'intervalle de temps pendant lequel varie le flux, en secondes [s].

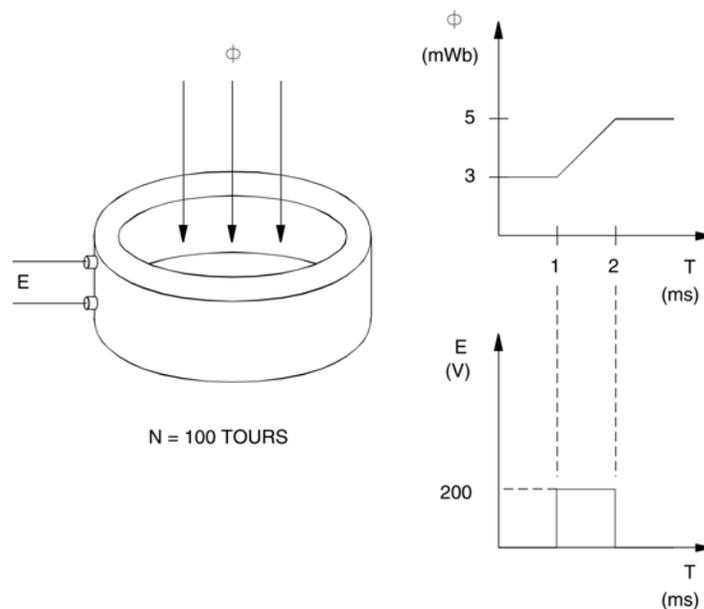


Figure 1-5. Tension induite dans une bobine.

Pour la valeur indiquée dans le circuit de la figure 1-5, la tension induite sera :

$$E = N \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 100 \times \frac{0,005 - 0,003}{0,001} = 200 \text{ V}$$

Si on fait tourner manuellement l'aimant fixé au rotor illustré aux figures 1-3 et 1-4, ses lignes de force magnétiques induisent une tension aux bornes des bobines de l'électro-aimant, habituellement appelées bobines du **stator**, car elles ne tournent jamais. Cela fait circuler un courant dans les bobines du stator, lorsque leurs extrémités sont court-circuitées, et génère un autre champ magnétique. L'interaction

# Introduction aux machines tournantes

entre le champ magnétique des bobines du stator et celui de l'aimant du rotor génère une force s'opposant à la rotation de l'aimant du rotor. Il s'agit du principe utilisé par le **dynamomètre** pour générer un **couple** de freinage.

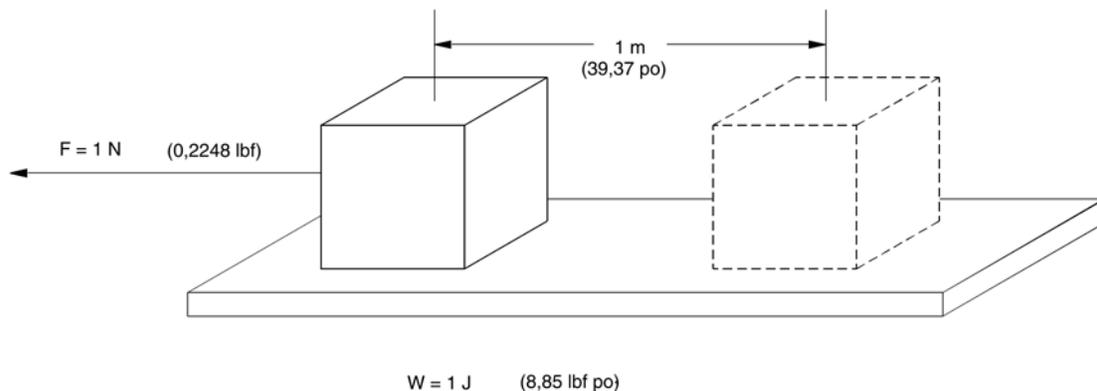
## Travail, couple et puissance

Un travail mécanique  $W$  est effectué lorsqu'une force  $F$  déplace un objet sur une distance  $d$ . Le travail est exprimé par l'équation suivante :

$$W = F \times d$$

Le travail  $W$  est exprimé en joules (J) lorsque la force  $F$  et la distance  $d$  sont exprimées en newtons (N) et en mètres (m), respectivement. Cependant, lorsque la force  $F$  et la distance  $d$  sont exprimées en livres-forces (lbf) et en pouces (po), respectivement, le travail  $W$  est exprimé en livres-pouces (lbf-po).

La figure 1-6, par exemple, montre un bloc qui est déplacé sur une distance d'un mètre (39,37 po) lors de l'application d'une force de 1 N (0,2248 lbf), ce qui signifie qu'un travail de 1 J (8,85 lbf-po) est effectué.



**Figure 1-6. Travail nécessaire au déplacement d'un bloc.**

Supposons maintenant que le bloc soit déplacé sur la même distance au moyen d'une poulie de rayon  $r$ , comme celle de la figure 1-7. Une force de torsion doit être appliquée afin de faire tourner la poulie pour que la corde tire sur le bloc avec une force  $F$ . Cette force de torsion est appelée couple et elle est déterminée par l'équation suivante :

$$T = F \times r$$

Le couple  $T$  est exprimé en newtons-mètres (N·m) lorsque la force  $F$  et le rayon  $r$  sont exprimés en newtons (N) et en mètres (m), respectivement. Cependant, lorsque la force  $F$  et le rayon  $r$  sont exprimés en livres-forces (lbf) et en pouces (po), respectivement, le couple  $T$  est exprimé en livres-pouces (lbf-po).

# Introduction aux machines tournantes

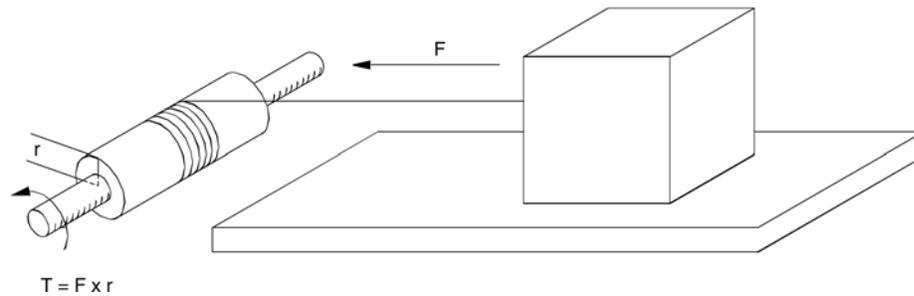


Figure 1-7. Utilisation d'une poulie pour déplacer un objet.

À la fin de chaque tour complet de la poulie, le bloc a avancé de  $2\pi r$  mètres (pouces), ce qui signifie qu'un travail de  $2\pi r F$  joules (livres-pouces) a été effectué. Puisque le couple est égal à  $F \times r$ , on peut exprimer le travail par  $2\pi T$  joules (livres-pouces) par tour.

La puissance  $P$  est définie comme la vitesse d'exécution du travail et elle est déterminée par l'équation suivante, lorsque le travail  $W$  est exprimé en joules :

$$P = \frac{W}{t}$$

où  $P$  est la puissance, en watts [W],  
 $W$  est le travail, en joules [J],  
 $t$  est le temps d'exécution du travail, en secondes [s].

Lorsque le travail  $W$  est exprimé en livres-pouces, l'équation suivante doit être utilisée pour calculer la puissance  $P$  :

$$P = \frac{W}{8,85 \times t}$$

Puisque la puissance correspond au travail effectué par une unité de temps, la puissance d'un moteur tournant à une **vitesse**  $n$  peut être calculée à l'aide de l'équation suivante, lorsque le couple  $T$  est exprimé en newtons-mètres :

$$P = 2\pi T \times n \times \frac{1}{60}$$

**Remarque :** Dans cette équation, le terme  $1/60$  est utilisé pour convertir la vitesse  $n$ , exprimée en tr/min, sous forme de vitesse exprimée en tours par seconde (tr/s).

Cette équation peut être simplifiée de la façon suivante :

$$P = \frac{n \times T}{9,55}$$

# Introduction aux machines tournantes

Lorsque le couple T est exprimé en livres-pouces, la puissance du moteur peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$P = \frac{2\pi T}{8,85} \times n \times \frac{1}{60}$$

Cette équation peut être simplifiée pour donner :

$$P = \frac{n \times T}{84,51}$$

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'expliquer le fonctionnement d'un moteur d'entraînement à l'aide du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre ainsi que de prouver que le moteur d'entraînement génère un couple permettant de contrecarrer les forces s'opposant à sa rotation. Vous allez également démontrer que le couple généré par le moteur d'entraînement augmente en fonction de sa charge. Vous serez également capable d'utiliser le moteur d'entraînement avec l'application Appareils de mesure de LVDAM pour mesurer le couple d'opposition que génère la machine entraînée par le moteur d'entraînement.

### PRINCIPES

À la base, le **moteur d'entraînement** faisant partie du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre fonctionne comme le convertisseur linéaire tension-vitesse illustré à la figure 1-8 et son sens de rotation est directement lié à la polarité de sa tension d'entrée. Une tension positive produit une rotation vers la droite. Une tension d'entrée négative produit une rotation vers la gauche, ou rotation négative. La relation entre la vitesse et la tension est linéaire, et plus la tension appliquée est élevée, plus le moteur tourne vite. Le moteur d'entraînement utilise un moteur c.c. dont traite le Bloc 2.

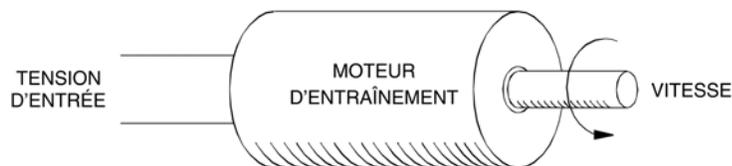


Figure 1-8. Le moteur d'entraînement est un convertisseur tension-vitesse.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, un afficheur numérique permet de lire directement la vitesse ou le couple. Le raccord de la SORTIE VITESSE et de la SORTIE COUPLE de ce module aux entrées correspondantes du module IAD permet la mesure et l'affichage de la vitesse et du couple au moyen des appareils de mesure N et T de l'application Appareils de mesure de LVDAM.

La vitesse affichée sur l'afficheur du module ou sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure de LVDAM correspond à la vitesse réelle à laquelle tourne le moteur d'entraînement. Elle est positive dans le cas d'une rotation vers la droite et négative dans le cas d'une rotation vers la gauche.

Pour tourner, le moteur d'entraînement doit générer un **couple magnétique** ( $T_M$  (MOTEUR)) suffisant pour contrecarrer toutes les forces s'opposant à sa rotation. L'effet combiné de toutes ces forces génère un couple s'opposant à la

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

rotation du moteur d'entraînement. Ce couple est appelé couple d'opposition ( $T_{OPP.}$ ). Lorsque le moteur d'entraînement tourne, la valeur absolue du couple magnétique  $T_M$  (MOTEUR) et celle du couple d'opposition ( $T_{OPP.}$ ) sont égales, mais leurs polarités sont opposées.

Le couple d'opposition ( $T_{OPP.}$ ) est affiché sur l'afficheur du module ou sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure de LVDAM. Dans le cas d'une rotation vers la droite (positive), le couple affiché est donc négatif. Dans le cas d'une rotation vers la gauche (négative), il est positif car les forces s'opposant à la rotation sont dans le sens opposé. En d'autres mots, le couple et la vitesse du moteur d'entraînement qui sont affichés sont toujours de polarités opposées.

Lorsque aucune machine tournante n'est couplée à l'arbre du moteur d'entraînement, l'opposition à la rotation ne provient que du frottement du roulement, du frottement dû à la ventilation et du frottement des **balais** du moteur d'entraînement. L'effet combiné de ces frottements correspond au couple de frottement du moteur d'entraînement  $T_F$  (MOTEUR), tel que le montre la figure 1-9 et l'équation suivante :

$$T_F(\text{MOTEUR}) = T_{\text{BALAIS}} + T_{\text{ROULEMENT}} + T_{\text{VENTILATION}}$$

- où  $T_{\text{BALAIS}}$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par le frottement des balais,  
 $T_{\text{ROULEMENT}}$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par le frottement du roulement,  
 $T_{\text{VENTILATION}}$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par le frottement dû à la ventilation.

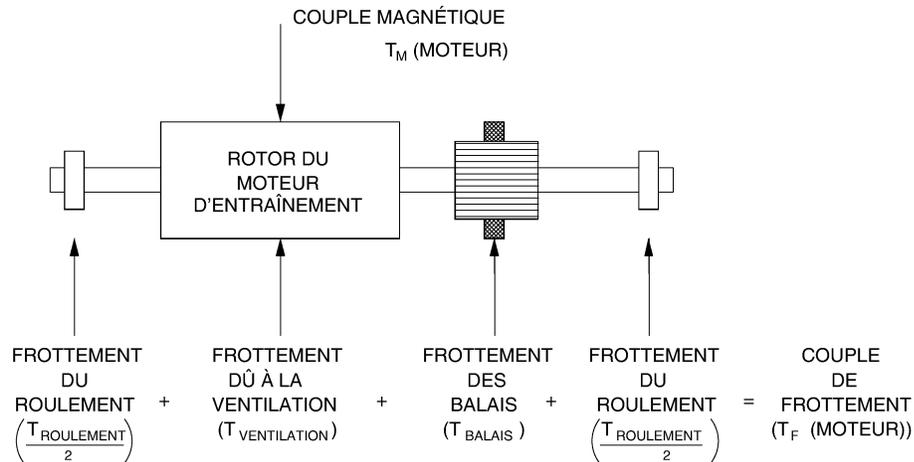


Figure 1-9. Distribution du couple à l'intérieur du moteur d'entraînement.

Lorsque aucune machine n'est couplée à l'arbre du moteur d'entraînement, le couple de friction du moteur d'entraînement  $T_F$  (MOTEUR) constitue la seule opposition à la rotation de ce dernier. Le couple d'opposition  $T_{OPP.}$  est donc égal au couple de frottement du moteur d'entraînement  $T_F$  (MOTEUR). Il est à remarquer que le couple de frottement du moteur d'entraînement  $T_F$  (MOTEUR) et, donc, le couple d'opposition  $T_{OPP.}$ , augmentent en fonction de la vitesse. Cependant, cette relation entre le couple et la vitesse n'est pas linéaire.

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

Lorsque le moteur d'entraînement est couplé mécaniquement à une autre machine tournante, le couple d'opposition  $T_{OPP.}$  augmente à cause de l'opposition additionnelle à la rotation qui est générée par l'autre machine et le dispositif de couplage (courroie crantée), tel que l'indique l'équation suivante :

$$T_{OPP.} = T_F(\text{MOTEUR}) + T_F(\text{COURROIE}) + T_{OPP.}(\text{MACHINE})$$

où  $T_F(\text{COURROIE})$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par le frottement de la courroie,  
 $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par la machine couplée au moteur d'entraînement.

Le couple d'opposition  $T_{OPP.}$  indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement (ou sur l'appareil de mesure  $T$  de l'application Appareils de mesure) est donc supérieur lorsqu'une machine tournante est couplée au moteur d'entraînement.

Lorsque le moteur d'entraînement entraîne une autre machine tournante, il est souvent utile de connaître l'opposition à la rotation que génère la machine entraînée. En d'autres mots, il est utile de connaître le couple qui s'oppose à la rotation du moteur d'entraînement et qui est généré par la machine entraînée ( $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$ ). Ce couple est égal au couple d'opposition  $T_{OPP.}$ , moins la somme du couple de frottement du moteur d'entraînement ( $T_F(\text{MOTEUR})$ ) et du couple de frottement de la courroie ( $T_F(\text{COURROIE})$ ), tel que l'indique l'équation suivante :

$$T_{OPP.}(\text{MACHINE}) = T_{OPP.} - (T_F(\text{MOTEUR}) + T_F(\text{COURROIE}))$$

Une fonction de l'application Appareils de mesure permet de corriger le couple indiqué par l'appareil de mesure  $T(T_{OPP.})$ , de façon à ce qu'il corresponde au couple d'opposition généré par la machine entraînée ( $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$ ). Cette fonction soustrait simplement de  $T_{OPP.}$  la somme des valeurs nominales  $T_F(\text{MOTEUR})$  et  $T_F(\text{COURROIE})$  pour obtenir  $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$ . Le couple corrigé ( $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$ ) est toujours inférieur au couple initial non corrigé ( $T_{OPP.}$ ).

## Sommaire des manipulations

Dans cette expérience, vous allez utiliser le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre dans le mode Moteur d'entraînement.

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 1-10 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez vérifier si le sens de rotation du moteur d'entraînement change lorsque la polarité de la tension d'entrée varie.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez faire varier par incréments la vitesse du moteur d'entraînement et en noter la tension ainsi que le couple. Vous allez tracer un graphique de la vitesse du moteur d'entraînement en fonction de sa tension.

Dans la quatrième partie de cette expérience, vous allez observer l'effet du sélecteur MODE sur le fonctionnement du moteur d'entraînement.

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

Dans la cinquième partie de l'expérience, vous allez utiliser les données enregistrées à la troisième partie pour tracer un graphique du couple de frottement ( $T_F(\text{MOTEUR})$ ) en fonction de la vitesse du moteur d'entraînement.

Dans la sixième partie de l'expérience, vous allez utiliser une courroie crantée pour coupler un moteur à cage d'écurie au moteur d'entraînement. Vous allez mesurer le couple d'opposition ( $T_{OPP.}$ ) à une vitesse de 1500 tr/min. Vous allez comparer ce couple au couple  $T_F(\text{MOTEUR})$  mesuré précédemment. Vous allez ensuite corriger le couple  $T_{OPP.}$  indiqué sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure de façon à obtenir le couple d'opposition généré par le moteur à cage d'écurie ( $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$ ).

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur à cage d'écurie à quatre pôles et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Montez le circuit illustré à la figure 1-10.

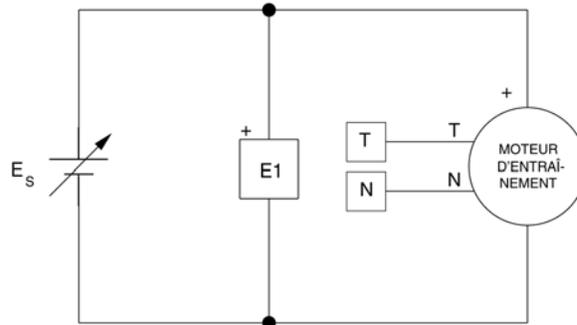


Figure 1-10. Circuit du moteur d'entraînement.

- 6. Réglez comme suit le bouton de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Polarité de la tension et sens de rotation

- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à environ 10%.

Notez ci-dessous la tension c.c. appliquée au moteur d'entraînement et indiquée sur l'appareil de mesure E1 ainsi que la vitesse n indiquée sur l'afficheur du moteur d'entraînement.

E1 (tension du moteur d'entraînement) = \_\_\_\_\_ V

n (vitesse du moteur d'entraînement) = \_\_\_\_\_ tr/min

Il est à remarquer que l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure indique également la vitesse du moteur d'entraînement.

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

Quelle est la polarité de la tension E1?

Polarité de la tension E1 = \_\_\_\_\_

Observez le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Quel est le sens de rotation du moteur?

Sens de rotation = \_\_\_\_\_

8. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Ne modifiez pas la position du bouton de commande de la tension.

Inversez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et observez le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Quel est le sens de rotation du moteur?

Sens de rotation = \_\_\_\_\_

La polarité étant inversée, en quoi la vitesse indiquée sur l'appareil de mesure N diffère-t-elle?

---

---

**Remarque :** Dans ce manuel, une rotation vers la droite est considérée positive et une rotation vers la gauche, négative. Il en est de même pour la vitesse indiquée sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

## Relation entre la vitesse et la tension

9. Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Rebranchez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT, comme à la manipulation 7.

10. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension, la vitesse et le couple (indiqués sur les appareils de mesure E1, N et T, respectivement) du moteur d'entraînement dans le Tableau de données.

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement augmente par incréments de 300 tr/min, jusqu'à 2100 tr/min (300, 600, 900 tr/min, etc.). Pour chaque vitesse réglée, notez la tension, la vitesse et le couple du moteur d'entraînement dans le Tableau de données.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

- 11. Lorsque toutes les données sont notées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, modifiez le tableau de façon à ne conserver que la tension, la vitesse et le couple (données des colonnes E1, N et T, respectivement) du moteur d'entraînement, intitulez le tableau de données DT111 et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

- 12. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés pour obtenir un graphique de la vitesse du moteur d'entraînement (obtenue sur l'appareil de mesure N) en fonction de sa tension (obtenue sur l'appareil de mesure E1). Nommez ce graphique G111, nommez son axe des X Tension du moteur d'entraînement, nommez son axe des Y Vitesse du moteur d'entraînement et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Quelle relation existe-t-il entre la tension appliquée à un moteur d'entraînement et sa vitesse?

---

---

---

## Effet du sélecteur MODE

- 13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à environ 10%.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le sélecteur MODE à la position DYN., puis attendez quelques secondes.

Le moteur d'entraînement cesse-t-il de tourner, indiquant ainsi que l'alimentation a été coupée?

- Oui       Non

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

## Couple du moteur d'entraînement

- 14. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez à nouveau le sélecteur MODE à la position MOTEUR.

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de 1500 tr/min.

- 15. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le sélecteur AFFICHAGE à la position COUPLE.

Notez le couple de frottement ( $T_F(\text{MOTEUR})$ ) indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement.

$$T_F(\text{MOTEUR}) = N \cdot m \text{ (lbf} \cdot \text{po)} \quad [n = 1500 \text{ tr/min}]$$

Pourquoi le couple indiqué sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre est-il négatif, alors que la vitesse du moteur d'entraînement est positive (rotation vers la droite)?

---

---

---

Il est à remarquer que l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure indique presque le même couple que l'afficheur du moteur d'entraînement.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez à nouveau le sélecteur AFFICHAGE à la position VITESSE.

- 16. Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés pour obtenir un graphique du couple de frottement du moteur d'entraînement  $T_F(\text{MOTEUR})$  (obtenu sur l'appareil de mesure T) en fonction de sa vitesse (obtenue sur l'appareil de mesure N) en utilisant les données précédemment notées dans le tableau de données (DT111). Nommez ce graphique G111-1, nommez son axe des X Vitesse du moteur d'entraînement, nommez son axe des Y Couple de frottement du moteur d'entraînement et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

Décrivez la façon dont le couple de frottement  $T_F(\text{MOTEUR})$  varie lorsque la vitesse du moteur d'entraînement passe de 0 à 2100 tr/min.

---

---

---

17. Inversez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de -1500 tr/min.

Le couple affiché sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure ( $T_F(\text{MOTEUR})$ ) est-il de signe opposé mais presque égal à celui noté dans le tableau de données DT111 pour la même vitesse?

- Oui       Non

## Mesure du couple $T_{OPP.}(\text{MACHINE})$

18. Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal à la position O (arrêt),

Inversez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT.

Utilisez une courroie crantée pour coupler mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles.

19. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de 1500 tr/min.

Notez le couple d'opposition  $T_{OPP.}$  indiqué sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure.

$$T_{OPP.} = \text{_____} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po) [n = 1500 tr/min]}$$

Comparez le couple d'opposition mesuré au cours de cette manipulation à celui mesuré à la manipulation 15 ( $T_F(\text{MOTEUR})$ ). Expliquez brièvement la différence entre ces deux couples d'opposition.

---

---

---

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

- 20. Dans l'application Appareils de mesure, sélectionnez la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T. Ce dernier indique maintenant le couple d'opposition généré par le moteur à cage d'écureuil à quatre pôles ( $T_{OPP.(MACHINE)}$ ). Notez ce couple ci-dessous.

$$T_{OPP.(MACHINE)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)} \quad [n = 1500 \text{ tr/min}]$$

À l'aide du couple mesuré dans cette manipulation et de celui mesuré dans la précédente, comparez le couple d'opposition généré par le moteur à cage d'écureuil à quatre pôles ( $T_{OPP.(MACHINE)}$ ) au couple d'opposition total ( $T_{OPP.}$ ).

---

---

---

- 21. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS, passez à la manipulation 22. Sinon, poursuivez celle-ci.

Sur le module Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles, faites basculer la façade vers l'avant afin d'accéder à l'arbre du moteur.

Tournez manuellement l'arbre du moteur. Ce faisant, remarquez la force de torsion que vous appliquez pour faire tourner l'arbre du moteur.

Retirez la courroie crantée couplant le module Moteur d'entraînement/ Dynamomètre au module Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles.

Tournez manuellement l'arbre du moteur. Ce faisant, remarquez la force de torsion que vous appliquez pour faire tourner l'arbre du moteur. Cette force est-elle beaucoup moindre que celle nécessaire pour faire tourner l'arbre du moteur lorsque le moteur est couplé au module Moteur d'entraînement / Dynamomètre?

- Oui       Non

Votre réponse est-elle compatible avec celle obtenue lors de la comparaison des couples d'opposition effectuée à la manipulation 20? Expliquez brièvement.

---

---

---

- 22. Mettez l'interrupteur 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

## CONCLUSION

Comme vous l'avez observé au cours de cette expérience, le moteur d'entraînement est à la base un convertisseur tension-vitesse. Sa vitesse et son sens de rotation sont directement proportionnels à l'amplitude et à la polarité de sa tension d'entrée, respectivement. Plus sa tension d'entrée est élevée, plus le moteur tourne vite. Une inversion de la polarité de la tension d'entrée inverse le sens de rotation du moteur d'entraînement. Vous avez vu qu'on représente une rotation vers la gauche par une vitesse négative. Vous avez observé qu'un faible couple est généré, car le moteur d'entraînement doit contrecarrer le couple de frottement  $T_F(\text{MOTEUR})$ , et que le signe du couple indiqué varie en fonction du sens de rotation. Vous avez découvert que le couple indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement (ou sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure) est le couple qui s'oppose à la rotation du moteur d'entraînement ( $T_{\text{OPP.}}$ ) et, donc, que sa polarité est inversée par rapport à celle de la vitesse. Vous avez observé que le couple d'opposition  $T_{\text{OPP.}}$  augmente lorsqu'une machine tournante est couplée au moteur d'entraînement. Vous avez vérifié que le couple affiché sur l'appareil de mesure T peut être corrigé de façon à ce que ce dernier indique le couple d'opposition généré par la machine entraînée ( $T_{\text{OPP.}}(\text{MACHINE})$ ). Vous avez découvert que le couple d'opposition généré par le moteur à cage d'écureuil à quatre pôles ( $T_{\text{OPP.}}(\text{MACHINE})$ ) est beaucoup plus faible que le couple total d'opposition à la rotation du moteur d'entraînement ( $T_{\text{OPP.}}$ ).

## EXERCICES

1. Quel genre de relation existe-il entre la vitesse du moteur d'entraînement et la tension appliquée à son entrée?
  - a. Une relation linéaire.
  - b. Une relation parabolique.
  - c. Une relation exponentielle.
  - d. La vitesse du moteur d'entraînement est indépendante de la tension appliquée à son entrée.
2. Que signifie une vitesse négative du moteur d'entraînement?
  - a. Qu'il y a rotation vers la droite.
  - b. Qu'il y a rotation vers la gauche.
  - c. Que le moteur d'entraînement génère un couple pour entraîner une charge.
  - d. Que le moteur d'entraînement reçoit de la puissance d'une charge.
3. Pourquoi l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre indique-t-il un couple même si aucune charge mécanique n'est appliquée à l'arbre de la machine?
  - a. L'afficheur est probablement défectueux.
  - b. Parce que le moteur d'entraînement doit générer un couple pour contrecarrer le frottement.
  - c. Pour indiquer la puissance électrique fournie au moteur d'entraînement.
  - d. Pour indiquer la puissance mécanique fournie au moteur d'entraînement.

# Fonctionnement d'un moteur d'entraînement

4. Dans le cas d'une rotation vers la gauche, le couple indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement est-il négatif ou positif?
  - a. Négatif.
  - b. Positif.
  - c. Cela dépend de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement.
  - d. Cela dépend de la tension appliquée.
  
5. Comment peut-on inverser le sens de rotation du moteur d'entraînement?
  - a. En le raccordant à un bloc d'alimentation c.a.
  - b. En inversant les fils à son entrée.
  - c. En débranchant soudainement la charge qui y est raccordée.
  - d. En débranchant soudainement la tension à son entrée.

## Fonctionnement d'un dynamomètre

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'expliquer le fonctionnement d'un dynamomètre au moyen du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Vous serez capable d'utiliser le dynamomètre avec l'application Appareils de mesure de LVDAM pour mesurer le couple à la sortie d'un moteur.

### PRINCIPES

Le dynamomètre faisant partie du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre est un dispositif pouvant être couplé à un moteur au moyen d'une courroie crantée. Il est utilisé pour charger mécaniquement le moteur et en mesurer la vitesse et le **couple de sortie**. La charge mécanique du moteur peut être modifiée au moyen du bouton COMMANDE DE LA CHARGE se trouvant sur le dynamomètre. Cela permet l'étude du comportement d'un moteur avec différentes charges.

Le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre comporte un afficheur numérique commun à ses parties moteur d'entraînement et dynamomètre qui permet de lire directement la vitesse ou le couple. Le raccordement de la SORTIE VITESSE et de la SORTIE COUPLE de ce module aux entrées correspondantes sur le module IAD permet la mesure et l'affichage de la vitesse et du couple au moyen des appareils de mesure N et T de l'application Appareils de mesure de LVDAM.

La vitesse affichée sur l'afficheur du module ou sur l'appareil N de l'application Appareils de mesure de LVDAM correspond à la vraie vitesse à laquelle tourne le dynamomètre. Elle est positive dans le cas d'une rotation vers la droite et négative dans le cas d'une rotation vers la gauche.

La charge mécanique générée par un dynamomètre lorsqu'il est couplé à un moteur comprend le frottement à l'intérieur du dispositif de couplage (courroie crantée), le frottement à l'intérieur du dynamomètre (roulement, balais et ventilation) ainsi que le couple magnétique que génère le dynamomètre pour s'opposer à la rotation du moteur ( $T_M(\text{DYN.})$ ). L'effet combiné de ces frottements et de ce couple génère un couple de charge ( $T_{\text{CHARGE}}$ ) qui s'oppose à la rotation du moteur couplé au dynamomètre, tel que l'indique l'équation suivante :

$$T_{\text{CHARGE}} = T_F(\text{COURROIE}) + T_F(\text{DYN.}) + T_M(\text{DYN.})$$

où  $T_F(\text{COURROIE})$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par le frottement de la courroie,  
 $T_F(\text{DYN.})$  est le couple s'opposant à la rotation et est généré par le frottement à l'intérieur du dynamomètre,  
 $T_M(\text{DYN.})$  est le couple magnétique généré à l'intérieur du dynamomètre et s'oppose à la rotation.

# Fonctionnement d'un dynamomètre

La figure 1-11 illustre les forces s'opposant à la rotation lorsqu'un moteur est couplé au dynamomètre.

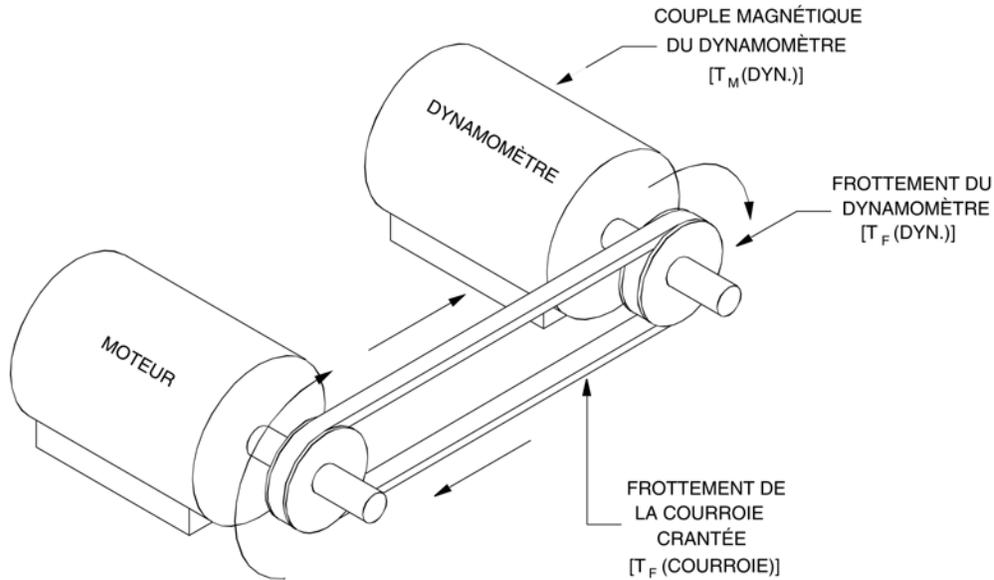


Figure 1-11. Forces s'opposant à la rotation du moteur.

Les couples  $T_F(COURROIE)$  et  $T_F(DYN.)$ , générés par le frottement, varient en fonction de la vitesse, tout comme le couple  $T_F(MOTEUR)$  de l'expérience précédente. Cependant, le couple  $T_M(DYN.)$  ne varie pas en fonction de la vitesse, mais on peut le faire varier de 0 à 3 N·m (0 à 27 lbf·po) au moyen du bouton COMMANDE DE LA CHARGE se trouvant sur le dynamomètre. On peut donc faire varier le couple de charge  $T_{CHARGE}$  en faisant varier le couple  $T_M(DYN.)$ .

La valeur absolue du couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre ( $T_D(DYN.)$ ) est la même que celle du couple magnétique  $T_M(DYN.)$ , mais ils sont de signes opposés. En d'autres mots, le couple  $T_D(DYN.)$  est égal à  $-T_M(DYN.)$ . Cela signifie que l'afficheur de couple du dynamomètre indique le couple que doit générer le moteur couplé au dynamomètre pour contrecarrer l'opposition à la rotation générée par le couple  $T_M(DYN.)$ . Le couple affiché dans le cas d'une rotation vers la droite (positive) est donc positif. Celui affiché dans le cas d'une rotation vers la gauche (négative) est négatif. Bref, le couple et la vitesse affichés sur le dynamomètre sont toujours de la même polarité. Lorsque le bouton COMMANDE DE LA CHARGE est réglé à son minimum (vers la gauche, jusqu'au bout), le couple  $T_M(DYN.)$  est nul, ce qui fait que le couple  $T_D(DYN.)$  sur l'afficheur du dynamomètre est également nul. Ces deux couples augmentent lorsqu'on tourne le bouton COMMANDE DE LA CHARGE vers la droite.

Cependant, le couple  $T_D(DYN.)$  indiqué sur l'afficheur du dynamomètre ne correspond pas au couple de sortie ( $T_{SORTIE}$ ) du moteur couplé au dynamomètre. Pour tourner, ce moteur doit générer un couple de sortie  $T_{SORTIE}$  suffisant pour contrecarrer le couple de charge  $T_{CHARGE}$ , qui correspond au couple magnétique  $T_M(DYN.)$  du dynamomètre, plus le couple de frottement de la courroie  $T_F(COUR-$

# Fonctionnement d'un dynamomètre

ROIE), plus le couple de frottement du dynamomètre  $T_F(\text{DYN.})$ . En d'autres mots, le couple de sortie du moteur  $T_{\text{SORTIE}}$  doit être égal au couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$ , mais de signe opposé. On retrouve ces informations dans l'équation suivante :

$$T_{\text{SORTIE}} = - T_{\text{CHARGE}} = - (T_M(\text{DYN.}) + T_F(\text{COURROIE}) + T_F(\text{DYN.}))$$

Puisque  $-T_M(\text{DYN.})$  est égal au couple  $T_D(\text{DYN.})$  indiqué sur l'afficheur du dynamomètre, l'équation précédente peut être réécrite comme suit :

$$T_{\text{SORTIE}} = - T_{\text{CHARGE}} = T_D(\text{DYN.}) - (T_F(\text{COURROIE}) + T_F(\text{DYN.}))$$

Cette équation dit simplement que le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur peut être déterminé en soustrayant du couple  $T_D(\text{DYN.})$ , indiqué sur le dynamomètre ou sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure, la somme du couple de frottement de la courroie  $T_F(\text{COURROIE})$  et du couple de frottement du dynamomètre  $T_F(\text{DYN.})$ . Une fonction de cette fenêtre permet de corriger le couple indiqué sur l'appareil de mesure T ( $T_D(\text{DYN.})$ ), de façon à ce qu'il représente le couple de sortie du moteur  $T_{\text{SORTIE}}$ . Cette fonction soustrait simplement de  $T_D(\text{DYN.})$  la somme des valeurs nominales  $T_F(\text{COURROIE})$  et  $T_F(\text{DYN.})$ . Le couple corrigé, c'est-à-dire le couple de sortie du moteur  $T_{\text{SORTIE}}$ , est toujours supérieur au couple initial non corrigé ( $T_D(\text{DYN.})$ ) indiqué sur le dynamomètre, car la polarité des couples  $T_F(\text{COURROIE})$  et  $T_F(\text{DYN.})$  est toujours inversée par rapport à celle du couple  $T_D(\text{DYN.})$ .

## Sommaire des manipulations

Dans cette expérience, vous allez coupler deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre l'un à l'autre. L'un sera utilisé comme moteur d'entraînement et l'autre comme dynamomètre. Puisque deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre sont nécessaires, la collaboration de deux groupes d'étudiants est recommandée pour réaliser cette expérience.

**Remarque :** Les étudiants réalisant cette expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS n'ont pas à collaborer avec un autre groupe, car de nombreux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre sont disponibles dans LVSIM<sup>®</sup>-EMS.

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 1-12 et effectuer les réglages appropriés sur les deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez faire varier la tension appliquée au moteur d'entraînement et tourner le bouton COMMANDE DE LA CHARGE, tout en observant la vitesse et le couple indiqués sur le moteur d'entraînement et le dynamomètre. Cela vous permettra de vous familiariser avec le fonctionnement du dynamomètre.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez corriger le couple indiqué sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure (même couple que celui indiqué sur le dynamomètre), afin d'obtenir le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur d'entraînement.

# Fonctionnement d'un dynamomètre

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS, puis montez côte-à-côte deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre de gauche sera utilisé comme moteur d'entraînement et celui de droite, comme dynamomètre.

Couplez mécaniquement les deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre l'un à l'autre au moyen d'une courroie crantée.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Exécutez LVDAM afin d'afficher l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez les modules comme à la figure 1-12.

# Fonctionnement d'un dynamomètre

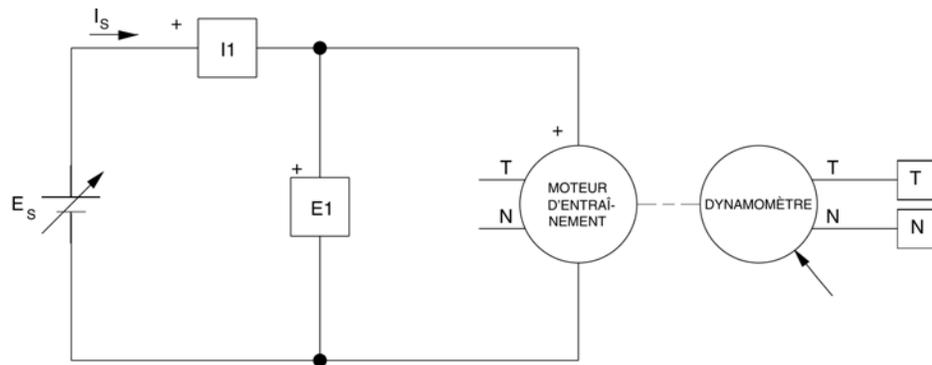


Figure 1-12. Moteur d'entraînement couplé à un dynamomètre.

6. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme moteur d'entraînement, effectuez les réglages suivants :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information supplémentaire s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme dynamomètre, effectuez les réglages suivants :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
(vers la gauche, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... COUPLE

**Remarque :** Pour le reste de cette expérience, le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme moteur d'entraînement sera appelé moteur d'entraînement et le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme dynamomètre sera appelé dynamomètre.

## Fonctionnement du dynamomètre

7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de 1500 tr/min.

# Fonctionnement d'un dynamomètre

Vérifiez si le couple  $T_D(\text{DYN.})$  indiqué sur l'afficheur du dynamomètre et sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure est nul. Expliquez brièvement.

---

---

8. Sur le moteur d'entraînement, réglez le sélecteur AFFICHAGE à la position COUPLE. Notez ci-dessous le couple d'opposition  $T_{\text{OPP.}}$  indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement.

$$T_{\text{OPP.}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)} \quad \begin{array}{l} [n = 1500 \text{ tr/min}] \\ [T_D(\text{DYN.}) = 0 \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}] \end{array}$$

Expliquez brièvement pourquoi les couples indiqués sur le moteur d'entraînement et sur le dynamomètre sont différents même si les deux machines sont mécaniquement couplées l'une à l'autre.

---

---

Qu'est-ce qui génère le couple d'opposition indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement?

---

---

9. Sur le dynamomètre, tournez lentement le bouton COMMANDE DE LA CHARGE vers la droite, jusqu'à ce que le couple  $T_D(\text{DYN.})$ , indiqué sur l'afficheur du dynamomètre et sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure, soit égal à 1,0 N·m (9,0 lbf·po). Ce faisant, observez la vitesse indiquée sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

Qu'advient-il de la vitesse lorsque le couple  $T_D(\text{DYN.})$  passe de 0 à 1,0 N·m (0 à 9,0 lbf·po)?

---

---

Il est à remarquer que la polarité du couple  $T_D(\text{DYN.})$  est identique à celle de la vitesse n (indiquée sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure). Pourquoi?

---

---

---

# Fonctionnement d'un dynamomètre

10. Sur le Bloc d'alimentation, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de 1500 tr/min.

Notez ci-dessous le couple d'opposition  $T_{OPP}$ , indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement.

$$T_{OPP} = \text{_____} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)} \quad \begin{array}{l} [n = 1500 \text{ tr/min}] \\ [T_D(\text{DYN.}) = 1 \text{ N}\cdot\text{m (9 lbf}\cdot\text{po)}] \end{array}$$

11. Sur le dynamomètre, tournez le bouton COMMANDE DE LA CHARGE vers la droite, jusqu'à ce que le couple  $T_D(\text{DYN.})$  indiqué sur l'afficheur du dynamomètre et sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure soit de 2,0 N·m (18,0 lbf·po).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur tourne à une vitesse 1500 tr/min.

Notez ci-dessous le couple d'opposition  $T_{OPP}$ , indiqué sur l'afficheur du moteur d'entraînement.

$$T_{OPP} = \text{_____} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)} \quad \begin{array}{l} [n = 1500 \text{ tr/min}] \\ [T_D(\text{DYN.}) = 2 \text{ N}\cdot\text{m (18 lbf}\cdot\text{po)}] \end{array}$$

**Remarque :** *Puisque le couple nominal continu du dynamomètre (1,0 N·m, 9 lbf·po) est excédé, il est recommandé de réduire temporairement la charge à une valeur inférieure à 0,5 N·m (4,5 lbf·po) pour répondre aux questions suivantes. Cela empêchera le dynamomètre de surchauffer.*

De quelle façon le couple  $T_{OPP}$  a-t-il varié lorsque le couple  $T_D(\text{DYN.})$  a augmenté de 0 à 2,0 N·m (0 à 18 lbf·po)? Expliquez brièvement.

---

---

---

Comparez la variation du couple  $T_{OPP}$  à la variation du couple  $T_M(\text{DYN.})$  (souvenez-vous que  $T_M(\text{DYN.}) = -T_D(\text{DYN.})$ ).

---

---

## Mesure du couple de sortie

12. Assurez-vous que le couple  $T_D(\text{DYN.})$  indiqué sur le dynamomètre et sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure est de 2,0 N·m (18,0 lbf·po).

Dans l'application Appareils de mesure, sélectionnez la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T. L'appareil de mesure T

# Fonctionnement d'un dynamomètre

indique maintenant le couple de sortie du moteur d'entraînement  $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$ . Notez ce couple ci-dessous.

$$T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)} \quad [n = 1500 \text{ tr/min}]$$
$$[T_{\text{D}}(\text{DYN.}) = 2 \text{ N}\cdot\text{m (18 lbf}\cdot\text{po)}]$$

Qu'est-il advenu du couple indiqué sur l'appareil de mesure T lorsque vous avez sélectionné la fonction de correction du couple? Expliquez brièvement.

---

---

Comparez le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$  au couple d'opposition  $T_{\text{OPP.}}$  mesuré au cours de la manipulation précédente (sans tenir compte de la polarité). Expliquez brièvement pourquoi le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$  est légèrement inférieur au couple d'opposition  $T_{\text{OPP.}}$

---

---

---

13. Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal à la position O (arrêt).

Inversez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de -1500 tr/min.

Notez ci-dessous le couple de sortie du moteur d'entraînement  $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$ .

$$T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)} \quad [n = -1500 \text{ tr/min}]$$
$$[T_{\text{D}}(\text{DYN.}) = 2 \text{ N}\cdot\text{m (-18 lbf}\cdot\text{po)}]$$

Quel est l'effet d'un changement du sens de rotation sur le couple de sortie du moteur d'entraînement  $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$ ?

---

---

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), l'interrupteur 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

# Fonctionnement d'un dynamomètre

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez vu que le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre, ou sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure, est le couple que doit générer le moteur couplé au dynamomètre (un moteur d'entraînement dans cette expérience) pour contrecarrer le couple magnétique  $T_M(\text{DYN.})$  généré par le dynamomètre et s'opposant à la rotation. Vous avez observé que ce couple augmente lorsque le couple  $T_M(\text{DYN.})$  augmente, c'est-à-dire lorsque le bouton COMMANDE DE LA CHARGE est tourné vers la droite. Vous avez également observé que la vitesse du moteur diminue lorsque  $T_M(\text{DYN.})$  augmente, à cause de la charge magnétique additionnelle du moteur. Vous avez vu que le couple indiqué sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure peut être corrigé de façon à représenter le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur raccordé au dynamomètre. Vous avez observé que le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  est légèrement supérieur au couple non corrigé indiqué sur l'afficheur du dynamomètre, car il comprend le couple que doit générer le moteur pour contrecarrer le couple de frottement de la courroie  $T_F(\text{COURROIE})$  et le couple de frottement du dynamomètre  $T_F(\text{DYN.})$ .

## EXERCICES

1. Le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$  généré par le dynamomètre est égal à
  - a.  $T_F(\text{COURROIE}) + T_F(\text{DYN.})$ .
  - b.  $-T_M(\text{DYN.})$ .
  - c.  $-(T_F(\text{COURROIE}) + T_F(\text{DYN.}) + T_M(\text{DYN.}))$ .
  - d.  $T_F(\text{COURROIE}) + T_F(\text{DYN.}) + T_M(\text{DYN.})$ .
2. Qu'indique l'afficheur du dynamomètre lorsque le sélecteur AFFICHAGE est à la position COUPLE?
  - a. La somme du couple de frottement du dynamomètre  $T_F(\text{DYN.})$  et du couple de frottement de la courroie  $T_F(\text{COURROIE})$ .
  - b. Le couple magnétique généré par le dynamomètre et s'opposant à la rotation ( $T_M(\text{DYN.})$ ).
  - c. Le couple que doit générer le moteur couplé au dynamomètre pour contrecarrer le couple magnétique  $T_M(\text{DYN.})$ , c'est-à-dire  $-T_M(\text{DYN.})$ .
  - d. Le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$  généré par le dynamomètre.

# Fonctionnement d'un dynamomètre

3. Pourquoi le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre est-il nul lorsqu'un moteur entraîne le dynamomètre et que le bouton COMMANDE DE LA CHARGE est à son minimum?
  - a. L'afficheur est probablement défectueux.
  - b. Parce que le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre est le couple généré par le moteur pour contrecarrer le couple  $T_M(\text{DYN.})$  et que le couple  $T_M(\text{DYN.})$  est nul lorsque le bouton COMMANDE DE LA CHARGE est à son minimum.
  - c. Parce que le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre est le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$  et qu'il est nul lorsque le bouton COMMANDE DE LA CHARGE est à son minimum.
  - d. Parce que le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre est le couple de frottement du dynamomètre  $T_F(\text{DYN.})$  et qu'il est nul lorsque le bouton COMMANDE DE LA CHARGE est réglé à son minimum.
  
4. Un moteur d'entraînement est couplé mécaniquement à un dynamomètre. La position du bouton COMMANDE DE LA CHARGE du dynamomètre est modifiée et le couple affiché sur le moteur d'entraînement passe de -2,3 à -0,9 N·m (-20,4 à -8,0 lbf·po). De combien le couple magnétique  $T_M(\text{DYN.})$  généré par le dynamomètre varie-t-il?
  - a. Le couple magnétique  $T_M(\text{DYN.})$  augmente de 1,4 N·m (12,4 lbf·po).
  - b. Le couple magnétique  $T_M(\text{DYN.})$  diminue de 1,4 N·m (12,4 lbf·po).
  - c. Le couple magnétique  $T_M(\text{DYN.})$  ne varie pas, car le couple affiché sur le moteur d'entraînement ne dépend pas du couple  $T_M(\text{DYN.})$ .
  - d. Aucune de ces réponses.
  
5. L'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure est utilisé pour afficher le couple indiqué sur l'afficheur d'un dynamomètre couplé à un moteur c.c. La fonction de correction du couple est activée. Qu'indique alors l'appareil de mesure T?
  - a. Le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$ .
  - b. La somme du couple de frottement de la courroie  $T_F(\text{COURROIE})$ , du couple de frottement du dynamomètre  $T_F(\text{DYN.})$  et du couple magnétique du dynamomètre  $T_M(\text{DYN.})$ .
  - c. Le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur couplé au dynamomètre moins le couple de frottement de la courroie  $T_F(\text{COURROIE})$ .
  - d. Le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur couplé au dynamomètre.

## Puissance motrice, pertes et rendement

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la puissance motrice, les pertes et le rendement au moyen du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

### PRINCIPES

On a défini le couple comme étant une force de torsion faisant tourner un objet. Dans les moteurs électriques, cette force de torsion est due à l'interaction de champs magnétiques et elle est liée au courant circulant à l'intérieur du moteur. Puisque les forces magnétiques à l'intérieur du rotor d'un moteur c.c. sont générées par la circulation d'un courant dans une boucle de fil, une augmentation de ce courant produit une augmentation de l'intensité des forces magnétiques. Le moteur génère alors un couple plus important, c'est-à-dire une **puissance motrice** plus importante, et consomme davantage de puissance électrique.

Le moteur d'entraînement que vous avez utilisé est en réalité un moteur c.c. et il convertit la puissance électrique en puissance mécanique. La figure 1-13 représente la circulation et les pertes de puissance dans un moteur c.c.

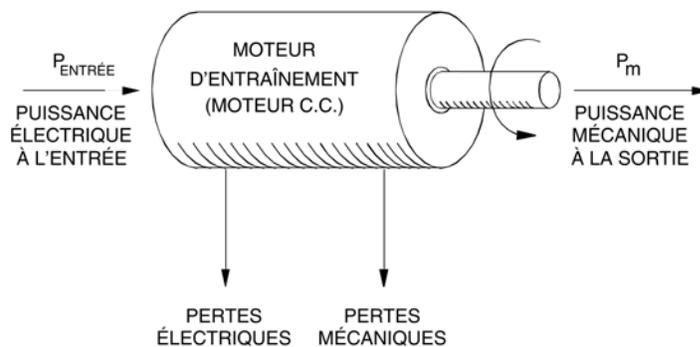


Figure 1-13. Circulation de la puissance dans un moteur c.c.

Le **rendement d'un moteur** électrique est exprimé par le rapport de la puissance mécanique à sa sortie sur la puissance électrique à son entrée,  $P_m / P_{ENTRÉE}$ . La

# Puissance motrice, pertes et rendement

puissance mécanique à la sortie d'un moteur dépend de sa vitesse et de son couple. Elle peut être déterminée à l'aide de l'une des deux formules suivantes, selon que le couple est exprimé en N·m ou en lbf·po :

$$P_m = \frac{n \times T}{9,55} \quad (\text{couple exprimé en N}\cdot\text{m})$$

$$P_m = \frac{n \times T}{84,51} \quad (\text{couple exprimé en lbf}\cdot\text{po})$$

Bien qu'une valeur spécifique à sa tension nominale soit parfois donnée, le rendement d'un moteur est habituellement illustré au moyen d'un graphique de rendement en fonction de la puissance mécanique à sa sortie.

Il y a deux catégories de pertes à l'intérieur d'une machine tournante : les pertes mécaniques et les pertes électriques. Les pertes mécaniques sont dues au frottement du roulement, au frottement des balais ainsi qu'au frottement dû à la ventilation ou au ventilateur de refroidissement. Ces pertes varient un peu lorsque la vitesse augmente de zéro à sa valeur nominale, mais elles demeurent relativement constantes dans la plage de fonctionnement normal, c'est-à-dire entre le moment où il y a fonctionnement à vide et le moment où il y a fonctionnement à pleine charge. La figure 1-14 comporte un graphique illustrant les pertes et le rendement en fonction de la puissance mécanique à la sortie d'un moteur c.c. de 10 kW.

Il y a trois catégories de pertes électriques : les pertes dans le cuivre, les pertes dans les balais et les pertes dans le fer. Les pertes dans le cuivre ( $I^2R$ ) sont dues à la résistance du fil utilisé dans la machine. Elles sont dissipées sous forme de chaleur et dépendent du courant circulant dans la machine. Les pertes dans les balais sont habituellement très faibles et elles sont dues à la résistance de contact de chacun des balais, qui provoque une chute de tension de 0,8 à 1,3 V. Enfin, les pertes dans le fer sont dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault circulant à l'intérieur de la machine. Elles dépendent de la densité du flux magnétique, de la vitesse de rotation ou de la fréquence, du type d'acier et des dimensions du moteur.

# Puissance motrice, pertes et rendement

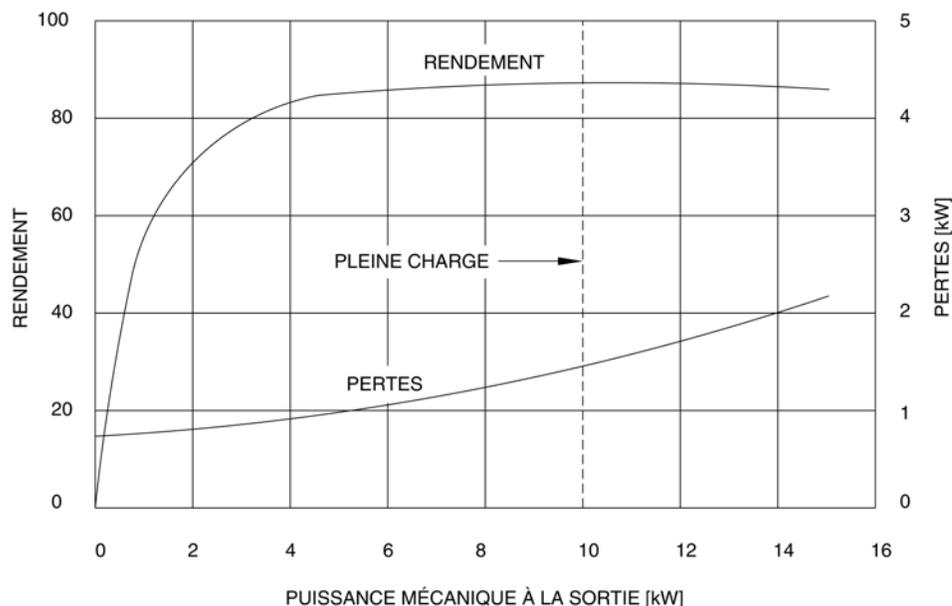


Figure 1-14. Graphique exprimant les pertes et le rendement d'un moteur c.c. de 10 kW.

## Sommaire des manipulations

Dans cette expérience, vous allez coupler deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre l'un à l'autre. L'un sera utilisé comme moteur d'entraînement et l'autre comme dynamomètre. Puisque deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre sont nécessaires, la collaboration de deux groupes d'étudiants est recommandée pour réaliser cette expérience.

**Remarque :** Les étudiants réalisant cette expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS n'ont pas à collaborer avec un autre groupe, car de nombreux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre sont disponibles dans LVSIM<sup>®</sup>-EMS.

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 1-15 et effectuer les réglages appropriés sur les deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez régler la vitesse du moteur d'entraînement à 1500 tr/min et tournez le bouton COMMANDE DE LA CHARGE du dynamomètre afin de régler la charge mécanique appliquée au moteur d'entraînement. Vous allez ensuite mesurer la vitesse, le couple de sortie ( $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$ ) et la puissance à l'entrée ( $P_{\text{ENTRÉE}}(\text{MOTEUR})$ ) du moteur d'entraînement. Vous allez utiliser les valeurs ainsi mesurées pour calculer la puissance mécanique à la sortie du moteur d'entraînement ( $P_m(\text{MOTEUR})$ ), le rendement ( $\eta(\text{MOTEUR})$ ) et la perte de puissance du moteur d'entraînement. Vous allez comparer la puissance mécanique de sortie et le rendement calculé aux valeurs mesurées au moyen des appareils de mesure de l'application Appareils de mesure.

# Puissance motrice, pertes et rendement

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez faire varier la charge mécanique appliquée au moteur par incréments de 0,2 N·m (1,5 lbf·po). Pour chaque incrémentation, vous allez noter les données dans le tableau de données, afin de tracer un graphique du rendement du moteur d'entraînement en fonction de la puissance mécanique à sa sortie.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS



### ATTENTION!

**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS, puis montez côte-à-côte deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre de gauche sera utilisé comme moteur d'entraînement et celui de droite, comme dynamomètre.

Couplez mécaniquement les deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre l'un à l'autre au moyen d'une courroie crantée.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Exécutez LVDAM afin d'afficher l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Puissance motrice, pertes et rendement

- 5. Raccordez les modules comme à la figure 1-15.
- 6. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme moteur d'entraînement, effectuez les réglages suivants :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre avant d'effectuer ces réglages, afin de visualiser l'information additionnelle relative à ce réglage se trouvant sur la façade.

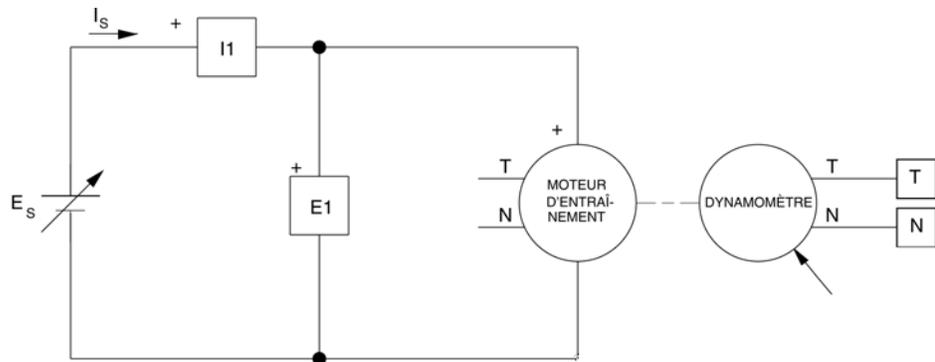


Figure 1-15. Montage servant à mesurer la puissance, les pertes et le rendement du moteur d'entraînement.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme dynamomètre, effectuez les réglages suivants :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
 COMMANDE DE LA CHARGE  
 Sélecteur MODE ..... MAN.  
 Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
 (vers la gauche, jusqu'au bout)  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... COUPLE

**Remarque :** Pour le reste de cette expérience, le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme moteur d'entraînement sera appelé moteur d'entraînement et le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre utilisé comme dynamomètre sera appelé dynamomètre.

Dans l'application Appareils de mesure, sélectionnez la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T.

# Puissance motrice, pertes et rendement

## Mesure du rendement du moteur d'entraînement

7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de 1500 tr/min.

Sur le dynamomètre, réglez le bouton COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre soit de 1,0 N·m (9,0 lbf·po).

8. Notez ci-dessous la vitesse (n) et le couple de sortie ( $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$ ) du moteur d'entraînement. Ces valeurs sont indiquées sur les appareils de mesure N et T de l'application Appareils de mesure.

$$n = \text{_____ tr/min}$$

$$T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR}) = \text{_____ N·m (lbf·po)}$$

Calculez la puissance mécanique à la sortie du moteur d'entraînement ( $P_m(\text{MOTEUR})$ ) à l'aide de la vitesse n, du couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})$  du moteur d'entraînement et de l'une des formules suivantes, selon que le couple est exprimé en N·m ou lbf·po :

$$P_m(\text{MOTEUR}) = \frac{n \times T_{\text{SORTIE}}(\text{MOTEUR})}{9,55} \quad (\text{couple } \epsilon)$$

$$P_m(\text{MOTEUR}) = \text{_____ W}$$

Notez ci-dessous la puissance mécanique à la sortie du moteur d'entraînement  $P_m(\text{MOTEUR})$ , indiquée sur l'appareil de mesure Pm de l'application Appareils de mesure.

$$P_m(\text{MOTEUR}) = \text{_____ W (puissance mesurée)}$$

Comparez les puissances mécaniques calculées et mesurées à la sortie du moteur d'entraînement  $P_m(\text{MOTEUR})$ . Sont-elles presque égales?

Oui       Non

9. Notez ci-dessous la puissance électrique à l'entrée du moteur d'entraînement ( $P_{\text{ENTRÉE}}(\text{MOTEUR})$ ), indiquée sur l'appareil de mesure PQS1 de l'application Appareils de mesure.

$$P_{\text{ENTRÉE}}(\text{MOTEUR}) = \text{_____ W}$$

# Puissance motrice, pertes et rendement

Comparez la puissance mécanique à la sortie du moteur d'entraînement  $P_m(\text{MOTEUR})$  à la puissance électrique à l'entrée du moteur d'entraînement  $P_{\text{ENTRÉE}}(\text{MOTEUR})$ . Quelle est la puissance perdue à l'intérieur du moteur d'entraînement?

---

---

10. Au moyen de la puissance électrique mesurée à l'entrée du moteur d'entraînement  $P_{\text{ENTRÉE}}(\text{MOTEUR})$ , de la puissance mécanique à sa sortie  $P_m(\text{MOTEUR})$  et de la formule suivante, calculez le rendement du moteur d'entraînement ( $\eta(\text{MOTEUR})$ ) :

$$\eta(\text{MOTEUR}) = \frac{P_m(\text{MOTEUR})}{P_{\text{ENTRÉE}}(\text{MOTEUR})} \times 100\%$$

$\eta(\text{MOTEUR}) = \underline{\hspace{2cm}} \%$

Notez ci-dessous le rendement du moteur d'entraînement  $\eta(\text{MOTEUR})$  indiqué sur l'appareil de mesure A de l'application Appareils de mesure.

$\eta(\text{MOTEUR}) = \underline{\hspace{2cm}} \%$

Comparez le rendement calculé du moteur d'entraînement à son rendement mesuré  $\eta(\text{MOTEUR})$ . Sont-ils presque équivalents?

- Oui       Non

**Remarque :** Le rendement du moteur d'entraînement peut sembler relativement faible, mais cela est caractéristique des valeurs obtenues avec de petits moteurs. Généralement, le rendement des moteurs de puissance inférieure à 10 kW est compris entre 60% et 85%. Dans le cas de moteurs de puissance nominale supérieure à 10 kW, le rendement peut atteindre 98%.

## Rendement en fonction de la puissance mécanique à la sortie

11. Sur le dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout). Le couple indiqué sur l'afficheur du dynamomètre devrait être de 0,0 N·m (0,0 lbf·po).

Sur le Bloc d'alimentation, tournez légèrement le bouton de commande de la tension de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement soit égale à 1500 tr/min (au besoin).

12. Dans l'application Appareils de mesure, notez dans le Tableau de données la tension, le courant, la puissance électrique à l'entrée, la vitesse, le couple de sortie, la puissance mécanique à la sortie et le rendement (indiqués sur les appareils de mesure E1, I1, PQS1, N, T, Pm et A, respectivement) du moteur d'entraînement.

# Puissance motrice, pertes et rendement

Sur le dynamomètre, tournez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur son afficheur augmente par incréments de 0,2 N·m (1,5 lbf·po), jusqu'à 2,0 N·m (18,0 lbf·po). Pour chaque couple réglé, notez dans le Tableau de données la tension, le courant, la puissance électrique à l'entrée, la vitesse, etc., du moteur d'entraînement.

- 13. Lorsque toutes les données sont notées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, intitulez le tableau de données DT131 et imprimez-le.

**Remarque :** *Pour apprendre à nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.*

- 14. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique du rendement du moteur d'entraînement (obtenu au moyen de l'appareil de mesure A) en fonction de la puissance mécanique à sa sortie (obtenue au moyen de l'appareil de mesure Pm). Intitulez le graphique G131, nommez son axe des X Puissance mécanique à la sortie du moteur d'entraînement, nommez son axe des Y Rendement du moteur d'entraînement et imprimez-le.

**Remarque :** *Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.*

Décrivez la façon dont le rendement du moteur d'entraînement varie en fonction de la puissance mécanique à sa sortie.

---

---

---

Comparez le graphique G131 à celui de la figure 1-14.

---

---

- 15. Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

# Puissance motrice, pertes et rendement

## CONCLUSION

Cette expérience vous a permis de calculer la puissance mécanique à la sortie d'un moteur en utilisant sa vitesse et son couple de sortie. Vous en avez déterminé le rendement en calculant le rapport de la puissance mécanique à sa sortie sur la puissance électrique à son entrée et vous en avez tracé la courbe de rendement en fonction de la puissance mécanique à sa sortie.

## EXERCICES

1. Quelle est la formule servant à calculer la puissance mécanique à la sortie d'un moteur?

a.  $P_m = \frac{n \times T}{9,55}$  (couple en N·m)

$$P_m = \frac{n \times T}{84,51} \text{ (couple en lbf}\cdot\text{po)}$$

b.  $P_m = n \times T \times 9,55$  (couple en N·m)  
 $P_m = n \times T \times 84,51$  (couple en lbf·po)

c.  $P_m = \frac{n}{9,55 \times T}$  (couple en N·m)

$$P_m = \frac{n}{84,51 \times T} \text{ (couple en lbf}\cdot\text{po)}$$

d.  $P_m = \frac{n}{T} \times 9,55$  (couple en N·m)

$$P_m = \frac{n}{T} \times 84,51 \text{ (couple en lbf}\cdot\text{po)}$$

2. Quelle est la définition du rendement d'un moteur?

a. Il s'agit de la vitesse à laquelle il effectue un travail.

b. Il s'agit de la quantité de travail qu'il effectue.

c. Il s'agit du rapport de la puissance mécanique à sa sortie sur la puissance électrique à son entrée.

d. Il s'agit de la différence entre la puissance à son entrée et la puissance à sa sortie, en watts.

3. Un moteur c.c. tourne à une vitesse de 1460 tr/min et génère un couple de sortie de 23,5 N·m (208 lbf·po). La tension c.c. appliquée à ce moteur est de 280 V et le courant y circulant est de 14,1 A. Quel est le rendement de ce moteur?

a. 94%

b. 91%

c. 79%

d. 86%

# Puissance motrice, pertes et rendement

4. En utilisant les données de la question précédente, calculez la puissance dissipée à l'intérieur du moteur.
  - a. 829 W
  - b. 553 W
  - c. 355 W
  - d. 237 W
  
5. Quelles sont les deux principales catégories de pertes à l'intérieur des machines tournantes?
  - a. Les pertes dans le cuivre et les pertes dans le fer.
  - b. Les pertes électriques et les pertes dans le cuivre.
  - c. Les pertes mécaniques et les pertes dans le fer.
  - d. Les pertes électriques et les pertes mécaniques.

## Questions récapitulatives

1. Lorsqu'un module Moteur d'entraînement / Dynamomètre fonctionne en moteur d'entraînement, pourquoi son afficheur indique-t-il un couple même lorsque aucune charge n'est appliquée à l'arbre de la machine?
  - a. Parce que le moteur d'entraînement doit générer un couple pour contrecarrer le frottement.
  - b. Parce que l'afficheur du moteur d'entraînement est probablement défectueux.
  - c. Pour indiquer la puissance mécanique fournie au moteur d'entraînement.
  - d. Pour indiquer la puissance électrique fournie au moteur d'entraînement.
  
2. Une boucle de fil en mouvement coupe un champ magnétique. Sachant que le flux magnétique embrassant la boucle passe de 0 à 280 mWb en 0,05 seconde lorsque la boucle coupe le champ magnétique, quelle est la tension induite à ses bornes?
  - a. 14 V
  - b. 5,6 kV
  - c. 5,6 V
  - d. 0,014 V
  
3. Un moteur d'entraînement est couplé mécaniquement à un dynamomètre. Qu'advient-il de la vitesse du moteur d'entraînement lorsque le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du dynamomètre est réglé de façon à diminuer le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$ ?
  - a. La vitesse diminue lentement jusqu'à ce que le moteur cesse de tourner.
  - b. La vitesse ne varie pas.
  - c. La vitesse augmente.
  - d. La vitesse devient instable, car le moteur d'entraînement réagit fortement aux variations du couple de charge.
  
4. Qu'indique l'afficheur d'un module Moteur d'entraînement / Dynamomètre fonctionnant en dynamomètre lorsque son sélecteur AFFICHAGE est réglé à la position COUPLE?
  - a. Le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$  généré par le dynamomètre.
  - b. Le couple magnétique généré par le dynamomètre et s'opposant à la rotation ( $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$ ).
  - c. La somme du couple de frottement du dynamomètre  $T_{\text{F}}(\text{DYN.})$  et du couple de frottement de la courroie  $T_{\text{F}}(\text{COURROIE})$ .
  - d. Le couple que doit générer le moteur couplé au dynamomètre pour contrecarrer le couple magnétique  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$ , c'est à dire l'inverse additif de  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$ .

## Questions récapitulatives (suite)

5. L'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure est utilisé pour afficher le couple indiqué sur l'afficheur d'un module Moteur d'entraînement / Dynamomètre couplé à un moteur et fonctionnant en dynamomètre. La fonction de correction du couple est activée. Qu'indique alors l'appareil de mesure T?
- Le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur couplé au dynamomètre moins le couple de frottement de la courroie  $T_{\text{F}}(\text{COURROIE})$ .
  - La somme du couple de frottement de la courroie  $T_{\text{F}}(\text{COURROIE})$ , du couple de frottement du dynamomètre  $T_{\text{F}}(\text{DYN.})$  et du couple magnétique du dynamomètre  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$ .
  - Le couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  du moteur couplé au dynamomètre.
  - Le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$ .
6. Le moteur d'une pompe à eau génère un couple de sortie  $T_{\text{SORTIE}}$  de 10 N·m (88,5 lbf·po). Quel est le travail effectué par le moteur de cette pompe s'il tourne à une vitesse de 3000 tr/min pendant 10 minutes?
- 31,4 kW.
  - 3,14 kJ.
  - 1,88 MJ.
  - 31,4 kJ.
7. Un moteur d'entraînement est couplé mécaniquement à un dynamomètre. Qu'advient-il de la vitesse de ce moteur d'entraînement lorsque le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE est tourné vers la droite pour augmenter le couple de charge  $T_{\text{CHARGE}}$ ?
- La vitesse ne varie pas.
  - La vitesse diminue lentement jusqu'à ce que le moteur cesse de tourner.
  - La vitesse augmente, car le moteur d'entraînement réagit fortement aux variations du couple de charge.
  - La vitesse diminue.
8. Un moteur d'entraînement est couplé mécaniquement à un dynamomètre. Le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du dynamomètre est tourné et le couple affiché sur le moteur d'entraînement passe de 0,4 à 2,6 N·m (3,5 à 23,0 lbf·po). Quelle est la variation du couple magnétique  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$  généré par le dynamomètre?
- Le couple magnétique  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$  ne varie pas, car le couple affiché sur le moteur d'entraînement est indépendant du couple  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$ .
  - Le couple magnétique  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$  augmente de 2,2 N·m (19,5 lbf·po).
  - Le couple magnétique  $T_{\text{M}}(\text{DYN.})$  diminue de 2,2 N·m (19,5 lbf·po).
  - Aucune de ces réponses.

## Questions récapitulatives (suite)

9. Un moteur c.c. tourne à une vitesse de 530 tr/min et génère un couple de sortie de 162 N·m (1434 lbf·po). La tension c.c. appliquée au moteur est de 280 V. Sachant que la puissance dissipée à l'intérieur du moteur est de 473 W, quel est le rendement  $\eta$  du moteur et quel est le courant  $I_M$  circulant dans le moteur?
- a.  $\eta = 91\%$ ,  $I_M = 33,8$  A
  - b.  $\eta = 95\%$ ,  $I_M = 32,1$  A
  - c.  $\eta = 91\%$ ,  $I_M = 32,1$  A
  - d.  $\eta = 95\%$ ,  $I_M = 33,8$  A
10. Lorsqu'un moteur entraîne une charge à une vitesse plus élevée, sa puissance est-elle supérieure ou inférieure?
- a. Elle est supérieure.
  - b. Elle est inférieure.
  - c. Ni supérieure, ni inférieure, car la puissance et la vitesse sont indépendantes.
  - d. Cela dépend du sens de rotation du moteur.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Moteurs et génératrices c.c.

### OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure d'utiliser les modules Moteur / Génératrice c.c. pour démontrer et expliquer le fonctionnement des moteurs et des génératrices c.c.

### PRINCIPES FONDAMENTAUX

#### Principe de fonctionnement des moteurs c.c.

Comme le montre le Bloc 1, les moteurs tournent à cause de l'interaction entre deux champs magnétiques. Le Bloc 2 explique comment ces champs magnétiques sont générés à l'intérieur des moteurs c.c. et comment les champs magnétiques induisent une tension dans les génératrices c.c.

Le principe de base d'un moteur c.c. consiste à créer un aimant tournant à l'intérieur de la partie mobile du moteur, que l'on nomme rotor. On y arrive au moyen d'un dispositif appelé **collecteur**, que l'on trouve sur toutes les machines c.c. Au moyen de la tension c.c. fournie par une source externe, le collecteur génère les courants alternatifs nécessaires à la création de l'aimant tournant. La figure 2-1 illustre le rotor d'un moteur c.c. ainsi que ses principaux composants. Elle montre que le contact électrique entre les lames du collecteur et la source c.c. externe s'effectue au moyen de balais. Il est à remarquer que le rotor d'un moteur c.c. est également appelé induit.

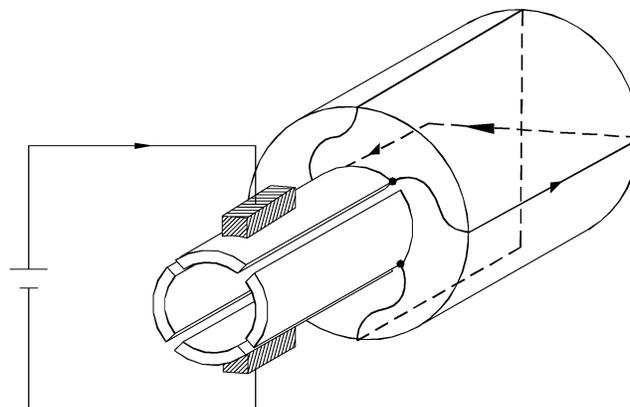


Figure 2-1. Principaux composants du rotor d'un moteur c.c. (induit)

# Moteurs et génératrices c.c.

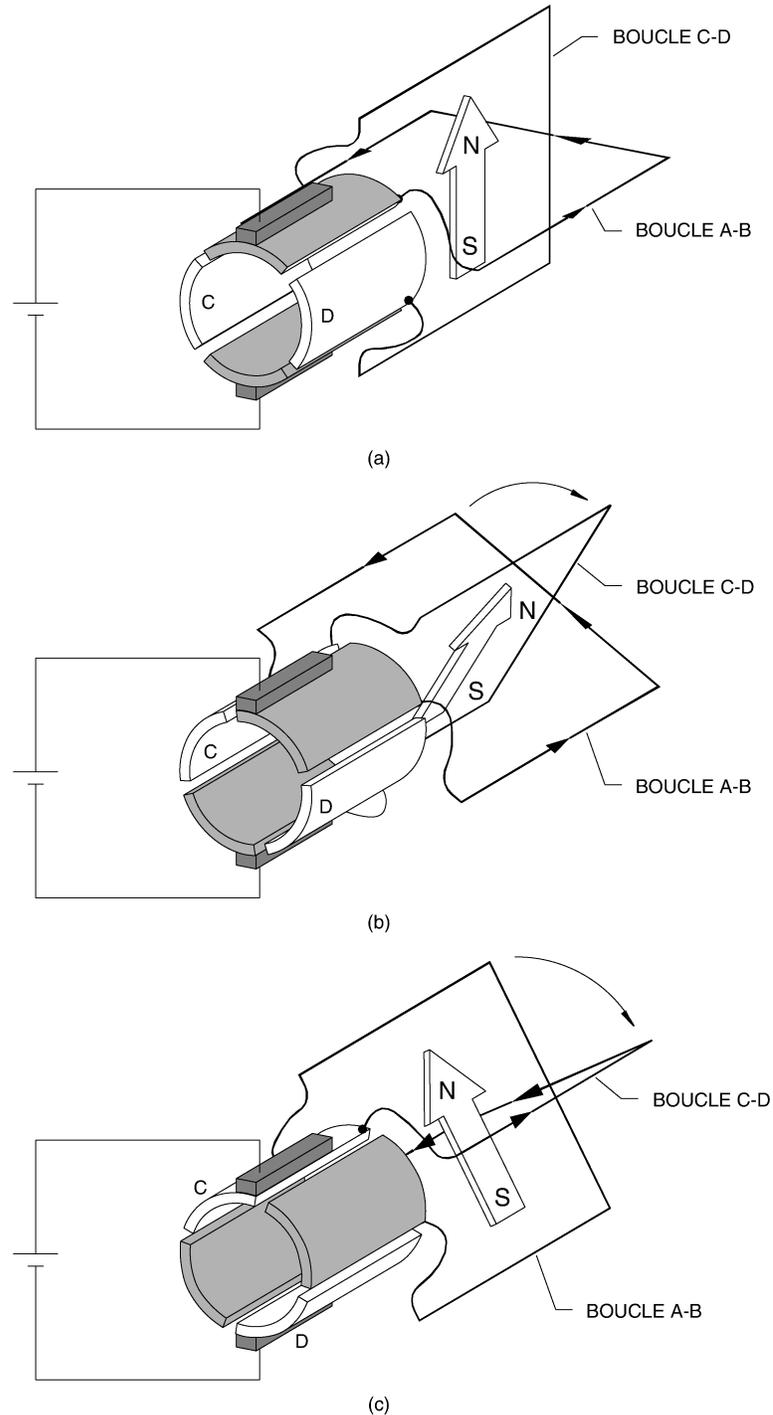


Figure 2-2. Fonctionnement du collecteur.

À la figure 2-2 (a), les balais font contact avec les lames A et B du collecteur et le courant circule dans la boucle A-B. Aucun courant ne circule dans l'autre boucle (C-D). Cela a pour effet de créer un électro-aimant A-B avec pôles nord et sud, comme à la figure 2-2 (a). Si le rotor tourne un peu vers la droite, comme à la figure 2-2 (b),

## Moteurs et génératrices c.c.

le courant continue de circuler dans la boucle A-B et les pôles nord et sud magnétiques tournent vers la droite. Lorsque le rotor continue de tourner vers la droite, il finit par y avoir commutation, c'est à dire que les balais font contact avec les

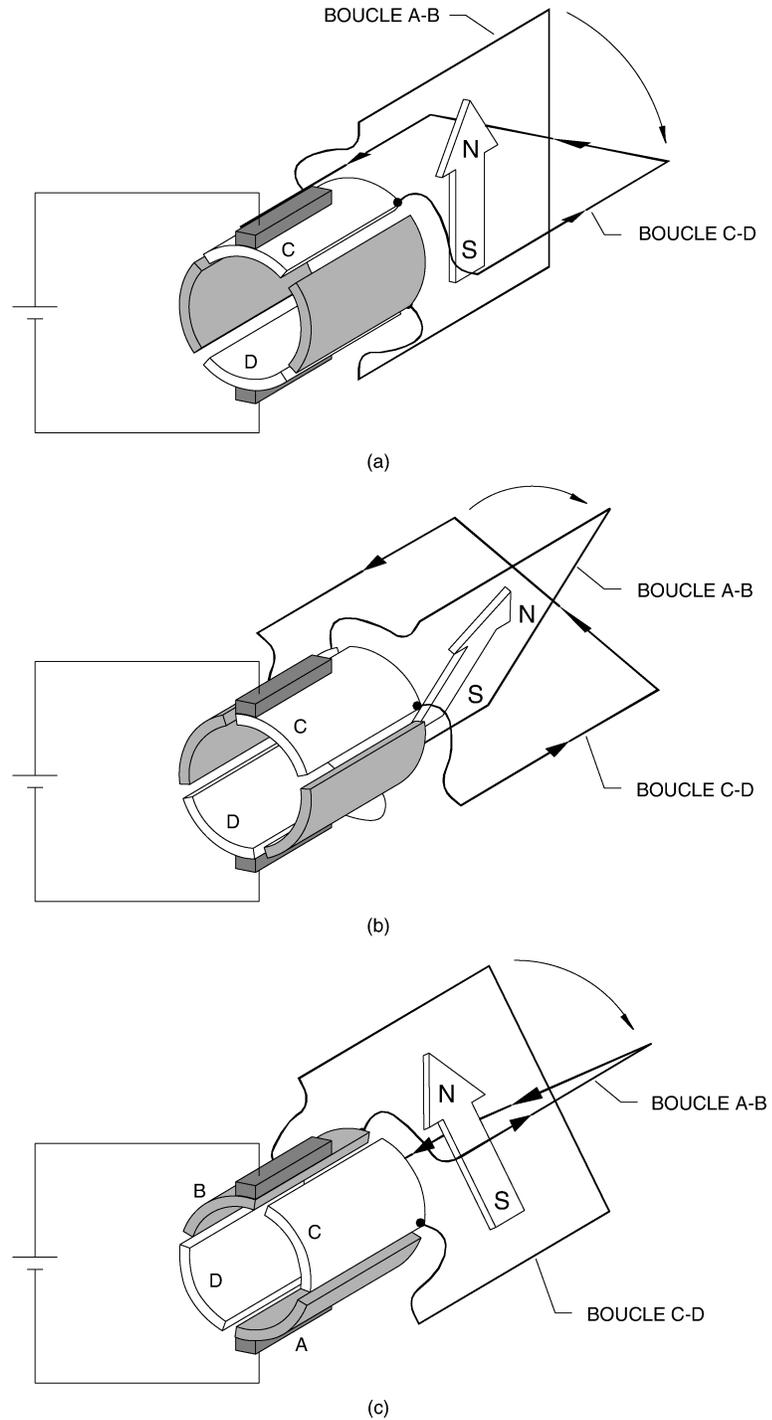


Figure 2-3. Fonctionnement du collecteur (suite).

## Moteurs et génératrices c.c.

lames C et D au lieu d'avec les lames A et B, comme le montre la figure 2-2 (c). Le courant circule alors dans la boucle C-D au lieu de circuler dans la boucle A-B. Cela crée un électro-aimant C-D à pôles nord et sud, comme à la figure 2-2 (c). En comparant les figures 2-2 (b) et 2-2 (c), on peut observer que, lors de la commutation, les pôles nord et sud magnétiques tournent à  $90^\circ$  vers la gauche. Lorsque le rotor continue de tourner vers la droite, le même phénomène se répète à chaque angle de rotation de  $90^\circ$ , comme le montrent les figures 2-3 (a) à 2-3 (c).

Bref, comme le montre la figure 2-4, lorsque le rotor tourne, les pôles nord et sud de l'électro-aimant vont et viennent (oscillent) sur un angle de  $90^\circ$ . En d'autres mots, les pôles nord et sud sont stationnaires, c'est-à-dire qu'ils ne tournent pas lorsque le rotor tourne. Cela est l'équivalent d'un électro-aimant tournant dans le rotor à la même vitesse que ce dernier, mais en sens opposé. Plus le nombre de lames de collecteur est élevé, plus l'angle de rotation entre chaque commutation est faible, et plus l'angle sur lequel oscillent les pôles nord et sud est faible. Par exemple, les pôles nord et sud n'oscilleraient que sur un angle de  $11,25^\circ$  si le collecteur des figures 2-2 et 2-4 possédait 32 lames.

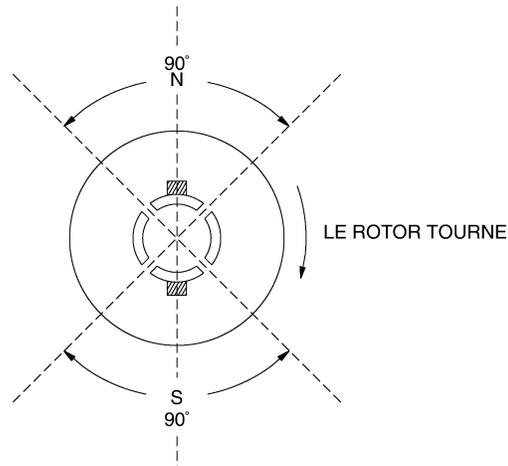
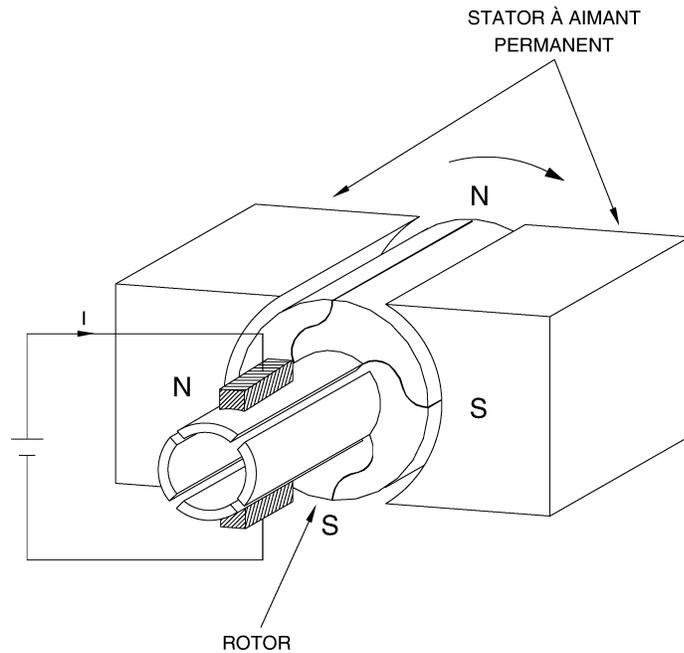


Figure 2-4. Les pôles nord et sud oscillent autour d'un point fixe.

Si ce rotor est placé près d'un gros **stator** fixe à aimant permanent, comme à la figure 2-5, les pôles magnétiques de polarités opposées s'attirent (afin de s'aligner) et le rotor commence à tourner. Une fois qu'il a tourné d'un certain angle, il y a commutation et les pôles nord et sud de l'électro-aimant reprennent leur place. Encore une fois, les pôles magnétiques de polarités opposées s'attirent et le rotor continue de tourner dans le même sens, afin d'aligner les pôles magnétiques de polarités opposées. Cependant, peu après, une autre commutation survient et les pôles nord et sud de l'électro-aimant reprennent à nouveau leur place. Ce cycle se répète encore et encore. La force résultant de l'interaction entre les deux champs magnétiques est toujours dans le même sens et le rotor tourne continuellement. Ainsi, un convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique, c'est-à-dire un moteur électrique, est réalisé. Le sens de rotation dépend de la polarité de la tension appliquée aux balais du rotor.

## Moteurs et génératrices c.c.



**Figure 2-5. Rotation produite par l'interaction de champs magnétiques à l'intérieur du stator et du rotor. Principe de fonctionnement des génératrices c.c.**

Nous avons vu précédemment que la variation du flux magnétique dans une bobine de fil induit une tension entre les extrémités de celle-ci. Si une boucle de fil est placée entre deux aimants et qu'on la fait tourner, comme à la figure 2-6, des lignes de force magnétiques sont coupées et une tension «e» est induite dans la boucle. La polarité de la tension «e» induite dépend du sens dans lequel la boucle de fil se déplace lorsqu'elle coupe les lignes de force magnétiques. Puisque la boucle de fil coupe les lignes de force magnétiques dans les deux sens pendant un tour complet, la tension induite est une tension c.a. ressemblant à celle illustrée à la figure 2-6.

## Moteurs et génératrices c.c.

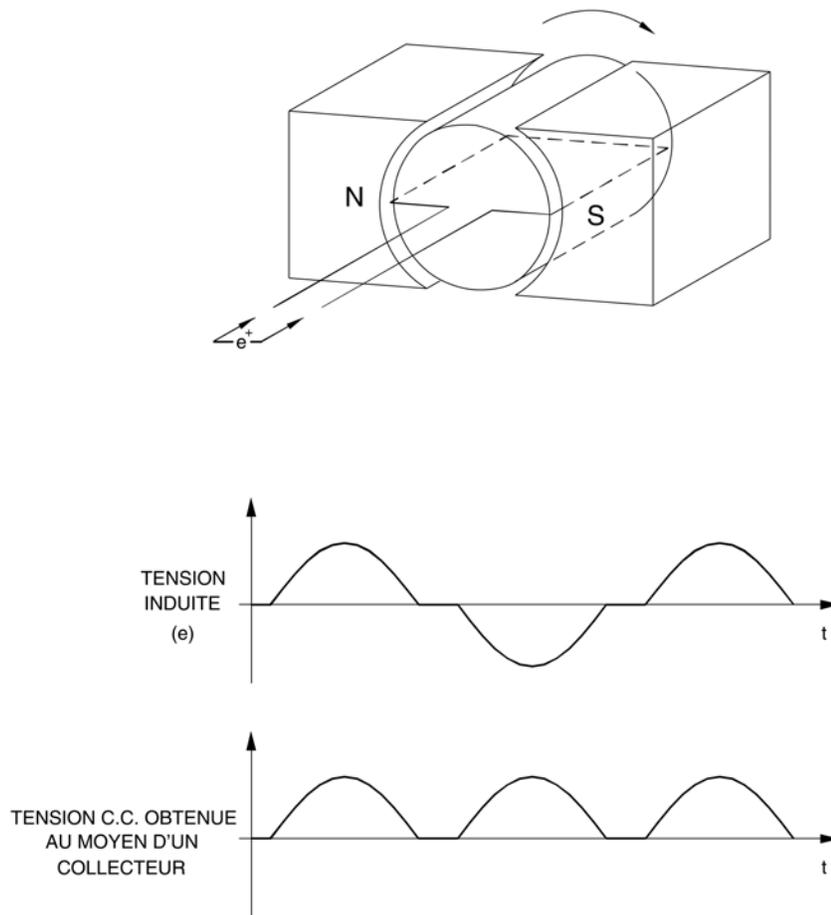


Figure 2-6. Une bobine tournant dans un champ magnétique induit une tension.

Si un collecteur comme celui de la figure 2-1 est utilisé, il se comporte comme un **redresseur** et convertit la tension c.a. induite en tension c.c. (avec ondulation), tel qu'illustré à la figure 2-6. Il y a alors génération d'un courant continu à la sortie de la génératrice. Plus le rotor tourne vite, plus il y a de lignes de force qui sont coupées et plus la tension de sortie est élevée. De plus, plus l'aimant du stator est puissant, plus il y a de lignes de force et, donc, plus la tension de sortie est élevée.

## Le moteur c.c. à excitation séparée

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer les principales caractéristiques de fonctionnement d'un moteur c.c. à excitation séparée au moyen du module Moteur / Génératrice c.c.

### PRINCIPES

Vous avez vu précédemment qu'un moteur c.c. est principalement fabriqué d'un aimant fixe (stator) et d'un aimant tournant (rotor). Dans nombre de moteurs c.c., un électro-aimant est utilisé comme stator, comme le montre la figure 2-7.

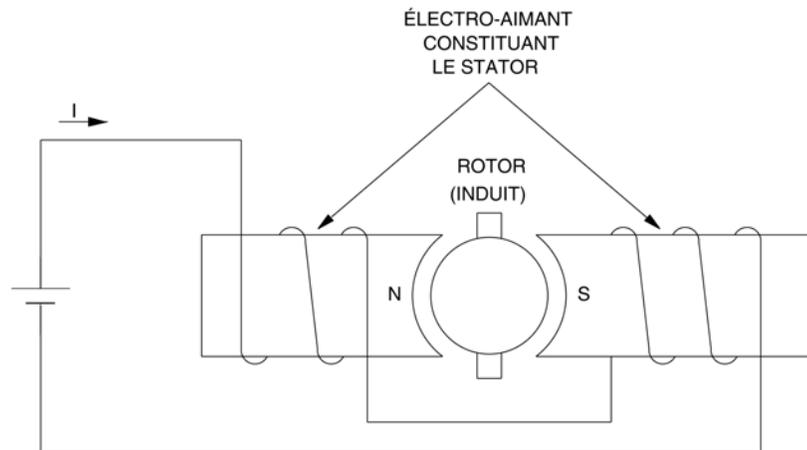


Figure 2-7. Moteur c.c. simplifié possédant un électro-aimant comme stator.

Lorsque la tension de l'électro-aimant du stator est générée par une source c.c. séparée fixe ou variable, le moteur est appelé moteur c.c. à excitation séparée. Il est parfois appelé moteur c.c. à champ indépendant. Le courant circulant dans l'électro-aimant du stator est souvent appelé **courant de champ**, car il est utilisé pour générer un champ magnétique fixe. On peut comprendre le comportement électrique et mécanique du moteur c.c. en observant son circuit équivalent simplifié, qui est illustré à la figure 2-8.

## Le moteur c.c. à excitation séparée

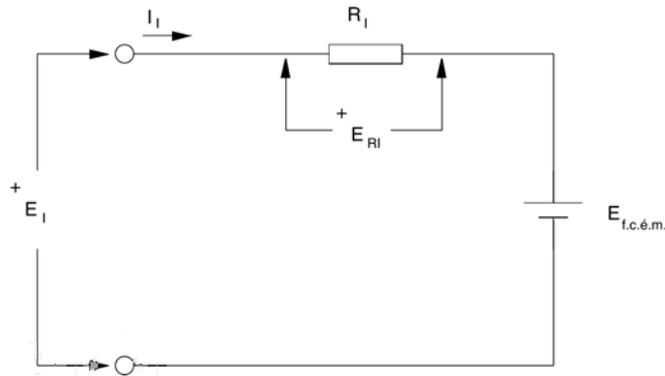


Figure 2-8. Circuit équivalent simplifié d'un moteur c.c.

Dans ce circuit,  $E_I$  est la tension appliquée aux balais du moteur,  $I_I$  est le courant circulant dans les balais et  $R_I$  est la résistance entre les balais. Il est à remarquer que  $E_I$ ,  $I_I$  et  $R_I$  sont habituellement appelés tension d'induit, courant d'induit et résistance d'induit, respectivement. La tension  $E_{R_I}$  correspond à la chute de tension aux bornes de la résistance d'induit. Lorsque le moteur tourne, une tension  $E_{f.c.é.m.}$  proportionnelle à sa vitesse est induite. Cette tension induite est représentée par une source c.c. dans le circuit équivalent simplifié de la figure 2-8. Le moteur génère également un couple  $T$  proportionnel au courant d'induit  $I_I$  le traversant. Le comportement du moteur repose sur les deux équations ci-dessous. La première lie la vitesse  $n$  du moteur à la tension induite  $E_{f.c.é.m.}$  et la seconde, le couple  $T$  du moteur au courant d'induit  $I_I$ .

$$n = K_1 \times E_{f.c.é.m.} \text{ et } T = K_2 \times I_I$$

où  $K_1$  est une constante exprimée en tr/min/V,

$K_2$  est une constante exprimée en N·m/A ou lbf·po/A

Lorsqu'une tension  $E_I$  est appliquée à l'induit d'un moteur c.c. sans charge mécanique, le courant d'induit  $I_I$  circulant dans le circuit équivalent illustré à la figure 2-8 est constant et très faible. La chute de tension  $E_{R_I}$  aux bornes de la résistance d'induit est alors si faible qu'elle est négligeable et on peut considérer la tension  $E_{f.c.é.m.}$  égale à la tension d'induit  $E_I$ . La relation entre la vitesse  $n$  du moteur et la tension d'induit  $E_I$  est donc linéaire, car la tension  $E_{f.c.é.m.}$  est proportionnelle à la vitesse  $n$  du moteur. Cette relation linéaire est illustrée à la figure 2-9 et la pente de la droite est égale à la constante  $K_1$ .

## Le moteur c.c. à excitation séparée

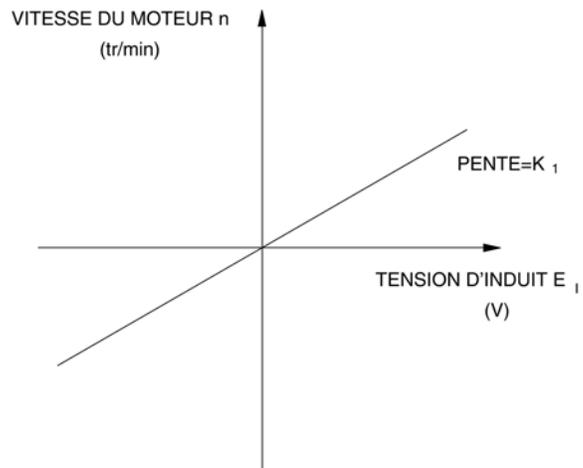


Figure 2-9. Relation linéaire entre la vitesse du moteur et la tension d'induit.

Puisque la relation entre la tension  $E_1$  et la vitesse  $n$  est linéaire, on peut considérer un moteur c.c. comme un convertisseur tension-vitesse linéaire, comme le montre la figure 2-10.

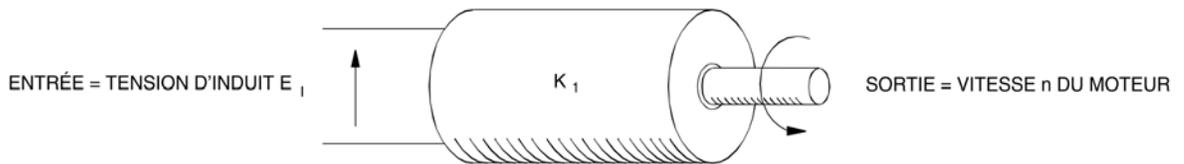


Figure 2-10. Moteur c.c. en convertisseur tension-vitesse.

Il existe le même type de relation entre le couple  $T$  d'un moteur et son courant d'induit  $I_1$ , de sorte qu'un moteur c.c. peut également être considéré comme un convertisseur courant-couple linéaire. La figure 2-11 illustre la relation linéaire existant entre le couple  $T$  d'un moteur et son courant d'induit  $I_1$ . La constante  $K_2$  correspond à la pente de la droite les reliant. Le convertisseur courant-couple est illustré à la figure 2-12.

# Le moteur c.c. à excitation séparée

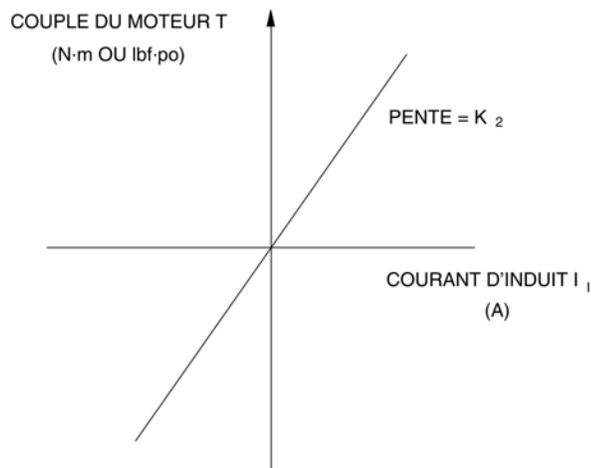


Figure 2-11. Relation linéaire entre le couple d'un moteur et son courant d'induit.

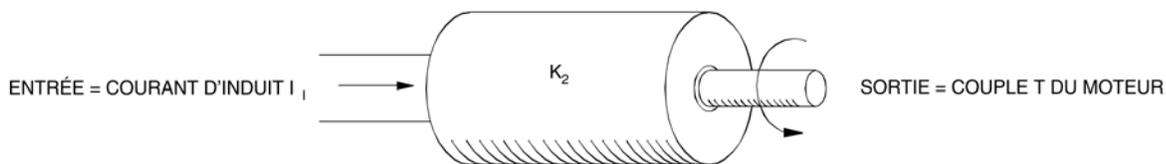


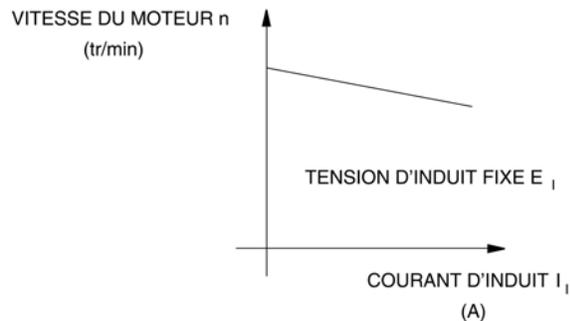
Figure 2-12. Moteur c.c. en convertisseur courant-couple.

Lorsque le courant d'induit  $I_a$  augmente, la tension  $E_{RI}$  ( $R_a \times I_a$ ) aux bornes de la résistance d'induit augmente également et elle n'est plus négligeable. La tension d'induit  $E_a$  ne peut donc plus être considérée égale à  $E_{f.c.é.m.}$ , mais plutôt à la somme de  $E_{f.c.é.m.}$  et  $E_{RI}$ , comme l'indique l'équation suivante :

$$E_a = E_{f.c.é.m.} + E_{RI}$$

Donc, lorsqu'une tension d'induit fixe  $E_a$  est appliquée à un moteur c.c., la chute de tension  $E_{RI}$  aux bornes de la résistance d'induit augmente avec le courant d'induit  $I_a$  et produit une diminution de la tension  $E_{f.c.é.m.}$ . Cela fait également diminuer la vitesse  $n$  du moteur, car celle-ci est proportionnelle à la tension  $E_{f.c.é.m.}$ . Ce phénomène est illustré à la figure 2-13, qui est un graphique de la vitesse  $n$  du moteur en fonction du courant d'induit  $I_a$ , pour une tension d'induit  $E_a$  fixe.

# Le moteur c.c. à excitation séparée



**Figure 2-13. Chute de vitesse du moteur lors d'une augmentation du courant d'induit (tension d'induit  $E_1$  fixe).Sommaire des manipulations**

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, raccorder l'équipement comme à la figure 2-14 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez mesurer la résistance d'induit  $R_1$  du module Moteur / Génératrice c.c. Il est impossible de mesurer la résistance d'induit  $R_1$  directement au moyen d'un ohmmètre conventionnel, car la caractéristique non linéaire des balais du moteur conduit à des résultats erronés lorsque le courant  $I_1$  est trop faible. La technique généralement utilisée pour déterminer la résistance d'induit  $R_1$  consiste à raccorder une source de tension c.c. à l'induit du moteur et à mesurer la tension nécessaire à la circulation d'un courant nominal dans les enroulements de l'induit. L'électro-aimant du stator n'est pas alimenté afin que le moteur ne tourne pas et qu'ainsi la tension  $E_{f.c.é.m.}$  soit nulle. Le rapport de la tension d'induit  $E_1$  sur le courant d'induit  $I_1$  est directement proportionnel à la résistance d'induit  $R_1$ .

**Remarque :** *Le moteur ne commencera pas à tourner, car il est chargé mécaniquement.*

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez mesurer des données et tracer un graphique de la vitesse  $n$  du moteur en fonction de la tension d'induit  $E_1$ , afin de démontrer que la vitesse du moteur c.c. à excitation séparée est proportionnelle à la tension d'induit  $E_1$ , à vide.

Dans la quatrième partie de cette expérience, vous allez mesurer des données et tracer un graphique du couple  $T$  du moteur en fonction du courant d'induit  $I_1$ , afin de démontrer que le couple du moteur c.c. à excitation séparée est proportionnel au courant d'induit  $I_1$ .

Dans la cinquième partie de cette expérience, vous allez démontrer que lorsque la tension d'induit  $E_1$  est réglée à une valeur fixe, la vitesse du moteur c.c. à excitation séparée diminue quand le courant d'induit ou le couple augmente, à cause de l'augmentation de la chute de tension aux bornes de la résistance d'induit.

# Le moteur c.c. à excitation séparée

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur / Génératrice c.c. et Interface d'acquisition de données dans le Poste de travail EMS.

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du système EMS, assurez-vous que les balais du module Moteur / Génératrice c.c. sont ajustés au point neutre. Pour ce faire, raccordez une source de tension c.a. (bornes 4 et N du Bloc d'alimentation) à l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 1 et 2), via l'entrée COURANT I1 du module Interface d'acquisition de données. Raccordez l'enroulement shunt du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 5 et 6) à l'entrée TENSION E1 du module Interface d'acquisition de données. Lancez l'application Appareils de mesure et ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. (indiqué sur l'appareil de mesure I1) égal à la moitié du courant d'induit nominal circule dans l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Ajustez le levier d'ajustement des balais du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que la tension aux bornes de l'enroulement shunt (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit minimale. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), quittez l'application Appareils de mesure et débranchez tous les fils et câbles.

Au moyen d'une courroie crantée, couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur / Génératrice c.c.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

# Le moteur c.c. à excitation séparée

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Montez le circuit du moteur c.c. à excitation séparée illustré à la figure 2-14. Laissez le circuit ouvert aux points A et B illustrés à cette figure.

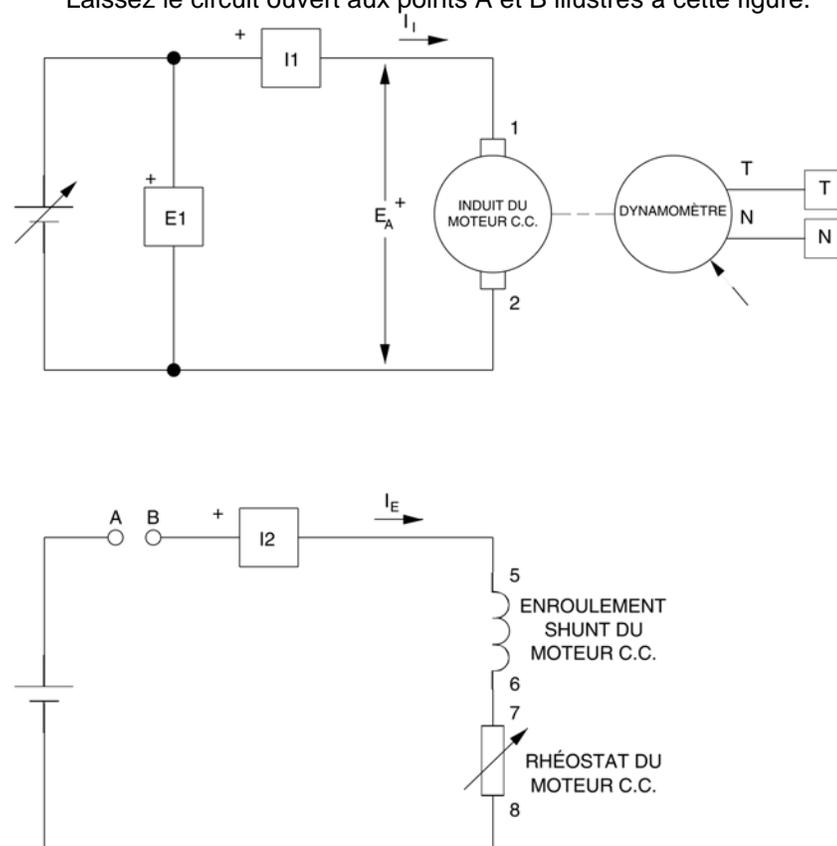


Figure 2-14. Moteur c.c. à excitation séparée couplé à un dynamomètre.

# Le moteur c.c. à excitation séparée

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MAX.  
(vers la droite, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, vous pouvez effectuer un zoom avant du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre avant d'effectuer ces réglages, afin de visualiser l'information supplémentaire s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Détermination de la résistance d'induit

- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le courant nominal d'induit circule dans le module Moteur / Génératrice c.c. Le courant d'induit est indiqué sur l'appareil de mesure I1 de l'application Appareils de mesure.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

Notez la valeur de la résistance d'induit  $R_1$  indiquée sur l'appareil de mesure programmable B.

$$R_1 = \text{_____ } \Omega$$

- 8. Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Raccordez les points A et B illustrés dans le circuit de la figure 2-14.

## Vitesse du moteur en fonction de la tension d'induit

- 9. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout).

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur c.c. à excitation séparée

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., réglez le RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure soit égal à celui indiqué dans le tableau suivant :

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	300
220	190
240	210

Tableau 2-1. Courant d'excitation du moteur c.c.

- 10. Dans l'application Appareils de mesure, choisissez la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T. L'appareil de mesure T indique maintenant le couple de sortie du moteur c.c. Notez dans le Tableau de données la vitesse  $n$  du moteur c.c., sa tension d'induit  $E_i$ , son courant d'induit  $I_i$ , son courant d'excitation  $I_E$  et son couple de sortie  $T$  (indiqués sur les appareils de mesure N, E1, I1, I2 et T, respectivement).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension à 10 %, 20 %, 30 %, etc., jusqu'à 100 %, afin d'augmenter par pas la tension d'induit  $E_i$ . Pour chaque tension réglée, attendez que la vitesse du moteur se stabilise, puis notez les données dans le Tableau de données.

- 11. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, intituler et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

- 12. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la vitesse  $n$  du moteur c.c. (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction de la tension d'induit  $E_i$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1). Intitulez le graphique G211, nommez son axe des X Tension d'induit, nommez son axe des Y Vitesse du moteur c.c. et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure dans le but d'obtenir un graphique, d'intituler un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

## Le moteur c.c. à excitation séparée

Quel type de relation existe-t-il entre la tension d'induit  $E_1$  et la vitesse  $n$  d'un moteur c.c.?

---

Ce graphique confirme-t-il que le moteur c.c. à excitation séparée est l'équivalent d'un convertisseur tension-vitesse linéaire pour lequel une augmentation de tension produit une augmentation de vitesse?

Oui       Non

13. Utilisez les deux points d'extrémité pour calculer la pente  $K_1$  de la relation obtenue dans le graphique G211. Ces points sont indiqués dans le tableau de données DT211.

$$K_1 = \frac{n_2 - n_1}{E_2 - E_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{tr/min}}{\text{V}}$$

Dans la fenêtre Tableau de données, effacez les données enregistrées.

### Couple du moteur en fonction du courant d'induit

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez légèrement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure soit toujours égal à celui indiqué dans le tableau 2-1 (au besoin).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la vitesse du moteur c.c. soit de 1500 tr/min. Notez ci-dessous la tension d'induit  $E_1$ .

$$E_1 = \text{_____ V (n = 1500 tr/min)}$$

15. Dans l'application Appareils de mesure, notez le couple de sortie  $T$ , la tension d'induit  $E_1$ , le courant d'induit  $I_1$ , le courant d'excitation  $I_E$  et la vitesse  $n$  (indiqués sur les appareils de mesure  $T$ ,  $E_1$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  et  $N$ , respectivement) du moteur c.c. dans le Tableau de données.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le sélecteur AFFICHAGE à la position COUPLE, puis réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,2 N·m (2,0 lbf-po), jusqu'à 2,0 N·m (18,0 lbf-po). Pour chaque couple réglé, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation de façon à ce que la tension d'induit  $E_1$  demeure égale à celle notée au cours de la manipulation précédente, puis notez les données dans le Tableau de données.

# Le moteur c.c. à excitation séparée

**Remarque :** Au cours de cette manipulation, le courant d'induit peut dépasser le courant nominal. Dans ce cas, il est recommandé de terminer cette manipulation dans les 5 minutes.

- 16. Lorsque toutes les données sont enregistrées, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout), tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, modifiez le tableau de façon à ne conserver que le couple T, la tension d'induit E<sub>i</sub>, le courant d'induit I<sub>i</sub>, le courant d'excitation I<sub>E</sub> et la vitesse n (données des colonnes T, E1, I1, I2, et N, respectivement) du moteur c.c., intitulez le tableau de données DT212 et imprimez-le.

- 17. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés de façon à obtenir un graphique du couple du moteur c.c. (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T) en fonction du courant d'induit I<sub>i</sub> (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1). Intitulez le graphique G212, nommez son axe des X Courant d'induit, nommez son axe des Y Couple du moteur c.c. et imprimez-le.

Tant que le courant d'induit ne dépasse pas le courant nominal, quel type de relation existe-t-il entre le courant d'induit I<sub>i</sub> et le couple T du moteur c.c.?

---

Ce graphique confirme-t-il que le moteur c.c. à excitation séparée est l'équivalent d'un convertisseur courant-couple linéaire (lorsque le courant d'induit ne dépasse pas le courant nominal), pour lequel une augmentation du courant produit une augmentation du couple?

- Oui       Non

**Remarque :** À cause d'un phénomène appelé réaction d'induit, lorsque le courant d'induit dépasse le courant nominal, la relation couple en fonction du courant n'est plus linéaire. Ce phénomène est décrit dans le prochain bloc de ce manuel.

- 18. Utilisez les deux points d'extrémité de la partie linéaire de la relation obtenue dans le graphique G212 pour calculer la pente K<sub>2</sub>. Ces points sont indiqués dans le tableau de données DT212.

$$K_2 = \frac{T_2 - T_1}{I_2 - I_1} = \frac{-}{-} = \frac{N \cdot m \text{ (lbf} \cdot \text{po)}}{A}$$

# Le moteur c.c. à excitation séparée

## Diminution de la vitesse en fonction du courant d'induit

- 19. Au moyen de la résistance d'induit  $R_I$ , de la constante  $K_1$  calculée précédemment au cours de cette expérience, de la tension d'induit  $E_I$  mesurée à la manipulation 14 ainsi que des équations ci-dessous, déterminez la vitesse  $n$  du moteur c.c. pour chacun des trois courants d'induit  $I_I$  du tableau 2-2.

$$E_{RI} = I_I \times R_I$$

$$E_{f.c.é.m.} = E_I - E_{RI}$$

$$n = E_{f.c.é.m.} \times K_1$$

TENSION DE LIGNE	COURANT D'INDUIT $I_I$	COURANT D'INDUIT $I_I$	COURANT D'INDUIT $I_I$
V ca	A	A	A
120	1,0	2,0	3,0
220	0,5	1,0	1,5
240	0,5	1,0	1,5

Tableau 2-2. Courants d'induit du moteur c.c.

Lorsque  $I_I$  est égal à \_\_\_\_\_ A :

$$E_{RI} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{f.c.é.m.} = \text{_____} \text{ V}$$

$$n = \text{_____} \text{ tr/min}$$

Lorsque  $I_I$  est égal à \_\_\_\_\_ A :

$$E_{RI} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{f.c.é.m.} = \text{_____} \text{ V}$$

$$n = \text{_____} \text{ tr/min}$$

Lorsque  $I_I$  est égal à \_\_\_\_\_ A :

$$E_{RI} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{f.c.é.m.} = \text{_____} \text{ V}$$

$$n = \text{_____} \text{ tr/min}$$

Selon vos calculs, lors de l'augmentation du courant d'induit, de quelle façon devrait varier la tension  $E_{f.c.é.m.}$  et la vitesse  $n$  du moteur c.c.?

---



---



---

## Le moteur c.c. à excitation séparée

20. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la vitesse du moteur c.c. (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction du courant d'induit  $I_1$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1), en utilisant les données enregistrées précédemment dans le tableau de données (DT212). Intitulez le graphique G212-1, nommez son axe des X Courant d'induit, nommez son axe des Y Vitesse du moteur c.c. et imprimez-le.

Le graphique G212-1 confirme-t-il la prédiction que vous aviez faite au cours de la manipulation précédente au sujet de la variation de la vitesse du moteur c.c. en fonction du courant d'induit  $I_1$ ?

- Oui       Non

Expliquez brièvement la cause de la diminution de la vitesse du moteur c.c. lorsque la tension d'induit  $E_1$  est fixe et que le courant d'induit  $I_1$  augmente.

---

---

---

---

21. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la vitesse du moteur c.c. (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction du couple T du moteur c.c. (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T), en utilisant les données enregistrées précédemment dans le tableau de données (DT212). Intitulez le graphique G212-2, nommez son axe des X Couple du moteur c.c. à excitation séparée, nommez son axe des Y Vitesse du moteur c.c. à excitation séparée et imprimez-le. Ce graphique sera utilisé dans la prochaine expérience de ce bloc.
22. Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt), puis débranchez tous les fils et câbles.

### EXPÉRIENCES ADDITIONNELLES

#### Graphiques vitesse-tension et couple-courant pour des raccordements d'induit inversés

Vous pouvez obtenir des graphiques de la vitesse  $n$  du moteur c.c. en fonction de la tension d'induit  $E_1$ , ainsi que des graphiques du couple T du moteur c.c. en fonction du courant d'induit  $I_1$  avec des raccordement d'induit inversés. Pour ce faire, vous devez vous assurer que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et inverser les fils raccordés aux bornes 7 et N du Bloc d'alimentation. Consultez les manipulations 6 à 17 de cette expérience afin de noter les données nécessaires et d'obtenir les graphiques. Cela vous permettra de vérifier si les relations linéaires entre la vitesse et la tension d'induit ainsi qu'entre le couple et le courant d'induit sont valides, indépendamment de la polarité de la tension

Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur c.c. à excitation séparée

d'induit. En recalculant les constantes  $K_1$  et  $K_2$ , vous allez vous rendre compte qu'elles sont indépendantes de la polarité de la tension d'induit.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez appris à mesurer la résistance d'induit d'un moteur c.c. Vous avez observé que la vitesse d'un moteur c.c. à excitation séparée est proportionnelle à la tension d'induit appliquée au moteur. Vous avez constaté que le couple généré par un moteur c.c. est proportionnel au courant d'induit. Vous avez observé que lorsque la tension d'induit est fixe, la vitesse d'un moteur c.c. diminue en même temps que le courant d'induit augmente. Vous avez démontré que cette diminution de vitesse est due à l'augmentation de la chute de tension aux bornes de la résistance d'induit lorsque le courant d'induit augmente.

Si vous avez effectué les expériences additionnelles, vous avez observé que les courbes de la vitesse en fonction de la tension et du couple en fonction du courant ne sont pas altérées par la polarité de la tension d'induit. Vous avez également observé que le sens de rotation est inversé lorsque la polarité de la tension d'induit est inversée.

## EXERCICES

1. Quel type de relation existe-t-il entre la vitesse et la tension d'induit d'un moteur c.c. à excitation séparée?
  - a. Une relation linéaire.
  - b. Une relation parabolique.
  - c. Une relation exponentielle.
  - d. La vitesse du moteur ne dépend pas de la tension appliquée.
2. Tant que le courant d'induit ne dépasse pas le courant nominal, quel type de relation existe-t-il entre le couple et le courant d'induit d'un moteur c.c. à excitation séparée?
  - a. Une relation linéaire.
  - b. Une relation parabolique.
  - c. Une relation exponentielle.
  - d. Le couple du moteur ne dépend pas du courant.
3. Le raccordement d'une source c.c. à l'induit d'un moteur c.c., qui fonctionne sans courant d'excitation, et la mesure de la tension produite par la circulation d'un courant nominal dans cet induit permettent de déterminer quel paramètre d'un moteur c.c.?
  - a. Le courant nominal d'induit.
  - b. La tension nominale d'induit.
  - c. La résistance d'induit.
  - d. La résistance de l'enroulement d'excitation.

## Le moteur c.c. à excitation séparée

4. Lorsque son courant d'induit augmente, la vitesse d'un moteur c.c. à excitation séparée augmente-t-elle ou diminue-t-elle?
  - a. Elle augmente.
  - b. Elle diminue.
  - c. Elle demeure la même, car la vitesse ne dépend pas du courant du moteur.
  - d. Elle demeure sensiblement la même.
  
5. La résistance d'induit  $R_1$  et la constante  $K_1$  d'un moteur c.c. sont respectivement de  $0,5 \Omega$  et  $5 \text{ tr/min/V}$ . Une tension de  $200 \text{ V}$  est appliquée à ce moteur. À vide, le courant d'induit est de  $2 \text{ A}$ . À pleine charge, le courant d'induit augmente jusqu'à  $50 \text{ A}$ . Quelle est la vitesse du moteur à vide et à pleine charge?
  - a.  $n_{\text{À VIDE}} = 1005 \text{ tr/min}$ ,  $n_{\text{À PLEINE CHARGE}} = 880 \text{ tr/min}$
  - b.  $n_{\text{À VIDE}} = 995 \text{ tr/min}$ ,  $n_{\text{À PLEINE CHARGE}} = 875 \text{ tr/min}$
  - c.  $n_{\text{À VIDE}} = 1000 \text{ tr/min}$ ,  $n_{\text{À PLEINE CHARGE}} = 875 \text{ tr/min}$
  - d. La vitesse ne peut être calculée sans la constante  $K_2$ .



## Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, au moyen du module Moteur / Génératrice c.c., vous serez en mesure de démontrer de quelle façon le courant d'excitation altère les caractéristiques d'un moteur c.c. à excitation séparée. Vous serez également en mesure de démontrer les principales caractéristiques de fonctionnement des moteurs série, shunt et compound.

### PRINCIPES

#### Moteur c.c. à excitation séparée

Il est possible de modifier les caractéristiques d'un moteur c.c. à excitation séparée en modifiant l'intensité du champ magnétique fixe généré par l'électro-aimant de son stator. On peut y arriver en modifiant le courant circulant dans l'électro-aimant du stator. Ce courant est habituellement appelé **courant d'excitation** ( $I_E$ ), car il est utilisé pour générer le champ magnétique fixe à l'intérieur du moteur c.c. Un rhéostat raccordé en série avec l'enroulement de l'électro-aimant peut être utilisé pour faire varier le courant d'excitation.

La figure 2-15 illustre de quelle façon sont altérées les courbes de vitesse en fonction de la tension d'induit et du couple en fonction du courant d'induit du moteur c.c. à excitation séparée, lorsque le courant d'excitation diminue à une valeur inférieure au courant nominal. La constante  $K_1$  augmente et la constante  $K_2$  diminue. Cela signifie que le moteur peut tourner à une vitesse supérieure sans que la tension nominale d'induit ne soit dépassée. Cependant, le couple que peut générer le moteur sans dépasser le courant nominal d'induit est réduit.

## Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

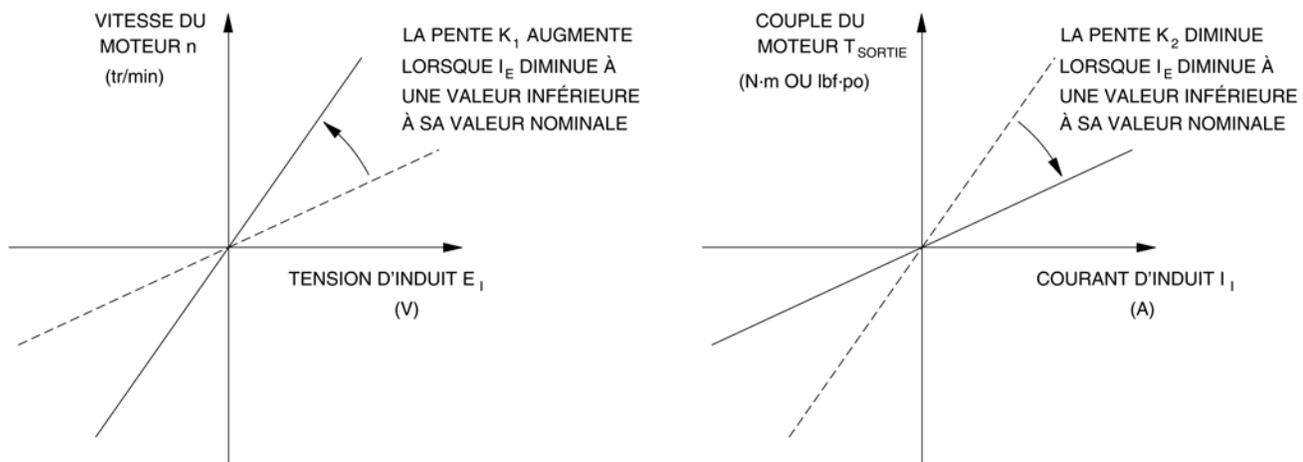


Figure 2-15. Une diminution du courant  $I_E$  à une valeur inférieure à sa valeur nominale altère les constantes  $K_1$  et  $K_2$ .

Il est également possible de régler le courant d'excitation du moteur c.c. à excitation séparée à une valeur supérieure à son courant nominal pendant de courts intervalles de temps. L'effet produit sur les courbes de la vitesse en fonction de la tension d'induit et du couple en fonction du courant d'induit est alors inversé, c'est-à-dire que la constante  $K_1$  diminue et que la constante  $K_2$  augmente. Le moteur peut donc générer un couple plus élevé pendant ces intervalles de temps, mais la vitesse à laquelle il peut tourner sans dépasser la tension nominale d'induit est réduite. L'augmentation du courant d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée lors de son démarrage en augmente le couple et en permet ainsi l'accélération plus rapide.

La façon de monter l'électro-aimant du stator peut également permettre de modifier l'intensité du champ magnétique fixe d'un moteur c.c. L'électro-aimant du stator, ou électro-aimant d'excitation, peut être constitué d'un enroulement shunt raccordé directement à une source de tension c.c., comme c'est le cas dans un moteur c.c. à excitation séparée. Un enroulement shunt peut également être raccordé en parallèle avec l'induit d'un moteur c.c. L'électro-aimant d'excitation peut également être fabriqué au moyen d'un enroulement série et d'une bobine constituée de quelques tours de fil de gros calibre, le tout raccordé en série avec l'induit. Une combinaison des enroulements shunt et série peut également être utilisée pour fabriquer l'électro-aimant d'excitation.

Diverses techniques de fabrication d'électro-aimants ont été utilisées jusqu'ici pour construire plusieurs types de moteurs c.c. possédant des caractéristiques différentes lorsqu'ils sont alimentés par une source c.c. à tension fixe. Cela était nécessaire au moment de l'apparition des premiers moteurs c.c., car les sources c.c. à tension variable n'étaient pas encore disponibles. Ces moteurs c.c., de moins en moins utilisés de nos jours, sont décrits brièvement ci-dessous.

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

## Moteur série

Le moteur série est un moteur dans lequel l'électro-aimant d'excitation est un enroulement série raccordé en série avec l'induit, comme à la figure 2-16. L'intensité de l'électro-aimant d'excitation varie donc en fonction du courant d'induit. Les constantes  $K_1$  et  $K_2$  varient donc lorsque le courant d'induit varie. La figure 2-16 montre la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur série lorsque sa tension d'induit est fixe. Cette caractéristique montre que la vitesse diminue de façon non linéaire lorsque le couple augmente, c'est-à-dire lorsque le courant d'induit augmente.

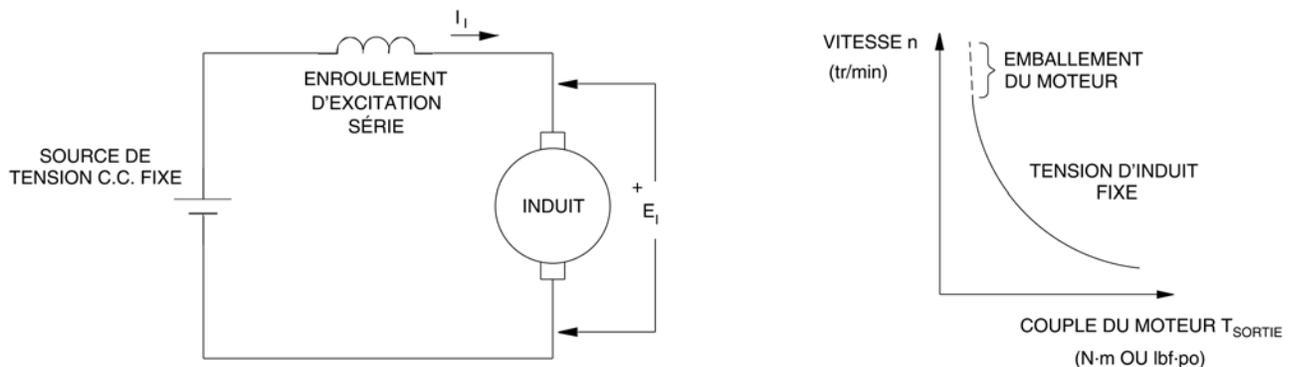


Figure 2-16. Moteur série et sa caractéristique de vitesse en fonction du couple.

Lorsqu'il est alimenté au moyen d'une source c.c. à tension fixe, le moteur série génère un couple de démarrage élevé ainsi qu'une vaste gamme de vitesses de fonctionnement. Cependant, la vitesse, le couple et le courant d'induit dépendent de la charge mécanique appliquée au moteur. Aussi, les caractéristiques de fonctionnement du moteur série étant non linéaires, comme le suggère la courbe de vitesse en fonction du couple de la figure 2-16, il est difficile de faire fonctionner un moteur série à vitesse constante lorsque sa charge mécanique varie. De plus, on doit limiter le courant d'induit, afin qu'il n'endommage pas le moteur lors du démarrage (lorsque la tension d'alimentation est appliquée au moteur). Enfin, un moteur série ne doit jamais tourner à vide, car sa vitesse devient alors extrêmement élevée et il peut subir des dommages (emballement).

De nos jours, le moteur série peut fonctionner avec des sources de tension fixe, comme dans le cas des démarreurs d'automobile, ou avec des sources de tension variable, comme dans le cas des systèmes d'entraînement.

## Moteur shunt

Le moteur shunt est un moteur dans lequel l'électro-aimant d'excitation est un enroulement shunt raccordé en parallèle avec l'induit. Ils sont tous deux raccordés à la source de tension c.c. illustrée à la figure 2-17. Avec une tension d'induit fixe, les constantes  $K_1$  et  $K_2$  sont fixes et la caractéristique de la vitesse en fonction du couple ressemble beaucoup à celle obtenue avec un moteur c.c. à excitation séparée alimenté par une source c.c. à tension fixe, comme à la figure 2-17. Comme pour un moteur c.c. à excitation séparée, on peut modifier les caractéristiques constantes ( $K_1$  et  $K_2$ ) d'un moteur shunt en faisant varier le courant d'excitation au

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

moyen d'un rhéostat. Cependant, il est difficile de modifier la vitesse d'un moteur shunt en faisant varier sa tension d'induit, car cela a pour effet de modifier le courant d'excitation et, donc, les caractéristiques du moteur de façon à créer une opposition à la variation de la vitesse.

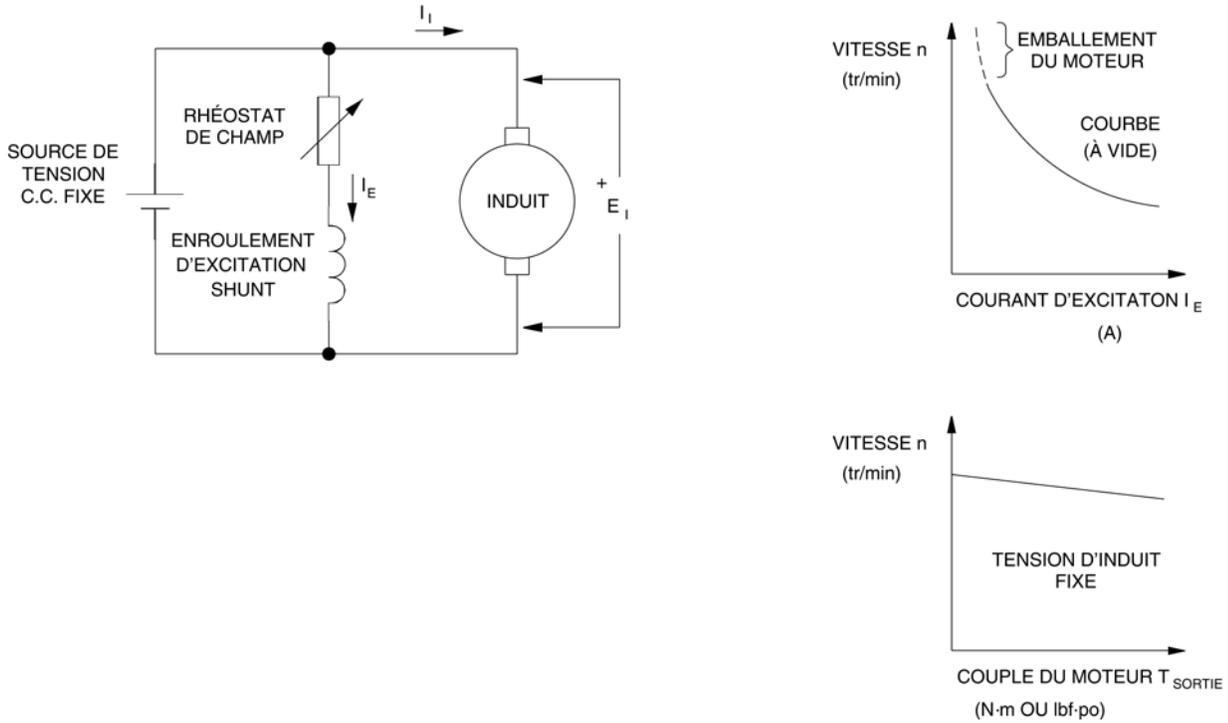


Figure 2-17. Moteur shunt et ses caractéristiques.

Le principal avantage d'un moteur shunt réside dans le fait qu'il ne nécessite qu'une source de tension c.c. fixe pour générer la tension de l'induit et la tension de l'enroulement shunt. De plus, lors d'une variation de sa charge mécanique, sa vitesse varie peu. Cependant, la plage de vitesse d'un moteur shunt est limitée, car on ne peut en modifier facilement la vitesse en faisant varier sa tension d'induit. On doit également limiter son courant d'induit, afin de ne pas endommager le moteur lors du démarrage (lorsqu'une tension est appliquée au moteur). Enfin, lorsqu'un enroulement shunt est ouvert de façon accidentelle, le courant d'excitation  $I_E$  devient nul, la vitesse du moteur augmente rapidement et il y a emballement du moteur, comme l'illustre la caractéristique de la vitesse en fonction du courant d'excitation de la figure 2-17.

## Moteur compound

Il est possible de combiner des enroulements shunt et série afin d'obtenir une caractéristique particulière de vitesse en fonction du couple. Par exemple, pour obtenir une caractéristique selon laquelle la vitesse diminue lorsque le couple du moteur augmente, un enroulement série peut être raccordé en série avec l'induit, de façon à ce que le flux magnétique qu'il génère s'ajoute à celui que génère un enroulement shunt. Le flux magnétique augmente donc automatiquement lorsque le courant d'induit augmente. Ce type de moteur c.c. est appelé moteur compound

## Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

cumulatif, car les flux magnétiques que génèrent les enroulements série et shunt s'additionnent. Les enroulements shunt et série peuvent également être raccordés de façon à ce que les flux magnétiques se soustraient, ce qui produit un moteur compound différentiel. Ce type de moteur est rarement utilisé, car il devient instable lorsque son courant d'induit augmente. La figure 2-18 comporte un moteur compound et sa caractéristique de vitesse en fonction du couple (compound cumulatif).

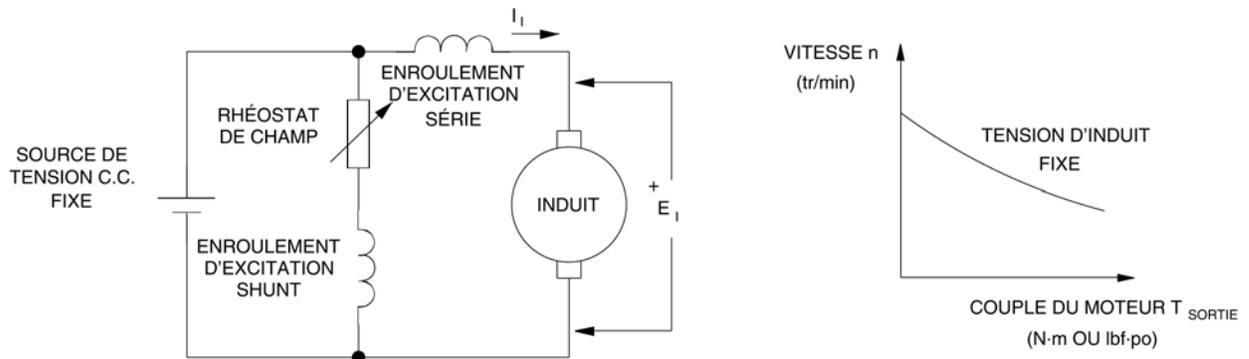


Figure 2-18. Moteur compound et sa caractéristique de vitesse en fonction du couple.

La figure 2-19 comporte un graphique illustrant les caractéristiques de vitesse en fonction du couple des divers types de moteurs c.c. utilisés jusqu'à maintenant. Comme on peut le constater, les caractéristiques du moteur c.c. à excitation séparée et du moteur shunt se ressemblent beaucoup. Elles montrent principalement que la vitesse du moteur varie peu et de façon linéaire lorsque le couple varie. Cependant, la caractéristique du moteur série est non linéaire et elle indique que la vitesse du moteur varie beaucoup (large plage de vitesse de fonctionnement) lorsque le couple varie. Enfin, la caractéristique d'un moteur compound cumulatif constitue un compromis entre celle du moteur série et celle du moteur shunt. Elle confère au moteur compound une plage de vitesse de fonctionnement relativement large, mais où la vitesse varie de façon non linéaire lorsque le couple varie.

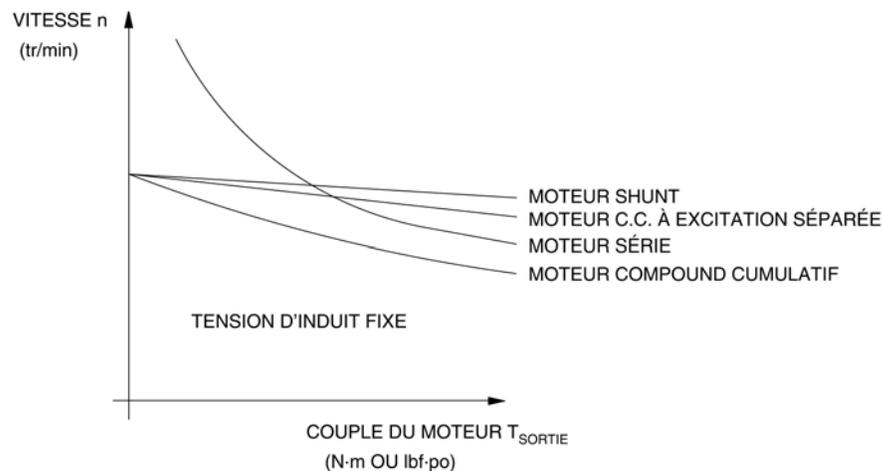


Figure 2-19. Courbes de vitesse en fonction du couple de divers moteurs c.c.

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, raccorder l'équipement comme à la figure 2-20 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez régler le courant d'excitation du moteur c.c. à excitation séparée à une valeur inférieure à celle utilisée au cours de l'expérience précédente (inférieure à la valeur nominale). Vous allez mesurer les données et tracer un graphique de la vitesse  $n$  du moteur en fonction de sa tension d'induit  $E_i$ . Vous allez calculer la constante  $K_1$ . Vous allez comparer cette constante  $K_1$  calculée et le graphique aux valeurs obtenues au cours de l'expérience précédente, afin de déterminer de quelle façon une diminution du courant d'excitation altère ces caractéristiques.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez mesurer des données et tracer un graphique du couple  $T$  de son moteur en fonction de son courant d'induit  $I_i$ . Vous allez calculer la constante  $K_2$ . Vous allez comparer la constante  $K_2$  et le graphique aux valeurs obtenues au cours de l'expérience précédente, afin de déterminer de quelle façon une diminution du courant d'excitation altère ces caractéristiques.

Dans la quatrième partie de cette expérience, vous allez raccorder le module Moteur / Génératrice c.c. en moteur série (voir le montage de la figure 2-21). Vous allez mesurer des données et tracer un graphique de la vitesse  $n$  du moteur en fonction de son couple  $T$ . Vous allez comparer la caractéristique de la vitesse en fonction du couple du moteur série à celle du moteur c.c. à excitation séparée, obtenue au cours de l'expérience précédente.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur / Génératrice c.c. et Interface d'acquisition de données dans le Poste de travail EMS.

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du système EMS, assurez-vous que les balais du module Moteur / Génératrice c.c. sont ajustés au point neutre. Pour ce faire, raccordez une source de tension c.a. (bornes 4 et N du Bloc d'alimentation) à l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 1 et 2), via l'entrée COURANT I1 du module Interface d'acquisition de données. Raccordez l'enroulement shunt du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 5 et 6) à l'entrée TENSION E1 du module Interface d'acquisition de données. Lancez l'application Appareils de mesure et ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. (indiqué sur l'appareil de mesure I1) égal à la moitié du courant d'induit nominal circule dans l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Ajustez le levier d'ajustement des balais du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que la tension aux bornes de l'enroulement shunt (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit minimale. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), quittez l'application Appareils de mesure et débranchez tous les fils et câbles.

Au moyen d'une courroie crantée, coupez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur / Génératrice c.c.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Montez le circuit du moteur c.c. à excitation séparée illustré à la figure 2-20. Il est à remarquer qu'il s'agit du même montage que celui utilisé au cours de l'expérience précédente.

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience avec une tension de ligne de 220 V, utilisez le module Charge résistive pour raccorder une résistance de 880  $\Omega$  en série avec le rhéostat du module Moteur / génératrice. Si vous effectuez l'expérience avec une tension de ligne de 240 V, raccordez une résistance de 960  $\Omega$  en série avec le rhéostat.

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
 COMMANDE DE LA CHARGE  
 Sélecteur MODE ..... MAN.  
 Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
 (vers la gauche, jusqu'au bout)  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS, vous pouvez effectuer un zoom avant du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre avant d'effectuer ces réglages, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

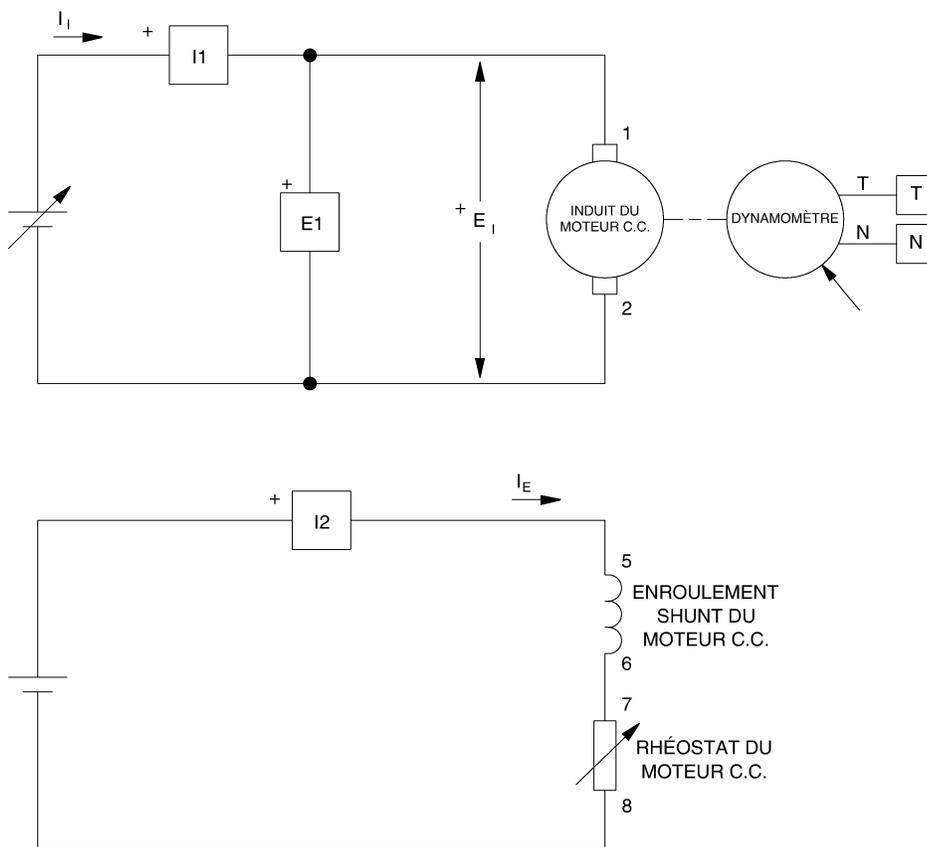


Figure 2-20. Moteur c.c. à excitation séparée couplé à un dynamomètre.

Property of Festo Didactic  
 Sale and/or reproduction forbidden

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

## Caractéristique de la vitesse en fonction de la tension d'induit d'un moteur c.c. à excitation séparée

7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., réglez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure soit égal à celui indiqué dans le tableau suivant :

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	200
220	125
240	140

Tableau 2-3. Courant d'excitation circulant dans le moteur c.c. à excitation séparée.

8. Dans l'application Appareils de mesure, choisissez la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T. L'appareil de mesure T indique maintenant le couple de sortie du moteur c.c. Notez dans le Tableau de données la vitesse  $n$  du moteur c.c., sa tension d'induit  $E_1$ , son courant d'induit  $I_1$ , son courant d'excitation  $I_E$  et son couple de sortie T (indiqués sur les appareils de mesure N, E1, I1, I2 et T, respectivement).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension à 10 %, 20 %, 30 %, etc., jusqu'à 100 %, afin d'augmenter par pas la tension d'induit  $E_1$ . Pour chaque tension réglée, attendez que la vitesse du moteur se stabilise, puis notez les données dans le Tableau de données.

9. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, intituler et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

10. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la vitesse  $n$  du moteur c.c. (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction de la tension d'induit  $E_1$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1). Intitulez le graphique G211, nommez son axe des

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

X Tension d'induit, nommez son axe des Y Vitesse du moteur c.c. et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure dans le but d'obtenir un graphique, d'intituler un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

11. Utilisez les deux points d'extrémité pour calculer la pente  $K_1$  de la relation obtenue dans le graphique G221. Ces points sont indiqués dans le tableau de données DT221.

$$K_1 = \frac{n_2 - n_1}{E_2 - E_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{tr/min}}{\text{V}}$$

Comparez le graphique G221 et la constante  $K_1$  obtenus au cours de cette expérience au graphique G211 et à la constante  $K_1$  obtenus au cours de l'expérience précédente. Décrivez de quelle façon une diminution du courant d'excitation  $I_E$  altère la caractéristique de la vitesse en fonction de la tension et la constante  $K_1$  d'un moteur c.c. à excitation séparée.

---

---

---

Effacez les données enregistrées dans la fenêtre Tableau de données.

## Caractéristique du couple en fonction du courant d'induit d'un moteur c.c. à excitation séparée

12. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez légèrement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure soit toujours égal à celui indiqué dans le tableau 2-3 (au besoin).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la vitesse du moteur c.c. soit de 1500 tr/min. Notez ci-dessous la tension d'induit  $E_1$ .

$$E_1 = \text{_____ V (n = 1500 tr/min)}$$

13. Dans l'application Appareils de mesure, notez le couple de sortie T, la tension d'induit  $E_1$ , le courant d'induit  $I_1$ , le courant d'excitation  $I_E$  et la vitesse n (indiqués sur les appareils de mesure T, E1, I1, I2 et N, respectivement) du moteur c.c. dans le Tableau de données.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le sélecteur AFFICHAGE à la position COUPLE, puis réglez le bouton MANUELLE de

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,2 N·m (2,0 lbf·po), jusqu'à 1,2 N·m (12,0 lbf·po). Pour chaque couple réglé, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation de façon à ce que la tension d'induit  $E_i$  demeure égale à celle notée au cours de la manipulation précédente, puis notez les données dans le Tableau de données.

**Remarque :** *Au cours de cette manipulation, le courant d'induit peut dépasser le courant nominal. Dans ce cas, il est recommandé de terminer cette manipulation dans les 5 minutes.*

- 14. Lorsque toutes les données sont enregistrées, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout), tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

- 15. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés de façon à obtenir un graphique du couple du moteur c.c. (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T) en fonction du courant d'induit  $I_i$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1). Intitulez le graphique G222, nommez son axe des X Courant d'induit, nommez son axe des Y Couple du moteur c.c. et imprimez-le.

**Remarque :** *À cause d'un phénomène appelé réaction d'induit, lorsque le courant d'induit dépasse le courant nominal, la relation couple en fonction du courant n'est plus linéaire. Ce phénomène est décrit dans le prochain bloc de ce manuel.*

- 16. Utilisez les deux points d'extrémité de la partie linéaire de la relation obtenue dans le graphique G222 pour calculer le pente  $K_2$ . Ces points sont indiqués dans le tableau de données DT222.

$$K_2 = \frac{T_2 - T_1}{I_2 - I_1} = \frac{-}{-} = \frac{\text{N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}}{\text{A}}$$

Comparez le graphique G222 et la constante  $K_2$  obtenus au cours de cette expérience au graphique G212 et à la constante  $K_2$  obtenus au cours de l'expérience précédente. Décrivez de quelle façon une diminution du courant d'excitation  $I_E$  altère la caractéristique du couple en fonction du courant et la constante  $K_2$  d'un moteur c.c. à excitation séparée.

---

---

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

Effacez les données enregistrées dans la fenêtre Tableau de données.

## Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur série

- 17. Modifiez les raccords de façon à obtenir le circuit du moteur série illustré à la figure 2-21.

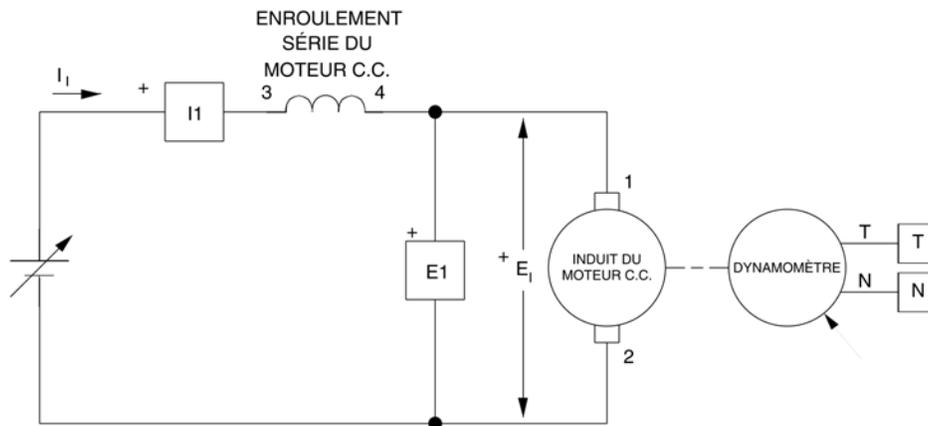


Figure 2-21. Moteur série couplé à un dynamomètre.

- 18. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension d'induit  $E_i$  indiquée sur l'appareil de mesure E1 soit égale à celle notée à la manipulation 14 de l'expérience précédente. Le moteur série devrait commencer à tourner.
- 19. Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée. Notez la vitesse  $n$ , le couple de sortie T, la tension d'induit  $E_i$  et le courant d'induit  $I_i$  (indiqués sur les appareils de mesure  $n$ , T, E1 et I1, respectivement) du moteur dans le Tableau de données.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,2 N·m (2,0 lbf·po), jusqu'à 2,0 N·m (18,0 lbf·po). Pour chaque couple réglé, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation, de façon à ce que la tension d'induit  $E_i$  demeure égale à celle réglée au cours de la manipulation précédente. Attendez que la vitesse du moteur se stabilise, puis notez les données dans le Tableau de données.

**Remarque :** Lors de cette manipulation, le courant d'induit peut dépasser le courant nominal. Il se peut donc qu'il soit impossible de maintenir la tension d'induit à sa valeur initiale lorsque le couple augmente. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

- 20. Lorsque toutes les données sont enregistrées, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout), tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, modifiez le tableau de façon à ne conserver que la vitesse  $n$ , le couple  $T$ , la tension d'induit  $E_i$  et le courant d'induit  $I_i$  (données des colonnes N, T, E1 et I1, respectivement) du moteur série, intitulez le tableau de données DT223 et imprimez-le.

- 21. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés de façon à obtenir un graphique de la vitesse du moteur série (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction de son couple (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T). Intitulez ce graphique G223, nommez son axe des X Couple du moteur série, nommez son axe des Y Vitesse du moteur série et imprimez-le.

Décrivez brièvement de quelle façon varie la vitesse du moteur série lorsque la charge mécanique qui y est appliquée augmente, c'est-à-dire que le couple du moteur augmente.

---

---

Comparez la caractéristique de la vitesse en fonction du couple du moteur série (graphique G223) à celle du moteur c.c. à excitation séparée (graphique G212-2 obtenu au cours de l'expérience précédente).

---

---

- 22. Mettez l'interrupteur 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## EXPÉRIENCES ADDITIONNELLES

### Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur shunt

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur shunt et la comparez à celles obtenues pour le moteur c.c. à excitation séparée et le moteur série. Pour ce faire, assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et montez le circuit du moteur shunt de la figure 2-22. Assurez-vous que le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre est réglé à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout). Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez la tension d'induit  $E_i$  à la valeur notée à la manipulation 14 de l'expérience précédente. Réglez le bouton

Sale and/or reproduction forbidden

## Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

RHÉOSTAT DE CHAMP du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  soit égal à celui indiqué au tableau 2-1. Effacez les données enregistrées dans le tableau de données. Consultez les manipulations 19 à 21 de la présente expérience afin de noter les données nécessaires et d'obtenir le graphique. Intitulez le tableau de données et le graphique DT224 et G224, respectivement. Comparez la caractéristique de la vitesse en fonction du couple du moteur shunt (graphique G224) à celles du moteur c.c. à excitation séparée (graphique G212-2 obtenu au cours de l'expérience précédente) et du moteur série (graphique G223).

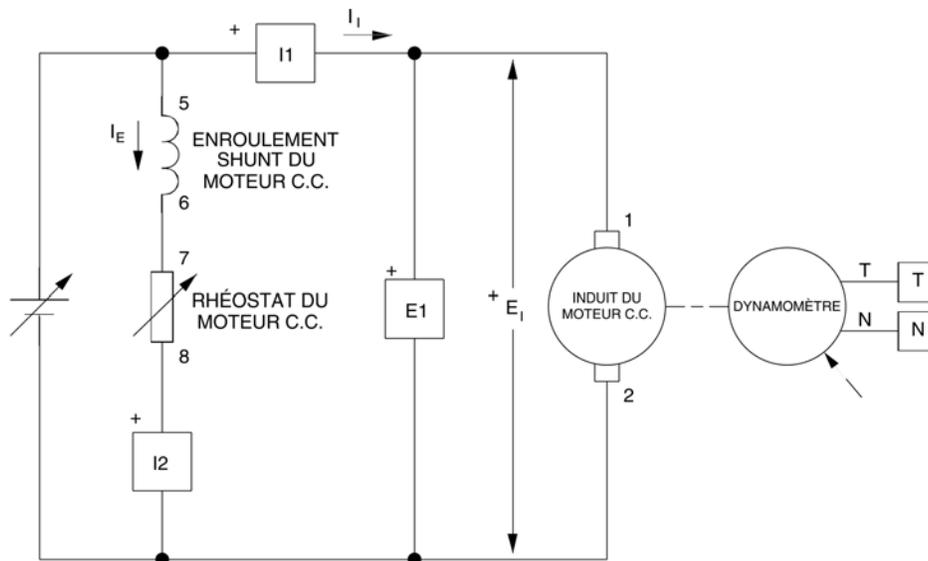


Figure 2-22. Circuit d'un moteur shunt.

### Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur compound cumulatif

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur compound cumulatif et la comparez à celles obtenues pour les autres moteurs c.c. Pour ce faire, assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et montez le circuit du moteur compound cumulatif de la figure 2-23. Assurez-vous que le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre est à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout). Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez la tension d'induit  $E_1$  à la valeur notée à la manipulation 14 de l'expérience précédente. Réglez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que le courant circulant dans l'enroulement shunt soit égal à celui indiqué au tableau 2-1. Effacez les données notées dans le tableau de données. Consultez les manipulations 19 à 21 de la présente expérience afin de noter les données nécessaires et d'obtenir le graphique. Intitulez le tableau de données et le graphique DT225 et G225, respectivement. Comparez la caractéristique de la vitesse en fonction du couple du moteur compound cumulatif (graphique G225) à celles des autres moteurs c.c. (graphiques G212-2, G223 et G224).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

## Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

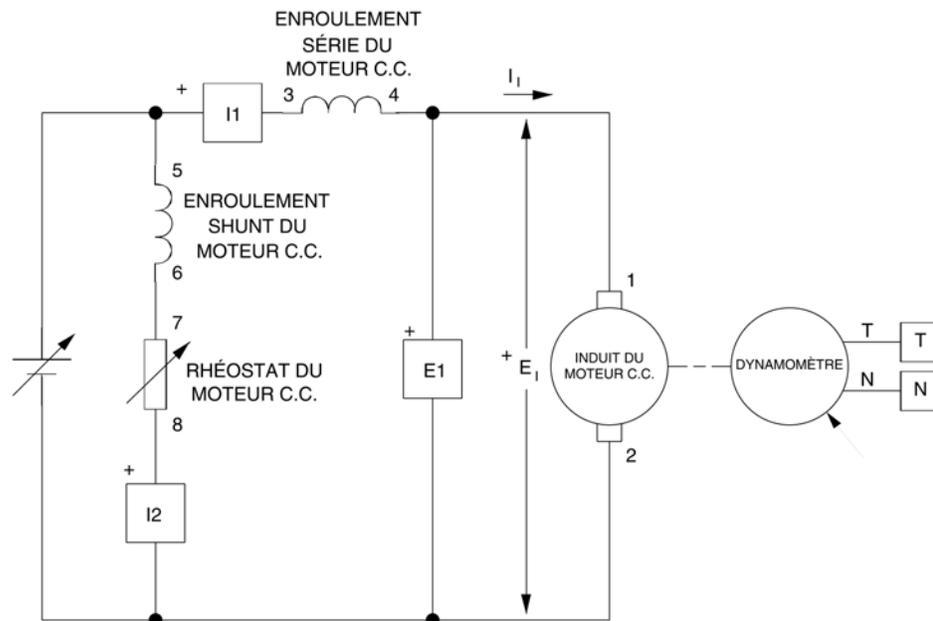


Figure 2-23. Circuit du moteur compound cumulatif.

### CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez observé que la diminution du courant d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée à une valeur inférieure à sa valeur nominale provoque une augmentation de la constante  $K_1$ , mais une diminution de la constante  $K_2$ . Vous avez vu que cela permet au moteur de tourner plus rapidement sans dépasser la tension nominale d'induit, mais que cela réduit le couple qu'il peut générer sans dépasser le courant nominal d'induit. Vous avez également constaté qu'il est possible d'augmenter le courant d'excitation à une valeur supérieure à sa valeur nominale pendant de courts intervalles de temps, afin d'augmenter le couple de démarrage. Vous avez tracé un graphique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur série et vous l'avez comparé à celui obtenu dans l'expérience avec un moteur c.c. à excitation séparée. Vous avez observé que lorsque le couple augmente, la vitesse d'un moteur série diminue plus rapidement que celle d'un moteur c.c. à excitation séparée. De plus, vous avez observé que la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur c.c. à excitation séparée est linéaire, alors que celle d'un moteur série est non linéaire.

Si vous avez effectué les expériences additionnelles, vous avez tracé des graphiques de la vitesse en fonction du couple d'un moteur shunt et d'un moteur compound cumulatif. Vous avez comparé ces graphiques à ceux obtenus avec le moteur c.c. à excitation séparée et le moteur série. Vous avez découvert que la caractéristique d'un moteur shunt ressemble beaucoup à celle d'un moteur c.c. à excitation séparée. Vous avez vu que la caractéristique d'un moteur compound cumulatif est un compromis entre celle d'un moteur c.c. à excitation séparée et celle d'un moteur série.

# Moteurs c.c. à excitation séparée, série, shunt et compound

## EXERCICES

1. De quelle façon la diminution du courant d'excitation à une valeur inférieure à sa valeur nominale altère-t-elle la caractéristique de la vitesse en fonction de la tension d'un moteur c.c. à excitation séparée?
  - a. La constante  $K_1$  augmente.
  - b. La constante  $K_2$  augmente.
  - c. La constante  $K_1$  diminue.
  - d. La constante  $K_2$  diminue.
  
2. De quelle façon la diminution du courant d'excitation à une valeur inférieure à sa valeur nominale altère-t-elle la caractéristique couple-courant d'un moteur c.c. à excitation séparée?
  - a. La constante  $K_1$  augmente.
  - b. La constante  $K_2$  augmente.
  - c. La constante  $K_1$  diminue.
  - d. La constante  $K_2$  diminue.
  
3. Lors du démarrage d'un moteur c.c. à excitation séparée, quel est l'avantage d'une augmentation du courant d'excitation à une valeur supérieure à sa valeur nominale pendant un court intervalle de temps?
  - a. Cela empêche d'endommager le moteur.
  - b. Cela permet au moteur d'atteindre une vitesse supérieure.
  - c. Cela augmente la tension d'induit.
  - d. Cela augmente le couple de démarrage.
  
4. La vitesse d'un moteur shunt augmente-t-elle ou diminue-t-elle lorsque son courant d'induit augmente?
  - a. Elle augmente.
  - b. Elle diminue.
  - c. Elle demeure sensiblement la même.
  - d. Elle ne varie pas, car la vitesse ne dépend pas du courant d'induit.
  
5. Quel est l'avantage d'une diminution du courant d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée à une valeur inférieure à sa valeur nominale?
  - a. Cela permet au moteur de générer un couple supérieur sans dépasser la tension nominale d'induit.
  - b. Cela permet au moteur de générer un couple supérieur sans dépasser le courant nominal d'induit.
  - c. Cela permet au moteur de tourner à une vitesse supérieure sans dépasser la tension nominale d'induit.
  - d. Il n'y en a aucun.

## Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

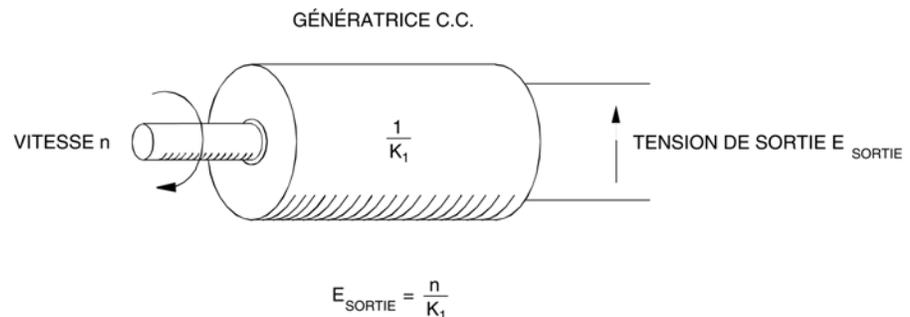
### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer les principales caractéristiques de fonctionnement de génératrices à excitation séparée, shunt et compound au moyen du module Moteur / Génératrice c.c.

### PRINCIPES

Bien que de nos jours les génératrices c.c. soient rarement utilisées, il est important d'en comprendre le fonctionnement, car cela aide à comprendre comment on peut utiliser un moteur c.c. à excitation séparée comme frein électrique dans les entraînements de moteurs c.c. modernes.

Antérieurement, dans ce bloc, vous avez vu qu'un moteur c.c. peut être considéré comme un convertisseur tension-vitesse linéaire. La conversion linéaire qu'il effectue est réversible, ce qui signifie que lorsqu'une vitesse fixe est imposée au moteur par une force d'entraînement externe, celui-ci génère une tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et fonctionne comme un convertisseur vitesse-tension linéaire, c'est-à-dire une génératrice c.c. La figure 2-24 montre un moteur c.c. fonctionnant comme une génératrice c.c.



**Figure 2-24. Moteur c.c. utilisé comme convertisseur vitesse-tension (génératrice c.c.).**

La relation linéaire existant entre le couple et le courant d'un moteur c.c. est également réversible et s'applique à la génératrice c.c., c'est à dire qu'un couple doit être appliqué à l'arbre de la génératrice pour que l'on obtienne un courant de sortie. La figure 2-25 illustre un moteur c.c. fonctionnant comme un convertisseur couple-courant linéaire, c'est-à-dire une génératrice c.c.

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

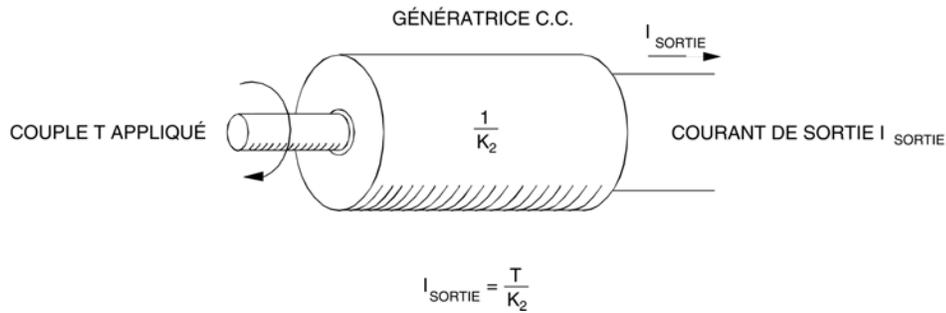
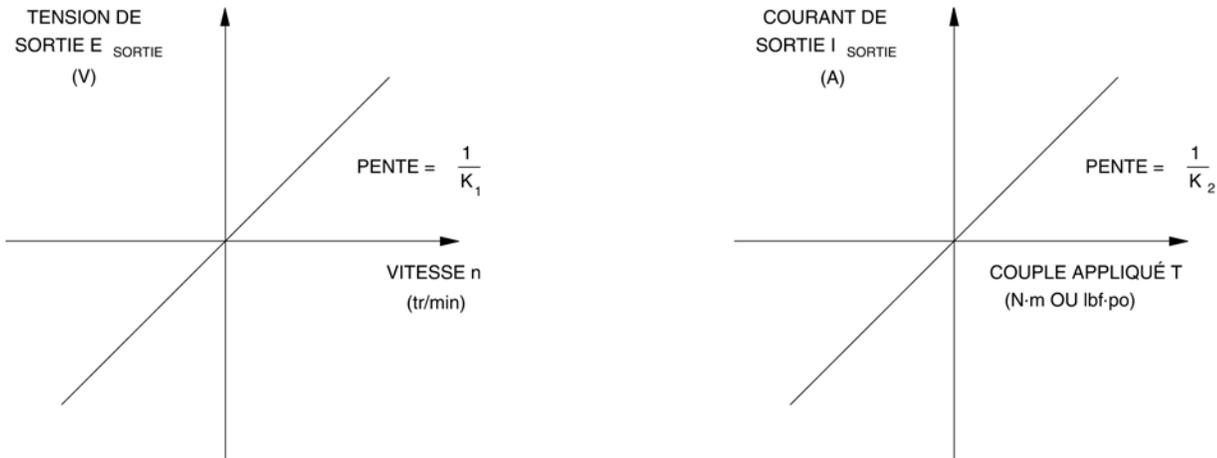


Figure 2-25. Moteur c.c. fonctionnant comme un convertisseur couple-courant (génératrice c.c.).

La figure 2-26 (a) montre la courbe de la tension de sortie en fonction de la vitesse d'une génératrice c.c. à excitation séparée. La figure 2-26 (b) montre la courbe du courant de sortie en fonction du couple appliqué à une génératrice c.c. à excitation séparée. Il est à remarquer que les pentes de ces courbes sont égales aux réciproques des constantes  $K_1$  et  $K_2$ .



a) TENSION DE SORTIE EN FONCTION DE LA VITESSE

b) COURANT DE SORTIE EN FONCTION DU COUPLE APPLIQUÉ

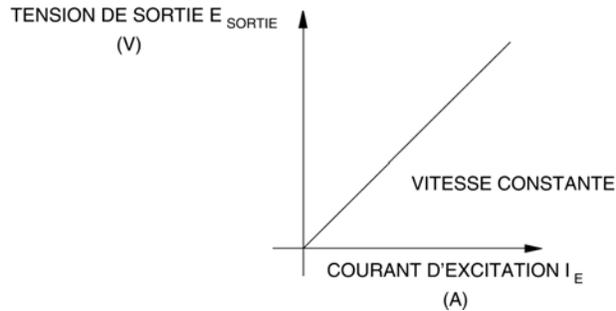
Figure 2-26. Relation entre les paramètres d'entrée et de sortie d'une génératrice à excitation séparée.

Comme pour le moteur c.c. à excitation séparée, on peut faire varier le courant d'excitation  $I_E$  d'une génératrice c.c. à excitation séparée, afin de modifier l'intensité de l'électro-aimant d'excitation et, donc, les valeurs relatives des constantes  $K_1$  et  $K_2$ .

Lorsque le courant d'excitation diminue, la constante  $K_1$  augmente et la constante  $K_2$  diminue, comme pour le moteur c.c. à excitation séparée. La pente de la courbe de la tension de sortie en fonction de la vitesse diminue donc, alors que celle de la courbe du courant de sortie en fonction du couple augmente. Au contraire, lorsque le courant d'excitation augmente, la constante  $K_1$  diminue et la constante  $K_2$  augmente. La pente de la courbe de la tension de sortie en fonction de la vitesse

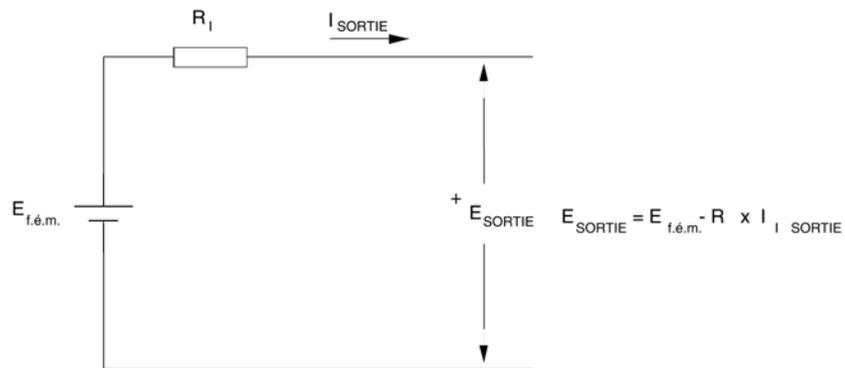
# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

augmente donc, alors que celle de la courbe du courant de sortie en fonction du couple diminue. On peut donc faire varier la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  d'une génératrice tournant à vitesse constante en faisant varier le courant d'excitation  $I_E$ . Cela produit l'équivalent d'une source c.c. dont la tension de sortie peut être commandée par le courant d'excitation  $I_E$ . La figure 2-27 montre la variation de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  pour une génératrice c.c. à excitation séparée tournant à vitesse constante, lorsque le courant d'excitation  $I_E$  varie entre zéro et sa valeur nominale.



**Figure 2-27.**  $E_{\text{SORTIE}}$  en fonction de  $I_E$  pour une génératrice c.c. à excitation séparée tournant à vitesse constante.

Le circuit équivalent d'une génératrice c.c. à excitation séparée est illustré à la figure 2-28. Il s'agit du même que pour le moteur c.c., sauf que le sens de circulation du courant est inversé et que la tension  $E_{f.c.é.m.}$  devient  $E_{f.é.m.}$ . Cette dernière est la tension induite aux bornes de l'enroulement d'induit lorsqu'il tourne dans le flux magnétique que génère l'électro-aimant du stator. Lorsqu'aucune charge n'est raccordée à la sortie de la génératrice c.c., le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  est nul et la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  est égale à  $E_{f.é.m.}$ .



**Figure 2-28.** Circuit équivalent simplifié d'une génératrice c.c.

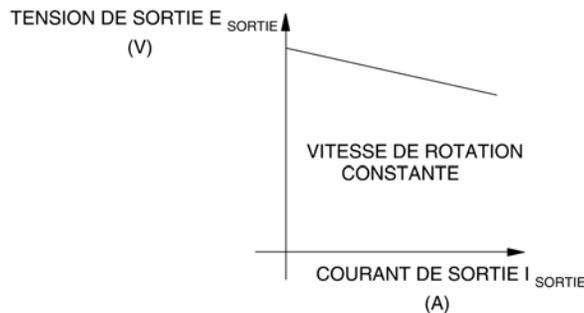
Au cours de la première expérience de ce bloc, vous avez observé que lorsqu'une tension d'induit fixe  $E_I$  est appliquée à un moteur c.c. à excitation séparée, sa vitesse diminue lorsque le courant d'induit  $I_I$  augmente. Vous avez observé que cette diminution de vitesse est due à la résistance d'induit  $R_I$ . De la même façon, lorsque le même moteur fonctionne en génératrice et à vitesse constante, la résistance

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

d'induit provoque une diminution de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  lorsque le courant de sortie augmente, comme le montre la figure 2-29. La tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$E_{\text{SORTIE}} = E_{\text{f.é.m.}} - R_I \times I_{\text{SORTIE}}$$

- où  $E_{\text{SORTIE}}$  est la tension de sortie de la génératrice c.c.,  
 $E_{\text{f.é.m.}}$  est la tension induite aux bornes de l'enroulement de l'induit,  
 $R_I$  est la résistance d'induit,  
 $I_{\text{SORTIE}}$  est le courant de sortie de la génératrice c.c.



**Figure 2-29. Caractéristique de la tension en fonction du courant d'une génératrice c.c. à excitation séparée (vitesse constante).**

La génératrice c.c. à excitation séparée est flexible, car ses caractéristiques peuvent être modifiées en faisant varier le courant d'excitation. Cependant, une source de tension c.c. séparée est nécessaire pour exciter l'électro-aimant d'excitation. Cela constituait un inconvénient lors de l'apparition des premières génératrices c.c. car, dans ce temps-là, les sources c.c. n'étaient pas très répandues. On a donc conçu des génératrices c.c. fonctionnant sans source de tension c.c. On les appelle génératrices c.c. à auto-excitation.

Dans une génératrice c.c. à auto-excitation, l'électro-aimant d'excitation est un enroulement shunt raccordé à la sortie de la génératrice (génératrice shunt) ou la combinaison d'un enroulement shunt raccordé à la sortie de la génératrice et d'un enroulement série raccordé en série avec la sortie de la génératrice (génératrice compound). La tension et/ou le courant de sortie de la génératrice excite(nt) l'électro-aimant d'excitation. La configuration de l'électro-aimant d'excitation (shunt ou compound) détermine un grand nombre de caractéristiques de la génératrice.

L'auto-excitation est possible grâce au magnétisme résiduel des pièces polaires du stator. Lorsque l'induit tourne, une faible tension est induite aux bornes de son enroulement et un faible courant circule dans l'enroulement d'excitation shunt. Si ce faible courant d'excitation circule dans la direction appropriée, le magnétisme résiduel augmente, ce qui fait augmenter davantage la tension d'induit. Il y a donc une augmentation de tension rapide. Si le courant d'excitation circule dans la mauvaise direction, le magnétisme résiduel est réduit et il ne peut y avoir augmentation de la tension. Dans ce cas, l'inversion des raccords de l'enroulement d'excitation shunt corrige cette situation.

## Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

Dans une génératrice c.c. à auto-excitation, la tension de sortie, après augmentation, pourrait être de polarité opposée à celle nécessaire. Cela peut être corrigé en arrêtant la génératrice et en réglant la polarité du magnétisme résiduel. Pour régler le magnétisme résiduel, une source c.c. est raccordée à l'enroulement d'excitation shunt, afin de provoquer la circulation d'un courant nominal dans le sens approprié. L'interruption instantanée du courant règle la polarité des pôles magnétiques de l'enroulement d'excitation shunt. Lorsque la génératrice démarre à nouveau, il y a augmentation de tension dans la polarité appropriée.

La figure 2-30 est un graphique montrant les caractéristiques de tension en fonction du courant de divers types de génératrices c.c. Comme on peut l'observer, les caractéristiques de la génératrice c.c. à excitation séparée et de la génératrice shunt se ressemblent beaucoup. Elles diffèrent en ce que la tension de sortie de la génératrice shunt diminue un peu plus que celle de la génératrice c.c. à excitation séparée, lorsque le courant de sortie augmente. Dans les deux cas, la tension de sortie diminue, car la chute de tension aux bornes de la résistance d'induit augmente lorsque le courant de sortie augmente. Dans la génératrice shunt, la tension aux bornes de l'enroulement d'excitation shunt et, donc, le courant d'excitation, diminuent lorsque la tension de sortie diminue. Cela fait que la tension de sortie diminue un petit peu plus.

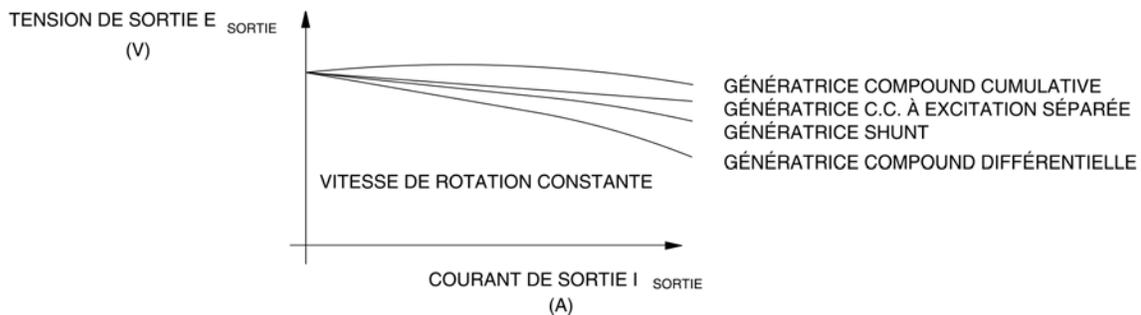


Figure 2-30. Caractéristiques de la tension en fonction du courant de différentes génératrices c.c.

Lorsque le courant de sortie varie, il est possible de compenser la variation de la tension de sortie en modifiant automatiquement le flux magnétique généré par l'électro-aimant d'excitation. Les enroulements d'excitation shunt et série d'une génératrice compound peuvent être raccordés de façon à ce que le flux magnétique augmente lorsque le courant de sortie augmente. Ainsi, la tension de sortie demeure relativement constante et elle ne varie que très peu lors d'une augmentation du courant de sortie, comme le montre la figure 2-30. Ce type de raccord produit une génératrice compound cumulative, car les flux magnétiques générés par les deux enroulements d'excitation s'additionnent de façon cumulative. Pour les autres applications où la tension de sortie doit diminuer rapidement lorsque le courant de sortie augmente, les enroulements shunt et série peuvent être raccordés de façon à ce que les flux magnétiques se soustraient, ce qui produit une génératrice compound différentielle.

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, raccorder l'équipement comme à la figure 2-13 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez régler le courant d'excitation d'une génératrice c.c. à excitation séparée à la même valeur que celle utilisée à l'Expérience 2-1. Vous allez mesurer des données et tracer un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  en fonction de la vitesse  $n$  lorsqu'aucune charge n'est raccordée à la sortie de la génératrice. Vous allez calculer la pente de la courbe de la tension en fonction de la vitesse et la comparer à la constante  $K_1$  calculée à l'Expérience 2-1, lorsque le module Moteur / Générateur c.c. fonctionnait en moteur c.c. à excitation séparée.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez raccorder une charge électrique à la sortie de la génératrice (montage de la figure 2-32), mesurer des données et tracer un graphique du courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  en fonction du couple  $T$  appliqué lorsque la génératrice c.c. à excitation séparée tourne à vitesse constante. Vous allez calculer la pente de la courbe du courant en fonction du couple et la comparer à la constante  $K_2$  calculée à l'Expérience 2-1, lorsque le module Moteur / Générateur c.c. fonctionnait en moteur c.c. à excitation séparée.

Dans la quatrième partie de cette expérience, vous allez faire varier le courant d'excitation  $I_E$  de la génératrice c.c. à excitation séparée et observer la façon dont la tension de sortie est altérée.

Dans la cinquième partie de cette expérience, vous allez utiliser les données obtenues à la troisième partie pour tracer un graphique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie, lorsque la génératrice c.c. à excitation séparée fonctionne à vitesse constante.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur / Générateur c.c. et Interface d'acquisition de données dans le Poste de travail EMS.

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du système EMS, assurez-vous que les balais du module Moteur / Génératrice c.c. sont ajustés au point neutre. Pour ce faire, raccordez une source de tension c.a. (bornes 4 et N du Bloc d'alimentation) à l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 1 et 2), via l'entrée COURANT I1 du module Interface d'acquisition de données. Raccordez l'enroulement shunt du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 5 et 6) à l'entrée TENSION E1 du module Interface d'acquisition de données. Lancez l'application Appareils de mesure et ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. (indiqué sur l'appareil de mesure I1) égal à la moitié du courant d'induit nominal circule dans l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Ajustez le levier d'ajustement des balais du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que la tension aux bornes de l'enroulement shunt (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit minimale. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), quittez l'application Appareils de mesure et débranchez tous les fils et câbles.

Au moyen d'une courroie crantée, coupez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur / Génératrice c.c.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Montez le circuit de la génératrice c.c. à excitation séparée de la figure 2-31. Il est à remarquer qu'aucune charge électrique n'est raccordée à la sortie de la génératrice.

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

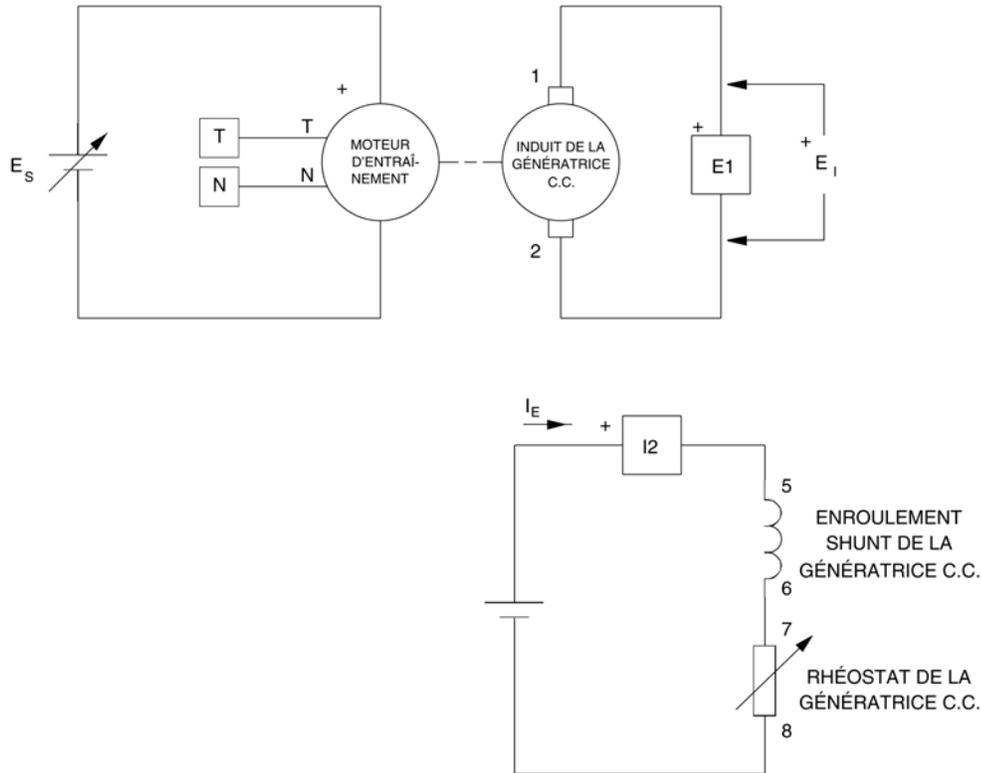


Figure 2-31. Génératrice c.c. à excitation séparée couplée à un moteur d'entraînement (à vide).

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Courbe de la tension de sortie en fonction de la vitesse d'une génératrice c.c. à excitation séparée

- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., réglez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure soit égal à celui indiqué dans le tableau qui suit :

Property of Festo Didactic  
 Sale and/or reproduction forbidden

## Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	300
220	190
240	210

Tableau 2-4. Courant d'excitation circulant dans la génératrice c.c. à excitation séparée.

8. Dans l'application Appareils de mesure, sélectionnez la fonction de correction du couple pour l'appareil de mesure T. Ce dernier indique maintenant le couple généré par la génératrice c.c. Ce couple s'oppose à la rotation. Son amplitude est égale à celle du couple appliqué à l'arbre de la génératrice c.c., mais elle est de polarité opposée. Cela explique pourquoi le couple indiqué sur l'appareil de mesure T est négatif.

Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la vitesse  $n$  et le couple  $T$  (indiqués sur les appareils de mesure E1, I2, N et T, respectivement) de la génératrice c.c. dans le Tableau de données.

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à augmenter la vitesse  $n$  de la génératrice par pas de 150 tr/min, jusqu'à 1500 tr/min (150, 300, 450 tr/min, etc.). Pour chaque vitesse réglée, notez la donnée dans le Tableau de données.

9. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

10. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la tension de sortie de la génératrice c.c. (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) en fonction de la vitesse  $n$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N). Intitulez le graphique G231, nommez son axe des X Vitesse de la génératrice c.c., nommez son axe des Y Tension de sortie de la génératrice c.c. à excitation séparée et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

Ce graphique confirme-t-il que la génératrice c.c. à excitation séparée est l'équivalent d'un convertisseur vitesse-tension linéaire pour lequel une vitesse plus élevée génère une tension de sortie supérieure?

Oui       Non

11. Utilisez les deux points d'extrémité pour calculer la pente de la courbe obtenue au graphique G231. Ces points sont indiqués dans le tableau de données DT231.

$$\text{PENTE} = \frac{E_2 - E_1}{n_2 - n_1} = \frac{-}{-} = \frac{V}{\text{tr/min}}$$

Comparez la pente de la courbe de la tension de sortie en fonction de la vitesse à la constante  $K_1$  obtenue à l'Expérience 2-1.

---

---

---

Effacez les données enregistrées dans la fenêtre Tableau de données.

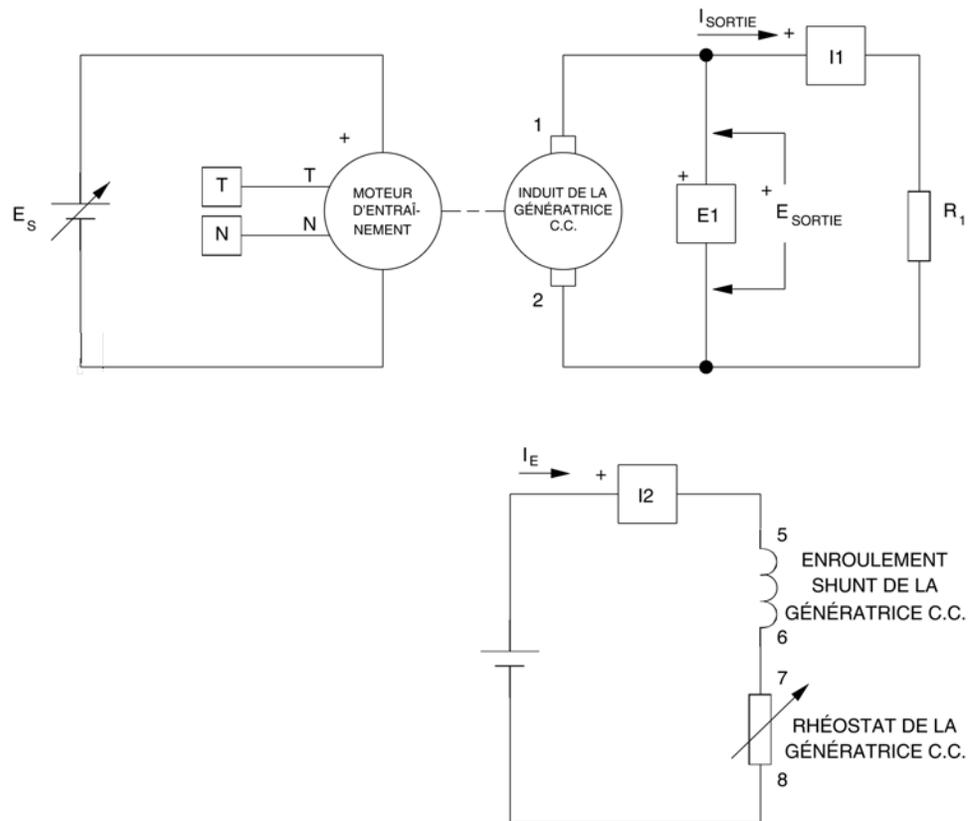
## Caractéristique du courant de sortie en fonction du couple d'une génératrice c.c. à excitation séparée

12. Modifiez les raccords afin de raccorder une charge résistive ( $R_1$ ) à la sortie de la génératrice c.c. à excitation séparée, comme dans le circuit de la figure 2-32. Raccordez en parallèle les trois sections de résistance du module Charge résistive de façon à mettre en oeuvre la résistance  $R_1$ .
13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le bloc Moteur / Génératrice c.c., tournez légèrement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$ , indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure, soit toujours égal à celui indiqué au tableau 2-4 (au besoin).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur / Génératrice c.c.

## Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound



TENSION DE LIGNE (V ca)	$R_1$ ( $\Omega$ )
120	$\infty$
220	$\infty$
240	$\infty$

Figure 2-32. Génératrice c.c. à excitation séparée couplée à un moteur d'entraînement (avec charge électrique).

- 14. Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , le couple  $T$  et la vitesse  $n$  (indiqués sur les appareils de mesure  $E1$ ,  $I1$ ,  $I2$ ,  $T$  et  $N$ , respectivement) de la génératrice c.c. dans le Tableau de données.

Modifiez les réglages du module Charge résistive de façon à ce que la résistance  $R_1$  diminue par pas, comme l'indique le tableau 2-5. Vous pouvez consulter l'annexe B pour savoir comment obtenir les différentes résistances indiquées au tableau 2-5. Pour chaque résistance réglée, tournez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation, de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement demeure égale à la vitesse nominale du module Moteur / Génératrice c.c. Notez ensuite les données dans le Tableau de données.

Property of Resto Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

**Remarque :** Au cours de cette manipulation, la tension de sortie de la génératrice c.c. peut dépasser la tension nominale du module Charge résistive. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.

TENSION DE LIGNE	R <sub>1</sub>							
V ca	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
120	1200	600	300	171	120	86	71	57
220	4400	2200	1100	629	440	314	259	210
240	4800	2400	1200	686	480	343	282	229

Tableau 2-5. Diminution de R<sub>1</sub> pour placer une charge à la sortie de la génératrice c.c.

15. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

16. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, de façon à obtenir un graphique du courant de sortie de la génératrice c.c. (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1) en fonction de son couple T (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T). Intitulez le graphique G232, nommez son axe des X Couple appliqué à la génératrice c.c., nommez son axe des Y Courant de sortie de la génératrice à excitation séparée et imprimez-le.

**Remarque :** Le couple n'est pas nul lorsque le courant de sortie est nul, car un couple est nécessaire pour contrecarrer l'opposition à la rotation, qui est due au frottement à l'intérieur de la génératrice c.c.

Ce graphique confirme-t-il que la génératrice c.c. à excitation séparée est l'équivalent d'un convertisseur couple-courant linéaire pour lequel un couple plus élevé génère un courant de sortie supérieur?

Oui       Non

17. Utilisez les deux points d'extrémité pour calculer la pente de la courbe obtenue au graphique G232. Ces points sont indiqués dans le tableau de données DT232.

$$\text{PENTE} = \frac{I_2 - I_1}{T_2 - T_1} = \frac{-}{-} = \frac{A}{\text{N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}}$$

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

Comparez la pente de la courbe du courant de sortie en fonction du couple à la constante  $K_2$  obtenue à l'Expérience 2-1.

---



---



---

## Tension de sortie en fonction du courant d'excitation d'une génératrice c.c. à excitation séparée

18. Sur le module Charge résistive, réglez la résistance  $R_1$  à la valeur indiquée au tableau suivant.

TENSION DE LIGNE	$R_1$
V ca	$\Omega$
120	171
220	629
240	686

Tableau 2-6. Résistance  $R_1$ .

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez légèrement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$ , indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure, soit toujours égal à celui indiqué au tableau 2-4 (au besoin).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur / Génératrice c.c.

Notez ci-dessous la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et le courant d'excitation  $I_E$  indiqués sur les appareils de mesure E1 et I2 :

$$E_{\text{SORTIE}} = \text{_____ V} \quad (I_E = \text{_____ A})$$

19. Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez lentement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP vers la droite, jusqu'au bout, de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  augmente. Ce faisant, observez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  indiquée sur l'appareil de mesure E1.

Notez ci-dessous la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et le courant d'excitation  $I_E$  :

$$E_{\text{SORTIE}} = \text{_____ V} \quad (I_E = \text{_____ A})$$

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., réglez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP à sa position médiane.

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

Décrivez ce qu'il advient de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  lorsque le courant d'excitation  $I_E$  augmente.

---

---

20. Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez lentement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP vers la gauche, jusqu'au bout, de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  diminue. Ce faisant, observez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  indiquée sur l'appareil de mesure E1.

Notez ci-dessous la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et le courant d'excitation  $I_E$  :

$$E_{\text{SORTIE}} = \text{_____ V} \quad (I_E = \text{_____ A})$$

Décrivez ce qu'il advient de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  lorsque le courant d'excitation  $I_E$  diminue.

---

---

Une génératrice c.c. à excitation séparée est-elle l'équivalent d'une source c.c. à tension de sortie variable?

Oui       Non

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

## Caractéristique de la tension en fonction du courant d'une génératrice c.c. à excitation séparée tournant à vitesse constante

21. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  de la génératrice c.c. à excitation séparée (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) en fonction du courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  de la génératrice c.c. à excitation séparée (obtenue au moyen de l'appareil I1), à l'aide des données enregistrées précédemment dans le tableau de données (DT232). Intitulez le graphique G232-1, nommez son axe des X Courant de sortie de la génératrice c.c. à excitation séparée, nommez son axe des Y Tension de sortie de la génératrice à excitation séparée et imprimez-le.

Décrivez la façon dont la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  varie lorsque le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  augmente.

---

---

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

- 22. Mettez l'interrupteur 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## EXPÉRIENCES ADDITIONNELLES

### Caractéristique de la tension en fonction du courant d'une génératrice shunt tournant à vitesse constante

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie d'une génératrice shunt et la comparez à celle obtenue pour la génératrice c.c. à excitation séparée. Pour ce faire, assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), et raccordez les bornes 8 et N du Bloc d'alimentation aux bornes 5 et 6 du module Moteur / Générateur c.c., respectivement. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), puis mettez-le à la position O (arrêt). Cela a pour effet de régler la polarité du magnétisme résiduel. Montez le circuit de la génératrice shunt de la figure 2-33.

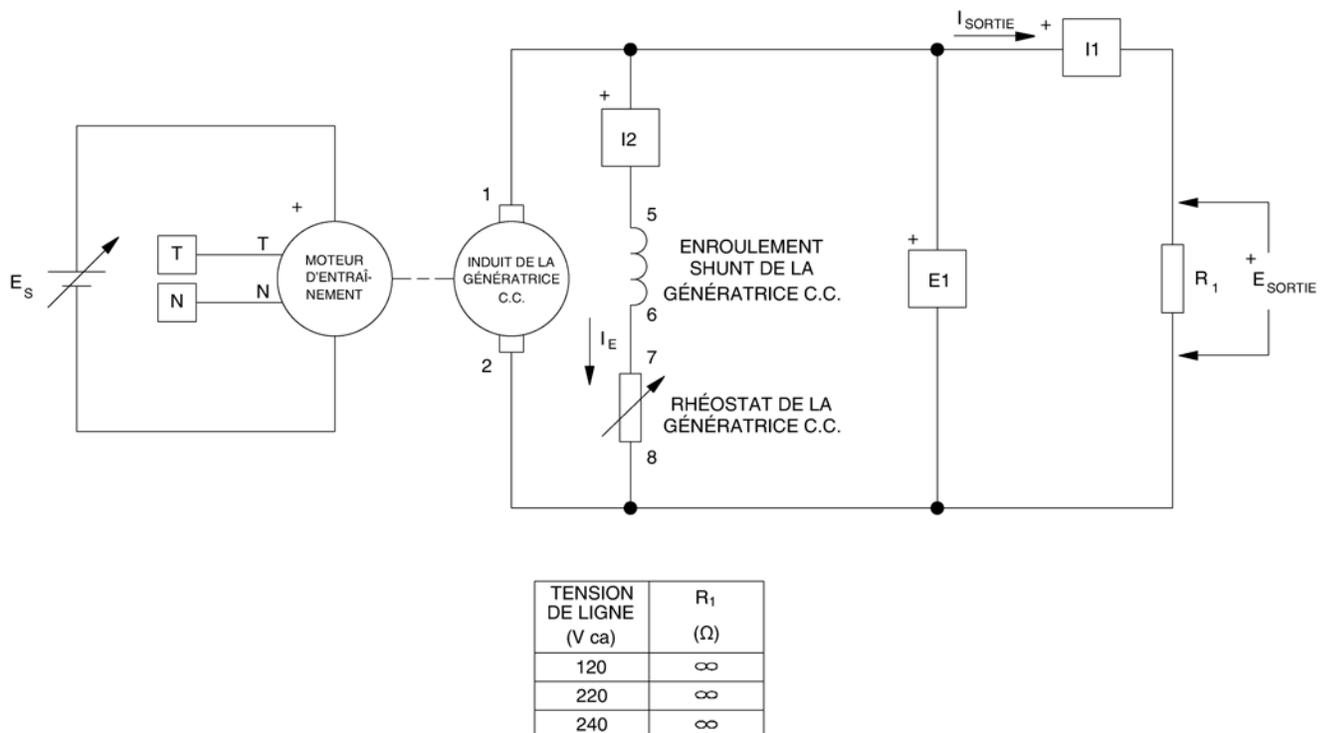


Figure 2-33. Générateur shunt couplé à un moteur d'entraînement (avec charge électrique).

Assurez-vous que le sélecteur MODE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre est réglé à la position MOTEUR. Réglez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP du module Moteur / Générateur c.c. à sa position médiane. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez le bouton de commande de la tension de façon à régler la vitesse du moteur d'entraînement à la vitesse nominale du module Moteur / Générateur c.c. , Tournez

## Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

légèrement le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP du module Moteur / Génératrice c.c., de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  soit égal à celui indiqué au tableau 2-4. Effacez les données enregistrées dans le tableau de données. Assurez-vous que la fonction de correction du couple soit sélectionnée sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure. Consultez les manipulations 14, 15 et 21 de la présente expérience pour noter les données nécessaires et obtenir le graphique. Intitulez le tableau de données et le graphique DT233 et G233, respectivement. Comparez la caractéristique de la tension en fonction du courant de la génératrice shunt (graphique G233) à celle de la génératrice c.c. à excitation séparée (graphique G232-1).

**Remarque :** *La tension de sortie de la génératrice shunt à excitation séparée diminue rapidement lorsque le courant de sortie augmente, car la résistance d'induit du module Moteur / Génératrice c.c. est assez élevée. Cela est également dû à un autre phénomène appelé réaction d'induit. Il sera étudié dans le prochain bloc du présent manuel.*

### **Caractéristique de la tension en fonction du courant d'une génératrice compound cumulative tournant à vitesse constante**

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie d'une génératrice compound cumulative et la comparez à celle obtenue pour la génératrice c.c. à excitation séparée. Pour ce faire, effectuez les mêmes manipulations que pour obtenir la caractéristique de la tension en fonction du courant de la génératrice shunt, en utilisant le circuit de la génératrice compound cumulative de la figure 2-34. Intitulez le tableau et le graphe DT234 et G234, respectivement. Comparez la caractéristique de la tension en fonction du courant de la génératrice compound cumulative (graphique G234) à celles de la génératrice c.c. à excitation séparée (G232-1) et de la génératrice shunt (graphique G233).

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

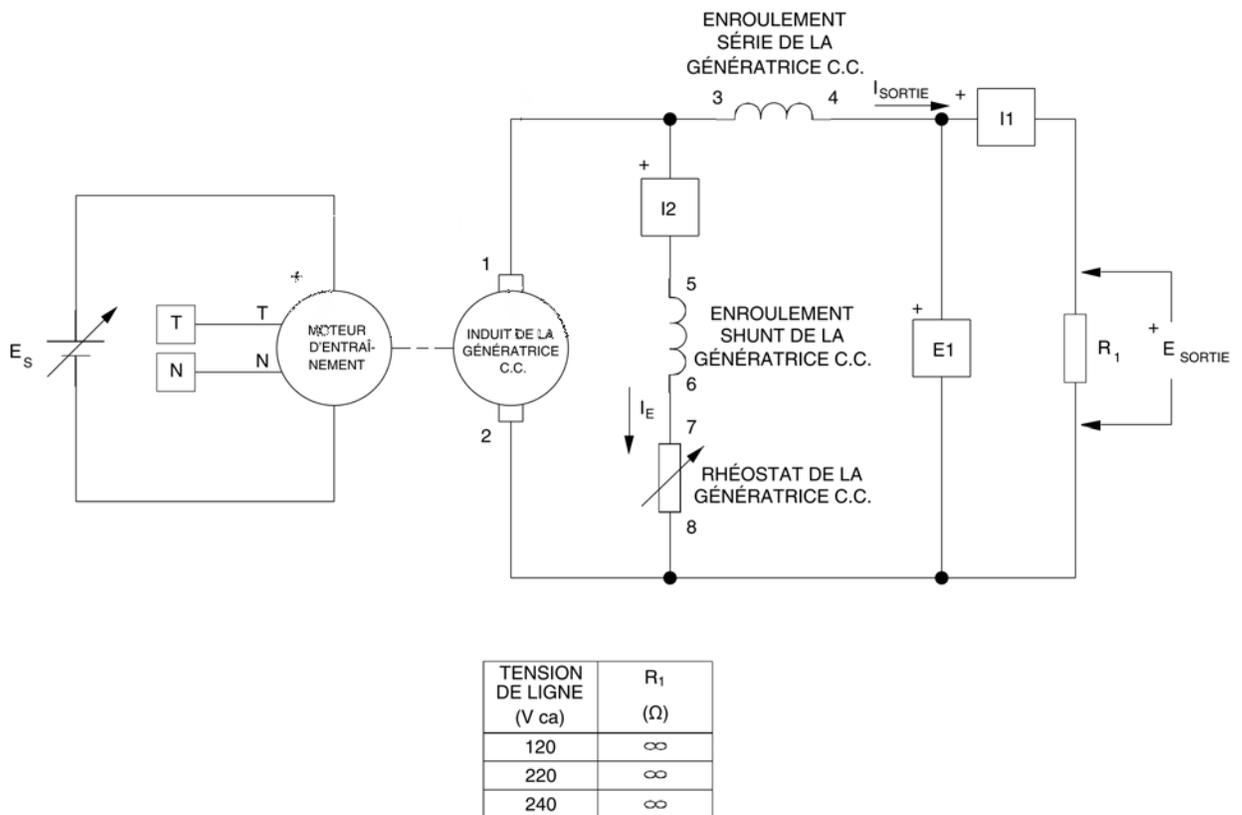


Figure 2-34. Génératrice compound cumulative couplée à un moteur d'entraînement (avec charge électrique).

## Caractéristique de la tension en fonction du courant d'une génératrice compound différentielle tournant à vitesse constante

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie d'une génératrice compound différentielle et la comparez à celle obtenue pour la génératrice c.c. à excitation séparée. Pour ce faire, effectuez les mêmes manipulations que pour obtenir la caractéristique de la tension en fonction du courant de la génératrice shunt, en utilisant le circuit de la génératrice compound différentielle de la figure 2-35. Intitulez le tableau et le graphe DT235 et G235, respectivement. Comparez la caractéristique de la tension en fonction du courant de la génératrice compound différentielle (graphique G235) à celles obtenues avec les autres types de génératrices c.c. (graphiques G232-1, G233 et G234).

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

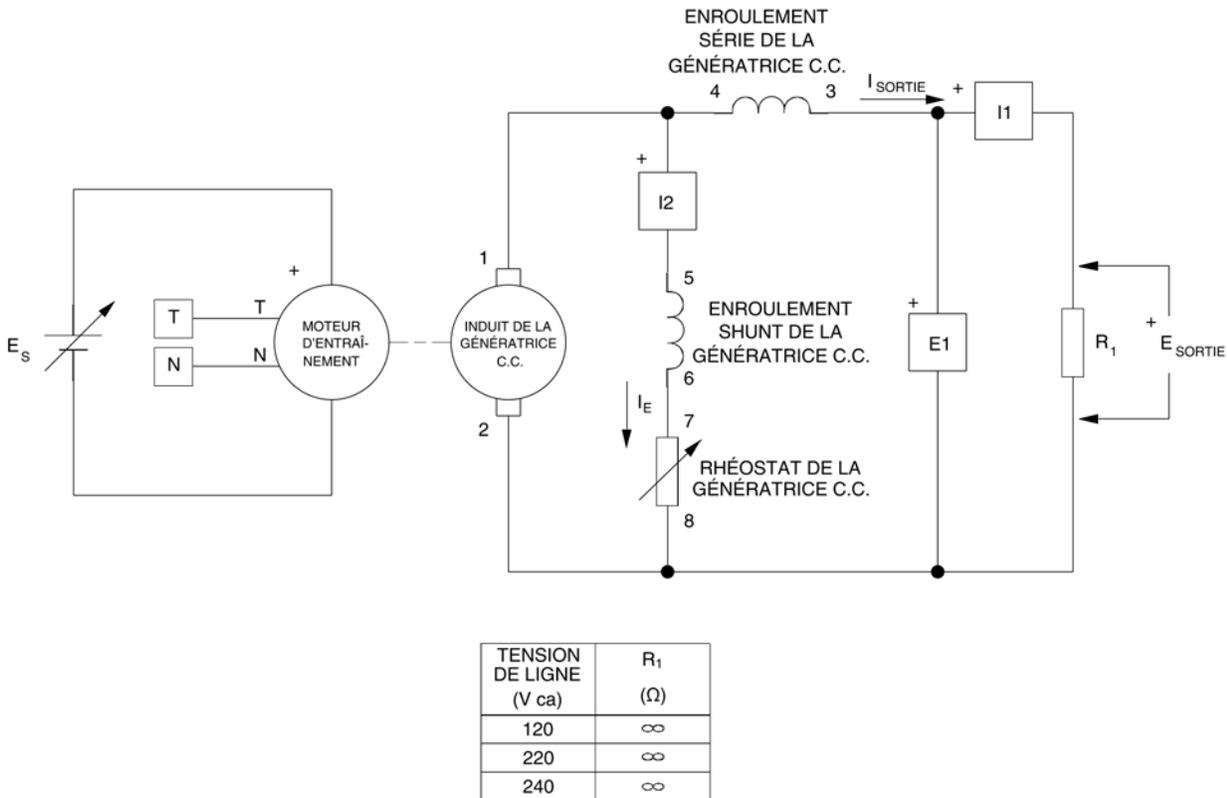


Figure 2-35. Génératrice compound différentielle couplée à un moteur d'entraînement (avec charge électrique).

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez tracé des graphiques illustrant les principales caractéristiques de fonctionnement d'une génératrice c.c. à excitation séparée. Vous avez observé que la tension de sortie augmente linéairement avec la vitesse. Vous avez également observé que le courant de sortie augmente linéairement en fonction du couple d'entrée. Vous avez découvert que la pente de la caractéristique de la tension de sortie en fonction de la vitesse est égale à la réciproque de la constante  $K_1$  et que la pente de la caractéristique du courant de sortie en fonction du couple est égale à la réciproque de la constante  $K_2$ . Vous avez constaté que les constantes  $K_1$  et  $K_2$  peuvent être modifiées en faisant varier le courant d'excitation et que cela permet de modifier la tension de sortie. Vous avez observé que la tension de sortie diminue lorsque le courant de sortie augmente.

Si vous avez effectué les expériences additionnelles, vous avez tracé les graphiques des caractéristiques de tension en fonction du courant pour les génératrices shunt, compound cumulative et compound différentielle. Vous avez comparé les différentes caractéristiques de tension en fonction du courant obtenues au cours de l'expérience. Vous avez observé que, lorsque le courant de sortie augmente, la tension de sortie de la génératrice shunt diminue plus rapidement que celle de la génératrice c.c. à excitation séparée. Vous avez découvert que la tension de sortie

# Génératrices c.c. à excitation séparée, shunt et compound

d'une génératrice compound cumulative varie peu en fonction de la variation de son courant de sortie. Enfin, vous avez constaté que, lorsque le courant de sortie augmente, la tension de sortie d'une génératrice compound différentielle diminue plus rapidement que celle des génératrices à excitation séparée et shunt.

## EXERCICES

1. Quel est l'effet d'une diminution du courant d'excitation sur la tension de sortie d'une génératrice c.c. à excitation séparée tournant à vitesse constante?
  - a. La tension de sortie augmente.
  - b. La tension de sortie diminue.
  - c. La tension de sortie oscille autour de sa valeur initiale.
  - d. Le courant d'excitation n'altère pas la tension de sortie.
  
2. Quel est l'effet d'une augmentation du courant de sortie sur le couple d'entrée d'une génératrice c.c. à excitation séparée?
  - a. Le couple augmente.
  - b. Le couple diminue.
  - c. Le couple oscille autour de sa valeur initiale.
  - d. Le courant de sortie n'altère pas le couple.
  
3. Quelle est la principale caractéristique d'une génératrice compound cumulative?
  - a. Sa tension de sortie devient instable lorsque son courant de sortie diminue.
  - b. Sa tension de sortie diminue lorsque son courant de sortie augmente.
  - c. Sa tension de sortie augmente lorsque son courant de sortie augmente.
  - d. Sa tension de sortie varie peu lorsque son courant de sortie varie.
  
4. Quelle est la principale caractéristique d'une génératrice compound différentielle?
  - a. Sa tension de sortie devient instable lorsque le courant de sortie diminue.
  - b. Sa tension de sortie diminue assez rapidement lorsque le courant à la sortie de la charge augmente.
  - c. Sa tension de sortie augmente lorsque son courant de sortie augmente.
  - d. Sa tension de sortie ne dépend pas de son courant de sortie.
  
5. Que se passe-t-il lorsque le courant d'excitation d'une génératrice c.c. à excitation séparée augmente et que sa vitesse demeure constante?
  - a. Son courant de sortie diminue.
  - b. Sa tension de sortie augmente.
  - c. Sa tension de sortie diminue.
  - d. Sa tension de sortie ne dépend pas du courant d'excitation.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Questions récapitulatives

1. Le rotor, ou induit, d'un moteur c.c. est constitué
  - a. d'un cylindre en fer et d'enroulements.
  - b. d'un cylindre en fer, d'enroulements et de balais.
  - c. d'un cylindre en fer, d'enroulements et d'un collecteur.
  - d. d'un cylindre en fer, d'enroulements, d'un collecteur et d'une source c.c.
  
2. Le principe de base du fonctionnement d'un moteur c.c. est la création
  - a. d'un électro-aimant.
  - b. d'un électro-aimant tournant à l'intérieur de l'induit.
  - c. d'un électro-aimant fixe à l'intérieur de l'induit.
  - d. d'un électro-aimant tournant au stator.
  
3. La vitesse  $n$  d'un moteur c.c. à excitation séparée est égale à :
  - a.  $K_2 \times E_{f.c.é.m.}$
  - b.  $K_1 \times I_1$
  - c.  $K_1 \times E_{f.c.é.m.} \times I_1$
  - d.  $K_1 \times E_{f.c.é.m.}$
  
4. La résistance d'induit  $R_1$  et les constantes  $K_1$  et  $K_2$  d'un moteur c.c. à excitation séparée sont  $0,2 \Omega$ ,  $8 \text{ tr/min/V}$  et  $0,8 \text{ N}\cdot\text{m/A}$  ( $7,08 \text{ lbf}\cdot\text{po/A}$ ), respectivement. Sachant que la tension d'induit  $E_1$  et le courant d'induit  $I_1$  sont  $300 \text{ V}$  et  $100 \text{ A}$ , quels sont la vitesse  $n$  et le couple  $T$  de ce moteur?
  - a.  $n = 2400 \text{ tr/min}$ ,  $T = 80 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $708 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ).
  - b.  $n = 2240 \text{ tr/min}$ ,  $T = 800 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $7080 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ).
  - c.  $n = 2240 \text{ tr/min}$ ,  $T = 80 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $708 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ).
  - d.  $n = 2400 \text{ tr/min}$ ,  $T = 240 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $2124 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ).
  
5. Le courant d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée fonctionnant à une tension d'induit constante et avec une charge mécanique constante est modifié. Cela provoque une augmentation de sa vitesse. Le courant de champ a donc
  - a. diminué.
  - b. augmenté.
  - c. Cela est impossible, car la vitesse ne dépend pas du courant d'excitation.
  - d. Aucune de ces réponses.
  
6. Lorsque le courant d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée augmente,
  - a. les constantes  $K_1$  et  $K_2$  diminuent.
  - b. la constante  $K_1$  diminue et la constante  $K_2$  augmente.
  - c. la constante  $K_1$  augmente et la constante  $K_2$  diminue.
  - d. les constantes  $K_1$  et  $K_2$  augmentent.

## Questions récapitulatives (suite)

7. La vitesse d'un moteur c.c. à excitation séparée
- augmente linéairement lorsque le couple du moteur augmente.
  - diminue linéairement lorsque le couple du moteur augmente.
  - est constante lorsque le couple du moteur augmente.
  - diminue rapidement et de façon non linéaire lorsque le couple du moteur augmente.
8. Dans un moteur série, l'électro-aimant d'excitation est constitué d'un enroulement raccordé
- en parallèle avec l'induit.
  - en parallèle avec l'induit et d'un second enroulement raccordé en série avec l'induit.
  - en série avec l'induit.
  - en série avec une source de tension c.c. séparée.
9. La tension induite dans une génératrice c.c. à excitation séparée ( $E_{f.e.m.}$ ) tournant à une vitesse constante de 1600 tr/min est de 600 V. Cela fait circuler un courant de 400 A dans la charge électrique raccordée aux bornes de la génératrice c.c. Sachant que la résistance de son induit est de  $0,15 \Omega$ , quelle est la tension de sortie  $E_{SORTIE}$  de la génératrice?
- $E_{SORTIE} = 360 \text{ V}$ .
  - $E_{SORTIE} = 540 \text{ V}$ .
  - $E_{SORTIE} = 600 \text{ V}$ .
  - $E_{SORTIE} = 200 \text{ V}$ .
10. La tension de sortie  $E_{SORTIE}$  d'une génératrice compound cumulative
- augmente linéairement lorsque le courant de sortie  $I_{SORTIE}$  augmente.
  - diminue linéairement lorsque le courant de sortie  $I_{SORTIE}$  augmente.
  - varie peu lorsque le courant de sortie  $I_{SORTIE}$  augmente.
  - diminue rapidement et de façon non linéaire lorsque le courant de sortie  $I_{SORTIE}$  augmente.

## Caractéristiques particulières des moteurs c.c.

### OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de démontrer et d'expliquer certaines caractéristiques de fonctionnement particulières des moteurs c.c.

### PRINCIPES FONDAMENTAUX

Dans le Bloc 2 du présent manuel, vous avez observé les principales caractéristiques de fonctionnement d'un moteur c.c. à excitation séparée, qui peut être considéré comme un convertisseur tension-vitesse linéaire et un convertisseur courant-couple linéaire. Vous avez également observé que le moteur c.c. est un convertisseur réversible pouvant convertir une puissance électrique en puissance mécanique, et vice versa.

Cependant, le fonctionnement d'un moteur c.c. n'est plus linéaire lorsque le courant d'excitation ou le courant d'induit dépasse sa valeur nominale. Lorsque le courant d'excitation est trop élevé, il y a apparition du phénomène de saturation à l'intérieur du fer composant la machine c.c. Le flux du champ magnétique fixe à l'intérieur de la machine c.c. n'augmente donc plus de façon proportionnelle au courant d'excitation. Lorsque le courant d'induit est trop élevé, il y a apparition d'un phénomène appelé réaction d'induit. La réaction d'induit modifie le flux du champ magnétique fixe à l'intérieur de la machine c.c., ce qui fait varier la caractéristique du couple en fonction du courant d'induit. Cela réduit également la tension induite ( $E_{f.c.é.m.}$  ou  $E_{f.é.m.}$ , selon que la machine c.c. fonctionne en moteur ou en génératrice).

Dans le Bloc 2 du présent manuel, vous avez observé le fonctionnement de moteurs c.c. shunt et série raccordés à une source de tension c.c. Ces deux moteurs peuvent également être alimentés par une tension c.a., mais leur rendement sera alors faible. Au cours du Bloc 3, vous allez observer que l'ajout d'un enroulement de compensation spécial permet d'obtenir un rendement acceptable au moyen d'un moteur série alimenté par une source de tension c.a. Ce type de moteur série est appelé moteur universel.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Réaction d'induit et effet de saturation

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer certains effets de la réaction d'induit et de la saturation de machines c.c. à l'aide du module Moteur / Génératrice c.c.

### PRINCIPES

#### Réaction d'induit

Vous avez vu précédemment que la vitesse d'un moteur ou d'une génératrice c.c. est proportionnelle à la tension d'induit  $E_i$  et que le couple est proportionnel au courant d'induit  $I_i$ . Cependant, cela n'est plus vrai lorsque le courant d'induit  $I_i$  augmente considérablement et dépasse sa valeur nominale, car le champ magnétique généré par l'induit commence à altérer le champ magnétique généré par l'électro-aimant d'excitation. La figure 3-1 illustre l'effet de la réaction d'induit sur la tension de sortie d'une génératrice c.c.

Lorsque le courant d'induit  $I_i$  est nul, le flux à l'intérieur de la génératrice c.c. est horizontal, le collecteur redresse parfaitement la tension induite dans l'enroulement de l'induit et la tension de sortie de la génératrice c.c. est maximale, comme le montre la figure 3-1 (a). Cependant, lorsque le courant d'induit  $I_i$  est différent de zéro, les champs magnétiques générés par l'induit et l'électro-aimant d'excitation s'additionnent vectoriellement. Comme le montre la figure 3-1 (b), le flux magnétique résultant de l'interaction de ces deux champs magnétiques n'est plus horizontal et la tension induite est en retard. Puisque les instants de commutation sont les mêmes, la tension moyenne redressée (tension de sortie) est réduite. En plus de produire une tension de sortie plus faible, la commutation survient à des instants où la tension induite est différente de zéro et produit ainsi des étincelles au niveau des balais et du collecteur. Cela a pour effet d'user les balais et le collecteur. La réaction d'induit engendre également un autre problème : la diminution du couple magnétique lorsque le courant d'induit  $I_i$  augmente.

# Réaction d'induit et effet de saturation

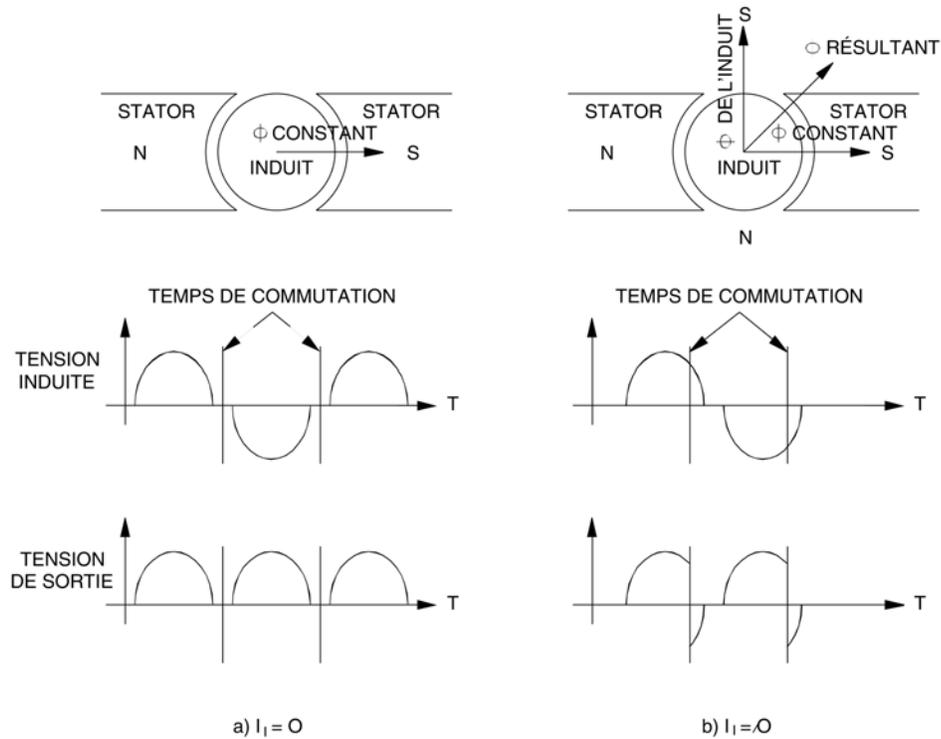


Figure 3-1. Effet de la réaction d'induit sur la tension de sortie.

La figure 3-2 (a) montre la courbe de l'effet de la réaction d'induit sur la tension de sortie en fonction du courant de sortie d'une génératrice c.c. à excitation séparée. La ligne pointillée constitue la courbe de la tension en fonction du courant d'une génératrice c.c. théorique (sans réaction d'induit, c'est-à-dire que  $E_{\text{SORTIE}} = E_{f.e.m.} - R_1 \times I_{\text{SORTIE}}$ ). L'autre courbe représente la vraie tension en fonction du courant de cette même génératrice, y compris la réaction d'induit. Comme on peut le voir, la réaction d'induit provoque une autre diminution de la tension de sortie. Cette diminution est proportionnelle au courant de sortie.

La figure 3-2 (b) montre l'effet de la réaction d'induit sur la courbe du couple en fonction du courant d'un moteur c.c. à excitation séparée. La ligne pointillée représente la courbe théorique (linéaire) du couple en fonction du courant, c'est-à-dire sans réaction d'induit. L'autre ligne représente la vraie courbe, avec réaction d'induit. Comme on peut l'observer, la réaction d'induit empêche l'augmentation linéaire du couple en fonction du courant ( $I_1$  ou  $I_{\text{SORTIE}}$ , selon que la machine c.c. fonctionne en moteur ou en génératrice).

## Réaction d'induit et effet de saturation

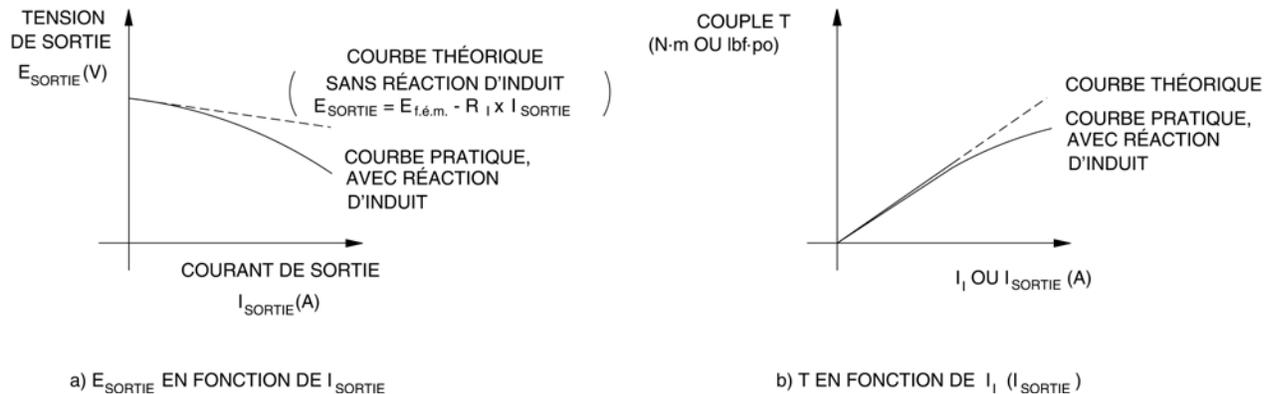


Figure 3-2. Effet de la réaction d'induit.

La conséquence la plus grave de la réaction d'induit est l'usure prématurée des balais et du collecteur, à cause des étincelles. Dans le cas de petites machines c.c., on peut améliorer la commutation en modifiant la position des balais, mais cette solution n'est valable qu'au point de fonctionnement auquel ils ont été ajustés. Si l'on désire modifier le sens de rotation ou utiliser la machine c.c. comme génératrice, la position des balais doit être réajustée. Pour améliorer la commutation, les gros moteurs comportent des enroulements supplémentaires, les enroulements de commutation, dans lesquels circule le courant d'induit. Ils sont placés de façon à générer un champ magnétique qui induit une faible tension dans les bobines d'induit commutées. De cette façon, une commutation appropriée est assurée, indépendamment du courant d'induit, du sens de rotation et du mode de fonctionnement de la machine (moteur ou génératrice).

On peut également améliorer la commutation en utilisant un moteur c.c. à aimant permanent, ce dernier ne produisant qu'une réaction d'induit presque nulle pour des courants jusqu'à 5 fois supérieurs au courant nominal d'induit. Cela est dû au fait qu'un aimant permanent peut générer un champ magnétique très fort et presque complètement immunisé contre toute source magnétique. Le champ magnétique ainsi généré par l'induit n'a donc que très peu d'effet sur le champ magnétique total à l'intérieur de la machine.

L'inductance  $L_1$  de l'enroulement de l'induit est un autre critère qui influence la commutation. Lorsque l'inductance de l'induit est trop élevée, la commutation est difficile car, dans un inducteur à inductance élevée, le courant ne peut cesser de circuler et changer instantanément de direction. Le moteur c.c. à aimant permanent a comme particularité de posséder une inductance d'induit faible assurant une meilleure commutation. C'est pourquoi les caractéristiques des moteurs c.c. à aimant permanent sont supérieures à celles des moteurs à excitation séparée, des moteurs série et des moteurs shunt. Cependant, il est impossible de fabriquer de gros moteurs c.c. à aimant permanent.

# Réaction d'induit et effet de saturation

## Effet de la saturation

Comme vous l'avez vu précédemment, on peut faire varier le courant d'excitation  $I_E$  d'un moteur c.c. pour en modifier les caractéristiques de fonctionnement. Par exemple, lorsque le courant  $I_E$  diminue, la vitesse augmente, même si la tension d'induit demeure constante. Cependant, le couple généré pour un courant d'induit donné diminue. En conséquence, la puissance de sortie du moteur demeure la même, car elle est proportionnelle au produit de sa vitesse par son couple.

On désire souvent obtenir un moteur générant un couple maximal à basse vitesse. Pour ce faire, on doit augmenter la force de l'électro-aimant d'excitation (courant d'excitation  $I_E$  plus élevé) ainsi que la force de l'électro-aimant tournant à l'intérieur de l'induit (courant d'induit  $I_I$  plus élevé). Cependant, le courant d'induit doit être limité afin d'empêcher qu'il y ait surchauffe. De plus, le courant d'excitation doit également être limité afin d'empêcher qu'il y ait saturation. Lorsque l'on commence à augmenter le courant d'excitation, la constante  $K_2$  augmente de façon proportionnelle. Cependant, lorsque le courant d'excitation dépasse une certaine valeur, il commence à y avoir saturation du fer de la machine. En conséquence, la force de l'électro-aimant d'excitation n'augmente plus de façon proportionnelle au courant d'excitation. La figure 3-3 illustre comment le couple généré par un moteur c.c. augmente lorsque le courant d'excitation  $I_E$  augmente et que le courant d'induit  $I_I$  demeure constant.

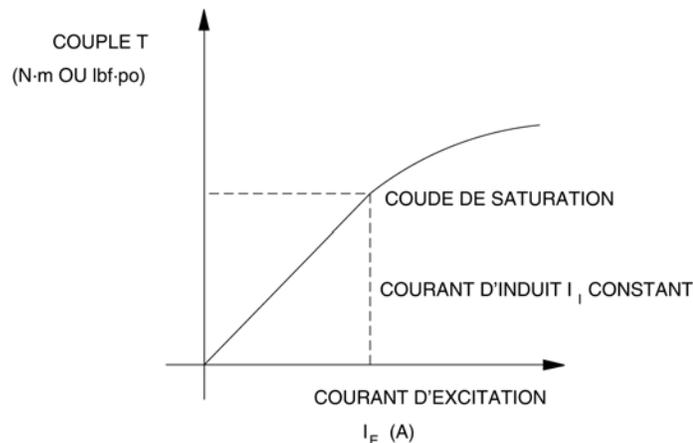
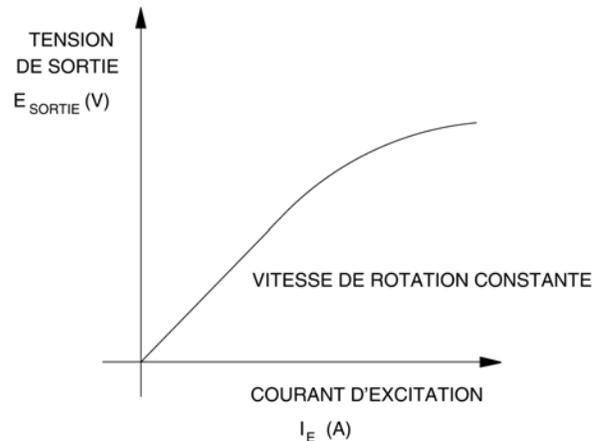


Figure 3-3. Effet de la saturation sur le couple d'un moteur c.c.

Comme on peut le voir, la courbe du couple  $T$  en fonction du courant d'excitation  $I_E$  s'aplanit pour les valeurs les plus élevées de  $I_E$ . L'augmentation supplémentaire du couple, qui correspond aux augmentations additionnelles du courant d'excitation, diminue au-delà du coude de saturation. Une augmentation du courant d'excitation génère également davantage de chaleur à l'intérieur du moteur. Habituellement, le courant nominal de charge choisi se trouve au tout début du coude de saturation, afin de permettre d'obtenir un couple maximal avec un courant d'excitation minimal.

Cette même caractéristique peut être visualisée en utilisant un moteur c.c. comme génératrice, car plus l'électro-aimant d'excitation est puissant, plus la tension  $E_{f.e.m.}$  induite à une vitesse donnée est élevée et plus la tension de sortie  $E_{SORTIE}$  est élevée. La figure 3-4 montre la courbe de la tension de sortie  $E_{SORTIE}$  en fonction du courant d'excitation  $I_E$ , à vitesse constante.

# Réaction d'induit et effet de saturation



**Figure 3-4. Effet de la saturation sur la tension de sortie d'une génératrice c.c. Sommaire des manipulations**

Dans la première partie de cette expérience, vous allez effectuer des calculs au moyen de données obtenues aux expériences 2-1 et 2-3. Vous allez utiliser les résultats ainsi obtenus pour tracer sur le graphique G232-1 la courbe théorique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie de la génératrice c.c. à excitation séparée utilisée à l'Expérience 2-3. Cela vous permettra d'illustrer l'effet de la réaction d'induit sur la tension de sortie d'une génératrice c.c.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder tel qu'illustré à la figure 3-5 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez régler le courant d'excitation de la génératrice c.c. à excitation séparée. Vous allez faire varier le courant de sortie de la génératrice c.c. de zéro à deux fois sa valeur nominale, afin d'obtenir les données nécessaires pour tracer un graphique du couple appliqué à la génératrice c.c. en fonction du courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$ . Cela vous permettra de démontrer l'effet de la réaction d'induit sur la courbe du couple en fonction du courant d'une machine c.c.

Dans la quatrième partie de cette expérience, vous allez raccorder l'équipement comme à la figure 3-6. Vous allez faire varier le courant d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée entre zéro et environ 175% de sa valeur nominale, tout en conservant un courant d'induit constant, afin d'obtenir les données nécessaires pour tracer un graphique du couple du moteur en fonction du courant d'excitation  $I_E$ . Cela vous permettra de démontrer l'effet de la saturation dans les machines c.c.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

# Réaction d'induit et effet de saturation

## MANIPULATIONS



### ATTENTION!

**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Effet de la réaction d'induit sur la tension de sortie d'une génératrice c.c.

1. Notez ci-dessous la résistance d'induit du module Moteur / Générateur c.c. mesurée à l'Expérience 2-1.

$$R_l = \text{_____} \Omega$$

2. Consultez le graphique G232-1 obtenu à l'Expérience 2-3. Il s'agit de la courbe de la tension de sortie en fonction du courant de sortie d'une génératrice c.c. à excitation séparée tournant à vitesse constante. Notez ci-dessous la tension de sortie à vide (tension obtenue lorsque  $I_{\text{SORTIE}} = 0 \text{ A}$ ), qui se trouve dans le tableau de données DT232. Cette tension est égale à la tension induite aux bornes de l'enroulement de l'induit de la génératrice c.c. ( $E_{f.é.m.}$ ).

$$E_{f.é.m.} = \text{_____} \text{ V}$$

3. À l'aide de l'équation suivante, calculez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  de la génératrice c.c. pour chacun des courants de sortie indiqués au tableau 3-1 :

$$E_{\text{SORTIE}} = E_{f.é.m.} - R_l \times I_{\text{SORTIE}}$$

TENSION DE LIGNE	COURANT DE SORTIE $I_{\text{SORTIE}}$	COURANT DE SORTIE $I_{\text{SORTIE}}$	COURANT DE SORTIE $I_{\text{SORTIE}}$	COURANT DE SORTIE $I_{\text{SORTIE}}$
V ca	A	A	A	A
120	0,5	1,0	1,5	2,0
220	0,25	0,5	0,75	1,0
240	0,25	0,5	0,75	1,0

Tableau 3-1. Courants de sortie de la génératrice c.c.

Lorsque  $I_{\text{SORTIE}}$  est égal à \_\_\_\_\_ A,  $E_{\text{SORTIE}} = \text{_____} \text{ V}$

Lorsque  $I_{\text{SORTIE}}$  est égal à \_\_\_\_\_ A,  $E_{\text{SORTIE}} = \text{_____} \text{ V}$

Lorsque  $I_{\text{SORTIE}}$  est égal à \_\_\_\_\_ A,  $E_{\text{SORTIE}} = \text{_____} \text{ V}$

Lorsque  $I_{\text{SORTIE}}$  est égal à \_\_\_\_\_ A,  $E_{\text{SORTIE}} = \text{_____} \text{ V}$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Réaction d'induit et effet de saturation

- 4. Utilisez les tensions et courants de sortie obtenus à la manipulation précédente pour tracer sur le graphique G232-1 la courbe théorique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie de la génératrice c.c. à excitation séparée.

Comparez les courbes théorique et réelle de tension en fonction du courant tracées sur le graphique G232-1. Votre comparaison indique-t-elle que la réaction d'induit provoque une diminution additionnelle de la tension de sortie lorsque le courant de sortie augmente?

## Montage de l'équipement

- 5. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur / Génératrice c.c. et Interface d'acquisition de données dans le Poste de travail EMS.

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du système EMS, assurez-vous que les balais du module Moteur / Génératrice c.c. sont ajustés au point neutre. Pour ce faire, raccordez une source de tension c.a. (bornes 4 et N du Bloc d'alimentation) à l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 1 et 2), via l'entrée COURANT I1 du module Interface d'acquisition de données. Raccordez l'enroulement shunt du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 5 et 6) à l'entrée TENSION E1 du module Interface d'acquisition de données. Lancez l'application Appareils de mesure et ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. (indiqué sur l'appareil de mesure I1) égal à la moitié du courant d'induit nominal circule dans l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Ajustez le levier d'ajustement des balais du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que la tension aux bornes de l'enroulement shunt (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit minimale. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), quittez l'application Appareils de mesure et débranchez tous les fils et câbles.

Au moyen d'une courroie crantée, coupez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur / Génératrice c.c.

- 6. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 7. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

# Réaction d'induit et effet de saturation

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 8. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 9. Montez le circuit de la génératrice c.c. à excitation séparée de la figure 3-5.

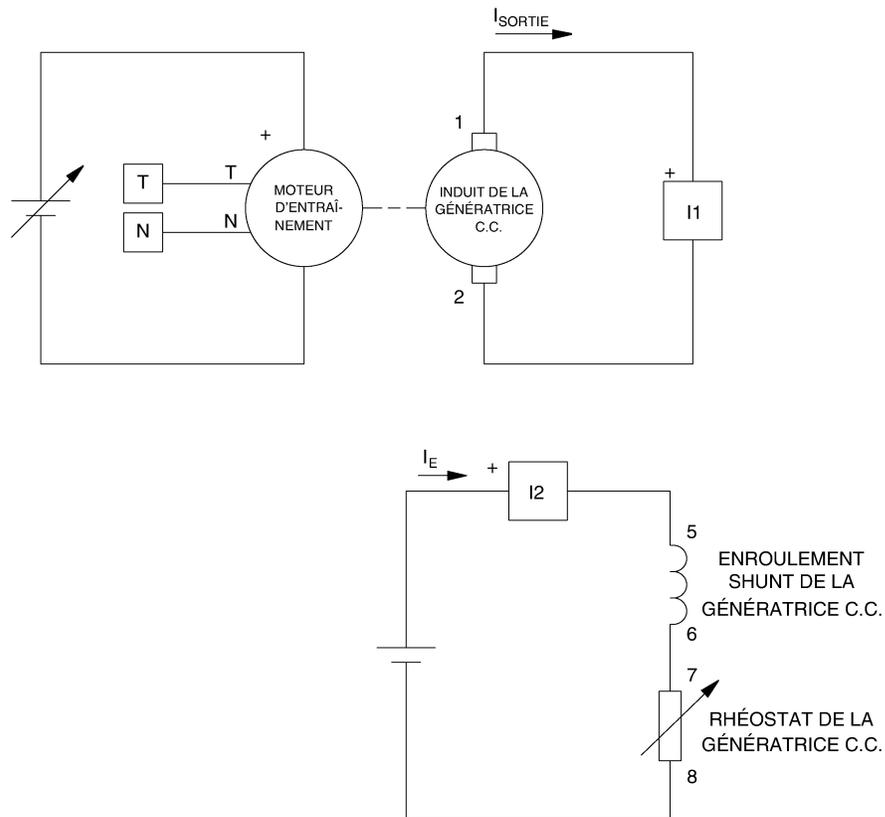


Figure 3-5. Génératrice c.c. à excitation séparée couplée à un moteur d'entraînement.

- 10. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
 COMMANDE DE LA CHARGE  
 Sélecteur MODE ..... MAN.  
 Bouton de commande MANUELLE ..... MAX.  
 (vers la droite, jusqu'au bout)  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

# Réaction d'induit et effet de saturation

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, vous pouvez effectuer un zoom avant du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre avant d'effectuer ces réglages, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Effet de la réaction d'induit sur le couple

11. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., réglez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  indiqué sur l'appareil de mesure I2 de l'application Appareils de mesure soit égal à celui indiqué dans le tableau suivant :

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	250
220	160
240	175

Tableau 3-2. Courant d'excitation circulant dans la génératrice c.c. à excitation séparée.

Dans l'application Appareils de mesure, sélectionnez la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T. Ce dernier indique maintenant le couple généré par la génératrice c.c. Ce couple s'oppose à la rotation. Il est égal au couple appliqué à l'arbre de la génératrice c.c., mais il est de polarité opposée.

12. Dans l'application Appareils de mesure, notez le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la vitesse  $n$  et le couple  $T$  (indiqués sur les appareils de mesure I1, I2, N et T, respectivement) de la génératrice c.c. dans le Tableau de données.

Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension afin d'augmenter le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  jusqu' à environ deux fois le courant nominal d'induit du module Moteur / Génératrice c.c., en dix pas. Pour chaque courant réglé, notez la donnée dans le Tableau de données.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

# Réaction d'induit et effet de saturation

**Remarque :** *Au cours de cette manipulation, le courant de sortie dépasse le courant nominal d'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.*

- 13. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O.

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

**Remarque :** *Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.*

- 14. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique du couple appliqué à la génératrice c.c. (mesuré au moyen de l'appareil de mesure T) en fonction du courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  de la génératrice c.c. (mesuré au moyen de l'appareil de mesure I1). Intitulez le graphique G311, nommez son axe des X Courant de sortie de la génératrice c.c., nommez son axe des Y Couple appliqué à la génératrice c.c. et imprimez-le.

**Remarque :** *Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.*

Lorsque le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  dépasse le courant nominal d'induit du module Moteur / Génératrice c.c., peut-on dire que la variation du couple est linéaire?

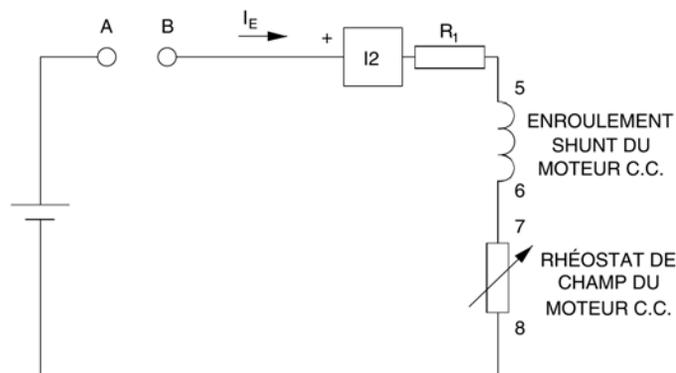
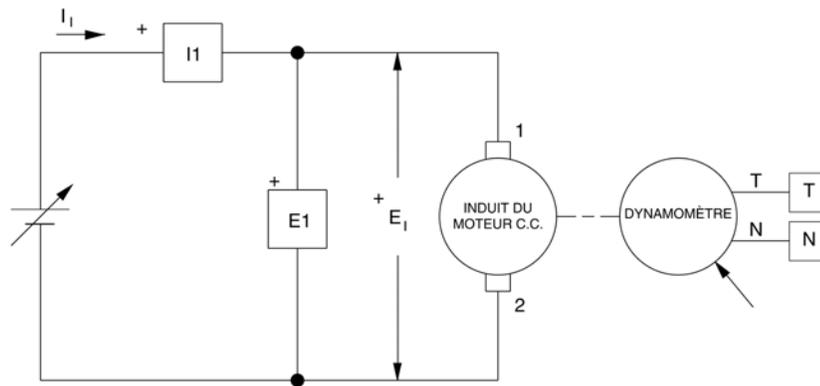
- Oui       Non

Dans la fenêtre Tableau de données, effacez les données enregistrées.

## Effet de la saturation sur le couple

- 15. Modifiez les raccords de façon à obtenir le circuit du moteur c.c. à excitation séparée de la figure 3-6. Raccordez les trois sections de résistance du module Charge résistive en parallèle, afin de réaliser la résistance  $R_1$ . Laissez le circuit ouvert aux points A et B, comme à la figure 3-6.

## Réaction d'induit et effet de saturation



TENSION DE LIGNE (V ca)	$R_1$ ( $\Omega$ )
120	1200
220	4400
240	4800

Figure 3-6. Moteur c.c. à excitation séparée couplé à un dynamomètre.

Réglez comme suit les commandes du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
 COMMANDE DE LA CHARGE  
 Sélecteur MODE ..... MAN.  
 Bouton de commande MANUELLE ..... MAX.  
 (vers la droite, jusqu'au bout)  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP vers la gauche, jusqu'au bout.

## Réaction d'induit et effet de saturation

16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le courant d'induit soit égal à 50% du courant nominal, puis notez la tension d'induit  $E_i$ , le courant d'induit  $I_i$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la vitesse  $n$  et le couple  $T$  (indiqués sur les appareils de mesure  $E1$ ,  $I1$ ,  $I2$ ,  $N$  et  $T$ , respectivement) du moteur c.c. dans le Tableau de données.

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O.

Reliez les points A et B illustrés dans le circuit de la figure 3-6.

17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I, réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le courant d'induit soit égal à 50% du courant nominal, puis notez les données dans le Tableau de données.

Réglez la résistance  $R_1$  (en modifiant la position des commutateurs à bascule du module Charge résistive) et le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  augmente par pas, comme l'indique le tableau 3-3. Pour chaque courant réglé, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation de façon à ce que le courant d'induit  $I_i$  demeure égal à 50% du courant nominal, puis notez les données dans le Tableau de données.

**Remarque :** Pour obtenir les courants d'excitation élevés indiqués au tableau 3-3, on doit court-circuiter la résistance  $R_1$ .

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$							
V ca	mA							
120	100	150	200	250	300	350	400	450
220	65	95	130	160	190	220	255	285
240	70	105	140	175	210	245	280	315

Tableau 3-3. Courants d'excitation d'un moteur c.c. à excitation séparée.

18. Sur le module Moteur / Génératrice c.c., tournez le bouton RHÉOSTAT DE CHAMP vers la droite, jusqu'au bout, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation de façon à ce que le courant d'induit demeure égal à 50% du courant nominal, puis notez les données dans le Tableau de données.

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O.

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

# Réaction d'induit et effet de saturation

19. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique du couple du moteur c.c. (mesuré au moyen de l'appareil de mesure T) en fonction du courant d'excitation  $I_E$  (mesuré au moyen de l'appareil de mesure I2). Intitulez le graphique G312, nommez son axe des X Courant d'excitation, nommez son axe des Y Couple du moteur c.c. et imprimez-le

Observez le graphique G312. De quelle façon varie le couple du moteur c.c. lorsque le courant d'excitation augmente?

---

---

---

Expliquez brièvement ce qui survient lorsque le courant d'excitation dépasse le courant nominal.

---

---

---

20. Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## EXPÉRIENCES ADDITIONNELLES

### Inductance de l'induit du module Moteur / Génératrice c.c.

Vous pouvez déterminer l'inductance de l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Pour ce faire, vous devez vous assurer que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, puis vous devez monter le circuit de la figure 3-7. Dans la fenêtre Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, sélectionnez l'agencement des appareils de mesure et réglez l'appareil de mesure programmable B en impédancemètre (X). Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. (indiqué sur l'appareil de mesure I1) égal au courant nominal d'induit du module Moteur / Génératrice c.c. circule dans l'induit. Notez la réactance d'induit ( $X_L$ ) indiquée sur l'appareil de mesure B, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et convertissez la réactance  $X_L$  en inductance, à l'aide de la formule suivante :

$$L_1 = \frac{X_L}{2\pi f} \times 1000 = \text{---} = \text{---} \text{ mH}$$

# Réaction d'induit et effet de saturation

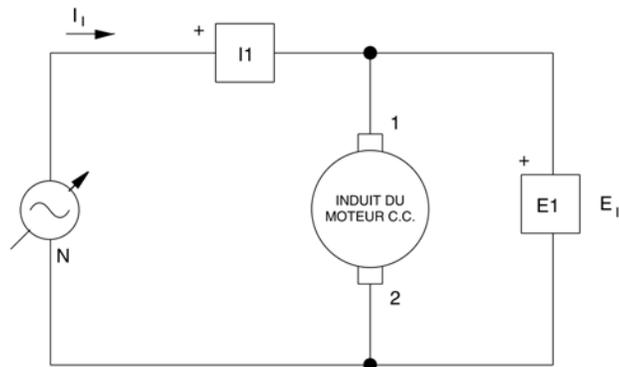


Figure 3-7. Inductance de l'induit du moteur d'entraînement

Vous pouvez déterminer l'inductance de l'induit du moteur d'entraînement, qui est un moteur c.c. à aimant permanent. Pour ce faire, il s'agit de vous assurer que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, puis de monter le circuit de la figure 3-8. Réglez le sélecteur MODE du moteur d'entraînement à la position MOTEUR. Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, sélectionnez l'agencement des appareils de mesure et réglez l'appareil de mesure programmable B en impédancemètre (X). Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. de 3 A (indiqué sur l'appareil I1) circule à l'intérieur du moteur d'entraînement. Notez la réactance d'induit ( $X_l$ ) indiquée sur l'appareil de mesure B, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et convertissez la réactance  $X_l$  en inductance, à l'aide de la formule suivante :

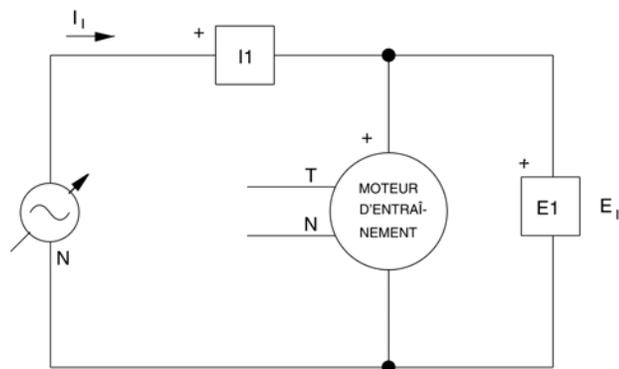


Figure 3-8.

$$L_l = \frac{X_l}{2\pi f} \times 1000 = \text{---} = \text{---} \text{ mH}$$

Comparez l'inductance de l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. à celle du moteur d'entraînement.

# Réaction d'induit et effet de saturation

## Effet de la réaction de l'induit sur le couple généré par un moteur c.c.

Vous pouvez observer l'effet que produit la réaction de l'induit sur la caractéristique du couple en fonction du courant d'un moteur c.c. à excitation séparée. Pour ce faire, veuillez consulter le graphique G212. Il comporte la caractéristique du couple en fonction du courant du moteur c.c. à excitation séparée utilisé à l'Expérience 2-1. Il est à remarquer que la courbe du couple en fonction du courant n'est plus linéaire lorsque le courant de l'induit est élevé.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez vu que la réaction de l'induit dans les machines c.c. fait diminuer rapidement la tension de sortie d'une génératrice lorsque le courant d'induit augmente. Vous avez remarqué que le couple d'un moteur est également altéré de la même façon. Vous avez constaté que le couple cesse d'augmenter linéairement en fonction du courant d'excitation lorsque débute la saturation du fer de la machine c.c.

Si vous avez effectué les expériences additionnelles, vous avez découvert que l'inductance de l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. est beaucoup plus élevée que celle du moteur d'entraînement (moteur c.c. à aimant permanent). Vous avez observé que la réaction de l'induit altère la caractéristique du couple en fonction du courant d'un moteur c.c. à excitation séparée.

## EXERCICES

1. Quelle est la conséquence la plus grave de la réaction de l'induit dans les machines c.c.?
  - a. L'usure prématurée de l'enroulement de l'induit.
  - b. L'usure prématurée de l'électro-aimant d'excitation et des balais.
  - c. L'usure retardée des balais et du collecteur.
  - d. L'usure prématurée des balais et du collecteur.
2. Comment la réaction de l'induit altère-t-elle la tension de sortie d'une génératrice c.c.?
  - a. La tension de sortie est inférieure à ce qu'elle devrait être.
  - b. La tension de sortie est supérieure à ce qu'elle devrait être.
  - c. Elle ne l'altère pas.
  - d. La tension de sortie est instable.
3. La réaction de l'induit d'un moteur c.c. fait que son couple est
  - a. inférieur à ce qu'il devrait être.
  - b. supérieur à ce qu'il devrait être.
  - c. très instable.
  - d. plus stable.

## Réaction d'induit et effet de saturation

4. Un moteur c.c. à aimant permanent permet une meilleure commutation qu'un moteur c.c. conventionnel, car
  - a. son inductance d'induit est supérieure.
  - b. son inductance d'induit est inférieure.
  - c. il comporte des enroulements de commutation.
  - d. il comporte des aimants permanents.
  
5. Les balais d'une machine c.c. comportant des enroulements de commutation
  - a. s'usent plus rapidement.
  - b. génèrent davantage d'étincelles.
  - c. n'ont plus besoin d'être réajustés pour différents points de fonctionnement.
  - d. a et b sont vraies.

## Le moteur universel

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'expliquer le fonctionnement d'un moteur universel en c.a. et en c.c. au moyen du module Moteur universel.

### PRINCIPES

Dans le Bloc 2, vous avez vu que l'enroulement de l'induit crée un champ magnétique tournant dans le rotor d'un moteur c.c. Ce champ magnétique tourne à la même vitesse que le moteur, mais dans le sens opposé. Les pôles de l'électro-aimant du rotor demeurent donc fixes. De plus, ils sont toujours à  $90^\circ$  des pôles de l'aimant ou de l'électro-aimant du stator (électro-aimant d'excitation), comme le montre la figure 2-5.

Cependant, si les polarités de l'électro-aimant du stator ou du rotor sont inversées, le sens de rotation du moteur est inversé, car les forces d'attraction et de répulsion entre les deux aimants sont opposées. La figure 3-9 illustre les différentes possibilités lorsque les polarités du courant d'induit  $I_I$  et du courant d'excitation  $I_E$  sont inversées. Lorsque les courants  $I_I$  et  $I_E$  sont de même polarité, le moteur tourne vers la droite. Inversement, lorsque les courants  $I_I$  et  $I_E$  sont de polarités opposées, il tourne vers la gauche.

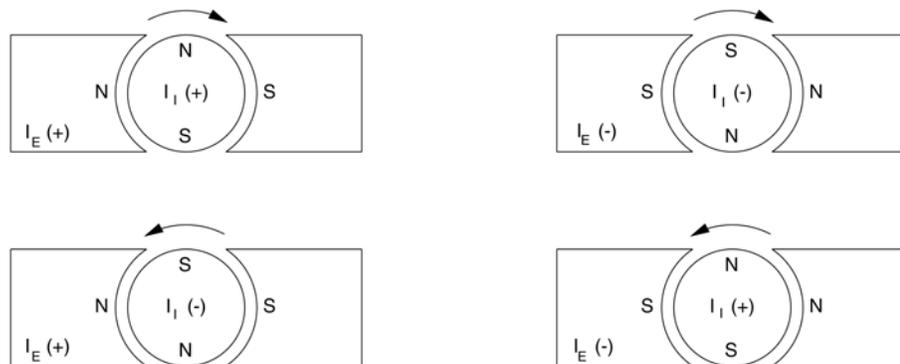


Figure 3-9. Le sens de rotation dépend des polarités des courants d'induit et d'excitation.

Lorsque l'induit et l'électro-aimant d'excitation d'un moteur c.c. sont alimentés au moyen de la même source, ce qui est le cas pour les moteurs shunt et série, l'inversion des polarités de la source de tension a pour effet d'inverser les polarités des courants d'induit et d'excitation. Le couple ne change donc pas de sens lorsque les polarités de la source de tension appliquée au moteur changent. Donc, même si les polarités de la source de tension changent constamment, les moteurs c.c. shunt et série tournent lorsqu'ils sont raccordés à une source de tension c.a.

Cependant, puisque les moteurs sont faits d'enroulements et de fer, une inductance est toujours associée à leurs enroulements. Par exemple, l'inductance de l'enroulement d'excitation d'un moteur shunt est habituellement élevée, car ce type de moteur comporte de nombreux tours de fil. Cela rend difficile la circulation d'un

# Le moteur universel

courant alternatif dans l'enroulement, car une inductance élevée signifie une impédance élevée. C'est pourquoi il est presque impossible d'obtenir un rendement satisfaisant au moyen d'un moteur shunt raccordé à une source de tension c.a.

Un moteur série comporte un enroulement d'excitation fait de quelques tours de fil seulement. L'inductance de l'enroulement d'excitation d'un moteur série est donc faible. Son impédance est donc très inférieure à celle de l'enroulement shunt et, avec une source c.a., le moteur série fonctionne mieux qu'un moteur shunt. Cependant, le rendement obtenu avec une source c.a. est naturellement très inférieur à celui obtenu lorsque le moteur série est raccordé à une source de tension c.c.

On peut augmenter grandement le rendement d'un moteur série fonctionnant au moyen d'une source c.a. en diminuant l'inductance de l'enroulement de l'induit. Pour ce faire, on peut ajouter au moteur série un nouvel enroulement appelé enroulement de compensation. Cet enroulement est installé dans les fentes du stator et le courant d'induit y circule. Les boucles de fils de l'enroulement de compensation sont raccordées de façon à ce que, dans chaque boucle, le sens de circulation du courant soit opposé au sens de circulation du courant de la boucle de l'induit correspondante, se trouvant juste à côté, comme le montre la figure 3-10.

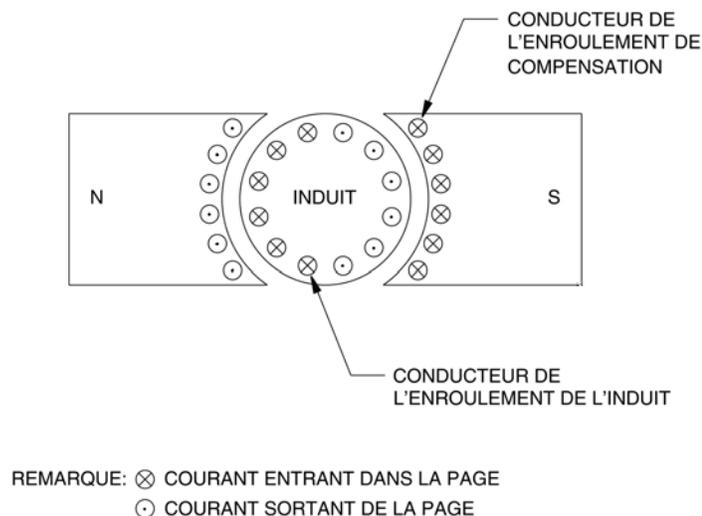


Figure 3-10. Circulation du courant dans l'enroulement de compensation.

Cela équivaut à faire dix tours de fil dans un sens et dix tours de fil dans l'autre pour réaliser une bobine. L'inductance de la bobine ainsi créée est très faible à cause de l'effet d'annulation provoqué par le nombre égal de tours dans des sens opposés. Ce nouveau type de moteur série est appelé moteur universel, car il peut fonctionner aussi bien au moyen d'un bloc d'alimentation c.a. que d'un bloc d'alimentation c.c.

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, raccorder l'équipement comme à la figure 3-11 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur universel

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez modifier les polarités des courants d'induit et d'excitation d'un moteur série fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.c., et observer l'effet que cela produit sur son sens de rotation. Vous allez également mesurer la tension c.c. nécessaire pour faire tourner le moteur série à une vitesse d'environ 1000 tr/min.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez remplacer la source d'alimentation c.c. par une source d'alimentation c.a. Vous allez observer que le sens de rotation d'un moteur série peut être modifié en inversant les fils de raccord de l'induit. Vous allez mesurer la tension c.a. nécessaire pour faire tourner le moteur série à une vitesse d'environ 1000 tr/min. Vous allez mesurer l'impédance de l'induit  $Z_i$ . Vous allez comparer le rendement du moteur série obtenu au moyen d'un bloc d'alimentation c.c. à celui obtenu au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.

Dans la quatrième partie de cette expérience, vous allez modifier les fils de raccord de façon à obtenir le circuit du moteur universel de la figure 3-12. Vous allez modifier les polarités des courants d'induit et d'excitation du moteur universel fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.c. et observer l'effet que cela produit sur le sens de rotation. Vous allez également mesurer la tension c.c. nécessaire pour faire tourner le moteur universel à une vitesse d'environ 1000 tr/min.

Dans la cinquième partie de l'expérience, vous allez remplacer la source d'alimentation c.c. par une source d'alimentation c.a. Vous allez observer que le sens de rotation du moteur universel peut être modifié en inversant les fils de raccord de l'induit. Vous allez mesurer la tension c.a. nécessaire pour faire tourner le moteur universel à une vitesse d'environ 1000 tr/min. Vous allez mesurer l'impédance de l'induit  $Z_i$ . Vous allez comparer le rendement du moteur universel obtenu au moyen d'un bloc d'alimentation c.c. à celui obtenu au moyen d'un bloc d'alimentation c.a. Vous allez comparer le rendement du moteur universel à celui du moteur série.

Dans la sixième partie de cette expérience, vous allez ajouter un enroulement de compensation au moteur universel. Vous allez observer l'effet que cela produit sur le rendement du moteur universel fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

# Le moteur universel

## Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur / Génératrice c.c. et Moteur universel dans le Poste de travail EMS.

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du système EMS, assurez-vous que les balais du module Moteur / Génératrice c.c. sont ajustés au point neutre. Pour ce faire, raccordez une source de tension c.a. (bornes 4 et N du Bloc d'alimentation) à l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 1 et 2), via l'entrée COURANT I1 du module Interface d'acquisition de données. Raccordez l'enroulement shunt du module Moteur / Génératrice c.c. (bornes 5 et 6) à l'entrée TENSION E1 du module Interface d'acquisition de données. Lancez l'application Appareils de mesure et ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce qu'un courant c.a. (indiqué sur l'appareil de mesure I1) égal à la moitié du courant d'induit nominal circule dans l'induit du module Moteur / Génératrice c.c. Ajustez le levier d'ajustement des balais du module Moteur / Génératrice c.c. de façon à ce que la tension aux bornes de l'enroulement shunt (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit minimale. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), quittez l'application Appareils de mesure et débranchez tous les fils et câbles.

Assurez-vous également que les balais du module Moteur universel sont ajustés au point neutre. Pour ce faire, répétez la manipulation ci-dessus en raccordant l'enroulement série du Moteur universel à l'entrée TENSION E1 du module Interface d'acquisition de données.

Au moyen d'une courroie crantée, couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur / Génératrice c.c.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur universel

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Montez le circuit du moteur série de la figure 3-11.

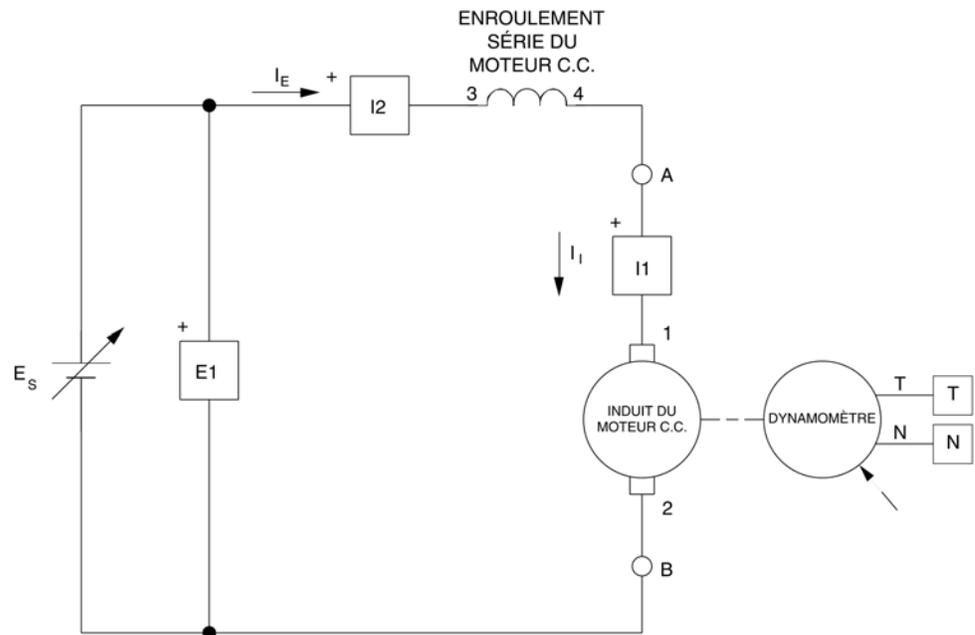


Figure 3-11. Moteur série couplé à un dynamomètre.

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MAX.  
(vers la droite, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS, vous pouvez effectuer un zoom avant du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre avant d'effectuer ces réglages, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

# Le moteur universel

## Sens de rotation d'un moteur c.c. série.,

7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min. Vérifiez si le courant d'induit  $I_l$  et le courant d'excitation  $I_E$  (indiqués sur les appareils de mesure I1 et I2, respectivement) sont positifs. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation.

$$E_s = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_l$  et  $I_E$  = positifs)

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

8. Sur le Bloc d'alimentation, inversez fils des bornes 7 et N afin d'inverser les polarités de la tension appliquée au moteur série.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min. Vérifiez si le courant d'induit  $I_l$  et le courant d'excitation  $I_E$  sont négatifs. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation.

$$E_s = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_l$  et  $I_E$  = négatifs)

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Lorsque le courant d'induit  $I_l$  et le courant d'excitation  $I_E$  sont de même polarité, quel est le sens de rotation du moteur?

- 
9. Inversez les fils d'induit aux points A et B illustrés à la figure 3-11.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min.

**Remarque :** Omettez le signe de la vitesse indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre et sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

Vérifiez si le courant d'induit  $I_l$  est positif et si le courant d'excitation  $I_E$  est négatif. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation du moteur.

$$E_s = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_l$  = positif,  $I_E$  = négatif)

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur universel

10. Sur le bloc d'alimentation, inversez les fils des bornes 7 et N afin d'inverser la polarité de la tension appliquée au moteur série.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm$ 25 tr/min.

**Remarque :** Omettez le signe de la vitesse indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre et sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

Vérifiez si le courant d'induit  $I_i$  est négatif et si le courant d'excitation  $I_e$  est positif. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation du moteur.

$$E_s = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_i$  = négatif,  $I_e$  = positif)

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Lorsque le courant d'induit  $I_i$  et le courant d'excitation  $I_e$  sont de polarités opposées, quel est le sens de rotation?

---

Inversez les fils d'induit aux points A et B illustrés à la figure 3-11. Les modules devraient être raccordés comme à la figure 3-11.

## Moteur c.c. série fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.

11. Remplacez la source de tension c.c. variable du circuit par une source de tension c.a. variable.

Dans l'application Appareils de mesure, réglez les appareils de mesure E1, I1 et I2 en mode c.a.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm$ 25 tr/min. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation.

$$E_s = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_i$  et  $I_e$  sont de même polarité)

Lorsque  $I_i$  et  $I_e$  sont de même polarité, le moteur série tourne-t-il dans le même sens que lorsqu'il fonctionnait au moyen de la source de tension c.c. (manipulations 7 et 8)?

Oui       Non

# Le moteur universel

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

12. Inversez les fils de l'induit se trouvant aux points A et B illustrés à la figure 3-11.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min.

**Remarque :** Omettez le signe de la vitesse indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre et sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

Notez la tension de source  $E_s$  et le sens de rotation.

$$E_s = \text{_____} \text{ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_l$  et  $I_E$  sont de polarités opposées)

Lorsque  $I_l$  et  $I_E$  sont de polarités opposées, le moteur série tourne-t-il dans le même sens que lorsqu'il fonctionnait au moyen d'une source d'alimentation c.c. (manipulations 9 et 10)?

Oui       Non

13. Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur série cesse de tourner.

Dans l'application Appareils de mesure, réglez l'appareil de mesure B en impédancemètre (Z).

Sur la ligne ci-dessous, notez l'impédance d'induit  $Z_l$  du moteur série indiquée sur l'appareil de mesure B.

$$Z_l = \text{_____} \Omega$$

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Comparez les tensions de source  $E_s$  c.c. et c.a. nécessaires pour faire tourner le moteur série à une vitesse d'environ 1000 tr/min. Expliquez brièvement pourquoi elles sont différentes.

---

---

---

---

# Le moteur universel

## Sens de rotation d'un moteur universel fonctionnant au moyen d'un Bloc d'alimentation c.c.

- 14. Retirez la courroie crantée couplant le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur / Génératrice c.c.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au moteur universel au moyen d'une courroie crantée.

Modifiez les raccords afin d'obtenir le circuit du moteur universel illustré à la figure 3-12.

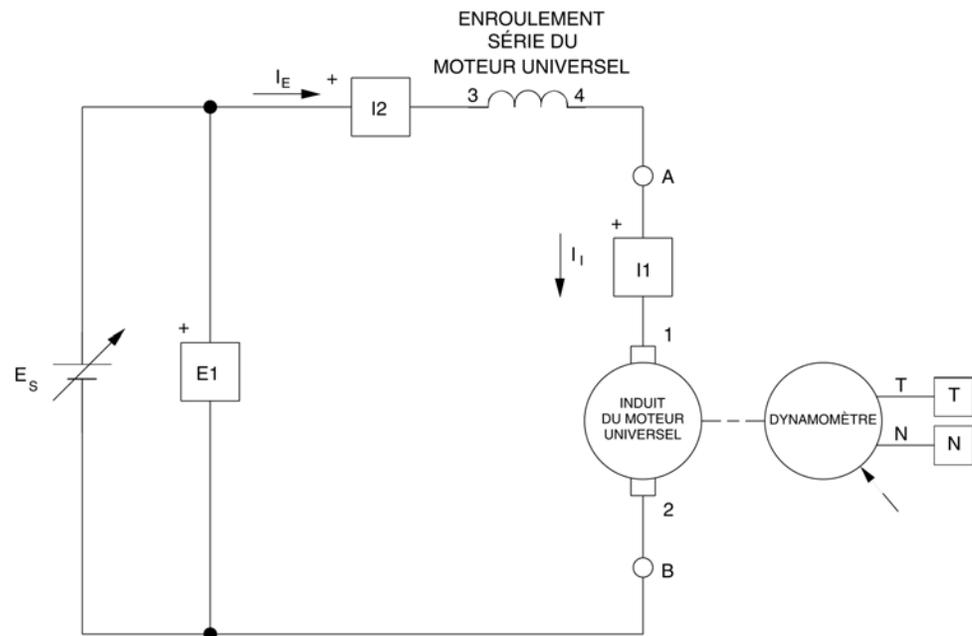


Figure 3-12. Moteur universel à alimentation c.c. couplé à un dynamomètre.

Dans l'application Appareils de mesure, réglez les appareils de mesure  $E1$ ,  $I1$ , et  $I2$  en mode c.c.

- 15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur universel tourne à une vitesse de  $1000 \text{ tr/min} \pm 25 \text{ tr/min}$ . Vérifiez si le courant d'induit  $I_1$  et le courant d'excitation  $I_E$  sont positifs. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation.

$$E_s = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_1$  et  $I_E$  = positifs)

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

# Le moteur universel

16. Sur le bloc d'alimentation, inversez les fils des bornes 7 et N afin d'inverser la polarité de la tension appliquée au moteur universel.

Mettez l'interrupteur principal du bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez légèrement le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur universel tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min. Vérifiez si le courant d'induit  $I_I$  et le courant de champ  $I_C$  sont négatifs. Notez la tension de la source  $E_S$  et le sens de rotation.

$$E_S = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_I$  et  $I_E$  = négatifs)

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Lorsque le courant d'induit  $I_I$  et le courant d'excitation  $I_E$  sont de même polarité, quel est le sens de rotation?

17. Inversez les fils de l'induit aux points A et B illustrés à la figure 3-12.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur universel tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min.

**Remarque :** Omettez le signe de la vitesse indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre et sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

Vérifiez si le courant d'induit  $I_I$  est positif et si le courant d'excitation  $I_E$  est négatif. Notez la tension de la source  $E_S$  et le sens de rotation du moteur.

$$E_S = \text{_____ V}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_I$  = positif,  $I_E$  = négatif)

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

18. Sur le Bloc d'alimentation, inversez les fils des bornes 7 et N afin d'inverser les polarités de la tension appliquée au moteur universel.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur universel tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min.

**Remarque :** Omettez le signe de la vitesse indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre et sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

# Le moteur universel

Vérifiez si le courant d'induit  $I_i$  est négatif et si le courant d'excitation  $I_E$  est positif. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation du moteur.

$E_s = \underline{\hspace{2cm}}$  V

Sens de rotation :  $\underline{\hspace{2cm}}$  ( $I_i$  = négatif,  $I_E$  = positif)

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Lorsque le courant d'induit  $I_i$  et le courant de champ  $I_E$  sont de polarités opposées, quel est le sens de rotation?

---

Lorsqu'il est alimenté au moyen d'une source c.c., un moteur universel se comporte-t-il de façon similaire à un moteur série?

Oui       Non

Inversez les fils d'induit aux points A et B illustrés à la figure 3-12. Les modules devraient être raccordés comme à la figure 3-12.

## Moteur universel fonctionnant au moyen d'un Bloc d'alimentation c.a.

19. Remplacez la source de tension c.c. variable du circuit par une source de tension c.a. variable.

Dans l'application Appareils de mesure, réglez les appareils de mesure E1, I1 et I2 en mode c.a.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur universel tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min. Notez la tension de la source  $E_s$  et le sens de rotation.

$E_s = \underline{\hspace{2cm}}$  V

Sens de rotation :  $\underline{\hspace{2cm}}$  ( $I_i$  et  $I_E$  sont de même polarité)

Lorsque  $I_i$  et  $I_E$  sont de même polarité, le moteur universel tourne-t-il dans le même sens que lorsqu'il fonctionnait au moyen de la source de tension c.c. (manipulations 7 et 8)?

Oui       Non

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

20. Inversez les fils de l'induit se trouvant aux points A et B illustrés à la figure 3-12.

# Le moteur universel

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur série tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm$  25 tr/min.

**Remarque :** Omettez le signe de la vitesse indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement/Dynamomètre et sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

Notez la tension de source  $E_s$  et le sens de rotation.

$E_s =$  \_\_\_\_\_ V (sans enroulement de compensation)

Sens de rotation : \_\_\_\_\_ ( $I_I$  et  $I_E$  sont de polarités opposées)

Lorsque  $I_I$  et  $I_E$  sont de polarités opposées, le moteur universel tourne-t-il dans le même sens que lorsqu'il fonctionnait au moyen d'une source d'alimentation c.c. (manipulations 17 et 18)?

Oui       Non

21. Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur universel cesse de tourner.

Sur la ligne ci-dessous, notez l'impédance d'induit  $Z_I$  du moteur série indiquée sur l'appareil de mesure B.

$Z_I =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$  (sans enroulement de compensation)

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Comparez les tensions de source  $E_s$  c.c. et c.a. nécessaires pour faire tourner le moteur universel à une vitesse d'environ 1000 tr/min. Expliquez brièvement pourquoi elles sont différentes.

---

---

---

---

Comparez les tensions c.c. nécessaires pour faire tourner le moteur universel et le moteur série à une vitesse d'environ 1000 tr/min.

---

---

# Le moteur universel

Comparez les tensions c.a. nécessaires pour faire tourner le moteur universel et le moteur série à une vitesse d'environ 1000 tr/min.

---

---

Inversez les fils de l'induit aux points A et B illustrés à la figure 3-12.

## Effet de l'enroulement de compensation

22. Modifiez les raccords afin de raccorder l'enroulement de compensation du moteur universel comme à la figure 3-13.

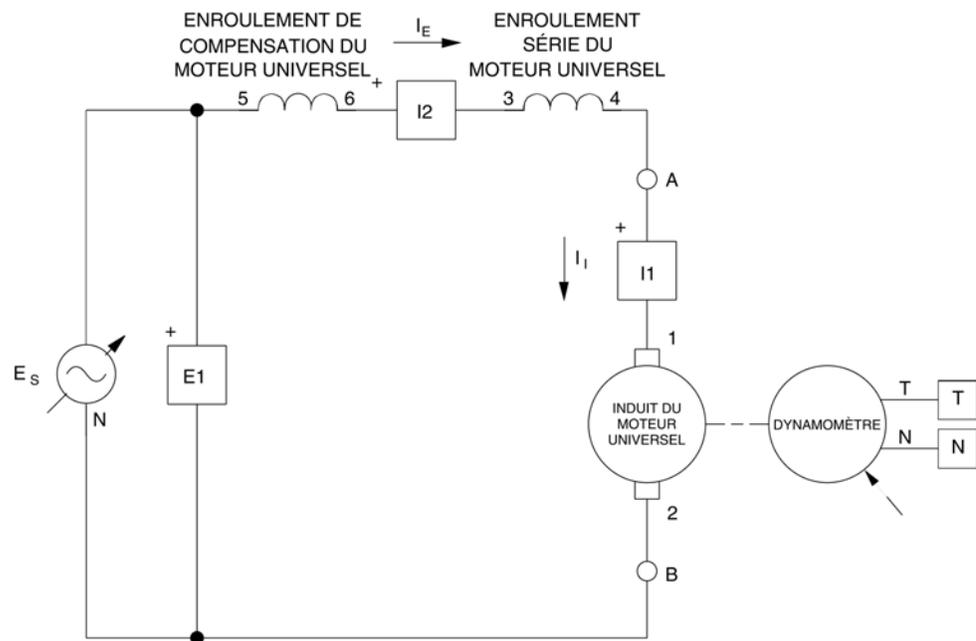


Figure 3-13. Moteur universel à alimentation c.a. (avec enroulement de compensation) couplé à un dynamomètre.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur universel tourne à une vitesse de 1000 tr/min  $\pm 25$  tr/min. Notez la tension de la source  $E_s$ .

$$E_s = \text{_____ V (avec enroulement de compensation)}$$

Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à ce que le moteur universel cesse de tourner.

# Le moteur universel

Notez ci-dessous l'impédance d'induit  $Z_l$  du moteur universel indiquée sur l'appareil de mesure B.

$$Z_l = \text{_____} \Omega \text{ (avec enroulement de compensation)}$$

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Comparez les tensions de source  $E_s$  c.a. nécessaires pour faire tourner les moteurs universels avec et sans enroulement de compensation à une vitesse de 1000 tr/min. Expliquez brièvement pourquoi elles sont différentes.

---

---

---

---

23. Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## EXPÉRIENCES ADDITIONNELLES

### Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur universel à alimentation c.a.

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur universel (avec enroulement de compensation) alimenté au moyen d'une source c.a. Pour ce faire, vous devez vous assurer que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et monter le circuit du moteur universel de la figure 3-13. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, assurez-vous que les sélecteurs MODE, MODE de la section COMMANDE DE LA CHARGE et AFFICHAGE sont aux positions DYN., MIN. et COUPLE, respectivement, et que le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE est à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout). Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que les appareils de mesure E1, I1 et I2 sont en mode c.a. et que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est activée. Effacez les données (s'il y en a) enregistrées dans le tableau de données. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension de la source  $E_s$  c.a. à la tension nominale du module Moteur universel. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module passe de 0 N·m (0 lbf·po) à 2,0 N·m (18,0 lbf·po), par pas de 0,2 N·m (2,0 lbf·po). Pour chaque couple réglé, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation, de façon à ce que la tension de la source  $E_s$  demeure celle précédemment réglée, attendez que la vitesse du moteur se stabilise, puis notez les données dans le Tableau de données. Lorsque toutes les données sont enregistrées, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Modifiez le tableau de données de façon à ne conserver que la vitesse  $n$ , le couple  $T$ , le courant d'induit  $I_l$  et la tension de la source  $E_s$ . Intitulez le tableau de données DT321. Tracez un graphique de la vitesse (mesurée au moyen de l'appareil

# Le moteur universel

de mesure N) en fonction du couple (mesuré au moyen de l'appareil de mesure T). Intitulez le graphique G321. Comparez la caractéristique de la vitesse en fonction du couple du moteur universel (graphique G321) à celle du moteur c.c. série (graphique G223 obtenu à l'Expérience 2-2).

**Remarque :** Au cours de cette manipulation, le courant d'induit peut dépasser le courant nominal. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.

## Moteur c.c. shunt fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.

Vous pouvez observer fonctionner un moteur shunt raccordé à une source de tension c.a. Pour ce faire, vous devez vous assurer que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et monter le circuit du moteur shunt de la figure 3-14. Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que les appareils de mesure E1, I1 et I2 sont en mode c.a. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur shunt commence à tourner. Notez-en le sens de rotation. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Inversez les fils de l'induit aux points A et B illustrés à la figure 3-14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez le bouton de commande de la tension jusqu'à ce que le moteur shunt commence à tourner. Notez-en le sens de rotation. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

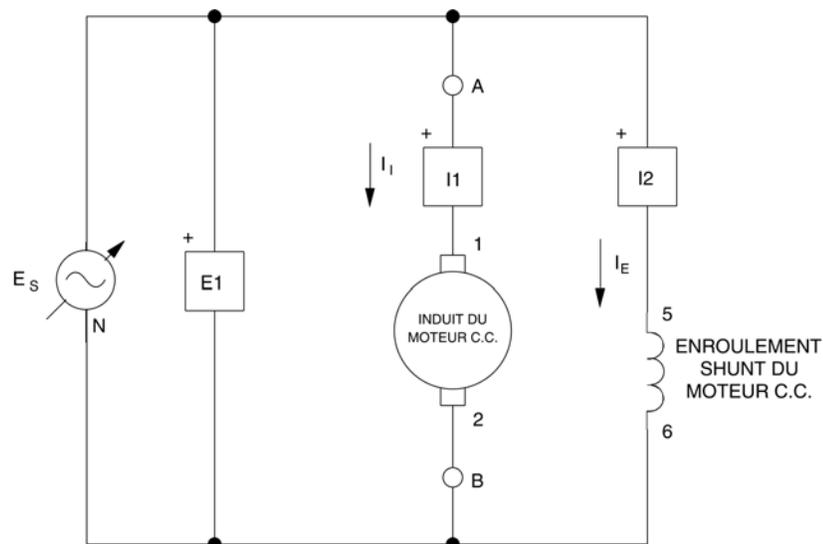


Figure 3-14. Moteur shunt à alimentation c.a.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez démontré que le moteur c.c. série et le moteur universel sans enroulement de compensation fonctionnent de façon similaire, qu'ils soient alimentés par une tension c.c. ou une tension c.a. Vous avez observé que le sens de rotation de ces moteurs dépend de la polarité des courants d'induit

# Le moteur universel

et d'excitation. Vous avez découvert que le rendement de ces moteurs est relativement faible lorsqu'ils fonctionnent au moyen d'un Bloc d'alimentation c.a., car leur impédance d'induit  $Z_1$  est assez élevée. Vous avez observé que le rendement d'un moteur universel fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.a. peut être grandement amélioré par l'ajout d'un enroulement de compensation qui réduit l'impédance d'induit  $Z_1$ .

Si vous avez effectué les expériences additionnelles, vous avez tracé un graphique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur universel à alimentation c.a. avec enroulement de compensation. Vous avez découvert que la caractéristique de la vitesse en fonction du couple de ce moteur ressemble à celle d'un moteur c.c. série, c'est-à-dire que la vitesse diminue rapidement et de façon non linéaire lorsque le couple augmente. Vous avez vérifié si un moteur c.c. shunt pouvait fonctionner au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.

## EXERCICES

1. Quel est l'effet produit par l'inversion des fils d'un bloc d'alimentation c.c. alimentant un moteur série sur son sens de rotation?
  - a. Il demeure vers la droite.
  - b. Il est inversé.
  - c. Il passe de vers la droite à vers la gauche.
  - d. Il demeure le même.
2. Quel effet produit l'inversion des fils de l'enroulement d'induit d'un moteur série sur son sens de rotation?
  - a. Il demeure vers la gauche.
  - b. Il est inversé.
  - c. Il passe de vers la gauche à vers la droite.
  - d. Il demeure le même.
3. Un moteur universel est un moteur c.c. série
  - a. ne fonctionnant qu'au moyen d'un bloc d'alimentation c.c.
  - b. comportant un enroulement de compensation ne fonctionnant qu'au moyen d'un bloc d'alimentation c.c.
  - c. comportant un enroulement de compensation ne fonctionnant qu'au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.
  - d. comportant un enroulement de compensation fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.a. et d'un bloc d'alimentation c.c.
4. L'enroulement de compensation d'un moteur universel contribue à la réduction
  - a. du couple  $T$  du moteur.
  - b. du courant d'induit  $I_1$ .
  - c. de l'impédance d'induit  $Z_1$ .
  - d. de la vitesse  $n$  du moteur.

# Le moteur universel

5. Si les fils de l'induit d'un moteur universel sont inversés,
  - a. le courant d'induit diminue.
  - b. le sens de rotation est inversé.
  - c. le moteur cesse de tourner.
  - d. la vitesse du moteur devient instable.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Questions récapitulatives

1. Dans une machine c.c., la réaction d'induit
  - a. est due à une augmentation de la tension d'induit.
  - b. survient lorsque le moteur est raccordé à une source de tension c.a.
  - c. survient lorsque le moteur est raccordé à une source de tension c.c.
  - d. est due à une augmentation du courant d'induit.
  
2. La réaction d'induit altère les caractéristiques d'une machine c.c., car
  - a. elle use prématurément les balais et le collecteur.
  - b. elle altère le champ magnétique généré par l'électro-aimant d'excitation.
  - c. elle produit de la saturation.
  - d. a. et b. sont vraies.
  
3. La réaction d'induit provoque une diminution de la tension de sortie d'une génératrice c.c., car
  - a. elle use prématurément les balais et le collecteur.
  - b. elle produit de la saturation.
  - c. elle retarde la tension induite aux bornes de l'enroulement d'induit.
  - d. Toutes ces réponses sont bonnes.
  
4. Les caractéristiques d'un moteur c.c. à aimant permanent sont plus intéressantes que celles des moteurs à excitation séparée, shunt et série, car
  - a. le champ magnétique généré par l'aimant permanent est si intense qu'il ne peut être altéré de façon importante par une autre source magnétique.
  - b. son inductance d'induit est faible.
  - c. il comporte un enroulement de compensation.
  - d. a. et b. sont vraies.
  
5. Dans une machine c.c., il y a saturation lorsque
  - a. la tension d'induit augmente et dépasse la tension nominale.
  - b. le moteur est raccordé à une source de tension c.a.
  - c. le courant d'excitation dépasse le courant nominal.
  - d. le courant d'induit dépasse le courant nominal.
  
6. Le courant nominal d'excitation d'une machine c.c. est choisi au début du coude de saturation
  - a. afin d'assurer que la caractéristique de la vitesse en fonction de la tension soit linéaire.
  - b. afin d'assurer que la caractéristique du couple en fonction du courant soit linéaire.
  - c. afin d'obtenir un couple maximal avec un courant d'excitation minimal.
  - d. a. et b. sont vraies.

## Questions récapitulatives (suite)

7. Pourquoi est-il presque impossible d'obtenir un rendement satisfaisant au moyen d'un moteur shunt raccordé à une source de tension c.a. ?
- Parce qu'un enroulement shunt comporte un grand nombre de tours.
  - Parce que l'inductance d'un enroulement shunt est élevée.
  - Parce qu'il est difficile pour un courant alternatif de circuler dans un enroulement shunt.
  - Toutes ces réponses sont bonnes.
8. Le sens de rotation d'un moteur c.c. série ou d'un moteur universel raccordé à une source de tension c.c. dépend
- des polarités des courants d'induit et d'excitation.
  - exclusivement des polarités du courant d'induit.
  - exclusivement des polarités du courant d'excitation.
  - du raccordement de l'enroulement de compensation.
9. La tension c.a. nécessaire pour faire tourner un moteur série à une vitesse donnée est supérieure à la tension c.c. nécessaire pour faire tourner le même moteur à la même vitesse. Cela est dû au fait
- qu'il y a réaction d'induit lorsque le moteur fonctionne au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.
  - que l'impédance d'induit du moteur est relativement élevée.
  - qu'il y a saturation lorsque le moteur fonctionne au moyen d'un bloc d'alimentation c.a.
  - a. et b. sont vraies.
10. Le rendement d'un moteur série fonctionnant au moyen d'un bloc d'alimentation c.a. peut être amélioré en
- ajoutant un enroulement de compensation qui augmente la réactance d'induit.
  - ajoutant des aimants permanents.
  - ajoutant un enroulement de compensation qui diminue la réactance d'induit.
  - aucune de ces réponses.

## Moteurs c.a. à induction

### OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de démontrer et d'expliquer le fonctionnement des moteurs c.a. à induction à l'aide des modules Moteur à cage d'écurieuil et Moteur à démarrage par condensateur.

### PRINCIPES FONDAMENTAUX

Comme vous l'avez vu dans le Bloc 1, une tension est induite entre les extrémités d'une boucle de fil lorsque le flux magnétique entourant cette boucle varie en fonction du temps. Si les extrémités de cette boucle sont court-circuitées, il y a circulation d'un courant à l'intérieur de celle-ci. La figure 4-1 illustre un aimant se déplaçant rapidement vers la droite au-dessus d'un groupe de conducteurs. Les extrémités de ces conducteurs sont court-circuitées au moyen des barreaux A et B, ce qui forme un genre d'échelle.

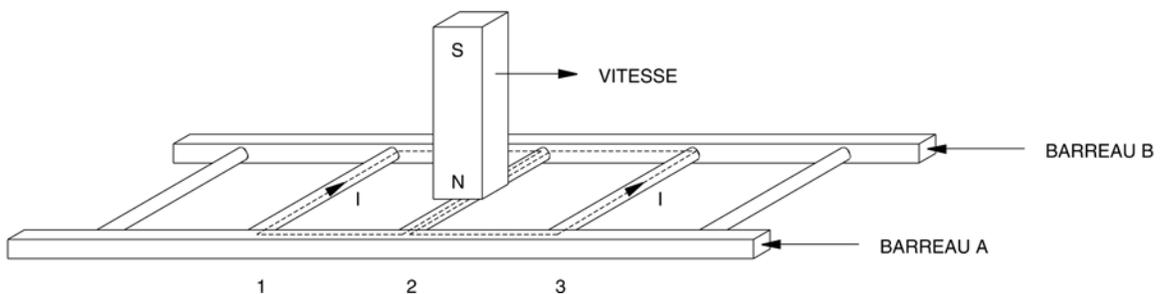


Figure 4-1. Aimant se déplaçant au-dessus d'une échelle de conducteurs.

Un courant circule dans la boucle que forment les conducteurs 1 et 2 ainsi que dans la boucle que forment les conducteurs 2 et 3. Ces courants créent des champs magnétiques comportant des pôles nord et sud, comme le montre la figure 4-2.

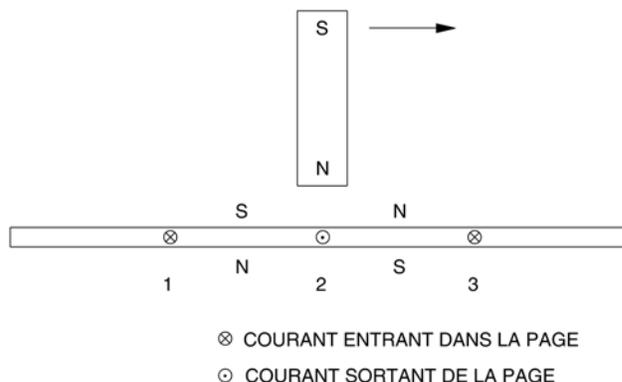
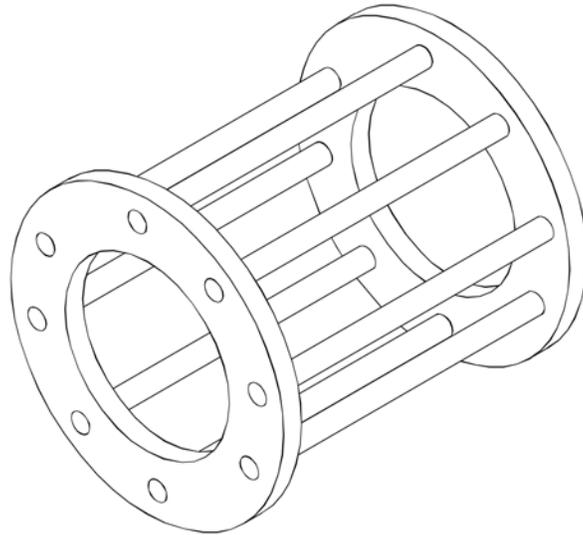


Figure 4-2. Les courants circulant dans les conducteurs créent des champs magnétiques.

## Moteurs c.a. à induction

L'interaction entre le champ magnétique de l'aimant et les champs magnétiques générés par les courants induits dans l'échelle crée une force entre l'aimant mobile et l'électro-aimant (l'échelle de conducteurs). Cette force tire sur l'échelle dans la direction de l'aimant mobile. Cependant, si l'échelle se déplace à la même vitesse que l'aimant, il n'y a plus de variation du flux magnétique. En conséquence, aucune tension n'est induite pour faire circuler le courant dans les boucles de fil, ce qui signifie que l'échelle n'est soumise à aucune force magnétique. L'échelle doit donc se déplacer à une vitesse inférieure à celle de l'aimant mobile pour qu'une force magnétique l'attire vers l'aimant mobile. Plus la différence entre ces deux vitesses est grande, plus la variation du flux magnétique est grande et, donc, plus la force magnétique à laquelle est soumise l'échelle de conducteurs est grande.

Le rotor d'un moteur à induction asynchrone est fabriqué en fermant sur elle-même une échelle similaire à celle de la figure 4-1, pour former un genre de cage d'écureuil comme celle de la figure 4-3, d'où le terme moteur à cage d'écureuil.



**Figure 4-3. Fermeture d'une échelle sur elle-même pour former une cage d'écureuil.**

Pour faciliter la circulation du flux magnétique, on place le rotor d'un moteur à cage d'écureuil à l'intérieur d'un cylindre en fer laminé. Le stator du moteur se comporte comme un électro-aimant tournant. L'électro-aimant tournant génère le couple qui attire le rotor de la même façon que l'aimant mobile de la figure 4-1 attire l'échelle.

## Le moteur triphasé à cage d'écureuil

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer les caractéristiques de fonctionnement d'un moteur triphasé à l'aide du module Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles.

### PRINCIPES

L'une des façons de créer un électro-aimant tournant consiste à raccorder une source de tension triphasée à un stator fabriqué de trois électro-aimants A, B et C, placés à  $120^\circ$  les uns des autres, comme à la figure 4-4.

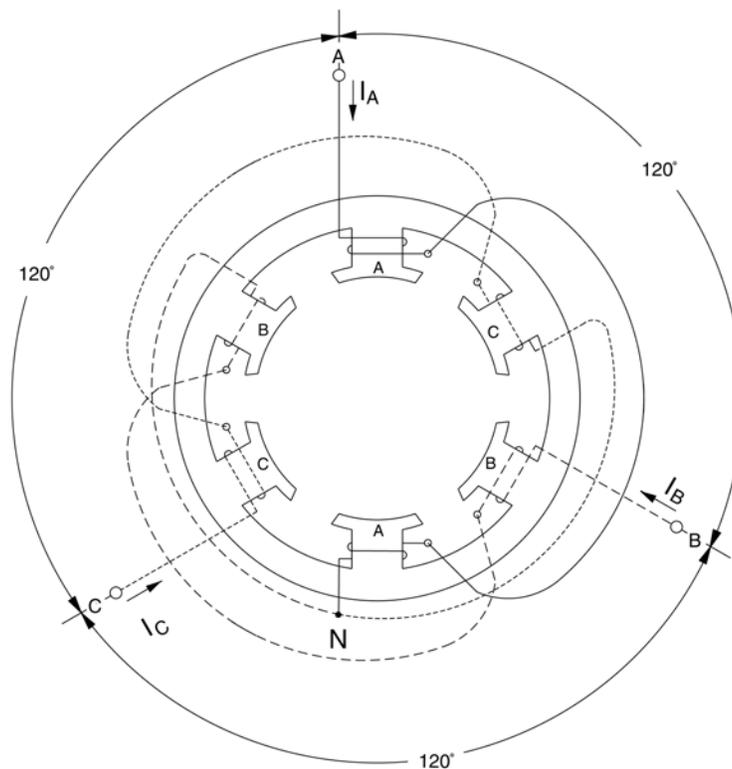


Figure 4-4. Enroulements statoriques triphasés.

Lorsque des courants sinusoïdaux déphasés de  $120^\circ$ , comme ceux de la figure 4-5, circulent dans les électro-aimants A, B et C du stator, un champ magnétique tournant de façon très régulière est obtenu.

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

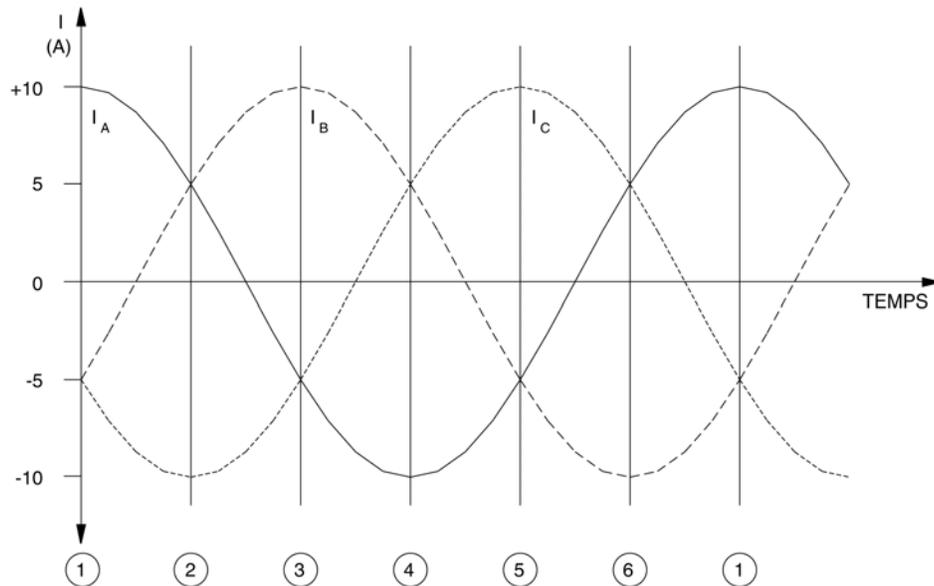


Figure 4-5. Courants sinusoïdaux triphasés circulant dans les enroulements statoriques.

La figure 4-6 illustre le champ magnétique généré par les électro-aimants statoriques A, B et C aux instants numérotés de 1 à 6 à la figure 4-5. Il est à remarquer que les lignes de force magnétiques sortent au pôle nord de chaque électro-aimant et entrent à leur pôle sud. Comme on peut l'observer, le champ magnétique tourne vers la droite.

L'utilisation de courants sinusoïdaux génère un champ magnétique qui tourne de façon régulière et dont l'intensité ne varie pas en fonction du temps. La vitesse du champ magnétique tournant est appelée vitesse synchrone ( $n_s$ ) et elle est proportionnelle à la fréquence de la source de tension c.a. On peut également obtenir un champ magnétique tournant en utilisant d'autres combinaisons de courants sinusoïdaux déphasés entre eux mais, le plus souvent, des courants sinusoïdaux triphasés sont utilisés.

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

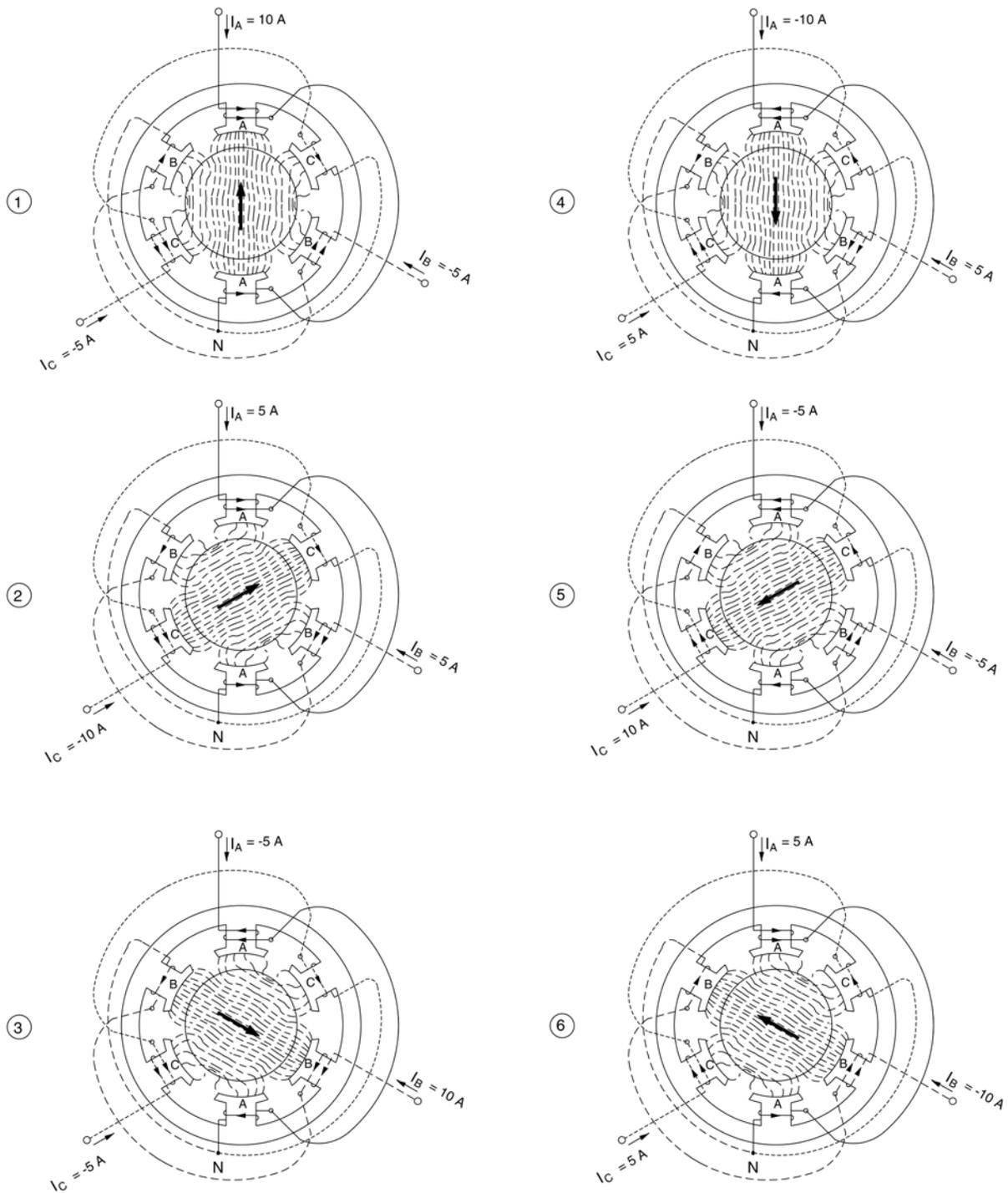


Figure 4-6. Position du champ magnétique tournant à divers instants. (Extrait d'Électrotechnique par Theodore Wildi. Copyright © 1991, 1981 Les Entreprises Sperika Ltée © Publié par les Presses de l'Université Laval. Tous droits réservés.)

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

Lorsque le rotor d'une cage d'écureuil est placé à l'intérieur d'un champ magnétique tournant, il est entraîné dans le même sens que ce champ tournant. Le fait d'interchanger les fils d'alimentation de deux des enroulements du stator (enroulements A et B, par exemple) interchange deux des trois courants et inverse la séquence de phase. Cela a pour effet d'inverser le sens de rotation du champ tournant. Le sens de rotation du moteur est alors également inversé.

En se basant sur ce qui a été dit à la section PRINCIPES FONDAMENTAUX de cette unité, on peut facilement déduire que le couple généré par un moteur à cage d'écureuil augmente lorsque la différence de vitesse entre le champ magnétique tournant et le rotor augmente. Cette différence de vitesse est appelée **glissement**. Le graphique de la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur à cage d'écureuil ressemble à la courbe de la figure 4-7. Comme on le voit, la vitesse du moteur (du rotor du moteur) est toujours inférieure à la vitesse synchrone  $n_s$ , car un glissement est nécessaire pour que le moteur génère un couple. La vitesse synchrone des moteurs Lab-Volt est de 1800 tr/min, avec une alimentation à 60 Hz, et de 1500 tr/min, avec une alimentation à 50 Hz.

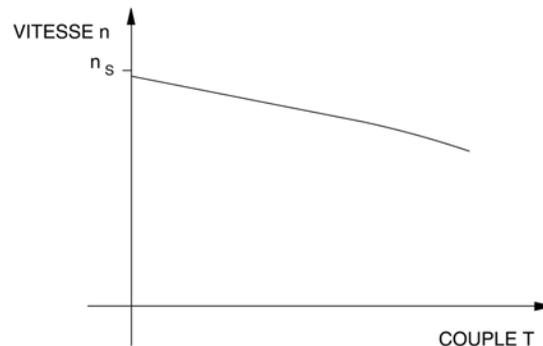


Figure 4-7. Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur à cage d'écureuil.

La caractéristique de la vitesse en fonction du couple du moteur à cage d'écureuil ressemble beaucoup à celle obtenue antérieurement avec un moteur c.c. à excitation séparée. Cependant, les courants induits dans le rotor à cage d'écureuil doivent changer de sens de plus en plus rapidement lorsque le glissement augmente. En d'autres mots, la fréquence des courants induits dans le rotor augmente lorsque le glissement augmente. Puisque le rotor est composé de fer et de bobines de fil, son inductance s'oppose aux variations rapides du courant. En conséquence, les courants induits dans le rotor ne sont plus directement proportionnels au glissement du moteur. Cela a pour effet d'altérer la caractéristique de la vitesse en fonction du couple, comme le montre la figure 4-8.

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

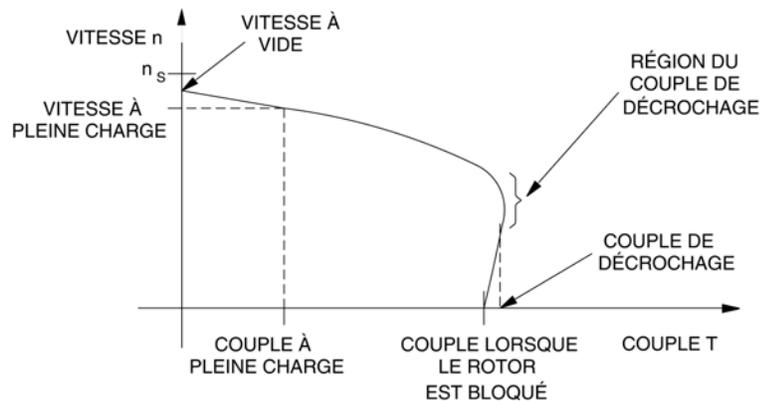


Figure 4-8. L'inductance du moteur altère la caractéristique de la vitesse en fonction du couple.

Comme l'illustre la courbe, à vide, la vitesse est légèrement inférieure à la vitesse synchrone  $n_s$  mais, lorsque le couple de charge augmente, la vitesse du moteur diminue. Au couple nominal (couple à pleine charge) correspond une vitesse nominale de fonctionnement (vitesse à pleine charge). Augmenter davantage le couple de charge conduit à un point d'instabilité appelé couple de décrochage après lequel la vitesse du moteur et le couple de sortie diminuent. Lorsque la vitesse est nulle, le couple, appelé couple de démarrage, est souvent inférieur au couple de décrochage. Au démarrage et à basse vitesse, le courant du moteur est très élevé et la puissance qu'il consomme est supérieure à celle qu'il consomme lorsqu'il fonctionne normalement.

Une autre caractéristique des moteurs triphasés à cage d'écureuil est le fait qu'ils consomment toujours une puissance réactive provenant d'une source de tension c.a. Cette puissance réactive dépasse même la puissance active, lorsque le moteur à cage d'écureuil tourne à vide. La puissance réactive est nécessaire pour créer le champ magnétique à l'intérieur de la machine, tout comme une inductance a besoin d'une puissance réactive pour créer le champ magnétique qui l'entoure.

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 4-9 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez appliquer la tension de ligne nominale au moteur à cage d'écureuil, noter le sens de rotation du moteur et en mesurer la vitesse à vide. Vous allez ensuite augmenter pas à pas la charge mécanique appliquée au moteur à cage d'écureuil. Pour chaque pas, vous allez noter dans le tableau de données divers paramètres électriques et mécaniques relatifs au moteur. Vous allez ensuite les utiliser pour tracer différents graphiques et déterminer un grand nombre de caractéristiques du moteur à cage d'écureuil.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez interchanger deux des fils du Bloc d'alimentation raccordés au moteur à cage d'écureuil et observer si cela en altère le sens de rotation.

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS



### ATTENTION!

**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les module Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 4-9.

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

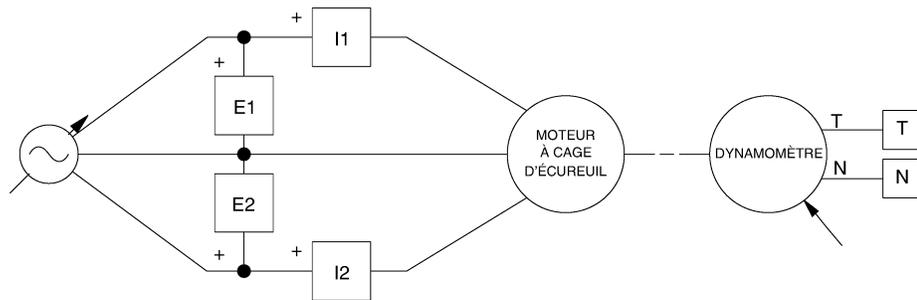


Figure 4-9. Moteur à cage d'écureuil couplé à un dynamomètre.

- 6. Réglez les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre comme suit :

Sélecteur MODE ..... DYN  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
(vers la gauche, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... COUPLE

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information supplémentaire s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Caractéristiques d'un Moteur à cage d'écureuil

- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension de ligne indiquée sur l'appareil de mesure E1 soit égale à la tension nominale du moteur à cage d'écureuil.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM<sup>®</sup>-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

Quel est le sens de rotation du moteur à cage d'écureuil?

---

Notez ci-dessous la vitesse du moteur indiquée sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

n = \_\_\_\_\_ tr/min

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

À vide, la vitesse est-elle presque égale à la vitesse du champ magnétique tournant (vitesse synchrone) indiquée à la section PRINCIPES?

Oui       Non

8. Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée. L'appareil de mesure T indique le couple de sortie du moteur à cage d'écureuil.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que la puissance mécanique générée par le moteur à cage d'écureuil (indiquée sur l'appareil de mesure Pm de l'application Appareils de mesure) soit de 175 W (puissance nominale à la sortie du moteur).

Notez ci-dessous la vitesse, le couple et le courant de ligne nominaux du moteur à cage d'écureuil. Le courant de ligne est indiqué sur l'appareil de mesure I1.

$n_{\text{NOM.}} = \text{_____ tr/min}$

$T_{\text{NOM.}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$

$I_{\text{NOM.}} = \text{_____ A}$

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, tournez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE vers la gauche, jusqu'au bout. Le couple indiqué sur l'afficheur du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre devrait être 0 N·m (0 lbf·po).

9. Notez la tension de ligne  $E_{\text{LIGNE}}$ , le courant de ligne  $I_{\text{LIGNE}}$ , la puissance active P, la puissance réactive Q, la vitesse n et le couple de sortie T (indiqués sur les appareils de mesure E1, I1, C, A, N et T, respectivement) du moteur dans le Tableau de données.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,3 N·m (3,0 lbf·po) jusqu'à 1,8 N·m (15,0 lbf·po). Pour chaque couple réglé, notez la donnée dans le Tableau de données.

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, tournez légèrement le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE, de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,1 N·m (1,0 lbf·po), jusqu'à ce que la vitesse du moteur commence à diminuer relativement rapidement (région du couple de décrochage). Pour chaque couple additionnel réglé, notez la donnée dans le Tableau de données.

Lorsque la vitesse du moteur est stabilisée, notez la donnée dans le Tableau de données.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

**Remarque :** Au cours de cette manipulation, le courant de ligne nominal du moteur à cage d'écureuil à quatre pôles peut être dépassé. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.

10. Lorsque toutes les données sont enregistrées, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout). Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Le courant de ligne du moteur, indiqué à la colonne I1, augmente-t-il lorsque la charge mécanique appliquée au moteur à cage d'écureuil augmente?

- Oui       Non

11. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés afin d'obtenir un graphique de la vitesse du moteur (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction du couple du moteur (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T). Intitulez le graphique G411, nommez son axe des X Couple du moteur à cage d'écureuil, nommez son axe des Y Vitesse du moteur à cage d'écureuil et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Décrivez brièvement de quelle façon la vitesse varie lors d'une augmentation de la charge mécanique appliquée au moteur à cage d'écureuil, c'est-à-dire lorsque le couple du moteur augmente.

---

---

12. Sur le graphique G411, indiquez la vitesse et le couple nominaux du moteur à cage d'écureuil, qui ont été mesurés précédemment.

Au moyen du graphique G411, déterminez le couple de décrochage du moteur à cage d'écureuil.

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

Au moyen du graphique G411, déterminez le couple à la vitesse minimale. Ce couple constitue une bonne approximation du couple de démarrage du moteur à cage d'écureuil.

$$T_{\text{DÉMARRAGE}} \cong \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Comparez le couple de décrochage et le couple de démarrage au couple nominal du moteur à cage d'écureuil.

---

---

---

13. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique des puissances active (P) et réactive (Q) (obtenues au moyen des appareils de mesure C et A, respectivement) du moteur en fonction de sa vitesse (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N), en utilisant les données enregistrées précédemment dans le tableau de données (DT411). Intitulez ce graphique G411-1, nommez son axe des X Vitesse du moteur à cage d'écureuil, nommez son axe des Y Puissances active et réactive du moteur à cage d'écureuil, et imprimez-le.

Le graphique G411-1 confirme-t-il que le moteur à cage d'écureuil consomme toujours une puissance réactive générée par la source de tension c.a.?

Oui       Non

Le graphique G411-1 confirme-t-il que, lorsqu'il entraîne une charge plus lourde, le moteur à cage d'écureuil consomme davantage de puissance électrique provenant de la source de tension c.a.?

Oui       Non

Il est à remarquer que lorsque le moteur à cage d'écureuil tourne à vide, la puissance réactive dépasse la puissance active. Que cela révèle-t-il?

---

---

14. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique du courant de ligne  $I_{\text{LIGNE}}$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1) en fonction de la vitesse (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) du moteur, en utilisant les données enregistrées précédemment dans le tableau de données (DT411). Intitulez le graphique G411-2, nommez son axe des X Vitesse du moteur à cage d'écureuil, nommez son axe des Y Courant de ligne du moteur à cage d'écureuil et imprimez-le.

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

De quelle façon le courant de ligne varie-t-il lorsque la vitesse du moteur diminue?

---

---

---

15. Sur le graphique G411-2, indiquez le courant de ligne nominal du moteur à cage d'écureuil, qui a été mesuré précédemment.

Combien de fois de courant de ligne de démarrage est-il supérieur au courant de ligne nominal (utilisez comme courant de démarrage le courant de ligne mesuré à la vitesse minimale)?

---

---

## Sens de rotation

16. Sur le module Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles, inversez deux des trois fils raccordés aux enroulements du stator.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension de ligne indiquée sur l'appareil de mesure E1 soit presque égale à la tension de ligne nominale du Moteur à cage d'écureuil.

Quel est le sens de rotation du Moteur à cage d'écureuil?

---

Le Moteur à cage d'écureuil tourne-t-il dans le sens opposé à celui précédemment noté au cours de cette expérience?

- Oui       Non

17. Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez observé que lorsque la tension de ligne nominale est appliquée aux enroulements du stator d'un Moteur à cage d'écureuil tournant à vide, son rotor tourne presque à la même vitesse que le champ magnétique tournant (vitesse synchrone). Vous avez constaté que le fait d'inverser deux des trois fils d'alimentation des enroulements du stator inverse la séquence de phase et, ainsi, fait tourner le moteur dans le sens opposé. Vous avez observé que

Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur triphasé à cage d'écureuil

les courants de ligne du moteur augmentent lorsque la charge mécanique augmente, ce qui prouve que le Moteur à cage d'écureuil nécessite davantage de puissance électrique pour entraîner des charges plus grandes. Vous avez tracé un graphique de la vitesse en fonction du couple et l'avez utilisé pour déterminer les couples nominal, de décrochage et de démarrage du Moteur à cage d'écureuil. Vous avez également tracé un graphique de la puissance réactive du moteur en fonction de sa vitesse et observé que le Moteur à cage d'écureuil consomme une puissance réactive générée par une source de tension c.a. pour créer son champ magnétique. Enfin, vous avez tracé un graphique du courant de ligne du moteur en fonction de sa vitesse et observé que le courant de démarrage est plusieurs fois supérieur au courant de ligne nominal.

## EXERCICES

1. La vitesse du champ magnétique tournant généré par une tension triphasée est appelée
  - a. vitesse à vide.
  - b. vitesse synchrone.
  - c. vitesse de glissement.
  - d. vitesse nominale.
  
2. La différence entre la vitesse synchrone et la vitesse de rotation d'un Moteur à cage d'écureuil est
  - a. appelée glissement.
  - b. toujours supérieure à 10%.
  - c. appelée couple de glissement.
  - d. toujours inférieure à 1%.
  
3. Un moteur à cage d'écureuil consomme une puissance réactive parce qu'il
  - a. utilise une tension triphasée.
  - b. ne nécessite aucune puissance active.
  - c. nécessite une puissance réactive pour créer le champ magnétique tournant.
  - d. comporte une cage d'écureuil.
  
4. Lorsque la charge d'un moteur à cage d'écureuil augmente, sa vitesse augmente-t-elle ou diminue-t-elle?
  - a. Elle augmente.
  - b. Elle diminue.
  - c. Elle demeure stable, car elle ne dépend pas de la charge du moteur.
  - d. Elle oscille autour de sa valeur initiale.

## Le moteur triphasé à cage d'écureuil

5. Que se passe-t-il lorsque deux des trois fils d'alimentation d'un Moteur à cage d'écureuil sont inversés?
  - a. Le moteur ne démarre pas.
  - b. Rien.
  - c. Le sens de rotation du moteur est inversé.
  - d. Le moteur consomme une puissance réactive supérieure.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer les principales caractéristiques de fonctionnement d'un frein électromagnétique et d'une génératrice asynchrone à l'aide des modules Moteur à cage à quatre pôles et Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

### PRINCIPES

La figure 4-10 illustre l'aimant et l'échelle de conducteurs illustrés antérieurement à la figure 4-1. Cependant, cette fois, l'aimant est fixe et l'échelle se déplace rapidement vers la droite.

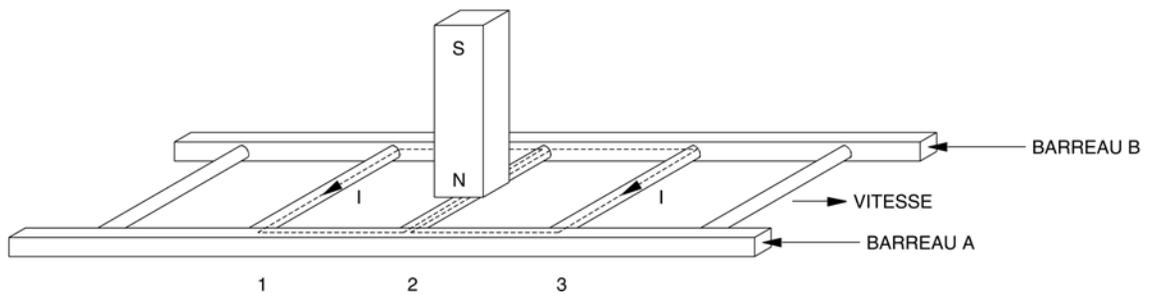


Figure 4-10. Échelle de conducteurs se déplaçant sous un aimant.

Cela a pour effet de faire circuler un courant dans la boucle que forment les conducteurs 1 et 2 ainsi que dans la boucle que forment les conducteurs 2 et 3. Comme le montre la figure 4-11, ces courants génèrent des champs magnétiques ainsi que des pôles nord et sud.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

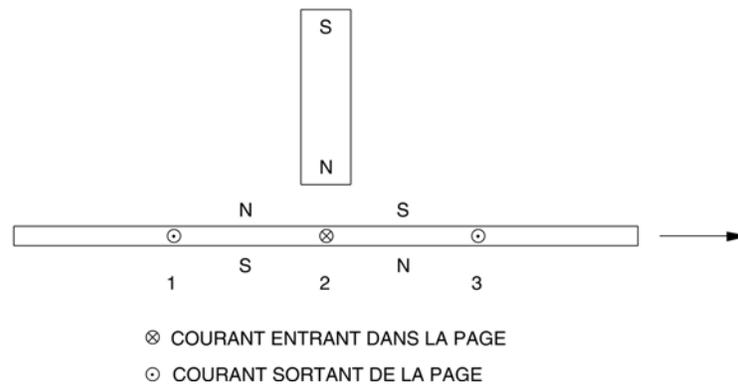


Figure 4-11. Le courant dans les conducteurs génère des champs magnétiques.

L'interaction entre le champ magnétique de l'aimant et les champs magnétiques générés par les courants induits dans l'échelle crée une force entre l'aimant fixe et l'électro-aimant mobile (échelle de conducteurs). Cette force tend à réduire la vitesse de l'échelle. Cependant, si l'échelle cesse de se déplacer, il n'y a plus de variation du flux magnétique. En conséquence, il n'y a plus de tension induite provoquant la circulation d'un courant dans les boucles de fil, ce qui signifie que l'échelle n'est alors soumise à aucune force magnétique. Donc, tant qu'elle se déplace, l'échelle est soumise à une force magnétique de freinage. Plus la vitesse de l'échelle est élevée (jusqu'à une certaine limite), plus la variation du flux magnétique est élevée et, donc, plus la force magnétique de freinage à laquelle est soumise l'échelle est élevée.

Le principe décrit ci-dessus est utilisé à bon escient pour fabriquer des freins électromagnétiques, dans lesquels un électro-aimant fixe (stator) génère un couple de freinage, auquel est soumis un rotor à cage obtenu en fermant sur elle-même une échelle ressemblant à celle de la figure 4-10. La figure 4-12 illustre un frein électromagnétique. Il est à remarquer qu'une source de tension c.c. variable est utilisée pour faire circuler le courant dans l'électro-aimant du stator. La variation de la tension c.c. de la source permet de modifier le courant circulant dans l'électro-aimant et, ainsi, de modifier l'intensité de l'électro-aimant. Plus l'intensité de l'électro-aimant est élevée, plus le flux magnétique à l'intérieur de la machine est élevé, plus les courants induits à l'intérieur du rotor à cage sont élevés, lorsqu'il tourne, et plus la force de freinage est élevée.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

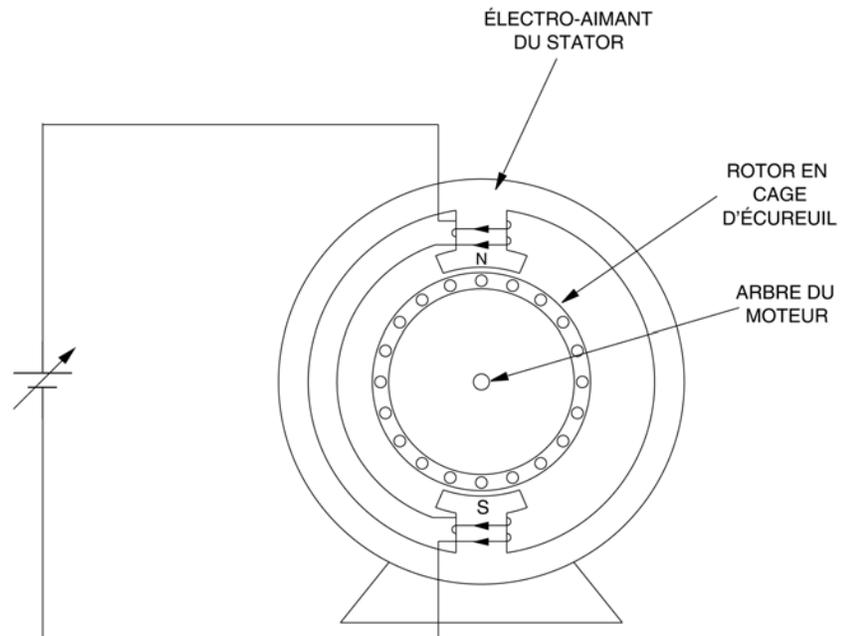


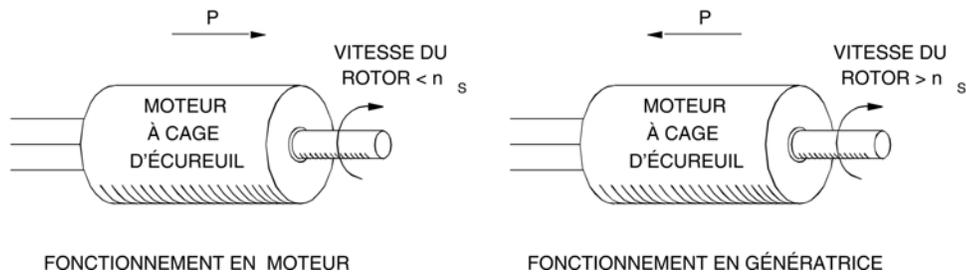
Figure 4-12. Frein électromagnétique.

Il est à remarquer que l'énergie mécanique provenant de la machine d'entraînement est transférée au frein électromagnétique lors du freinage. Cette énergie est convertie en énergie électrique qui est dissipée sous forme de chaleur dans le rotor à cage d'écureuil du frein électromagnétique.

Une force de freinage comme celle que l'on trouve dans les freins électromagnétiques peut être générée dans des Moteurs à cage d'écureuil. C'est ce qui se produit lorsque le rotor tourne à une vitesse supérieure à celle du champ magnétique tournant (vitesse synchrone  $n_s$ ). Cela est l'équivalent d'un aimant fixe et d'une échelle mobile, comme à la figure 4-10. Comme dans le cas du frein électromagnétique, lorsque la vitesse d'un Moteur à cage d'écureuil est supérieure à la vitesse synchrone  $n_s$ , l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique. Cependant, la majeure partie de cette énergie n'est pas dissipée sous forme de chaleur dans le rotor du Moteur à cage d'écureuil. Elle est retournée à la source de tension c.a. raccordée aux enroulements du stator du moteur. Un moteur à cage d'écureuil fonctionne donc en génératrice asynchrone lorsque sa vitesse est supérieure à la vitesse synchrone  $n_s$ .

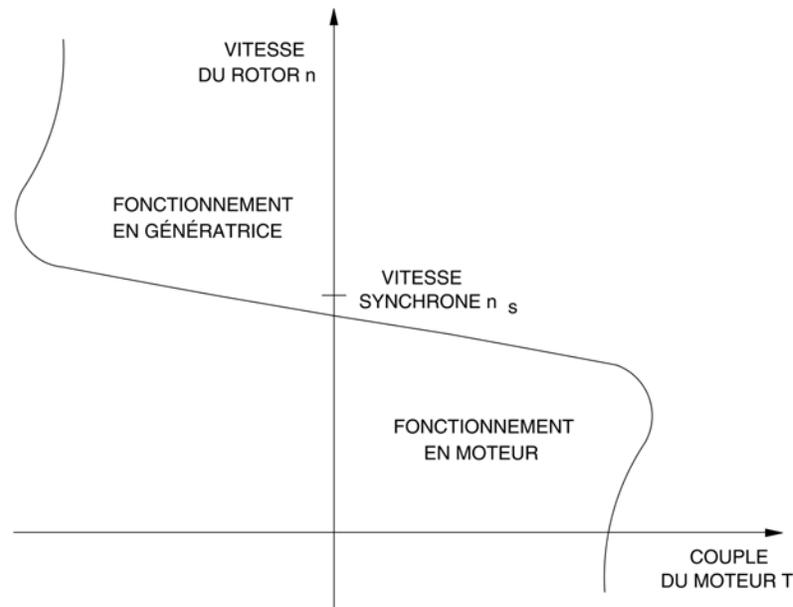
Bref, lorsque le rotor d'une machine à cage d'écureuil tourne à une vitesse inférieure à la vitesse synchrone, elle fonctionne en moteur, car l'interaction des champs magnétiques à l'intérieur de celle-ci crée une force qui tend à augmenter la vitesse du rotor. Au contraire, lorsque le rotor tourne à une vitesse supérieure à la vitesse synchrone, l'interaction des champs magnétiques crée une force qui tend à ralentir le moteur et, ainsi, la machine fonctionne en génératrice asynchrone. Ces deux cas sont illustrés à la figure 4-13.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones



**Figure 4-13. Fonctionnement en moteur ou en génératrice, selon la vitesse du rotor à cage d'écoreuil.**

Une particularité de la machine à cage d'écoreuil est qu'elle nécessite toujours une puissance réactive pour fonctionner. Cette puissance réactive est nécessaire pour créer le champ magnétique tournant qui est essentiel, que la machine fonctionne en moteur ou en génératrice. Si le rotor d'un moteur à cage d'écoreuil tourne sans être raccordé à une source c.a., aucune tension de sortie n'est générée, car aucun courant induit ne circule dans le rotor. Pour que la machine à cage d'écoreuil fonctionne en génératrice asynchrone, elle doit être raccordée à une source c.a., afin d'obtenir la puissance réactive nécessaire au champ magnétique tournant. La caractéristique de la vitesse en fonction du couple de la figure 4-14 illustre le fonctionnement en moteur et en génératrice d'une machine à cage d'écoreuil.



**Figure 4-14. Courbe de la vitesse en fonction du couple d'une machine à cage d'écoreuil.**

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, raccorder l'équipement comme à la figure 4-15 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez démontrer le fonctionnement du frein électromagnétique. Un frein électromagnétique sera réalisé en raccordant l'un des enroulements du stator du moteur à cage à quatre pôles à une source de tension c.c., via une charge résistive. Une variation de cette charge résistive permettra de faire varier le courant circulant dans l'électro-aimant et, ainsi, de faire varier le couple de freinage.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez observer le fonctionnement d'un moteur à cage d'écureuil fonctionnant en génératrice asynchrone.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS



### ATTENTION!

**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur à cage à quatre pôles, Charge résistive et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement les deux modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur à cage à quatre pôles.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

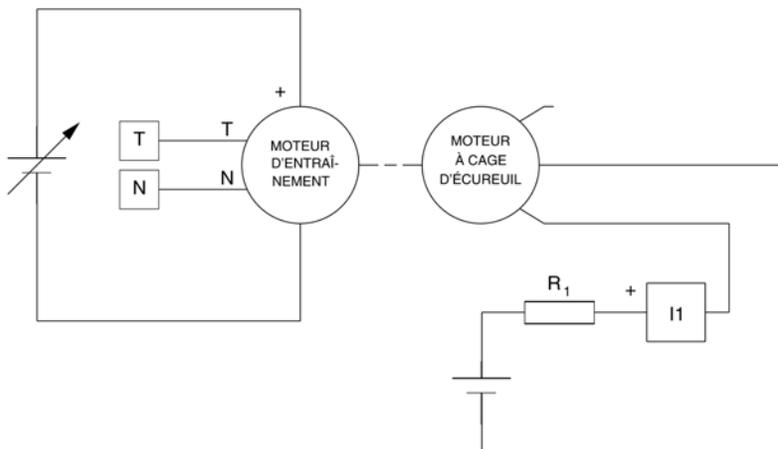
- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration DCMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 4-15. Raccordez les trois sections de résistances du module Charge résistive en parallèle, afin d'obtenir la résistance  $R_1$ .



TENSION DE LIGNE (V ca)	$R_1$ ( $\Omega$ )
120	$\infty$
220	$\infty$
240	$\infty$

Figure 4-15. Circuit utilisé pour démontrer le fonctionnement du frein électromagnétique.

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

## Démonstration du fonctionnement du frein électromagnétique

7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de 150 tr/min.

Dans l'application Appareils de mesure, réglez l'appareil de mesure I1 en mode c.c. et assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée. L'appareil de mesure T indique maintenant le couple de freinage  $T_{\text{FREINAGE}}$  généré par le Moteur à cage d'écureuil.

Notez ci-dessous la vitesse  $n$ , le courant circulant dans l'électro-aimant  $I_{\text{ÉA}}$  (indiqué sur l'appareil de mesure I1), le couple de freinage  $T_{\text{FREINAGE}}$  et le sens de rotation du moteur d'entraînement.

$$n = \text{_____ tr/min}$$

$$I_{\text{ÉA}} = \text{_____ A}$$

$$T_{\text{FREINAGE}} = \text{_____ n·m (lbf·po)}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_

8. Fermez l'un après l'autre les commutateurs du module Charge résistive, afin d'augmenter par pas le courant circulant dans l'électro-aimant du stator. Ce faisant, observez la vitesse et le couple indiqués dans l'application Appareils de mesure.

Lorsque tous les commutateurs sont fermés, notez ci-dessous la vitesse  $n$ , le courant circulant dans l'électro-aimant  $I_{\text{ÉA}}$ , le couple de freinage  $T_{\text{FREINAGE}}$  et le sens de rotation du moteur d'entraînement.

$$n = \text{_____ tr/min}$$

$$I_{\text{ÉA}} = \text{_____ A}$$

$$T_{\text{FREINAGE}} = \text{_____ N·m (lbf·po)}$$

Sens de rotation : \_\_\_\_\_

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Décrivez de quelle façon varie le couple de freinage lors d'une augmentation du courant circulant à l'intérieur de l'électro-aimant.

---

---

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

Les résultats obtenus démontrent-ils que le moteur à cage d'écureuil fonctionne en frein électromagnétique?

Oui       Non

9. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, inversez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT.

Sur le module Charge résistive, effectuez les réglages appropriés de façon à ce que la résistance  $R_1$  soit infinie.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse de  $-150$  tr/min.

Notez ci-dessous la vitesse  $n$ , le courant circulant dans l'électro-aimant  $I_{\text{ÉA}}$ , le couple de freinage  $T_{\text{FREINAGE}}$  et le sens de rotation du moteur d'entraînement.

$n =$  \_\_\_\_\_ tr/min

$I_{\text{ÉA}} =$  \_\_\_\_\_ A

$T_{\text{FREINAGE}} =$  \_\_\_\_\_ N·m (lbf·po)

Sens de rotation : \_\_\_\_\_

10. Fermez l'un après l'autre les commutateurs du module Charge résistive, afin d'augmenter par pas le courant circulant dans l'électro-aimant du stator. Ce faisant, observez la vitesse et le couple indiqués dans l'application Appareils de mesure.

Lorsque tous les commutateurs sont fermés, notez ci-dessous la vitesse  $n$ , le courant circulant dans l'électro-aimant  $I_{\text{ÉA}}$ , le couple de freinage  $T_{\text{FREINAGE}}$  et le sens de rotation du moteur d'entraînement.

$n =$  \_\_\_\_\_ tr/min

$I_{\text{ÉA}} =$  \_\_\_\_\_ A

$T_{\text{FREINAGE}} =$  \_\_\_\_\_ N·m (lbf·po)

Sens de rotation : \_\_\_\_\_

Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

Décrivez de quelle façon varie le couple de freinage lors d'une augmentation du courant circulant à l'intérieur de l'électro-aimant.

---

---

Le fonctionnement du moteur à cage d'écureuil est-il altéré par le sens de rotation du moteur d'entraînement?

- Oui     Non

## Fonctionnement en génératrice asynchrone

11. Modifiez les raccords de façon à ce que l'équipement soit raccordé comme à la figure 4-16. Ne raccordez pas les lignes A, B et C de la source de tension triphasée au circuit.

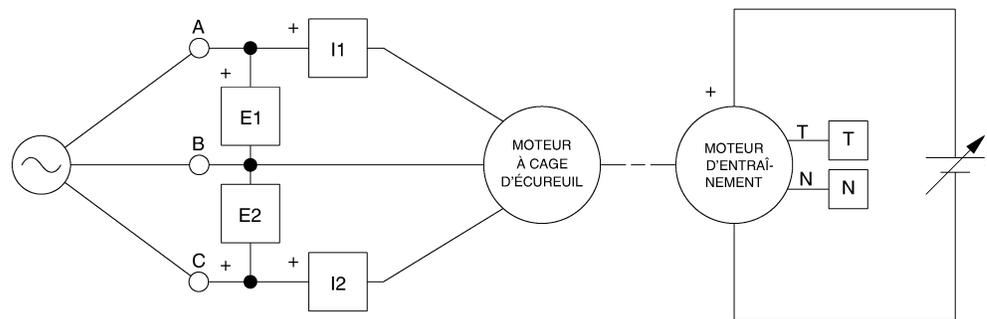


Figure 4-16. Circuit utilisé pour démontrer le fonctionnement en génératrice asynchrone.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne *vers la droite*, à une vitesse de 1200 tr/min.

**Remarque :** Si le moteur d'entraînement tourne vers la gauche, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), inversez les fils à l'ENTRÉE du MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la vitesse.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), sans modifier la position du bouton de commande de la tension.

12. Raccordez les lignes A, B et C de la source de tension triphasée au circuit, comme à la figure 4-16.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
(vers la gauche, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... COUPLE

Dans l'application Appareils de mesure, réglez l'appareil de mesure I1 en mode c.a. et choisissez un afficheur analogique à zéro central ainsi que l'échelle 750 W pour les appareils de mesure C et Pm.

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et vérifiez si la machine à cage d'écureuil tourne vers la droite.

**Remarque :** Si la machine à cage d'écureuil tourne vers la gauche, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), inversez deux des trois fils d'alimentation de la machine et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

14. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton Commande de la charge de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module soit 1,0 N·m (9,0 lbf·po).

Notez ci-dessous la puissance active P, la puissance réactive Q, la puissance mécanique  $P_m$ , la vitesse n et le couple T (indiqués sur les appareils de mesure C, A, Pm, N et T, respectivement, de la machine à cage d'écureuil.

P = \_\_\_\_\_ W                      Q = \_\_\_\_\_ var  
P<sub>m</sub> = \_\_\_\_\_ W                      n = \_\_\_\_\_ tr/min  
T = \_\_\_\_\_ N·m (lbf·po)

La puissance active circule-t-elle de la source de tension c.a. vers la machine à cage d'écureuil?

Oui       Non

Que cela indique-t-il sur le fonctionnement de la machine à cage d'écureuil?

---

---

15. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, tournez lentement le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE vers la gauche, jusqu'au bout, puis mettez le sélecteur MODE à la position

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

MOTEUR. Ce faisant, observez la puissance active  $P$ , la puissance réactive  $Q$  et la puissance mécanique  $P_m$  de la machine à cage d'écureuil.

Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension vers la droite, jusqu'à ce que les machines tournent à la vitesse synchrone du module Moteur à cage à quatre pôles.

Notez ci-dessous la puissance active  $P$ , la puissance réactive  $Q$ , la puissance mécanique  $P_m$ , la vitesse  $n$  et le couple  $T$  (indiqués sur les appareils de mesure  $C$ ,  $A$ ,  $P_m$ ,  $N$  et  $T$ , respectivement, de la machine à cage d'écureuil.

$$P = \text{_____ W}$$

$$Q = \text{_____ var}$$

$$P_m = \text{_____ W}$$

$$n = \text{_____ tr/min}$$

$$T = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Y a-t-il circulation importante de puissance active entre la source de tension c.a. et la machine à cage d'écureuil?

Oui     Non

16. Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension, de façon à ce que les machines tournent à 105% de la vitesse synchrone du module Moteur à cage à quatre pôles.

Notez ci-dessous la puissance active  $P$ , la puissance réactive  $Q$ , la puissance mécanique  $P_m$ , la vitesse  $n$  et le couple  $T$  (indiqués sur les appareils de mesure  $C$ ,  $A$ ,  $P_m$ ,  $N$  et  $T$ , respectivement, de la machine à cage d'écureuil.

$$P = \text{_____ W}$$

$$Q = \text{_____ var}$$

$$P_m = \text{_____ W}$$

$$n = \text{_____ tr/min}$$

$$T = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Y a-t-il circulation d'une puissance active de la machine à cage d'écureuil vers la source de tension c.a.?

Oui     Non

Que cela indique-t-il sur le fonctionnement de la machine à cage d'écureuil?

---

---

---

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

Débranchez la source de tension triphasée des points A, B et C du circuit de la figure 4-16.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à une vitesse d'environ 1000 tr/min.

Notez la tension de ligne générée par la génératrice asynchrone (indiquée sur l'appareil de mesure E1).

$$E_{\text{LIGNE}} = \text{_____ V}$$

Cela confirme-t-il que le fonctionnement en génératrice est impossible, à moins que la machine à cage d'écureuil ne soit raccordée au secteur?

Oui       Non

18. Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## EXPÉRIENCES ADDITIONNELLES

### Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur à cage d'écureuil fonctionnant en moteur et en génératrice

Vous pouvez obtenir la caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur à cage d'écureuil fonctionnant en moteur et en génératrice. Pour ce faire, il suffit de mettre les sélecteurs MODE et AFFICHAGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre aux positions MOTEUR et VITESSE, respectivement. Ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG et sélectionnez l'agencement des appareils de mesure. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et consultez les manipulations 11 à 13 de cette expérience pour monter le circuit illustré à la figure 4-16. Assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est activée. Effacez (s'il y en a) les données enregistrées dans le Tableau de données. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le sélecteur MODE à la position MOTEUR, puis tournez le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation vers la droite, jusqu'à ce que l'appareil de mesure T indique  $-2,7 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $-24,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ). La vitesse de la machine devrait être supérieure à la vitesse synchrone lorsque le couple est de  $-2,7 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $-24,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le couple indiqué sur l'appareil de mesure T passe de  $-2,7 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $-24,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ) à  $0,0 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $0,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ), par pas de  $0,3 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $3,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ). Pour chaque couple réglé, notez la donnée dans le Tableau de données.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

Après l'enregistrement des données pour 0,0 N·m (0,0 lbf·po), assurez-vous que le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre est à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout), puis réglez le sélecteur MODE à la position DYN. Consultez la manipulation 9 de l'Expérience 4-1 afin d'effectuer les mesures. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Modifiez le Tableau de données de façon à ne conserver que la tension de ligne  $E_{LIGNE}$ , le courant de ligne  $I_{LIGNE}$ , la puissance active P, la puissance réactive Q, la vitesse n et le couple T. Intitulez le Tableau de données DT421. Tracez un graphique de la vitesse (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction du couple (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T). Intitulez le graphique G421.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez démontré le concept du frein électromagnétique à l'aide d'un moteur à cage d'écureuil. Vous avez observé que le couple de freinage augmente lorsque le courant c.c. circulant dans l'électro-aimant du stator augmente. Vous avez observé qu'un moteur triphasé à cage d'écureuil peut fonctionner en génératrice asynchrone lorsqu'il tourne à une vitesse supérieure à la vitesse synchrone  $n_s$ . Vous avez vu que le moteur à cage d'écureuil retourne de la puissance active au secteur lorsqu'il fonctionne en génératrice. Vous avez observé que la puissance réactive est toujours nécessaire au moteur à cage d'écureuil pour créer le champ magnétique tournant, qu'il fonctionne en moteur ou en génératrice.

Si vous avez effectué les expériences additionnelles, vous avez tracé un graphique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur à cage d'écureuil. Ce graphique porte sur son fonctionnement en moteur et en génératrice.

## EXERCICES

1. Un électro-aimant fixe générant un couple de freinage ayant un effet sur un rotor à cage d'écureuil correspond à la description
  - a. d'un champ magnétique.
  - b. d'un fil magnétique.
  - c. d'un frein électromagnétique.
  - d. d'un flux magnétique.
2. Lorsqu'un moteur à cage d'écureuil tourne à une vitesse supérieure à la vitesse synchrone déterminée par le secteur, il
  - a. consomme une puissance active et réactive.
  - b. consomme une puissance active et fournit une puissance réactive.
  - c. fournit une puissance active et fournit une puissance réactive.
  - d. fournit une puissance active et consomme une puissance réactive.

# Freins électromagnétiques et génératrices asynchrones

3. Un moteur à cage d'écureuil nécessite toujours
  - a. une puissance réactive pour générer un champ magnétique tournant.
  - b. une puissance active pour générer un champ magnétique tournant.
  - c. une source de tension c.c. pour fonctionner adéquatement.
  - d. un moteur d'entraînement pour l'aider à démarrer.
  
4. La vitesse d'un moteur à cage d'écureuil fonctionnant en génératrice asynchrone
  - a. est inférieure à la vitesse synchrone.
  - b. est égale à la vitesse synchrone.
  - c. est supérieure à la vitesse synchrone.
  - d. dépend du sens de rotation.
  
5. Si elle n'est pas raccordée à une source c.a., quelle sera la tension de sortie d'une génératrice asynchrone tournant à la vitesse synchrone?
  - a. Elle sera nulle, sauf pour une faible tension due au magnétisme résiduel.
  - b. Cela dépend du sens de rotation.
  - c. Elle sera égale à la tension nominale de la génératrice.
  - d. Elle sera bien supérieure à ce qu'elle serait si la génératrice était raccordée à une source c.a.

## Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'utiliser le module Moteur à cage à quatre pôles pour démontrer de quelle façon la tension appliquée à un moteur en altère les caractéristiques.

### PRINCIPES

Dans les moteurs, il est souhaitable d'obtenir un champ magnétique tournant intense, afin d'obtenir la plus grande force magnétique possible entre le stator et le rotor. Cela permet d'obtenir un moteur puissant, car un couple élevé est alors généré. Pour augmenter l'intensité du champ magnétique tournant, il est nécessaire d'augmenter la tension c.a. appliquée aux enroulements du stator du moteur (tension du moteur). Cependant, lorsque la tension du moteur augmente trop, son courant (le courant circulant dans les enroulements du stator) est élevé même à vide, car le fer dont est fabriqué le stator du moteur commence à saturer. Lorsque le moteur est saturé, l'intensité du champ magnétique tournant n'augmente presque plus lorsqu'on augmente le courant à vide. Pour déterminer la tension nominale d'un moteur à induction, un graphique de la tension en fonction du courant, comme celui de la figure 4-17, est habituellement tracé lorsque le moteur tourne à vide. Ce graphique ressemble à la courbe de saturation d'un transformateur ou d'un moteur c.c. La tension nominale est choisie de façon à ce que le point de fonctionnement du moteur se situe près du coude de la courbe de saturation ou sur ce coude.

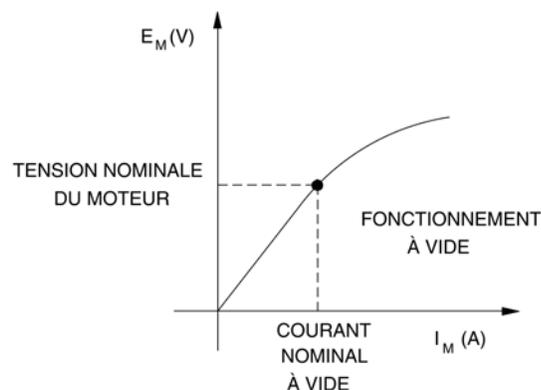
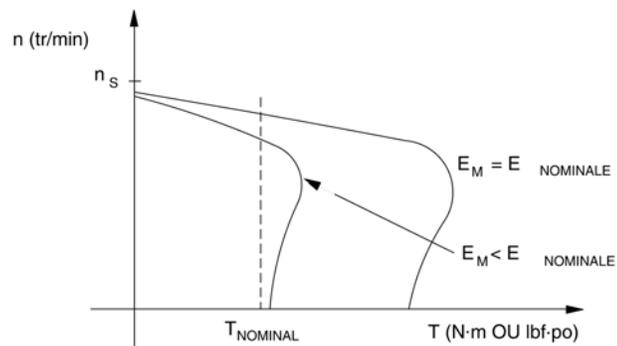


Figure 4-17. Caractéristique de la tension à vide en fonction du courant d'un moteur.

Il est également possible de tracer la caractéristique de la vitesse en fonction du couple pour différentes tensions du moteur. La figure 4-18 montre un exemple de caractéristiques de vitesse en fonction du couple pour la tension nominale et pour la tension réduite du moteur.

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs



**Figure 4-18. Caractéristiques de vitesse en fonction du couple pour la tension nominale et pour la tension réduite du moteur.**

Comme le montre la figure 4-18, le couple de démarrage et le couple de décrochage diminuent beaucoup lorsque la tension du moteur diminue. En pratique, le couple diminue d'un facteur égal au carré du facteur de réduction de la tension du moteur. Par exemple, le couple est réduit d'un facteur quatre lorsque la tension du moteur est réduite d'un facteur deux (c'est-à-dire, réduit de moitié par rapport à sa valeur initiale). Dans certains cas, la tension d'un moteur est réduite intentionnellement, afin d'obtenir de petites variations de la vitesse d'un moteur à induction. De plus, la réduction de la tension du moteur permet d'en diminuer le courant de démarrage.

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de l'expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail et le raccorder comme à la figure 4-19.

Dans la deuxième partie de l'expérience, vous allez faire varier la tension appliquée aux enroulements du moteur à cage d'écureuil à vide, tout en mesurant et en notant le courant d'induit. Vous allez tracer un graphique de la tension d'induit en fonction du courant d'induit et observer l'effet de la saturation.

Dans la troisième partie de l'expérience, vous allez monter le circuit de la figure 4-20 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre. Vous allez ensuite régler la tension appliquée au moteur à cage d'écureuil à une valeur inférieure à la tension nominale, afin d'observer l'effet que cela produit sur la vitesse à vide.

Dans la quatrième partie de l'expérience, vous allez faire varier la charge appliquée au moteur à cage d'écureuil fonctionnant à tension réduite. Pour chaque réglage de la charge, vous allez noter dans le Tableau de données divers paramètres électriques et mécaniques relatifs à ce moteur. Vous allez ensuite utiliser ces paramètres pour tracer différents graphiques et déterminer de nombreuses caractéristiques du moteur à cage d'écureuil lorsqu'il fonctionne à tension réduite.

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur à cage d'écureuil à quatre pôles et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 4-19.

**Remarque :** Les enroulements du module Moteur à cage à quatre pôles sont raccordés en triangle, afin de permettre l'application d'une tension plus élevée aux enroulements.

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

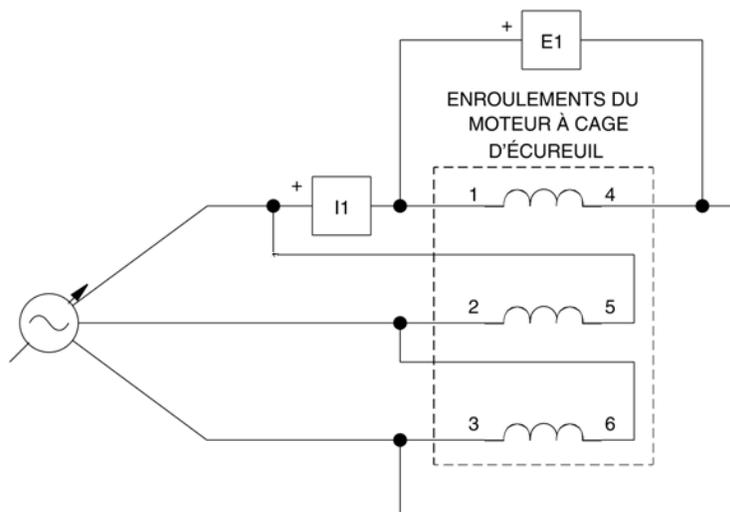


Figure 4-19. Raccordement en triangle des enroulements du stator du module Moteur à cage à quatre pôles.

## Saturation du moteur à induction

- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension appliquée à chacun des enroulements du moteur à cage d'écoreuil (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit égale à 50% de la tension nominale de ces enroulements.

**Remarque :** La tension et le courant nominaux des enroulements du module Moteur à cage à quatre pôles sont indiqués sur sa façade.

Notez la tension et le courant de l'enroulement (indiqués sur l'appareil de mesure I1) dans le Tableau de données.

- 7. Sur le module Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension par pas de 5% jusqu'à la position 100%, afin d'augmenter par pas la tension de l'enroulement. Pour chaque tension réglée, notez la tension et le courant de l'enroulement dans le Tableau de données.

**Remarque :** Au cours de cette manipulation, le courant de ligne nominal du module Moteur à cage à quatre pôles est excédé. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.

Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

- 8. Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

- 9. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique de la tension de l'enroulement du moteur (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) en fonction du courant de l'enroulement du moteur (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1). Intitulez le graphique G431, nommez son axe des X Courant de l'enroulement du moteur à cage d'écureuil, nommez son axe des Y Tension de l'enroulement du moteur à cage d'écureuil et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

- 10. Sur le graphique G431, indiquez la tension nominale de l'enroulement du moteur à cage d'écureuil.

La tension nominale de l'enroulement se trouve-t-elle légèrement au-dessous du coude de la courbe de saturation du moteur?

Oui       Non

Selon le graphique G431, à vide, l'impédance équivalente du moteur à induction semble-t-elle diminuer lorsque la tension de l'enroulement augmente?

Oui       Non

- 11. Utilisez le graphique G431 pour évaluer la tension d'un enroulement ( $E_{\text{ENROULEMENT}}$ ) à laquelle le courant nominal circule dans les enroulements du moteur (à vide).

$E_{\text{ENROULEMENT}} \cong$  \_\_\_\_\_ V (avec un courant d'enroulement nominal et à vide)

**Remarque :** Si le moteur fonctionne à cette tension, le courant de l'enroulement dépasse le courant nominal dès que le moteur est chargé mécaniquement et ce dernier surchauffe.

## Effet de la tension sur la vitesse d'un moteur à induction

- 12. Retirez tous les fils, sauf les câbles d'alimentation 24 V CA.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur à cage à quatre pôles.

Raccordez l'équipement comme à la figure 4-20.

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

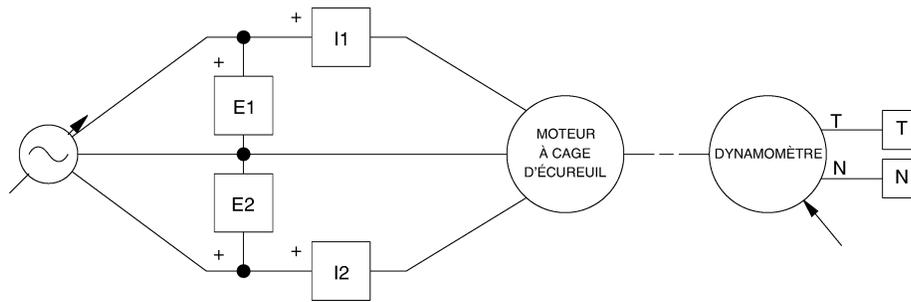


Figure 4-20. Moteur à cage d'écoreuil couplé à un dynamomètre.

- 13. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
 COMMANDE DE LA CHARGE  
 Sélecteur MODE ..... MAN.  
 Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
 (vers la gauche, jusqu'au bout)  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... COUPLE

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, vous pouvez effectuer un zoom avant du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre avant d'effectuer ces réglages, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

- 14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension de ligne indiquée sur l'appareil de mesure E1 soit égale à 75% de la tension de ligne nominale du moteur à cage d'écoreuil.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

Notez ci-dessous la vitesse à vide du moteur, qui est indiquée sur l'appareil de mesure N de l'application Appareils de mesure.

n = \_\_\_\_ tr/min (à 75% de la tension de ligne nominale du moteur)

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

À vide, la vitesse obtenue lorsque la tension de ligne est réglée à 75% de la tension nominale est-elle inférieure à la vitesse obtenue à vide lorsque la tension de ligne est réglée à la tension nominale, comme à la manipulation 7 de l'Expérience 4-1?

Oui       Non

Une variation de la tension appliquée au moteur à cage d'écureuil permet-elle d'en faire varier la vitesse?

Oui       Non

## Caractéristiques d'un moteur à induction à tension réduite

15. Dans l'application Appareils de mesure, effacez les données enregistrées dans le Tableau de données et assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée. L'appareil de mesure T indique maintenant le couple de sortie du moteur à cage d'écureuil.

Notez la tension de ligne  $E_{\text{LIGNE}}$ , le courant de ligne  $I_{\text{LIGNE}}$ , la puissance active P, la puissance réactive Q, la vitesse n et le couple de sortie T (indiqués sur les appareils de mesure E1, I1, C, A, N et T, respectivement) du moteur dans le Tableau de données.

Sur le Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,3 N·m (2,0 lbf·po), jusqu'à 0,9 N·m (8,0 lbf·po). Pour chaque couple réglé, notez la donnée dans le Tableau de données.

Sur le Moteur d'entraînement / Dynamomètre, tournez lentement le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE de façon à ce que le couple indiqué sur l'afficheur du module augmente par pas de 0,1 N·m (1,0 lbf·po), jusqu'à ce que la vitesse du moteur commence à diminuer relativement rapidement (région du couple de décrochage). Pour chaque réglage additionnel du couple, notez la donnée dans le Tableau de données.

Lorsque la vitesse du moteur est stabilisée, notez la donnée dans le Tableau de données.

**Remarque :** *Au cours de cette manipulation, le courant de ligne nominal du module Moteur à cage à quatre pôles peut être excédé. Il est donc recommandé d'effectuer cette manipulation en moins de 5 minutes.*

16. Lorsque toutes les données sont enregistrées, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout), tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

Le courant de ligne du moteur indiqué à la colonne I1 augmente-t-il lorsque la charge mécanique appliquée au moteur à cage d'écurueil augmente?

Oui       Non

17. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique de la vitesse du moteur (mesurée au moyen de l'appareil de mesure N) en fonction du couple du moteur (mesuré au moyen de l'appareil de mesure T). Intitulez le graphique G432, nommez son axe des X Couple du moteur à cage d'écurueil, nommez son axe des Y Vitesse du moteur à cage d'écurueil et imprimez-le.

Au moyen du graphique G432, déterminez le couple de décrochage du moteur à cage d'écurueil.

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

(La tension du moteur étant réduite à 75% de la tension nominale)

Au moyen du graphique G432, déterminez le couple à la vitesse minimale. Ce couple constitue une bonne approximation du couple de démarrage du moteur à cage d'écurueil.

$$T_{\text{DÉMARRAGE}} \cong \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

(La tension du moteur étant réduite à 75% de la tension nominale)

Comparez le couple de décrochage et le couple de démarrage, obtenus lorsque la tension du moteur est réglée à 75% de la tension nominale, aux couples obtenus lorsque la tension du moteur est réglée à la tension nominale, comme à la manipulation 12 de l'Expérience 4-1.

---

---

---

La réduction de la tension du moteur provoque-t-elle une diminution du couple généré par celui-ci?

Oui       Non

18. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, de façon à obtenir un graphique des puissances active (P) et réactive (Q) du moteur (mesurées au moyen des appareils de mesure C et A, respectivement) en fonction de la vitesse du moteur (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N), en utilisant les données enregistrées précédemment dans le tableau de données DT432. Intitulez ce graphique G432-1, nommez son axe des X

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

Vitesse du moteur à cage d'écureuil, nommez son axe des Y Puissances active et réactive du moteur à cage d'écureuil et imprimez-le.

Comparez les puissances active et réactive obtenues lorsque la tension du moteur est réglée à 75% de la tension nominale (graphique G432-1) aux puissances obtenues lorsque la tension du moteur est réglée à la tension nominale (graphique G411-1 obtenu à l'Expérience 4-1).

---

---

---

19. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés de façon à obtenir un graphique du courant de ligne  $I_{\text{LIGNE}}$  du moteur (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1) en fonction de sa vitesse (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N), en utilisant les données enregistrées précédemment dans le tableau de données DT432. Intitulez ce graphique G432-2, nommez son axe des X Vitesse du moteur à cage d'écureuil, nommez son axe des Y Courant de ligne du moteur à cage d'écureuil et imprimez-le.

Comparez le courant de démarrage (courant de ligne à basse vitesse) obtenu lorsque la tension du moteur est réglée à 75% de la tension nominale (graphique G432-2) à celui obtenu lorsque la tension du moteur est réglée à la tension nominale (graphique G411-2) obtenue à l'Expérience 4-1).

---

---

---

Une réduction de la tension du moteur provoque-t-elle une diminution de son courant de démarrage?

- Oui       Non

20. Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez observé que le courant d'un enroulement augmente beaucoup lorsque sa tension nominale est dépassée car il y a alors saturation du moteur à cage d'écureuil. Vous avez tracé la courbe de saturation du moteur à cage d'écureuil et trouvé que sa tension nominale se situe près du coude de cette courbe. Vous avez tracé un graphique de la vitesse en fonction du couple en appliquant une tension réduite au moteur à cage d'écureuil. Vous avez utilisé ce graphique pour déterminer les couples de décrochage et de démarrage du moteur. Vous avez découvert qu'une réduction de la tension du moteur provoque une diminution du couple généré par celui-ci, et ce à toutes les vitesses. Vous avez

Sale and/or reproduction forbidden

# Effet de la tension sur les caractéristiques des moteurs

également tracé un graphique des puissances active et réactive du moteur en fonction de sa vitesse, et observé que, lorsque la tension du moteur est réduite, le moteur à cage d'écureuil consomme moins de puissance en provenance de la source de tension c.a. Enfin, vous avez tracé un graphique du courant de ligne du moteur en fonction de sa vitesse, et observé qu'une réduction de la tension du moteur provoque une diminution du courant de démarrage (courant de ligne à basse vitesse).

## EXERCICES

1. De quelle façon varie le couple d'un moteur lorsque sa tension diminue?
  - a. Il diminue.
  - b. Il augmente.
  - c. Il ne varie pas.
  - d. Cela dépend de la vitesse du moteur.
2. Comment varie le couple d'un moteur lorsque sa tension est réduite de 50%?
  - a. Il augmente de 25%.
  - b. Il diminue de 50%.
  - c. Il diminue de 75%.
  - d. Il diminue de 100%.
3. Lorsque l'intensité de l'électro-aimant de son stator augmente, le couple généré par un moteur à cage d'écureuil
  - a. ne varie pas.
  - b. diminue.
  - c. augmente.
  - d. ne dépend que de la taille du moteur.
4. Lorsque la tension nominale de son enroulement est dépassée, le courant de l'enroulement du stator d'un moteur à cage d'écureuil augmente beaucoup, car
  - a. le moteur génère un couple élevé.
  - b. il y a saturation du moteur.
  - c. il y a réaction de la cage d'écureuil à l'intérieur du moteur.
  - d. il y a consommation de puissance réactive à l'intérieur du moteur.
5. Quel avantage comporte la réduction de la tension appliquée à un moteur à cage d'écureuil?
  - a. Le courant de ligne est réduit lors du démarrage.
  - b. Les balais du moteur sont moins endommagés.
  - c. Le couple de démarrage est augmenté.
  - d. Le risque d'emballement du moteur est éliminé.

## Moteurs à induction monophasés

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer les principales caractéristiques de fonctionnement des moteurs à induction monophasés, à l'aide du module Moteur à démarrage par condensateur.

### PRINCIPES

Il est possible d'obtenir un moteur à cage d'écureuil monophasé en utilisant simplement un électro-aimant raccordé à une source de tension c.a. monophasée, comme le montre la figure 4-21.

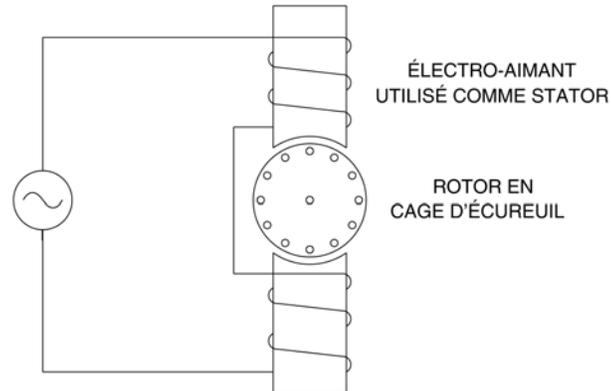


Figure 4-21. Moteur à cage d'écureuil monophasé.

Le principe de fonctionnement de ce type de moteur est plus complexe que celui du moteur à cage d'écureuil triphasé. Le moteur à induction de la figure 4-21 peut même être considéré comme un frein électromagnétique qui freine de façon intermittente, puisque le courant sinusoïdal circulant à l'intérieur de l'électro-aimant du stator passe continuellement d'une valeur crête à zéro. On pourrait même se demander comment ce moteur peut tourner puisqu'il semble fonctionner comme un frein électromagnétique.

# Moteurs à induction monophasés

Cependant, lorsque le rotor du moteur à induction simple de la figure 4-21 est entraîné manuellement, il y a génération d'un couple dans le sens de rotation et le moteur continue de tourner tant qu'une tension c.a. est appliquée à l'électro-aimant de son stator. Ce couple est dû au champ magnétique tournant résultant de l'interaction du champ magnétique généré par l'électro-aimant du stator avec le champ magnétique généré par les courants induits dans le rotor. La figure 4-22 illustre un graphique de la vitesse en fonction du couple de ce type de moteur. La courbe qu'on y trouve montre que le couple est très faible à basse vitesse. Il passe à une valeur maximale lorsque la vitesse augmente, et diminue enfin jusqu'à zéro, lorsque la vitesse approche de la vitesse synchrone  $n_s$ .

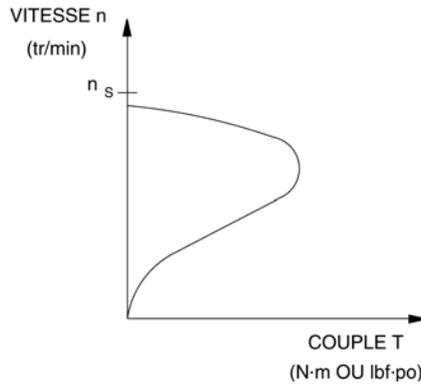


Figure 4-22. Caractéristique de la vitesse en fonction du couple d'un moteur à induction monophasé.

Ces faibles couples à basse vitesse sont dus au fait que les courants induits dans le rotor génèrent des champs magnétiques, qui créent des forces ayant un effet multidirectionnel sur le rotor. La majeure partie de ces forces s'annulent et la force résultante ayant un effet sur le rotor est faible. Cela explique pourquoi le moteur à induction monophasé de la figure 4-21 doit être démarré manuellement. Pour obtenir un couple à basse vitesse (couple de démarrage), on doit générer un champ magnétique tournant à l'intérieur du stator, lorsque le moteur démarre. Dans le Bloc 1 de ce manuel, vous avez vu qu'il est possible de générer un champ magnétique tournant au moyen de deux courants alternatifs,  $I_1$  et  $I_2$ , déphasés de  $90^\circ$  et de deux électro-aimants placés à angle droit.

La figure 4-23 montre le moteur à induction simple de la figure 4-21 avec, en plus, un deuxième électro-aimant placé à angle droit par rapport au premier. Ce deuxième électro-aimant est identique au premier et il est raccordé à la même source de tension c.a. Les courants  $I_1$  et  $I_2$  circulant dans les électro-aimants (courants des enroulements) sont en phase, car l'impédance des bobines est la même. Cependant, à cause de l'inductance des bobines des électro-aimants, il y a déphasage entre les courants et la tension de la source c.a., comme le montre le diagramme vectoriel de la figure 4-23.

# Moteurs à induction monophasés

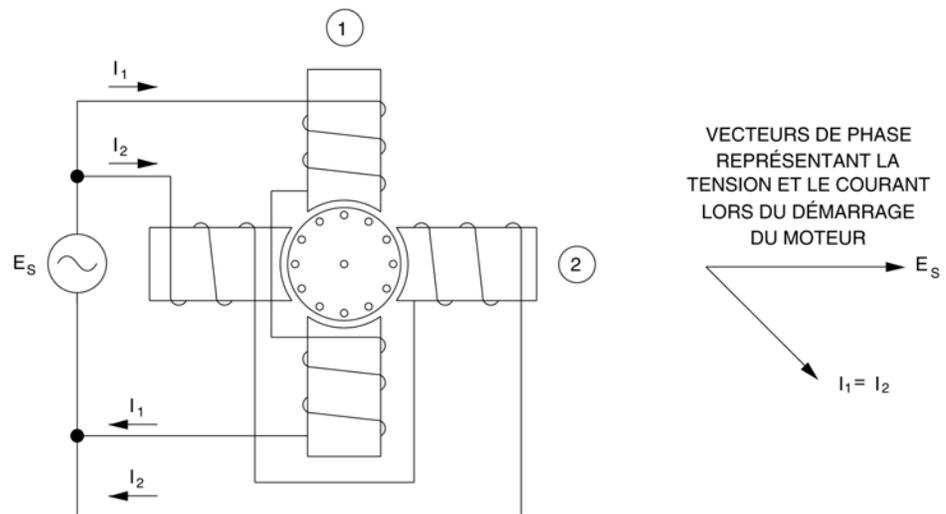
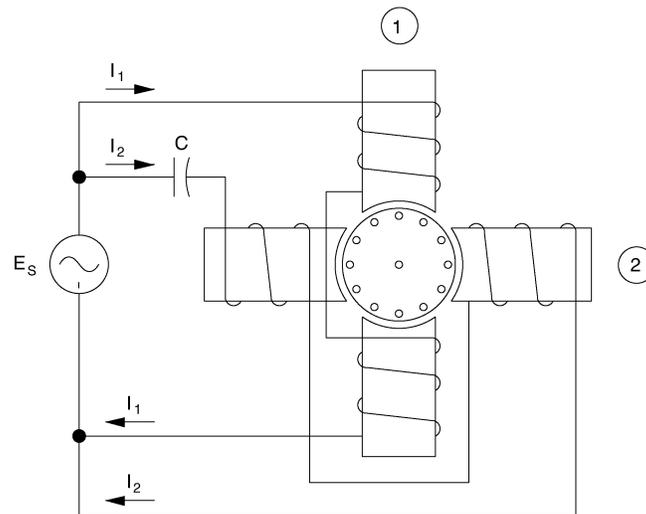


Figure 4-23. Ajout d'un deuxième électro-aimant au moteur à induction simple de la figure 4-21.

Puisque les courants  $I_1$  et  $I_2$  sont en phase, aucun champ magnétique tournant n'est généré à l'intérieur du stator. Cependant, il est possible de déphaser le courant  $I_2$  en raccordant un condensateur en série avec l'enroulement de l'électro-aimant 2. La capacité de ce condensateur peut être choisie de façon à ce que, lors du démarrage du moteur, le courant  $I_2$  soit en avance de  $90^\circ$  sur le courant  $I_1$ , comme le montre la figure 4-24. En conséquence, un vrai champ magnétique tournant, comme celui illustré précédemment au Bloc 1, est généré lors du démarrage du moteur. Le condensateur crée l'équivalent d'une source de tension c.a. biphasée et permet au moteur de générer un couple de démarrage.

Une autre façon de créer un déphasage entre les courants  $I_1$  et  $I_2$  consiste à fabriquer un enroulement comportant moins de spires, avec un fil de calibre inférieur. L'enroulement ainsi fabriqué, appelé enroulement auxiliaire, offre une résistance supérieure et une inductance inférieure, et le courant y circulant est presque en phase avec la tension de la source. Bien que, lors du démarrage du moteur, le déphasage entre les deux courants soit inférieur à  $90^\circ$ , comme le montre la figure 4-25, il y a création d'un champ magnétique tournant. Dans les applications ne nécessitant pas un couple de démarrage élevé, le couple généré est suffisant pour que le moteur commence à tourner.

# Moteurs à induction monophasés



SIGNAUX ET VECTEURS DE PHASE  
LORS DU DÉMARRAGE DU MOTEUR

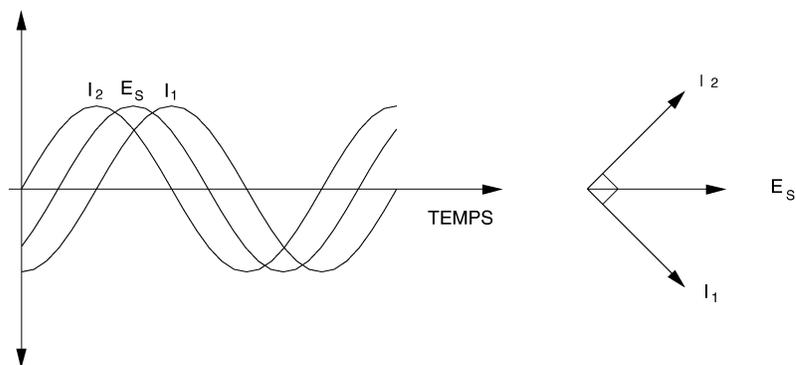


Figure 4-24. L'ajout d'un condensateur permet au moteur à induction de générer un couple de démarrage.

Cependant, un courant élevé ne peut parcourir l'enroulement auxiliaire pendant plus de quelques secondes, car celui-ci est constitué d'un fil fin. Il est donc raccordé à un interrupteur centrifuge qui s'ouvre et débranche l'enroulement du circuit du moteur lorsque ce dernier atteint environ 75% de sa vitesse normale. Après l'ouverture de l'interrupteur centrifuge, le champ magnétique tournant est entretenu par l'interaction des champs magnétiques générés par le stator et le rotor.

# Moteurs à induction monophasés

SIGNAUX ET VECTEURS DE PHASE  
LORS DU DÉMARRAGE DU MOTEUR

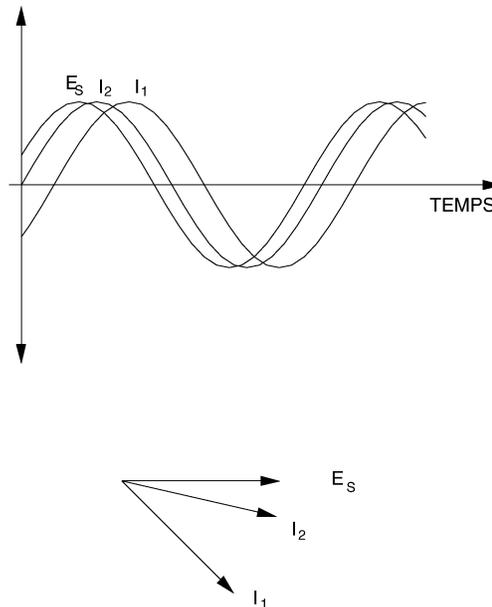


Figure 4-25. Déphasage entre les courants des enroulements lorsqu'un enroulement auxiliaire est utilisé.

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail et le raccorder comme à la figure 4-26.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez observer le fonctionnement en biphasé et en monophasé du moteur triphasé à cage d'écureuil, à l'aide de l'Analyseur de vecteurs de phase.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez observer le fonctionnement d'un moteur à induction monophasé à l'aide d'un moteur à démarrage par condensateur et de l'Analyseur de vecteurs de phase.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

# Moteurs à induction monophasés

## MANIPULATIONS



### ATTENTION!

**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur à cage à quatre pôles, Moteur à démarrage par condensateur, Charge capacitive et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Mettez l'interrupteur 24 V CA du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.  
  
Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.
- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 4-26.

### Fonctionnement en biphasé et en monophasé d'un moteur triphasé à cage d'écureuil

- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension appliquée à chacun des enroulements du moteur (indiquée sur l'appareil de mesure E1) soit égale à sa tension nominale.

**Remarque :** La tension et le courant nominaux des enroulements du module Moteur à cage à quatre pôles sont indiqués sur sa façade.

# Moteurs à induction monophasés

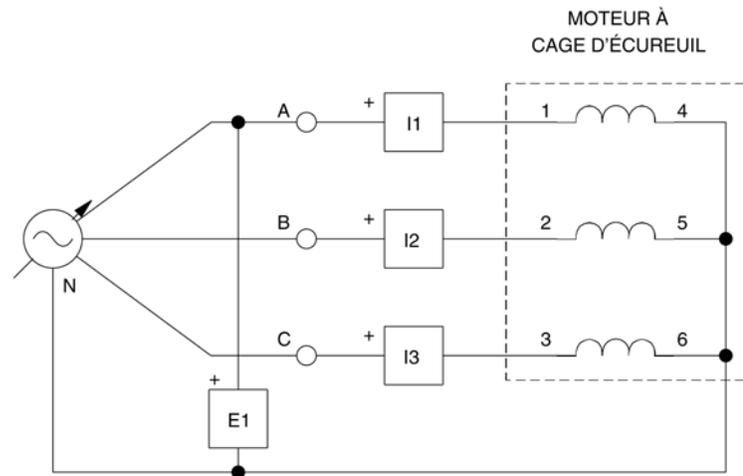


Figure 4-26. Moteur triphasé à cage d'écureuil.

Le moteur à cage d'écureuil démarre-t-il facilement et tourne-t-il normalement?

Oui  Non

7. Lancez l'application Analyseur de vecteurs de phase, sélectionnez le vecteur de phase de tension E1 comme vecteur de référence, puis sélectionnez les sensibilités appropriées à l'observation du vecteur de phase de tension E1 et des vecteurs de phase de courant I1, I2 et I3. Ces vecteurs de phase représentent la tension ligne à neutre de la source c.a. et les courants de ligne circulant dans le moteur triphasé à cage d'écureuil.

Les vecteurs de phase I1, I2 et I3 sont-ils de même amplitude et déphasés de  $120^\circ$ , démontrant ainsi qu'ils génèrent un champ magnétique tournant normal?

Oui  Non

8. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Ouvrez le circuit au point A illustré à la figure 4-26. Assurez-vous que l'entrée E1 TENSION du module IAD demeure raccordée à la source de tension c.a.

9. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Le moteur à cage d'écureuil démarre-t-il facilement et tourne-t-il normalement?

Oui  Non

# Moteurs à induction monophasés

Dans l'application Analyseur de vecteurs de phase, observez les vecteurs de phase de courant I2 et I3. Y a-t-il déphasage entre ces derniers, afin de générer un champ magnétique tournant?

Oui       Non

- 10. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

Ouvrez le circuit au point B illustré à la figure 4-26.

- 11. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez le bouton de commande de la tension à environ 50%, attendez environ 5 secondes, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

Le moteur à cage d'écureuil démarre-t-il facilement et tourne-t-il normalement?

Oui       Non

- 12. Utilisez le module Charge capacitive pour raccorder un condensateur au circuit du moteur, comme à la figure 4-27. Réglez la capacité du condensateur à la valeur indiquée à la figure 4-27.

- 13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension jusqu'à 100%. Ce faisant, pendant que la tension augmente, observez les vecteurs de phase I2 et I3 dans l'application Analyseur de vecteurs de phase.

Le moteur à cage d'écureuil commence-t-il à tourner? Expliquez brièvement pourquoi.

---

---

---

# Moteurs à induction monophasés

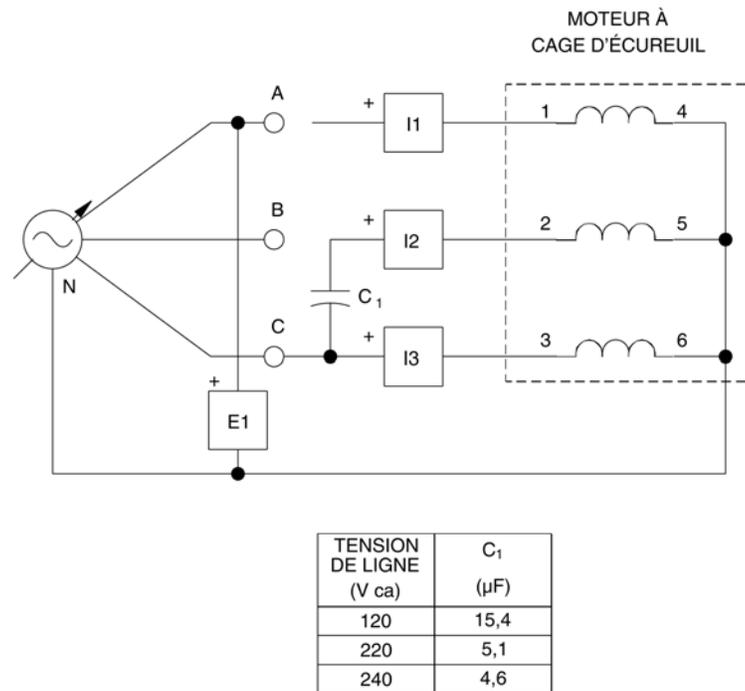


Figure 4-27. Ajout d'un condensateur au circuit du moteur.

14. Sur le module Charge capacitive, ouvrez les commutateurs, afin de débrancher le condensateur du circuit du moteur et de couper le courant dans l'un des deux enroulements du moteur à cage d'écureuil.

Le moteur à cage d'écureuil continue-t-il de tourner, démontrant ainsi qu'il peut fonctionner au moyen d'une tension c.a. monophasée après son démarrage?

- Oui       Non

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

## Fonctionnement d'un moteur à induction monophasé (à démarrage par condensateur)

15. Débranchez tous les fils à l'exception du câble de l'alimentation 24 V CA, puis montez le circuit du moteur à démarrage par condensateur de la figure 4-28.

# Moteurs à induction monophasés

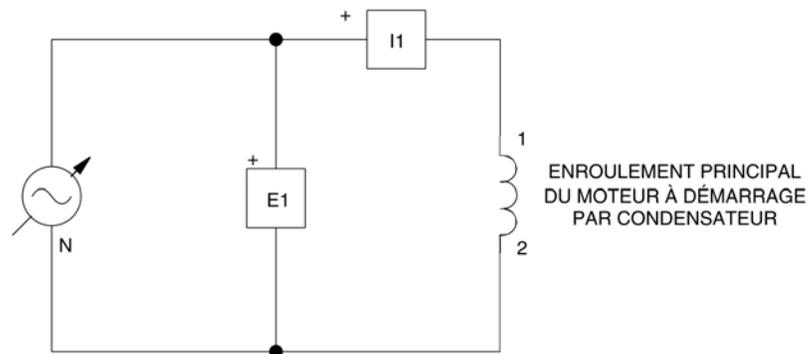


Figure 4-28. Circuit du moteur à démarrage par condensateur.

16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à environ 10%.

Dans l'application Analyseur de vecteurs de phase, sélectionnez les sensibilités appropriées, afin d'observer le vecteur de phase de tension E1 et le vecteur de phase de courant I1. Vérifiez si le vecteur de phase de courant I1 (courant circulant dans l'enroulement principal) est en retard sur le vecteur de phase de tension E1 (tension de la source).

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension à 50%.

Le moteur à démarrage par condensateur commence-t-il à tourner?

Oui       Non

17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

Raccordez l'enroulement auxiliaire du module Moteur à démarrage par condensateur, comme à la figure 4-29.

18. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension à environ 10%.

Observez les vecteurs de phase de courant I1 et I2 dans l'application Analyseur de vecteurs de phase.

# Moteurs à induction monophasés

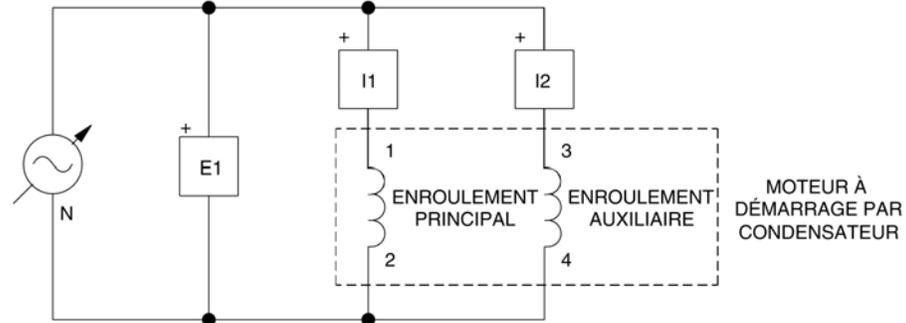


Figure 4-29. Raccord de l'enroulement auxiliaire au circuit du moteur à démarrage par condensateur.

Le déphasage entre le vecteur de phase de courant I2 (courant circulant dans l'enroulement auxiliaire) et le vecteur de phase de tension E1 est-il inférieur à celui entre le vecteur de phase de courant I1 (courant circulant dans l'enroulement principal) et le vecteur de phase de tension E1, confirmant ainsi que, lors du démarrage du moteur, l'impédance de l'enroulement auxiliaire est plus résistive et moins inductive?

Oui     Non

Le déphasage entre les vecteurs de phase de courant I1 et I2 est-il inférieur à 90%?

Oui     Non

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension à 50%.

Le moteur à démarrage par condensateur commence-t-il à tourner?

Oui     Non

**Remarque :** *Puisqu'au cours de cette manipulation le courant nominal de l'enroulement auxiliaire du module Moteur à démarrage par condensateur peut être dépassé, il est recommandé de l'effectuer le plus rapidement possible.*

*Cependant, si le disjoncteur du module Moteur à démarrage par condensateur est déclenché, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), réenclenchez le disjoncteur, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et poursuivez la manipulation.*

19. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

# Moteurs à induction monophasés

Modifiez le circuit du moteur à démarrage par condensateur en raccordant le condensateur du module Moteur à démarrage par condensateur en série avec l'enroulement auxiliaire, comme à la figure 4-30.

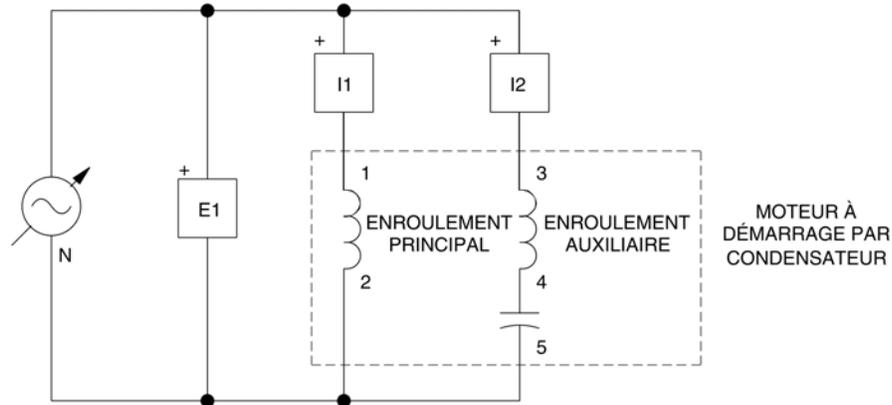


Figure 4-30. Raccord d'un condensateur en série avec l'enroulement auxiliaire.

- 20. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension, jusqu'à environ 10%.

Observez les vecteurs de phase de courant I1 et I2 dans l'application Analyseur de vecteurs de phase.

Le fait de raccorder un condensateur en série avec l'enroulement auxiliaire crée-t-il un déphasage d'environ  $90^\circ$  entre les vecteurs de phase de courant I1 et I2?

- Oui       Non

Sur le Bloc d'alimentation, réglez le bouton de commande de la tension à 50%.

Le moteur à démarrage par condensateur commence-t-il à tourner?

- Oui       Non

Laissez le moteur tourner pendant quelques minutes, tout en observant les vecteurs de phase de courant I1 et I2 dans l'application Analyseur de vecteurs de phase.

Décrivez ce qui se passe.

- 21. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

# Moteurs à induction monophasés

Sur le module Moteur à démarrage par condensateur, réenclenchez le disjoncteur déclenché.

Modifiez le circuit du moteur à démarrage par condensateur en raccordant l'interrupteur centrifuge du module Moteur à démarrage par condensateur en série avec l'enroulement auxiliaire et le condensateur, comme à la figure 4-31.

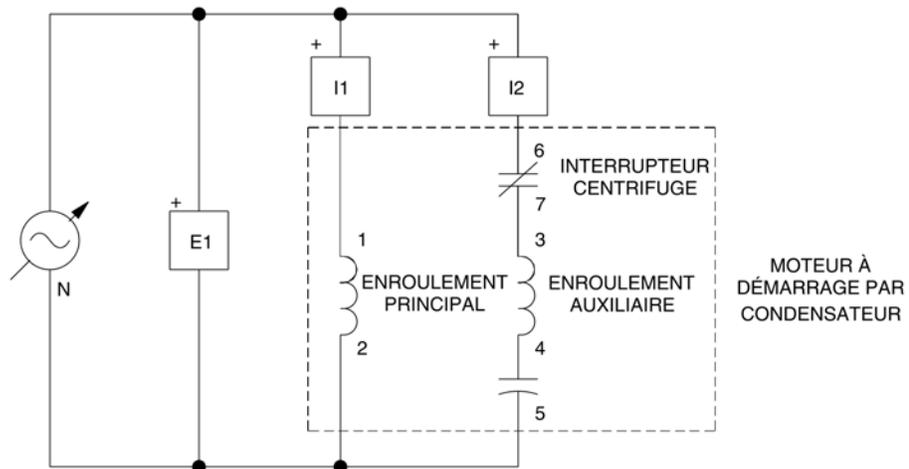


Figure 4-31. Raccord d'un interrupteur centrifuge en série avec l'enroulement auxiliaire et le condensateur.

- 22. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de commande de la tension jusqu'à 100%. Ce faisant, pendant que la tension augmente, observez les vecteurs de phase I1 et I2 dans l'application Analyseur de vecteurs de phase.

Le moteur à démarrage par condensateur commence-t-il à tourner?

- Oui       Non

Expliquez brièvement pourquoi le vecteur de phase de courant I2 (courant circulant dans l'enroulement auxiliaire) disparaît peu après que le moteur ait commencé à tourner.

---

---

- 23. Tournez le bouton de commande d'alimentation vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

# Moteurs à induction monophasés

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez observé que, lorsqu'il n'est alimenté que par deux phases d'une source de tension c.a. triphasée, un moteur triphasé à cage d'écurieuil démarre et tourne presque toujours normalement, car un champ magnétique tournant est entretenu. Cependant, vous avez vu que lorsqu'une seule phase est raccordée au moteur, il n'y a aucun champ magnétique tournant et le moteur ne peut commencer à tourner. Vous avez démontré que l'ajout d'un enroulement auxiliaire et d'un condensateur à un moteur à induction permet de le faire démarrer et tourner normalement, lorsqu'il est alimenté par une source de tension c.a. monophasée. Vous avez constaté que cela a pour effet de générer deux courants (celui circulant dans l'enroulement principal et celui circulant dans l'enroulement auxiliaire) déphasés d'environ  $90^\circ$  et que ces courants génèrent le champ magnétique tournant nécessaire lors du démarrage du moteur. Enfin, vous avez observé qu'un interrupteur centrifuge est utilisé pour débrancher l'enroulement auxiliaire, lorsque le moteur à induction monophasé atteint une vitesse suffisamment élevée pour maintenir le champ magnétique tournant.

## EXERCICES

1. Lorsque seulement deux phases sont raccordées à un moteur triphasé à cage d'écurieuil, il
  - a. tourne presque normalement.
  - b. tourne dans le sens opposé.
  - c. ne démarre pas.
  - d. altère la puissance réactive qu'il génère.
  
2. Lorsqu'une seule phase est raccordée à un moteur triphasé à cage d'écurieuil, il
  - a. tourne presque normalement.
  - b. tourne dans le sens opposé.
  - c. ne démarre pas ou il commence à tourner de façon anormale.
  - d. altère la puissance réactive qu'il génère.
  
3. Un enroulement auxiliaire et un condensateur sont ajoutés à un moteur à induction monophasé pour l'aider à
  - a. démarrer.
  - b. augmenter le couple de démarrage.
  - c. produire un déphasage entre les courants des enroulements.
  - d. toutes ces réponses sont bonnes.

## Moteurs à induction monophasés

4. Les moteurs à induction monophasés à démarrage par condensateur utilisent un interrupteur centrifuge pour
  - a. ajouter un enroulement auxiliaire et un condensateur au circuit du moteur.
  - b. retirer un enroulement auxiliaire et un condensateur du circuit du moteur.
  - c. augmenter la résistance du circuit de démarrage seulement.
  - d. diminuer la résistance du circuit de démarrage seulement.
  
5. L'enroulement auxiliaire comporte moins de spires d'un fil plus fin et, ainsi, offre
  - a. une résistance inférieure et une inductance supérieure.
  - b. une résistance inférieure et une inductance inférieure.
  - c. une résistance supérieure et une inductance supérieure.
  - d. une résistance supérieure et une inductance inférieure.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Questions récapitulatives

1. Lorsqu'un aimant se déplace au-dessus d'une échelle de conducteurs, les courants induits dans cette échelle génèrent un champ magnétique. Ce champ interagit avec le champ magnétique de l'aimant et génère une force qui
  - a. attire l'échelle dans le sens opposé au déplacement de l'aimant.
  - b. attire l'échelle dans le sens du déplacement de l'aimant.
  - c. freine l'échelle.
  - d. aucune de ces réponses.
  
2. Dans un moteur triphasé à cage d'écureuil, le champ magnétique tournant est généré par
  - a. deux électro-aimants placés à angle droit et deux courants sinusoïdaux déphasés de  $90^\circ$ .
  - b. trois électro-aimants placés à  $90^\circ$  et trois courants sinusoïdaux déphasés de  $120^\circ$ .
  - c. trois électro-aimants placés à  $120^\circ$  et trois courants sinusoïdaux déphasés de  $120^\circ$ .
  - d. trois électro-aimants placés à  $120^\circ$  et trois courants sinusoïdaux déphasés de  $90^\circ$ .
  
3. Le glissement est la différence entre
  - a. la vitesse synchrone et la vitesse du rotor d'un moteur à induction.
  - b. la vitesse à vide et la vitesse à pleine charge d'un moteur à induction.
  - c. la vitesse synchrone et la vitesse à pleine charge d'un moteur à induction.
  - d. la vitesse synchrone et la vitesse à vide d'un moteur à induction.
  
4. Le couple généré par un moteur à induction est nul lorsque ce dernier tourne à vitesse synchrone, car
  - a. la vitesse à pleine charge est égale à la vitesse synchrone.
  - b. il y a réaction de la cage d'écureuil.
  - c. aucun courant n'est induit dans le rotor.
  - d. les courants induits dans le rotor s'annulent.
  
5. Le sens de rotation d'un moteur triphasé à cage d'écureuil dépend
  - a. du magnétisme résiduel à l'intérieur du rotor en cage d'écureuil.
  - b. de l'interaction des champs magnétiques du stator et du rotor.
  - c. de la conception du moteur à induction.
  - d. de la séquence de phase de la tension appliquée aux enroulements du stator du moteur.

## Questions récapitulatives (suite)

6. Lorsqu'une échelle de conducteurs se déplace sous un aimant fixe, les courants induits à l'intérieur de celle-ci génèrent un champ magnétique. Ce champ magnétique interagit avec le champ magnétique de l'aimant et génère une force qui
- modifie le sens de déplacement de l'échelle.
  - attire l'échelle dans le même sens.
  - freine l'échelle.
  - aucune de ces réponses.
7. Un moteur triphasé à cage d'écurieil raccordé à une source de tension triphasée
- ne peut fonctionner en génératrice asynchrone.
  - fonctionne en moteur, lorsqu'il tourne à une vitesse supérieure à la vitesse synchrone.
  - fonctionne en génératrice asynchrone, lorsqu'il tourne à une vitesse supérieure à la vitesse synchrone.
  - fonctionne toujours en génératrice asynchrone, car il nécessite toujours une puissance réactive.
8. Un moteur triphasé à cage d'écurieil génère un couple de 30 N·m (266 lbf·po) à une vitesse de 1250 tr/min, lorsque la tension appliquée à chacun de ses enroulements est de 300 V. Si la tension est réduite à 250 V, quel couple sera généré à la même vitesse?
- 20,8 N·m (184 lbf·po)
  - 25,0 N·m (221 lbf·po)
  - 36,0 N·m (319 lbf·po)
  - 43,0 N·m (382 lbf·po)
9. Lorsqu'un moteur monophasé à cage d'écurieil tourne, le champ magnétique tournant est généré par l'interaction
- entre l'enroulement principal et l'enroulement auxiliaire du stator.
  - entre les champs magnétiques de l'enroulement principal, le stator et le rotor.
  - entre les champs magnétiques de l'enroulement auxiliaire, le stator et le rotor.
  - entre le condensateur, l'enroulement principal du stator et le rotor.
10. Dans un moteur à induction monophasé, un enroulement auxiliaire est nécessaire pour
- réduire la réaction de la cage d'écurieil.
  - permettre au moteur de générer un couple de démarrage.
  - réduire la puissance réactive nécessaire à la génération du champ magnétique tournant.
  - permettre au moteur de tourner à des vitesses supérieures.

## Moteurs synchrones

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous allez être en mesure de démontrer et d'expliquer les caractéristiques de fonctionnement des moteurs synchrones à l'aide du module Moteur/alternateur synchrone.

### PRINCIPES FONDAMENTAUX

Les principes de fonctionnement du moteur synchrone triphasé ressemblent beaucoup à ceux du moteur triphasé à cage d'écureuil. Le stator est habituellement fabriqué de la même façon (consultez la figure 4-4) et il génère un champ magnétique tournant comme celui de la figure 4-6. Cependant, le rotor d'un moteur synchrone n'est pas constitué d'une cage d'écureuil, mais plutôt d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant monté sur l'arbre du moteur, comme à la figure 5-1. Ce rotor est entraîné par le champ magnétique tournant, exactement comme on l'a vu au Bloc 1.

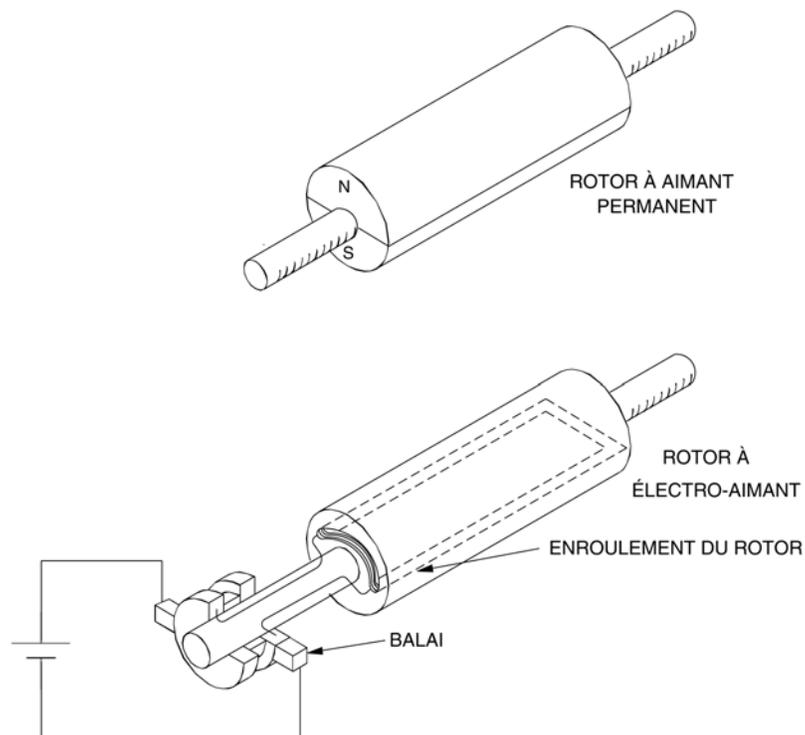


Figure 5-1. Rotor d'un moteur synchrone.

Cependant, il y a un problème lors du démarrage d'un moteur synchrone. Lorsque la tension c.a. triphasée est appliquée aux enroulements du stator, un champ magnétique tournant à la vitesse synchrone n'est immédiatement généré. Le rotor

# Moteurs synchrones

étant au repos, il ne peut atteindre la vitesse du champ magnétique tournant et le couple résultant appliqué au rotor est relativement faible.

Une façon de faciliter le démarrage d'un moteur synchrone muni d'un rotor à électro-aimant consiste à ajouter une cage d'écureuil au rotor. Lors du démarrage, la tension est retirée de l'électro-aimant du rotor et une tension c.a. triphasée est appliquée aux enroulements du stator. Il y a création d'un champ magnétique tournant, induction de courants dans la cage d'écureuil et le moteur commence à tourner comme un moteur triphasé à cage d'écureuil conventionnel. Lorsque sa vitesse est stabilisée, une tension c.c. est appliquée à l'électro-aimant et le rotor est verrouillé au champ magnétique tournant. Il tourne alors exactement à la vitesse synchrone  $n_s$ .

On ne peut faire démarrer de cette façon un moteur synchrone muni d'un rotor à aimant permanent, car l'aimant permanent ne peut être mis hors tension. Dans ce cas, une source de tension c.a. à fréquence variable est utilisée pour alimenter les enroulements du stator du moteur synchrone à aimant permanent. La source c.a. est d'abord réglée à une basse fréquence. Cela crée dans le stator un champ magnétique tournant à une basse vitesse que le rotor peut atteindre. La fréquence de la source c.a. est ensuite augmentée progressivement, afin d'augmenter la vitesse à la valeur désirée.

## Le moteur synchrone triphasé

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer comment démarrer un moteur synchrone ainsi que certaines caractéristiques d'un moteur synchrone à l'aide du module Moteur/alternateur synchrone.

### PRINCIPES

Les caractéristiques les plus intéressantes du moteur synchrone triphasé sont sa capacité de fonctionner exactement à la même vitesse que le champ magnétique tournant, sa capacité de fonctionner avec un facteur de puissance unitaire et sa capacité de fournir une puissance réactive à une source de tension c.a. Comme on l'a vu au Bloc 4, un moteur asynchrone consomme toujours une puissance réactive, qu'il fonctionne en moteur ou en génératrice. Cela est dû au fait que le moteur à cage d'écureuil nécessite une puissance réactive pour générer le champ magnétique tournant. Dans le cas du moteur synchrone triphasé, le champ magnétique tournant constitue la somme des champs magnétiques générés par le stator et le rotor. Si le champ du rotor est faible, le stator doit générer presque toute la puissance réactive du champ magnétique tournant. Le moteur consomme donc une puissance réactive, comme le fait une inductance ou un moteur asynchrone. Cependant, si le champ du rotor est fort, le stator sert à diminuer le champ résultant et le moteur fournit la puissance réactive, à la manière d'un condensateur.

La figure 5-2 montre un graphique de la puissance réactive  $Q$  en fonction du courant d'excitation  $I_E$  (courant circulant dans l'électro-aimant du rotor) d'un moteur synchrone triphasé tournant à vide. Lorsque le courant d'excitation  $I_E$  est minimal, le champ magnétique généré par le rotor est faible et le moteur consomme une puissance réactive maximale ( $Q$  est positive). La puissance réactive consommée diminue jusqu'à zéro lorsque le courant  $I_E$  augmente, car l'intensité du champ magnétique généré par le rotor augmente. Lorsque le courant  $I_E$  dépasse une certaine valeur qui dépend des caractéristiques du moteur, le champ magnétique du rotor est si intense que le moteur commence à fournir une puissance réactive, c'est-à-dire que  $Q$  devient négative, comme le montre la figure 5-2.

# Le moteur synchrone triphasé

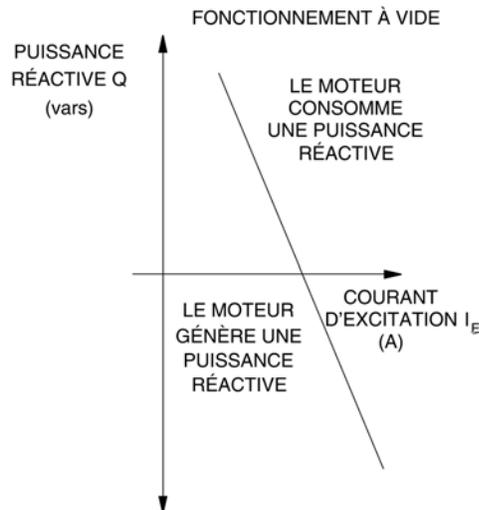


Figure 5-2. Puissance réactive en fonction du courant d'excitation  $I_E$  pour un moteur synchrone triphasé tournant à vide.

Le graphique de la puissance réactive  $Q$  en fonction du courant d'excitation  $I_E$  montre qu'un moteur synchrone triphasé tournant à vide se comporte comme une charge réactive triphasée dont la nature (inductive ou capacitive) et la valeur dépendent du courant d'excitation  $I_E$ . Donc, lorsqu'ils sont utilisés pour commander le facteur de puissance du secteur, les moteurs synchrones triphasés tournant à vide sont également appelés compensateurs synchrones.

Le graphique du courant de ligne  $I_L$  en fonction du courant d'excitation  $I_E$  d'un moteur synchrone triphasé est une courbe en «V», comme celle de la figure 5-3. Ce graphique montre que le courant de ligne alimentant le moteur peut être réduit en réglant le courant d'excitation  $I_E$  à la valeur appropriée. Le courant d'excitation nécessaire pour réduire le courant de ligne est le même que celui nécessaire pour réduire la puissance réactive à zéro. La puissance réactive du moteur est donc nulle lorsque le courant de ligne est minimal.

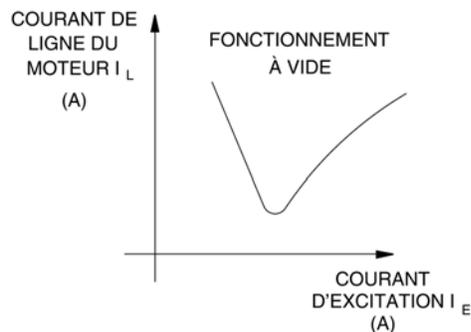


Figure 5-3. Courant de ligne  $I_L$  en fonction du courant d'excitation  $I_E$  pour un moteur synchrone triphasé tournant à vide.

# Le moteur synchrone triphasé

Comme on l'a vu précédemment dans ce bloc, le principal inconvénient d'un moteur synchrone triphasé est qu'il ne démarre pas facilement.

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 5-4 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez apprendre à faire démarrer un moteur synchrone triphasé muni d'un rotor à électro-aimant. Vous allez également faire varier le courant d'excitation, afin de vérifier si cela altère la vitesse du moteur et le courant de ligne.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez faire varier par pas le courant d'excitation. Pour chaque pas, vous allez noter dans le tableau de données différents paramètres électriques relatifs au moteur synchrone triphasé. Vous allez ensuite utiliser ces données pour tracer différents graphiques et déterminer de nombreuses caractéristiques du moteur synchrone triphasé.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur/alternateur synchrone, Charge résistive et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur/alternateur synchrone.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

# Le moteur synchrone triphasé

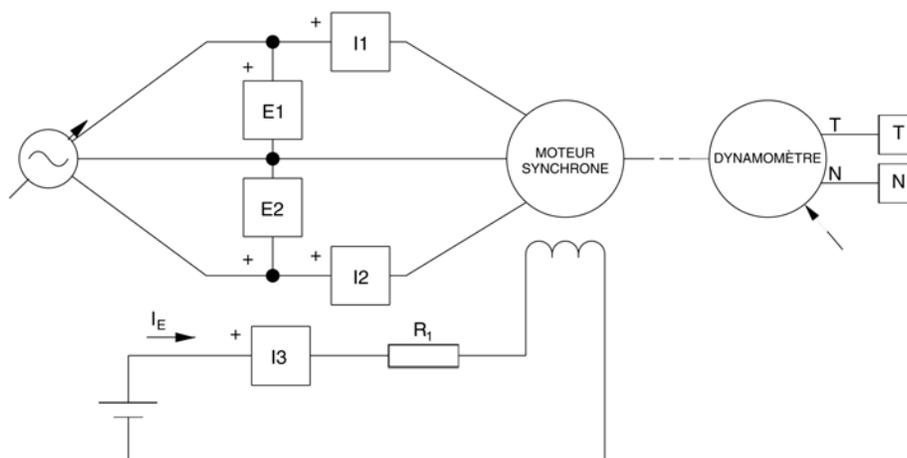
Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 5-4. Raccordez en parallèle les trois sections de résistances du module Charge résistive afin de réaliser la résistance  $R_1$ .



TENSION DE LIGNE (V ca)	$R_1$ ( $\Omega$ )
120	57
220	210
240	229

Figure 5-4. Moteur synchrone couplé à un Dynamomètre.

# Le moteur synchrone triphasé

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MAX.  
(vers la droite, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE (N)

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Démarrage d'un moteur synchrone triphasé

- 7. Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, mettez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé) et tournez le bouton EXCITATION vers la droite, jusqu'au bout.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que la tension de ligne indiquée sur l'appareil de mesure E1 soit égale à la tension de ligne nominale du moteur synchrone.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

Notez ci-dessous le couple de démarrage  $T_{\text{DÉMARRAGE}}$  du moteur synchrone (indiqué sur l'appareil de mesure T de l'application Appareils de mesure).

$T_{\text{DÉMARRAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$  (électro-aimant du rotor sous tension)

- 8. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, mettez l'interrupteur EXCITATION à la position O (ouvert).

Notez ci-dessous le couple de démarrage  $T_{\text{DÉMARRAGE}}$  du moteur synchrone.

$T_{\text{DÉMARRAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$  (électro-aimant du rotor hors tension)

# Le moteur synchrone triphasé

Comparez le couple de démarrage obtenu lorsque l'électro-aimant du rotor est hors tension à celui obtenu lorsque l'électro-aimant du rotor est sous tension.

---

---

Au moyen des résultats obtenus jusqu'à présent, pourriez-vous conclure qu'il est souhaitable de mettre hors tension l'électro-aimant du rotor avant de démarrer le moteur synchrone? Expliquez brièvement.

---

---

---

9. Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, tournez lentement le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE jusqu'à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout), attendez que la vitesse du moteur synchrone se stabilise et notez ci-dessous la vitesse  $n$  du moteur.

$n = \underline{\hspace{2cm}}$  tr/min

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez le bouton EXCITATION à sa position médiane, puis mettez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé).

La vitesse  $n$  du moteur varie-t-elle?

Oui       Non

Notez ci-dessous la vitesse  $n$  du moteur.

$n = \underline{\hspace{2cm}}$  tr/min

La vitesse  $n$  du moteur est-elle maintenant égale à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone (vitesse synchrone  $n_s$ )?

Oui       Non

10. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, tournez lentement le bouton EXCITATION entre les positions MIN. et MAX., afin de faire varier le courant d'excitation  $I_E$ . Ce faisant, observez la vitesse  $n$  et le courant de ligne  $I_{LIGNE}$  du moteur indiqués sur l'appareil de mesure I1.

Une variation du courant d'excitation  $I_E$  produit-elle une variation de la vitesse  $n$  du moteur?

Oui       Non

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Le moteur synchrone triphasé

Le courant de ligne  $I_{LIGNE}$  du moteur varie-t-il lorsque le courant d'excitation  $I_E$  varie?

- Oui       Non

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez le bouton EXCITATION à la position MIN.

## Caractéristiques d'un moteur synchrone triphasé

11. Faites varier la résistance  $R_1$  et réglez le bouton EXCITATION du module Moteur/alternateur synchrone, de façon à ce que le courant d'excitation passe du courant minimal au courant maximal, indiqués dans le tableau suivant, en dix pas espacés le plus uniformément possible. Il est à remarquer qu'il peut être nécessaire de court-circuiter la résistance  $R_1$  pour augmenter le courant d'excitation à la valeur maximale indiquée dans le tableau. Pour chaque courant réglé, notez la tension de ligne  $E_{LIGNE}$ , le courant de ligne  $I_{LIGNE}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la puissance active  $P$  et la puissance réactive  $Q$  (indiqués sur les appareils de mesure E1, I1, I3, C et A, respectivement) du moteur dans le tableau de données.

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	300 à 900
220	100 à 500
240	100 à 500

Tableau 5-1. Plage du courant d'excitation.

12. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

13. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, de façon à obtenir un graphique du courant de ligne  $I_{LIGNE}$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1) en fonction du courant d'excitation  $I_E$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I3). Intitulez le graphique G511, nommez son axe des X Courant d'excitation du moteur synchrone, nommez son axe des Y Courant de ligne du moteur synchrone et imprimez-le.

# Le moteur synchrone triphasé

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Au moyen du graphique G511, évaluez le courant d'excitation  $I_E$  qui minimise le courant de ligne  $I_{LIGNE}$  du moteur. Notez votre résultat ci-dessous.

$I_E \approx$  \_\_\_\_\_ A (pour réduire le courant de ligne du moteur à sa valeur minimale)

14. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique des puissances active (P) et réactive (Q) du moteur (obtenues au moyen des appareils de mesure C et A) en fonction de son courant d'excitation  $I_E$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I3), à l'aide des données enregistrées précédemment dans le tableau de données. Intitulez le graphique G511-1, nommez son axe des X Courant d'excitation du moteur synchrone, nommez son axe des Y Puissances active et réactive du moteur synchrone et imprimez-le.

Une variation du courant d'excitation  $I_E$  provoque-t-elle une variation importante de la puissance active que consomme le moteur synchrone?

Oui       Non

De quelle façon varie la puissance réactive Q du moteur lorsque son courant d'excitation  $I_E$  augmente?

---

---

---

Un moteur synchrone tournant à vide pourrait-il être utilisé pour améliorer le facteur de puissance d'un réseau d'alimentation triphasé? Expliquez brièvement.

---

---

---

15. Au moyen du graphique G511-1, déterminez le courant d'excitation  $I_E$  pour lequel la puissance réactive Q est nulle. Notez ci-dessous le résultat obtenu.

$I_E =$  \_\_\_\_\_ A (pour réduire la puissance réactive du moteur à zéro)

# Le moteur synchrone triphasé

Comparez le courant d'excitation permettant d'obtenir une puissance réactive  $Q$  nulle au courant d'excitation réduisant le courant de ligne  $I_{\text{LIGNE}}$  du moteur à sa valeur minimale.

---

---

Selon les résultats obtenus jusqu'à présent, pouvez-vous conclure que le courant de ligne du moteur est minimal lorsque la puissance réactive est nulle?

Oui       Non

16. Mettez l'interrupteur de la tension 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez constaté que pour obtenir un couple élevé, l'électro-aimant du rotor doit être mis hors tension lors du démarrage du moteur asynchrone. Vous avez observé qu'une fois que le moteur synchrone tourne à une vitesse relativement élevée, l'électro-aimant du rotor peut être mis sous tension pour faire tourner le moteur à la vitesse synchrone  $n_s$ . Vous avez découvert qu'une variation du courant d'excitation  $I_E$  d'un moteur synchrone (courant circulant dans l'électro-aimant du rotor) fait varier son courant de ligne  $I_{\text{LIGNE}}$  ainsi que sa puissance réactive  $Q$ . Vous avez tracé des graphes du courant de ligne, de la puissance active  $P$  et de la puissance réactive  $Q$  en fonction du courant d'excitation. Vous avez découvert que le courant de ligne du moteur synchrone peut être minimisé en réglant son courant d'excitation. Vous avez observé que le moteur synchrone peut dissiper ou générer une puissance réactive, selon la valeur du courant d'excitation. Vous avez constaté que cela permet d'utiliser un moteur synchrone triphasé comme compensateur synchrone, afin d'améliorer le facteur de puissance d'un réseau d'alimentation triphasé.

## EXERCICES

1. Le couple de démarrage d'un moteur synchrone triphasé augmente lorsque
  - a. l'électro-aimant du rotor est mis sous tension.
  - b. l'électro-aimant du rotor est mis hors tension.
  - c. le facteur de puissance du réseau d'alimentation triphasé est unitaire.
  - d. une tension c.c. est appliquée à l'un des enroulements du stator.
2. Lorsqu'un moteur synchrone sans charge est raccordé à un réseau d'alimentation triphasé, le facteur de puissance généré dépend
  - a. de la vitesse du moteur.
  - b. de la puissance active consommée par le moteur.
  - c. de l'intensité du courant d'excitation.
  - d. du courant de ligne.

# Le moteur synchrone triphasé

3. La puissance réactive d'un moteur synchrone sans charge est minimale lorsque
  - a. son courant de ligne est maximal.
  - b. son courant de ligne est minimal.
  - c. son courant de ligne est égal au courant d'excitation.
  - d. son courant d'excitation est minimal.
  
4. Compensateur synchrone est synonyme de
  - a. moteur asynchrone.
  - b. moteur à cage d'écureuil.
  - c. moteur à excitation séparée.
  - d. moteur synchrone tournant à vide.
  
5. Dans un moteur synchrone comportant un rotor à électro-aimant, la cage d'écureuil
  - a. minimise le courant de ligne du moteur.
  - b. empêche la saturation de l'électro-aimant du rotor.
  - c. permet le démarrage du moteur lorsqu'une tension c.a. est appliquée aux enroulements du stator.
  - d. fait fonctionner le moteur en compensateur synchrone.

## Moteur synchrone et couple de décrochage

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez capable de mesurer le couple de décrochage d'un moteur synchrone à l'aide des modules Moteur/alternateur synchrone et Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

### PRINCIPES

L'une des caractéristiques importantes du moteur synchrone triphasé de l'expérience précédente est que sa vitesse est exactement la même que celle du champ magnétique tournant (vitesse synchrone  $n_s$ ). Lorsque le moteur synchrone tourne sans couple de charge, le rotor de l'électro-aimant est positionné de façon à ce que ses pôles magnétiques soient alignés avec ceux du champ magnétique tournant, comme le montre la figure 5-5 (a). Cependant, lorsque le couple de charge est appliqué au moteur synchrone, le rotor de l'électro-aimant change de position par rapport au champ magnétique tournant, c'est-à-dire qu'il se retrouve derrière le champ magnétique tournant, comme le montre la figure 5-5 (b).

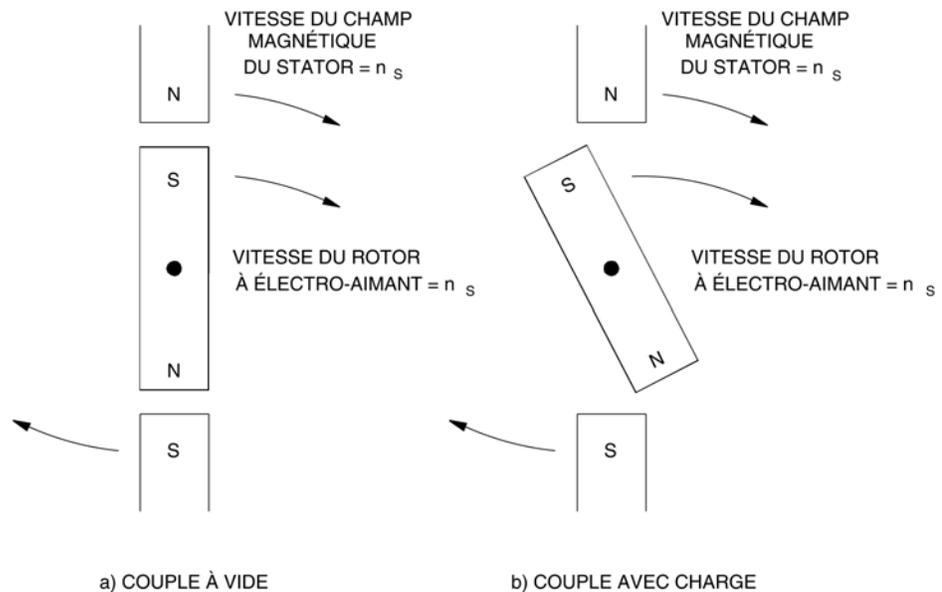


Figure 5-5. Effet du couple de charge sur la position du rotor d'un moteur synchrone.

Le retard du rotor par rapport au champ magnétique tournant du stator est proportionnel au couple de charge. Donc, plus le couple de charge est élevé, plus le rotor est en retard par rapport au champ magnétique tournant. Lorsque le rotor est en retard de  $90^\circ$  par rapport au champ magnétique tournant, il décroche

# Moteur synchrone et couple de décrochage

soudainement du champ magnétique tournant et la vitesse du moteur diminue grandement. De plus, le courant de ligne du moteur devient élevé et le moteur vibre. Sur les moteurs synchrones, on doit habituellement installer des dispositifs de protection, afin de s'assurer que les moteurs ne subissent aucun dommage lors du décrochage. Le couple de charge auquel survient le décrochage est appelé couple de décrochage.

Comme on peut l'imaginer, un courant d'excitation  $I_E$  supérieur permet d'atteindre un couple de décrochage supérieur. Le graphique du couple de décrochage en fonction du courant d'excitation  $I_E$  de la figure 5-6 indique que le couple de décrochage augmente linéairement en fonction du courant d'excitation  $I_E$ .

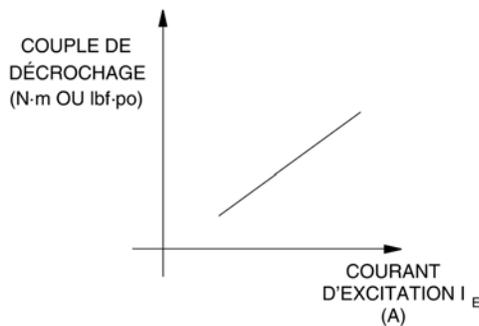


Figure 5-6. Augmentation linéaire du couple de décrochage en fonction du courant d'excitation  $I_E$ .

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de l'expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 5-7 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de l'expérience, vous allez régler le courant d'excitation  $I_E$  à différentes valeurs et mesurer le couple de décrochage. Cela vous permettra de démontrer de quelle façon le courant d'excitation  $I_E$  altère le couple de décrochage.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

# Moteur synchrone et couple de décrochage

## Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur/alternateur synchrone et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur/alternateur synchrone.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 5-7.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, assurez-vous que l'interrupteur EXCITATION est à la position O (ouvert) et que le bouton EXCITATION est tourné vers la gauche, jusqu'au bout.

- 6. Réglez comme suit les boutons de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... DYN.  
COMMANDE DE LA CHARGE  
Sélecteur MODE ..... MAN.  
Bouton de commande MANUELLE ..... MIN.  
(vers la gauche, jusqu'au bout)  
Sélecteur AFFICHAGE ..... COUPLE

# Moteur synchrone et couple de décrochage

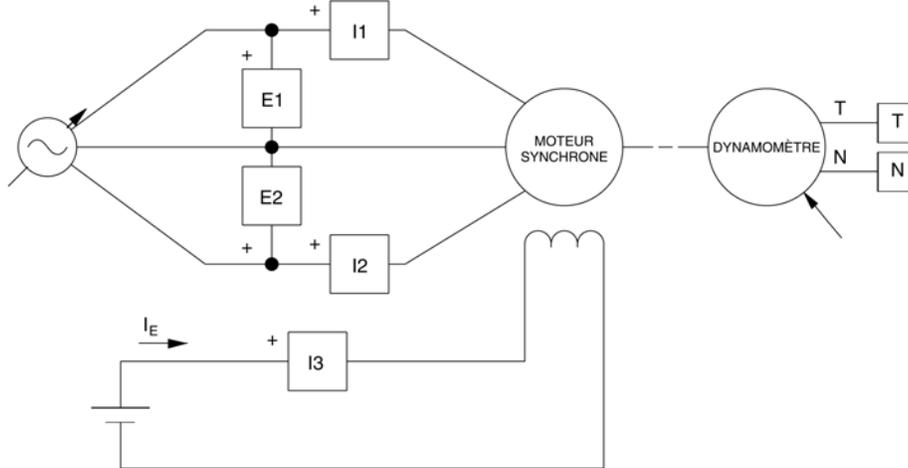


Figure 5-7. Moteur synchrone couplé à un dynamomètre.

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée.

## Couple de décrochage du moteur synchrone.

- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension, de façon à ce que la tension de ligne indiquée sur l'appareil de mesure E1 soit égale à la tension de ligne nominale du moteur synchrone. Attendez que la vitesse du moteur synchrone se stabilise.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé). Le moteur synchrone devrait tourner à la vitesse synchrone.

- 8. Notez sur la ligne ci-dessous le courant d'excitation  $I_E$  du moteur synchrone indiqué sur l'appareil de mesure I3 de l'application Appareils de mesure.

$$I_E = \text{_____} \text{ A}$$

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Moteur synchrone et couple de décrochage

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, tournez lentement le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE, jusqu'à ce que le moteur synchrone décroche. Ce faisant, observez le couple et le courant de ligne du moteur synchrone indiqués sur les appareils de mesure T et I de l'application Appareils de mesure. Notez ci-dessous le couple indiqué sur l'appareil de mesure T lors du décrochage du moteur ainsi que le courant de ligne du moteur, indiqué sur l'appareil de mesure I1, juste avant le décrochage.

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

$$I_{\text{LIGNE}} = \text{_____ A (moteur synchronisé)}$$

Notez ci-dessous le courant de ligne et la vitesse du moteur synchrone indiqués sur les appareils de mesure I1 et N de l'application Appareils de mesure.

$$I_{\text{LIGNE}} = \text{_____ A (moteur désynchronisé)}$$

$$n = \text{_____ tr/min (moteur désynchronisé)}$$

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez l'interrupteur EXCITATION à la position O (arrêt).

Sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, réglez le bouton MANUELLE de la section COMMANDE DE LA CHARGE à la position MIN. (vers la gauche, jusqu'au bout).

9. Décrivez de quelle façon la vitesse varie lors du décrochage du moteur synchrone.

---

---

De quelle façon varie le courant de ligne du moteur synchrone lors du décrochage de ce dernier?

---

---

10. Répétez les manipulations 7 et 8 en tournant le bouton EXCITATION du Moteur/alternateur synchrone à 25%, 50%, 75% et 100%. Pour chacune de ces positions, notez ci-dessous le courant d'excitation  $I_E$  et le couple de décrochage  $T_{\text{DÉCROCHAGE}}$  :

# Moteur synchrone et couple de décrochage

Bouton EXCITATION réglé à 25%

$$I_E = \text{_____ A}$$

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Bouton EXCITATION réglé à 50%

$$I_E = \text{_____ A}$$

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Bouton EXCITATION réglé à 75%

$$I_E = \text{_____ A}$$

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

Bouton EXCITATION réglé à 100%

$$I_E = \text{_____ A}$$

$$T_{\text{DÉCROCHAGE}} = \text{_____ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{po)}$$

11. Dans la fenêtre Tableau de données, insérez cinq lignes vierges dans le tableau de données, puis notez le courant d'excitation  $I_E$  et le couple de décrochage  $T_{\text{DÉCROCHAGE}}$ , obtenus aux manipulations 8 et 10, dans les colonnes I3 et T du tableau de données, respectivement.

Intitulez le tableau de données DT521 et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

12. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir le couple de décrochage  $T_{\text{DÉCROCHAGE}}$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure T) en fonction du courant d'excitation  $I_E$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I3). Intitulez le graphique G521, nommez son axe des X Courant d'excitation du moteur synchrone, nommez son axe des Y Couple de décrochage du moteur synchrone et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

# Moteur synchrone et couple de décrochage

Le graphique G521 montre-t-il que le couple de décrochage du moteur synchrone augmente lorsque le courant d'excitation augmente?

Oui       Non

13. Mettez l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position O (arrêt) et retirez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez démontré la perte de synchronisation entre le rotor et le champ magnétique tournant du stator lorsque la charge d'un moteur synchrone est supérieure à son couple de décrochage. Vous avez également observé que le couple de décrochage est supérieur lorsque le courant d'excitation augmente.

## EXERCICES

1. Lorsqu'un couple de charge est appliqué à un moteur synchrone,
  - a. ce dernier ralentit.
  - b. ce dernier accélère.
  - c. le rotor se retrouve derrière le champ magnétique tournant.
  - d. le stator commence à tourner.
  
2. Le couple de décrochage est
  - a. le couple de charge minimal qui fait que le courant de ligne nominal d'un moteur synchrone est dépassé.
  - b. le couple auquel un moteur synchrone décroche.
  - c. le couple maximal pour un courant d'excitation minimal.
  - d. le couple minimal que peut générer un moteur synchrone.
  
3. Le moteur synchrone de la figure 5-5 décroche lorsque le rotor
  - a. est en retard de  $30^\circ$  par rapport au champ magnétique tournant.
  - b. est en avance de  $90^\circ$  par rapport au champ magnétique tournant.
  - c. est en avance de  $30^\circ$  par rapport au champ magnétique tournant.
  - d. est en retard de  $90^\circ$  par rapport au champ magnétique tournant.
  
4. Lorsque le courant d'excitation d'un moteur synchrone augmente, son couple de décrochage
  - a. diminue.
  - b. augmente.
  - c. ne varie pas.
  - d. augmente jusqu'à ce que sa vitesse soit stabilisée.

# Moteur synchrone et couple de décrochage

5. Que se passe-t-il lorsqu'un moteur synchrone est désynchronisé?
- a. Rien.
  - b. Le moteur accélère rapidement.
  - c. Le moteur ralentit, son courant de ligne augmente et il vibre.
  - d. Le moteur ralentit et son couple augmente.

# Questions récapitulatives

1. Un moteur synchrone muni d'un rotor à aimant permanent
  - a. démarre de la même façon qu'un moteur synchrone muni d'un rotor à électro-aimant.
  - b. démarre comme un moteur à cage d'écuréuil.
  - c. peut démarrer au moyen d'une source de tension c.a. à fréquence variable.
  - d. démarre lorsqu'une tension c.c. est appliquée à son rotor.
  
2. Un moteur synchrone triphasé consomme une puissance réactive provenant d'une source de tension c.a. Une diminution de son courant d'excitation
  - a. a pour effet d'augmenter la puissance réactive que consomme le moteur et qui provient de la source de tension c.a.
  - b. a pour effet de diminuer la puissance réactive que consomme le moteur et qui provient de la source de tension c.a.
  - c. a pour effet de diminuer le facteur de puissance du moteur.
  - d. a et c.
  
3. Un moteur synchrone triphasé fournit une puissance réactive à une source de tension c.a. Une diminution du courant d'excitation
  - a. a pour effet d'augmenter la puissance réactive que fournit le moteur à la source de tension c.a.
  - b. a pour effet de diminuer la puissance réactive que fournit le moteur à la source de tension c.a.
  - c. a pour effet de diminuer le facteur de puissance du moteur.
  - d. a et c.
  
4. Un moteur synchrone triphasé fonctionne en compensateur synchrone. Il est réglé de façon à ce que le facteur de puissance de la charge raccordée à une source de tension c.a. soit unitaire. L'une des nombreuses charges inductives raccordées à la source de tension c.a. est retirée. Lequel des énoncés suivants est vrai?
  - a. Le moteur synchrone consomme davantage de puissance réactive en provenance de la source de tension c.a.
  - b. Le moteur synchrone fournit davantage de puissance réactive à la source de tension c.a.
  - c. Le courant d'excitation du moteur synchrone devrait être diminué pour que le facteur de puissance soit unitaire.
  - d. Le courant d'excitation du moteur synchrone devrait être augmenté pour que le facteur de puissance soit unitaire.
  
5. Il est souhaitable de mettre hors tension l'électro-aimant du rotor d'un moteur synchrone pour
  - a. obtenir un couple de démarrage supérieur.
  - b. améliorer le facteur de puissance.
  - c. augmenter le courant de ligne de démarrage.
  - d. augmenter le couple de décrochage.

## Questions récapitulatives (suite)

6. Lorsque le courant de ligne d'un moteur synchrone triphasé est minimal,
  - a. le moteur est utilisé en compensateur synchrone.
  - b. le moteur ne consomme ni ne fournit de puissance réactive.
  - c. le courant d'excitation est minimal.
  - d. aucune de ces réponses.
  
7. Le couple de décrochage d'un moteur synchrone dépend
  - a. du facteur de puissance
  - b. du courant de ligne du moteur.
  - c. du courant d'excitation.
  - d. aucune de ces réponses
  
8. Les caractéristiques les plus intéressantes du moteur synchrone triphasé sont
  - a. sa capacité de tourner exactement à la vitesse synchrone et de fonctionner en génératrice asynchrone.
  - b. sa capacité de tourner exactement à la vitesse synchrone et de fournir une puissance réactive à une source de tension c.a.
  - c. sa capacité de tourner à un facteur de puissance unitaire et de consommer une puissance réactive en provenance d'une source de tension c.a.
  - d. b et c.
  
9. Un moteur synchrone triphasé tournant à vide se comporte comme
  - a. une charge résistive dont la valeur dépend du courant d'excitation.
  - b. une génératrice asynchrone tournant à vide.
  - c. trois sources de tension monophasées indépendantes.
  - d. une charge réactive dont la nature (inductive ou capacitive) et la valeur dépendent du courant d'excitation.
  
10. Un moteur synchrone triphasé
  - a. peut fonctionner au moyen d'une source c.a. ou c.c.
  - b. ne démarre pas facilement.
  - c. est un autre type de moteur à induction c.a.
  - d. muni d'un rotor à aimant permanent est souvent utilisé comme compensateur synchrone pour régler le facteur de puissance d'une source de tension c.a.

## Génératrices synchrones triphasées (alternateurs triphasés)

### OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de démontrer et d'expliquer les caractéristiques de fonctionnement des Génératrices synchrones triphasées (alternateurs triphasés) au moyen des modules Moteur/alternateur synchrone et Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

### PRINCIPES FONDAMENTAUX

De nos jours, la génératrice synchrone triphasée, ou alternateur triphasé, génère la majeure partie de l'électricité utilisée. On la trouve dans les centrales électriques, qu'il s'agisse de centrales hydroélectriques, diesels, au charbon, éoliennes ou nucléaires. L'alternateur génère également l'électricité utilisée dans les véhicules à moteur, comme les automobiles et les camions.

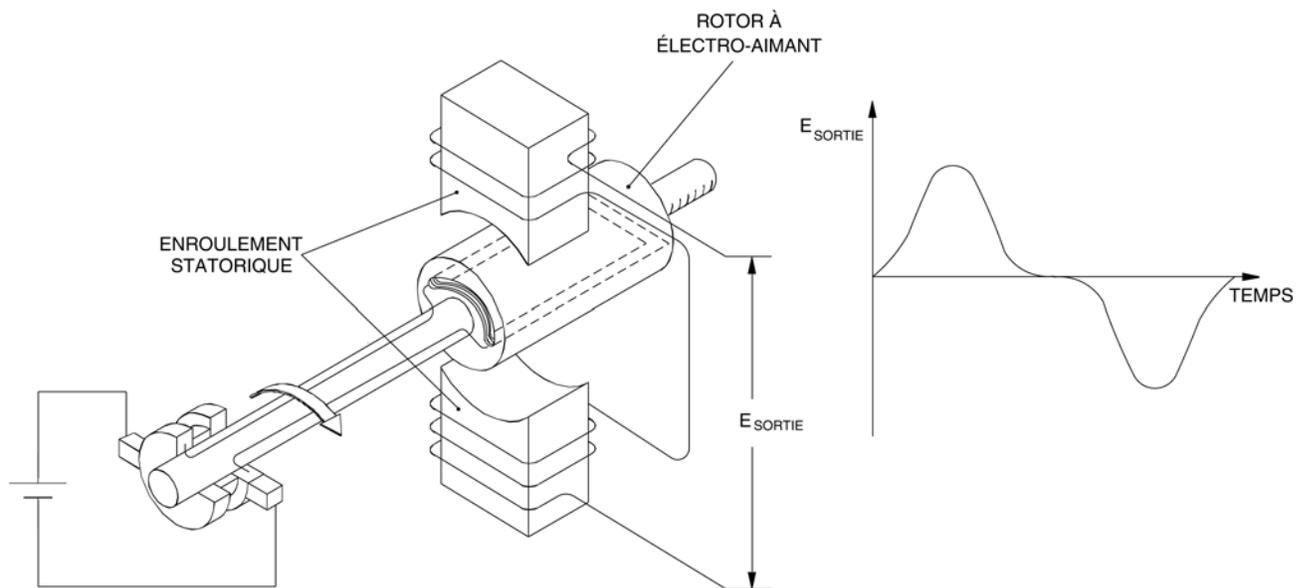


Figure 6-1. Une tension alternative est générée par le flux magnétique variant continuellement et liant l'enroulement statorique.

Le principe de base du fonctionnement des alternateurs est relativement simple et on peut l'expliquer au moyen de l'alternateur monophasé simplifié de la figure 6-1. Un électro-aimant génère un champ magnétique dans le rotor. Le rotor à électro-aimant est couplé à une source de puissance mécanique, comme une turbine hydraulique, le faisant tourner. Un flux magnétique variant continuellement lie donc l'enroulement statorique et induit une tension alternative aux bornes de ce dernier, comme le montre la figure 6-1.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

## Génératrices synchrones triphasées (alternateurs triphasés)

La façon dont les conducteurs sont bobinés à l'intérieur du stator d'un alternateur détermine la tension induite aux bornes de l'enroulement de ce stator. Les conducteurs d'un enroulement statorique d'un alternateur sont habituellement bobinés de façon à ce que la tension induite soit sinusoïdale.

Le stator d'un alternateur triphasé est pourvu de trois enroulements espacés de  $120^\circ$ . Trois tensions sinusoïdales déphasées de  $120^\circ$  sont donc induites dans les trois enroulements de ce stator. Le stator d'un alternateur triphasé est en fait très similaire à celui du moteur triphasé à cage d'écureuil de la figure 4-4.

## Alternateur fonctionnant à vide

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer le fonctionnement à vide d'un alternateur triphasé au moyen du module Moteur/alternateur synchrone.

### PRINCIPES

Dans un alternateur triphasé, plus l'électro-aimant du rotor est puissant, plus le flux magnétique liant les enroulements statoriques est puissant et plus les tensions alternatives induites aux bornes des enroulements statoriques sont élevées. De plus, puisque les tensions induites sont proportionnelles au taux de variation du flux magnétique liant les enroulements statoriques, on peut facilement en déduire que plus le moteur tourne vite, plus l'amplitude des tensions induites est élevée. En résumé, l'amplitude des tensions générées par un alternateur triphasé est proportionnelle à l'intensité de l'électro-aimant du rotor et à sa vitesse de rotation.

Il existe un lien direct entre la vitesse du rotor et la fréquence de la tension induite aux bornes de chaque enroulement statorique d'un alternateur. Lorsque le rotor de l'alternateur de la figure 6-1 tourne à 1 tour par seconde, la fréquence de la tension induite est de 1 hertz. Puisque la vitesse est habituellement exprimée en tours par minute, l'équation liant la vitesse de rotation à la fréquence de la tension générée par l'alternateur de la figure 6-1 est la suivante.

$$f = \frac{n}{60} \quad (\text{pour les alternateurs munis d'un stator ne comportant qu'une seule paire de pôles})$$

où  $f$  est la fréquence, exprimée en hertz (Hz) et  
 $n$  est la vitesse, exprimée en tours par minute (tr/min).

Cependant, chaque enroulement statorique d'un gros alternateur comporte habituellement plusieurs pôles nord et sud, au lieu d'une seule paire, comme à la figure 6-1. Une fréquence supérieure est donc obtenue pour une vitesse de rotation donnée. La fréquence d'un alternateur, indépendamment du nombre de paires de pôles nord et sud, est déterminée en multipliant simplement la vitesse  $n$  de l'équation précédente par  $P$ , qui représente le nombre de paires de pôles de chacun des enroulements statoriques. L'équation servant à déterminer la fréquence de la tension générée par un alternateur est donc

$$f = \frac{n \times P}{60} \quad (\text{pour tous les types d'alternateurs}).$$

Il est à remarquer que le module Moteur/alternateur synchrone de Lab-Volt comporte deux pôles nord et deux pôles sud par enroulement statorique et, donc, deux paires de pôles par enroulement statorique. Donc, dans le cas du module Moteur/alternateur synchrone de Lab-Volt,  $P = 2$ .

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Alternateur fonctionnant à vide

Bien qu'il y ait de légères différences techniques entre une machine synchrone conçue pour fonctionner en moteur et une machine synchrone conçue pour fonctionner en alternateur, les deux modes de fonctionnement peuvent être démontrés au moyen d'une même machine synchrone.

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, raccorder l'équipement comme à la figure 6-2 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez faire varier la vitesse et le courant d'excitation, et observer de quelle façon cela altère le fonctionnement à vide d'un alternateur triphasé.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez faire varier par pas le courant d'excitation de l'alternateur. Pour chaque pas, vous allez noter dans le tableau de données différents paramètres électriques relatifs à l'alternateur triphasé. Vous allez également faire varier par pas la vitesse de l'alternateur en notant divers paramètres électriques relatifs à ce dernier. Vous allez utiliser les paramètres ainsi notés pour tracer différents graphiques et déterminer de nombreuses caractéristiques de l'alternateur triphasé.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur/alternateur synchrone, Charge résistive et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur/alternateur synchrone.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Alternateur fonctionnant à vide

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 6-2.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, mettez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé) et tournez le bouton EXCITATION à 75%.

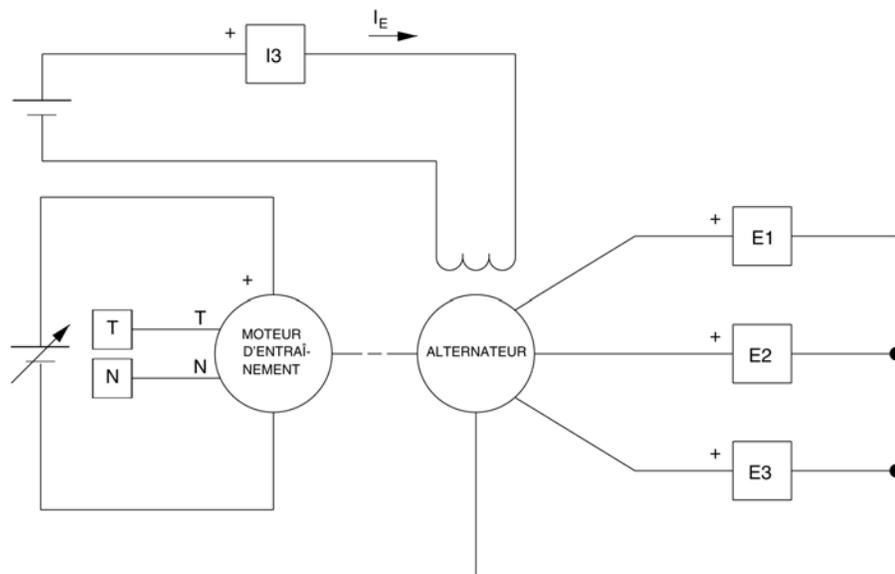


Figure 6-2. Alternateur couplé à un moteur d'entraînement. Alternateur tournant à vide.

- 6. Réglez comme suit le bouton de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Alternateur fonctionnant à vide

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM<sup>®</sup>-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

7. Mettez l'interrupteur du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM<sup>®</sup>-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

Lancez l'application Oscilloscope et effectuez les réglages appropriés, de façon à observer les tensions  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  induites aux bornes de chacun des enroulements statoriques de l'alternateur.

**Remarque :** Pour cette partie de l'expérience, n'utilisez pas la fonction Échelle Auto de l'application Oscilloscope.

Les signaux sont-ils tous sinusoïdaux?

Oui       Non

Quel est le déphasage  $\Phi$  approximatif entre chacune des tensions?

$\Phi = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$

8. Dans l'application Oscilloscope, sélectionnez la fonction Régénération continue de l'écran.

**Remarque :** Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM<sup>®</sup>-EMS, ne sélectionnez pas la fonction Régénération continue de l'écran.

Sur le module Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'à ce que la vitesse du moteur d'entraînement soit d'environ 1000 tr/min. Ce faisant, observez les tensions  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  dans l'application Oscilloscope.

**Remarque :** Si vous effectuez cette expérience au moyen de LVSIM<sup>®</sup>-EMS, régénérez l'écran de l'application Oscilloscope à quelques reprises pendant la manipulation.

# Alternateur fonctionnant à vide

De quelle façon varient l'amplitude et la fréquence des tensions lorsque la vitesse de l'alternateur diminue? Expliquez brièvement pourquoi.

---

---

---

Une variation de la vitesse de l'alternateur altère-t-elle le déphasage entre les tensions? Pourquoi?

---

---

9. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, tournez lentement le bouton EXCITATION vers la gauche, afin de réduire le courant d'excitation  $I_E$ . Ce faisant, observez les tensions  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  dans l'application Oscilloscope.

**Remarque :** Si vous effectuez cette expérience au moyen de LVSIM<sup>®</sup>-EMS, régénérez l'écran de l'application Oscilloscope à quelques reprises pendant la manipulation.

De quelle façon varie l'amplitude des tensions lorsque le courant d'excitation  $I_E$  de l'alternateur diminue? Expliquez brièvement pourquoi.

---

---

---

Une variation du courant d'excitation  $I_E$  de l'alternateur altère-t-elle la fréquence des tensions ainsi que le déphasage entre celles-ci? Pourquoi?

---

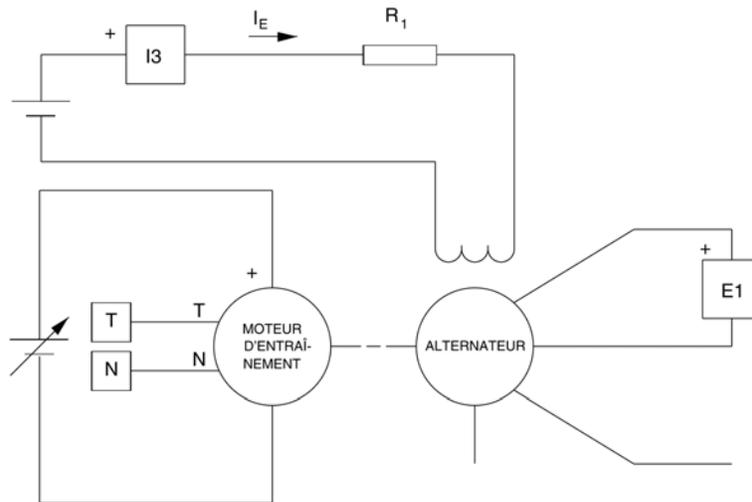
---

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

## Caractéristiques d'un alternateur

10. Modifiez les raccords de façon à ce que les modules soient raccordés comme à la figure 6-3. Raccordez en parallèle les trois sections de résistances du module Charge résistive, afin de réaliser la résistance  $R_1$ .

# Alternateur fonctionnant à vide



TENSION DE LIGNE (V ca)	$R_1$ ( $\Omega$ )
120	$\infty$
220	$\infty$
240	$\infty$

Figure 6-3. Circuit utilisé pour observer le fonctionnement à vide d'un alternateur.

11. Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que l'appareil de mesure programmable B est réglé en fréquencemètre. Il indiquera alors la fréquence de la tension générée par l'alternateur.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone.

12. Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la vitesse  $n$  et la fréquence  $f$  (indiqués sur les appareils de mesure E1, I3, N et B, respectivement) de l'alternateur dans le Tableau de données.

Modifiez la valeur de la résistance  $R_1$  et tournez le bouton EXCITATION du module Moteur/alternateur synchrone, afin d'augmenter le courant d'excitation  $I_E$  en dix pas, espacés le plus également possible, jusqu'à la valeur indiquée dans le tableau ci-dessous. Il est à remarquer qu'il peut être nécessaire de court-circuiter la résistance  $R_1$  pour augmenter le courant d'excitation jusqu'à la valeur maximale indiquée dans le tableau. Pour chaque courant réglé, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation, de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement demeure égale à la vitesse nominale du module

# Alternateur fonctionnant à vide

Moteur/alternateur synchrone, puis notez la donnée dans le Tableau de données.

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	750
220	450
240	450

Tableau 6-1. Courant d'excitation.

13. Court-circuitez la résistance  $R_1$  au moyen d'un câble de raccord.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, tournez le bouton EXCITATION vers la droite, jusqu'au bout, afin de régler le courant d'excitation  $I_E$  à sa valeur maximale.

Sur le Bloc d'alimentation, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement demeure égale à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone.

Notez la donnée dans le Tableau de données.

Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout.

14. Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, modifiez le tableau de données de façon à ne conserver que la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la vitesse  $n$  et la fréquence  $f$  (données des colonnes E1, I3, N et B, respectivement) de l'alternateur, intitulez le tableau de données DT611 et imprimez-le.

Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Notez ci-dessous la fréquence des tensions générées par l'alternateur. Cette fréquence est indiquée à la colonne B du Tableau de données.

$f = \underline{\hspace{2cm}}$  Hz (mesurés)

# Alternateur fonctionnant à vide

Au moyen de l'équation suivante, calculez la fréquence théorique des tensions générées par le module Moteur/alternateur synchrone de Lab-Volt.

$$f = \frac{n \times P}{60} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \text{ Hz}$$

Comparez les fréquences mesurées et calculées. Sont-elles presque égales?

Oui       Non

15. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) de l'alternateur en fonction de son courant d'excitation  $I_E$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I3). Intitulez le graphique G611, nommez son axe des X Courant d'excitation de l'alternateur, nommez son axe des Y Tension de sortie de l'alternateur et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Observez le graphique G611. La tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  de l'alternateur est-elle nulle lorsque le courant d'excitation  $I_E$  est nul? Expliquez brièvement pourquoi.

---

---

---

Expliquez brièvement pourquoi la relation entre la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et le courant d'excitation  $I_E$  de l'alternateur est non linéaire lorsque le courant  $I_E$  est élevé.

---

---

---

Dans la fenêtre Tableau de données, effacez les données enregistrées.

16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez le bouton EXCITATION de façon à ce que le courant d'excitation  $I_E$  indiqué sur l'appareil de mesure I3 soit égal à celui indiqué dans le tableau qui suit.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Alternateur fonctionnant à vide

TENSION DE LIGNE	COURANT D'EXCITATION $I_E$
V ca	mA
120	500
220	300
240	300

Tableau 6-2. Courant d'excitation de l'alternateur.

17. Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$ , la vitesse  $n$  et la fréquence  $f$  (indiqués sur les appareils de mesure E1, I3, N et B, respectivement) de l'alternateur dans le Tableau de données.

Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension, de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement augmente par pas de 200 tr/min, jusqu'à celle indiquée dans le tableau suivant. Pour chaque vitesse réglée, notez la donnée dans le Tableau de données.

TENSION DE LIGNE	VITESSE MAXIMALE $n_{\text{MAX}}$
V ca	tr/min
120	2400
220	2000
240	1800

Tableau 6-3. Vitesse maximale.

18. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées.

19. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) de l'alternateur en fonction de sa vitesse  $n$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N). Intitulez le graphique G612, nommez son axe des X Vitesse de l'alternateur, nommez son axe des Y Tension de sortie de l'alternateur et imprimez-le.

# Alternateur fonctionnant à vide

Décrivez de quelle façon varie la tension de sortie de l'alternateur lorsque sa vitesse varie.

---

---

20. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique de la fréquence  $f$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure B) de l'alternateur en fonction de sa vitesse  $n$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure N). Intitulez le graphique G612-1, nommez son axe des X Vitesse de l'alternateur, nommez son axe des Y Fréquence de l'alternateur et imprimez-le.

Décrivez de quelle façon varie la fréquence des tensions générées par l'alternateur lorsque sa vitesse varie.

---

---

21. Mettez l'interrupteur de la tension 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez observé qu'un alternateur triphasé génère trois tensions sinusoïdales déphasées de  $120^\circ$ . Vous avez vu qu'une diminution de la vitesse de l'alternateur provoque une diminution de l'amplitude et de la fréquence des tensions sinusoïdales. Vous avez observé qu'une diminution du courant d'excitation de l'alternateur produit une diminution de l'amplitude des tensions sinusoïdales. Vous avez tracé un graphique de la tension de sortie de l'alternateur en fonction de son courant d'excitation. L'observation de ce graphique a démontré que l'alternateur commence à saturer lorsque le courant d'excitation dépasse une certaine valeur. L'étude de ce graphique a également démontré que l'alternateur génère des tensions même si le courant d'excitation est nul, à cause du magnétisme résiduel à l'intérieur du rotor. Vous avez tracé des graphiques de la tension de sortie et de la fréquence de l'alternateur en fonction de sa vitesse. L'étude de ces graphiques a démontré que la tension de sortie et la fréquence sont proportionnelles à la vitesse de l'alternateur.

## EXERCICES

1. De nos jours, la majeure partie de la puissance électrique consommée est générée par
  - a. des compensateurs synchrones.
  - b. des génératrices synchrones.
  - c. des alternateurs.
  - d. b et c.

# Alternateur fonctionnant à vide

2. Lorsque la vitesse d'un alternateur augmente,
  - a. sa tension de sortie augmente et sa fréquence diminue.
  - b. sa tension de sortie diminue et sa fréquence augmente.
  - c. sa tension de sortie et sa fréquence diminuent.
  - d. sa tension de sortie et sa fréquence augmentent.
  
3. De quelle façon le courant d'excitation altère-t-il la fréquence des tensions générées par un alternateur triphasé?
  - a. La fréquence augmente proportionnellement à  $I_E$ .
  - b. La fréquence diminue proportionnellement à  $I_E$ .
  - c. La fréquence n'est pas altérée par les variations du courant d'excitation.
  - d. a et b.
  
4. La multiplication de la vitesse d'un alternateur par  $P/60$  permet de déterminer
  - a. sa fréquence théorique.
  - b. sa tension de sortie théorique.
  - c. son courant d'excitation théorique.
  - d. son nombre de pôles.
  
5. Alternateur est un synonyme de
  - a. moteur synchrone triphasé.
  - b. génératrice synchrone triphasée.
  - c. compensateur synchrone triphasé.
  - d. convertisseur c.a./c.c. triphasé.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Caractéristiques de la régulation de tension

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de démontrer les caractéristiques de la régulation de tension d'un alternateur à l'aide du module Moteur/alternateur synchrone.

### PRINCIPES

Comme on l'a vu au Bloc 2 de ce manuel, on peut représenter une génératrice c.c. par le circuit équivalent simplifié de la figure 6-4. Dans ce circuit, la tension  $E_{f.é.m.}$  dépend de la vitesse à laquelle tourne la génératrice et de l'intensité de l'électroaimant d'excitation. La résistance  $R_1$  représente la résistance des conducteurs de l'induit.

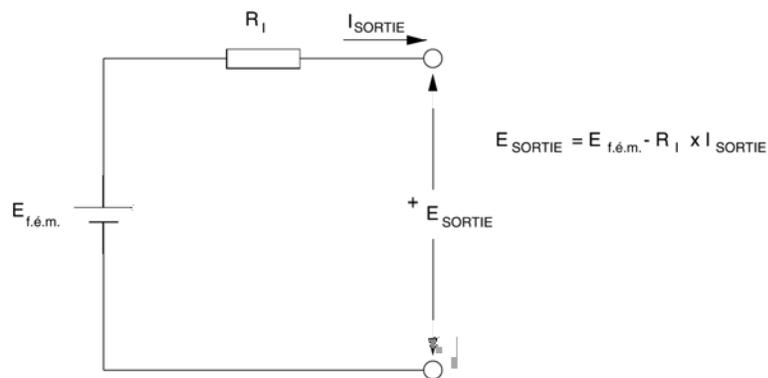


Figure 6-4. Circuit équivalent simplifié d'une génératrice c.c.

Un circuit équivalent simplifié ressemblant à celui de la génératrice c.c. peut être utilisé pour représenter chaque phase d'un alternateur triphasé. La figure 6-5 montre le circuit équivalent simplifié d'une phase d'un alternateur triphasé. Pour représenter la totalité d'un alternateur triphasé, trois circuits comme celui de la figure 6-5 seraient utilisés.

# Caractéristiques de la régulation de tension

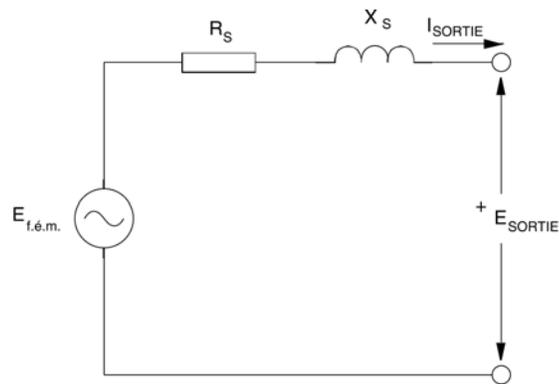


Figure 6-5. Circuit équivalent simplifié pour une phase d'un alternateur triphasé.

Comme celle de la génératrice c.c., la tension  $E_{f.e.m.}$  du circuit simplifié de l'alternateur dépend de la vitesse de rotation et de l'intensité de l'électro-aimant. De plus, tout comme le circuit simplifié d'une génératrice c.c., le circuit simplifié d'un alternateur comporte une résistance ( $R_s$ ) représentant la résistance des conducteurs de la bobine du stator. Le circuit simplifié de l'alternateur comporte également un élément additionnel, la réactance  $X_s$ , qui représente la réactance inductive des conducteurs de la bobine du stator. La réactance  $X_s$  est appelée réactance synchrone de l'alternateur et elle est exprimée en ohms. Elle est habituellement beaucoup plus élevée que la résistance  $R_s$ .

Lorsque l'alternateur tourne à vitesse constante et qu'un courant constant circule dans l'électro-aimant de son rotor (courant d'excitation  $I_E$ ), la tension  $E_{f.e.m.}$  est constante et le circuit équivalent de chacune des phases ressemble beaucoup à celui du transformateur monophasé, illustré au Bloc 7 du manuel de l'étudiant intitulé *Éléments de circuits et transformateurs*. La figure 6-6 illustre les caractéristiques de la régulation de tension (courbes de la tension de sortie  $E_{SORTIE}$  en fonction du courant de sortie  $I_{SORTIE}$ ) d'un alternateur raccordé à des charges résistive, inductive et capacitive. Ces caractéristiques ressemblent beaucoup à celles obtenues avec un transformateur monophasé.

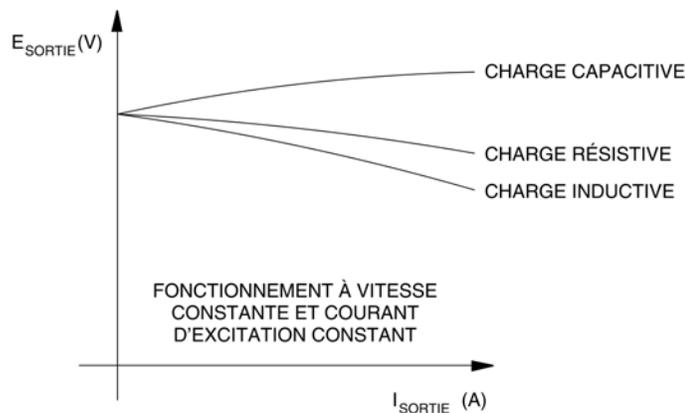


Figure 6-6. Caractéristiques de la régulation de tension d'un alternateur.

# Caractéristiques de la régulation de tension

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 6-7 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez régler la vitesse de rotation et le courant d'excitation de l'alternateur. Vous allez faire varier par pas la charge résistive raccordée à l'alternateur, tout en maintenant la vitesse constante. Pour chaque charge réglée, vous allez noter la tension de sortie, le courant de sortie, le courant d'excitation et la vitesse de l'alternateur. Vous allez utiliser les données enregistrées pour tracer un graphique de la tension de sortie en fonction du courant de sortie. Vous allez ensuite effectuer deux autres fois cette partie de l'expérience au moyen d'une charge inductive et d'une charge capacitive.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur/alternateur synchrone, Charge résistive, Charge inductive, Charge capacitive et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur/alternateur synchrone.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

# Caractéristiques de la régulation de tension

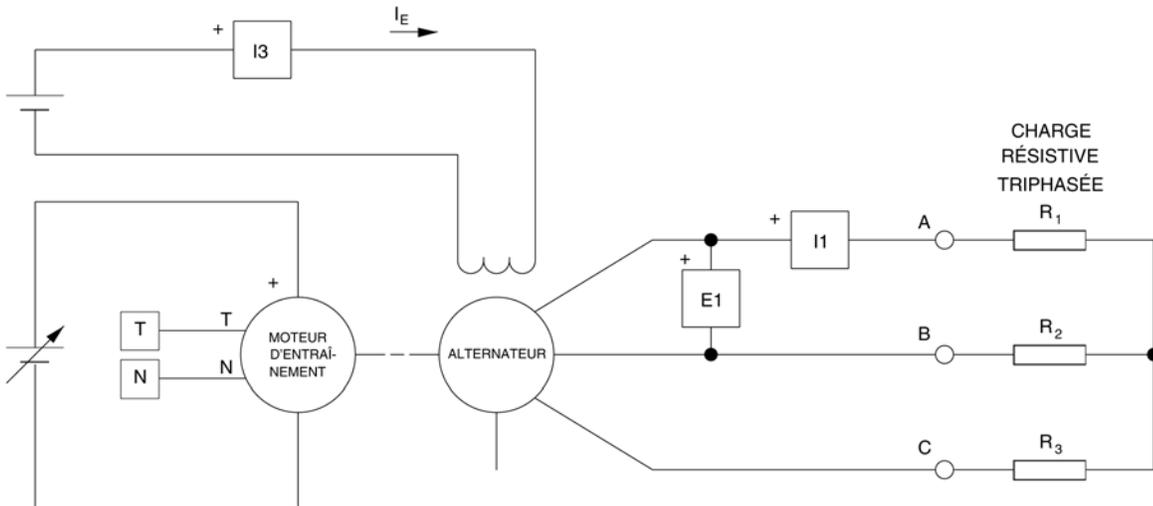
Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 6-7.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, mettez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé) et réglez le bouton EXCITATION à sa position médiane.



TENSION DE LIGNE (V ca)	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> (Ω)
120	∞
220	∞
240	∞

Figure 6-7. Alternateur sous charge couplé à un moteur d'entraînement.

- 6. Réglez comme suit le bouton de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

Property of Festo Didactic  
 Sale and/or reproduction forbidden

# Caractéristiques de la régulation de tension

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Caractéristiques de la régulation de tension

- 7. Mettez l'interrupteur du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

- 8. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez le bouton EXCITATION de façon à ce que la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  ligne à ligne de l'alternateur (indiquée sur l'appareil de mesure E1 de l'application Appareils de mesure) soit égale à la tension nominale.

Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$  et la vitesse  $n$  (indiqués sur les appareils de mesure E1, I1, I3 et N, respectivement) de l'alternateur dans le Tableau de données.

- 9. Modifiez les réglages du module Charge résistive, de façon à ce que les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  diminuent par pas, comme dans le tableau 6-4.

Vous pouvez consulter l'annexe B de ce manuel pour savoir comment obtenir les différentes résistances indiquées au tableau 6-4. Pour chaque résistance réglée, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation, de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement demeure égale à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone, puis notez la donnée dans le Tableau de données.

# Caractéristiques de la régulation de tension

TENSION DE LIGNE	$R_1, R_2, R_3$						
V ca	$\Omega$						
120	1200	600	400	300	240	200	171
220	4400	2200	1467	1100	880	733	629
240	4800	2400	1600	1200	960	800	686

**Tableau 6-4. Diminution des résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour placer une charge à la sortie de l'alternateur.**

- 10. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).
- 11. Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, intitulez le tableau de données DT621 et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à modifier, nommer et imprimer un tableau de données, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

- 12. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, de façon à obtenir un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) de l'alternateur en fonction de son courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1). Intitulez le graphique G621, nommez son axe des X Courant de sortie de l'alternateur, nommez son axe des Y Tension de sortie de l'alternateur et imprimez-le.

**Remarque :** Pour apprendre à utiliser la fenêtre Graphique de l'application Appareils de mesure afin d'obtenir un graphique, de nommer un graphique, de nommer les axes d'un graphique et d'imprimer un graphique, consultez le manuel de l'utilisateur du Système d'acquisition et de gestion de données.

Observez le graphique G621, qui montre la caractéristique de la régulation de tension de l'alternateur lorsqu'il fournit de la puissance à une charge résistive. De quelle façon varie la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  lorsque le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  augmente? Expliquez brièvement pourquoi.

---



---



---

Dans la fenêtre Tableau de données, effacez les données enregistrées.

# Caractéristiques de la régulation de tension

13. Remplacez la charge résistive triphasée raccordée à la sortie de l'alternateur (points A, B et C de la figure 6-7) par la charge inductive triphasée de la figure 6-8 (a). Assurez-vous que tous les interrupteurs du module Charge inductive sont ouverts.

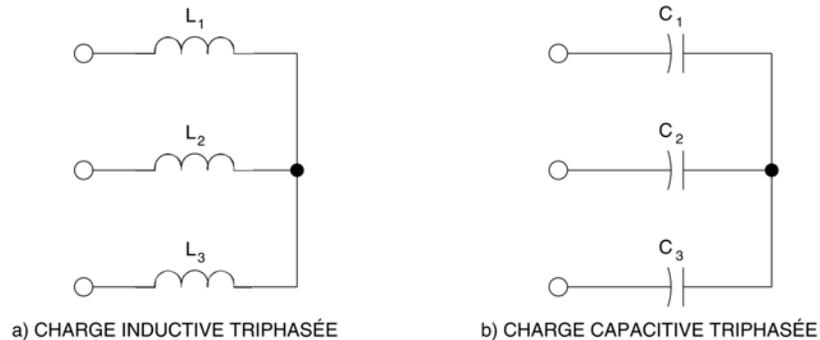


Figure 6-8. Charges inductive et capacitive triphasées.

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez le bouton EXCITATION de façon à ce que la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  ligne à ligne de l'alternateur soit égale à la tension nominale.

Dans l'application Appareils de mesure, notez la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$ , le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$ , le courant d'excitation  $I_E$  et la vitesse  $n$  de l'alternateur dans le Tableau de données.

15. Sur le module de charge, modifiez les réglages de façon à ce que la réactance  $X$  de la charge diminue par pas, comme au tableau 6-5. Vous pouvez consulter l'Annexe B de ce manuel pour savoir comment obtenir les différentes réactances indiquées dans le tableau 6-5. Pour chaque réactance réglée, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation, de façon à ce que la vitesse du moteur d'entraînement demeure égale à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone, puis notez la donnée dans le Tableau de données.

# Caractéristiques de la régulation de tension

TENSION DE LIGNE	$X_1, X_2, X_3$						
V ca	$\Omega$						
120	1200	600	400	300	240	200	171
220	4400	2200	1467	1100	880	733	629
240	4800	2400	1600	1200	960	800	686

**Tableau 6-5. Diminution des réactances  $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$  pour placer une charge à la sortie de l'alternateur.**

- 16. Lorsque toutes les données sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).
- 17. Dans la fenêtre Tableau de données, vérifiez si les données ont été enregistrées, intitulez le Tableau de données DT622 et imprimez-le.
- 18. Dans la fenêtre Graphique, effectuez les réglages appropriés, afin d'obtenir un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  (obtenue au moyen de l'appareil de mesure E1) de l'alternateur en fonction de son courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  (obtenu au moyen de l'appareil de mesure I1). Intitulez le graphique G622, nommez son axe des X Courant de sortie de l'alternateur, nommez son axe des Y Tension de sortie de l'alternateur et imprimez-le.
- 19. Observez le graphique G622, qui montre la caractéristique de la régulation de tension de l'alternateur lorsqu'il fournit une puissance à une charge inductive. De quelle façon varie la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  lorsque le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  augmente?

---



---

Comparez les caractéristiques de la régulation de tension obtenues avec les charges résistive et inductive.

---



---



---

Dans la fenêtre Tableau de données, effacez les données enregistrées.

- 20. Remplacez la charge inductive triphasée raccordée à la sortie de l'alternateur (points A, B et C de la figure 6-7) par la charge capacitive

# Caractéristiques de la régulation de tension

triphasée de la figure 6-8 (b). Assurez-vous que tous les commutateurs du module Charge capacitive sont ouverts.

Répétez les manipulations 14 à 18 de cette expérience, afin d'obtenir un graphique de la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  en fonction du courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  de l'alternateur fournissant la puissance à une charge capacitive. Intitulez le tableau de données et le graphique DT623 et G623, respectivement.

Observez le graphique G623, qui montre la caractéristique de régulation de la tension d'un alternateur lorsqu'il fournit de la puissance à une charge capacitive. De quelle façon varie la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  lorsque le courant de sortie  $I_{\text{SORTIE}}$  augmente?

---

---

Comparez les caractéristiques de la régulation de tension de l'alternateur (graphiques G621 à G623) à celles obtenues au moyen du transformateur monophasé, au Bloc 7 du manuel de l'étudiant intitulé *Éléments de circuits et transformateurs*.

---

---

---

21. Mettez l'interrupteur de la tension 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez obtenu les caractéristiques de la régulation de tension d'un alternateur triphasé. Vous avez observé que, si l'alternateur fournit une puissance à une charge résistive ou à une charge inductive, la tension de sortie diminue lorsque le courant de sortie augmente. Vous avez vu que, lorsque l'alternateur fournit une puissance à une charge capacitive, la tension de sortie augmente en fonction du courant de sortie. Vous avez découvert que les caractéristiques de la régulation de tension d'un alternateur ressemblent à celles d'un transformateur monophasé, car leurs circuits équivalents sont presque identiques.

## EXERCICES

1. La tension de sortie d'un alternateur varie en fonction de sa vitesse de rotation
  - a. et de la polarité de son courant d'excitation.
  - b. et de l'intensité de son électro-aimant d'excitation.
  - c. et de son couple d'entrée.
  - d. ~~seulement.~~

# Caractéristiques de la régulation de tension

2. Le circuit équivalent pour une phase d'un alternateur triphasé tournant à vitesse constante et dont le courant d'excitation est constant est
  - a. identique à celui d'une génératrice c.c.
  - b. très similaire à celui d'un transformateur monophasé.
  - c. identique à celui d'un circuit symétrique triphasé.
  - d. identique à celui d'une pile c.c.
  
3. Dans le circuit équivalent de l'alternateur, la réactance  $X_S$  est appelée
  - a. réactance stationnaire.
  - b. réactance stable.
  - c. réactance simplifiée.
  - d. réactance synchrone.
  
4. Les caractéristiques de la régulation de tension d'un alternateur sont
  - a. très similaires à celles d'un transformateur monophasé.
  - b. très différentes de celles d'un transformateur monophasé.
  - c. identiques à celles d'un moteur monophasé.
  - d. utiles seulement lorsque l'alternateur fonctionne à vide.
  
5. Dans le circuit équivalent de l'alternateur, la réactance  $X_S$ , exprimée en ohms,
  - a. est très inférieure à la résistance  $R_S$ .
  - b. est très supérieure à la résistance  $R_S$ .
  - c. est identique à la résistance  $R_S$ .
  - d. dépend de la tension de sortie de l'alternateur.

## Régulation de fréquence et de tension

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'expliquer la régulation de fréquence et de tension d'un alternateur à l'aide du module Moteur/alternateur synchrone.

### PRINCIPES

Pour qu'un alternateur fonctionne comme une source de tension générant une tension constante à une fréquence constante, la vitesse de rotation et l'intensité de l'électro-aimant d'excitation doivent être commandées. Comme vous l'avez vu au cours de l'expérience précédente, les charges résistives, inductives et capacitatives altèrent grandement la tension de sortie d'un alternateur. Les charges résistives altèrent aussi grandement la vitesse d'un alternateur. Cependant, l'effet des charges inductives et réactives sur la vitesse de rotation est très minime.

Lorsque les charges varient, pour obtenir une tension de sortie constante à fréquence constante à l'aide d'un alternateur, on doit régler simultanément la vitesse de rotation et le courant d'excitation  $I_E$ . En pratique, les systèmes de régulation automatique règlent continuellement le couple ayant un effet sur l'alternateur ainsi que le courant d'excitation  $I_E$ . Par exemple, dans les systèmes hydroélectriques, le couple est réglé en modifiant le diamètre du tuyau d'admission de la turbine hydraulique, afin de maintenir une vitesse constante et, ainsi, une fréquence constante. Le courant d'excitation  $I_E$  est habituellement réglé au moyen de dispositifs électrotechniques, de façon à conserver une tension constante. Comme vous allez le constater au cours de cette expérience, le réglage manuel simultané de la vitesse et du courant d'excitation est assez difficile à effectuer.

### Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 6-9 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez régler la vitesse de rotation et le courant d'excitation de l'alternateur de façon à ce que sa fréquence et sa tension de sortie soient égales aux valeurs nominales. Vous allez modifier la nature de la charge raccordée à l'alternateur afin d'observer de quelle façon cela altère la fréquence et la tension de sortie.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez faire varier la vitesse de rotation et le courant d'excitation de l'alternateur de façon à obtenir une tension de sortie constante à une fréquence constante, avec différentes charges.

# Régulation de fréquence et de tension

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS



### ATTENTION!

**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur/alternateur synchrone, Charge résistive, Charge inductive, Charge capacitive et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement les modules Moteur d'entraînement / Dynamomètre et Moteur/alternateur synchrone.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.
- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 6-9. Ouvrez tous les interrupteurs des modules Charge résistive, Charge inductive et Charge capacitive.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Régulation de fréquence et de tension

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, mettez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé) et réglez le bouton EXCITATION à sa position médiane.

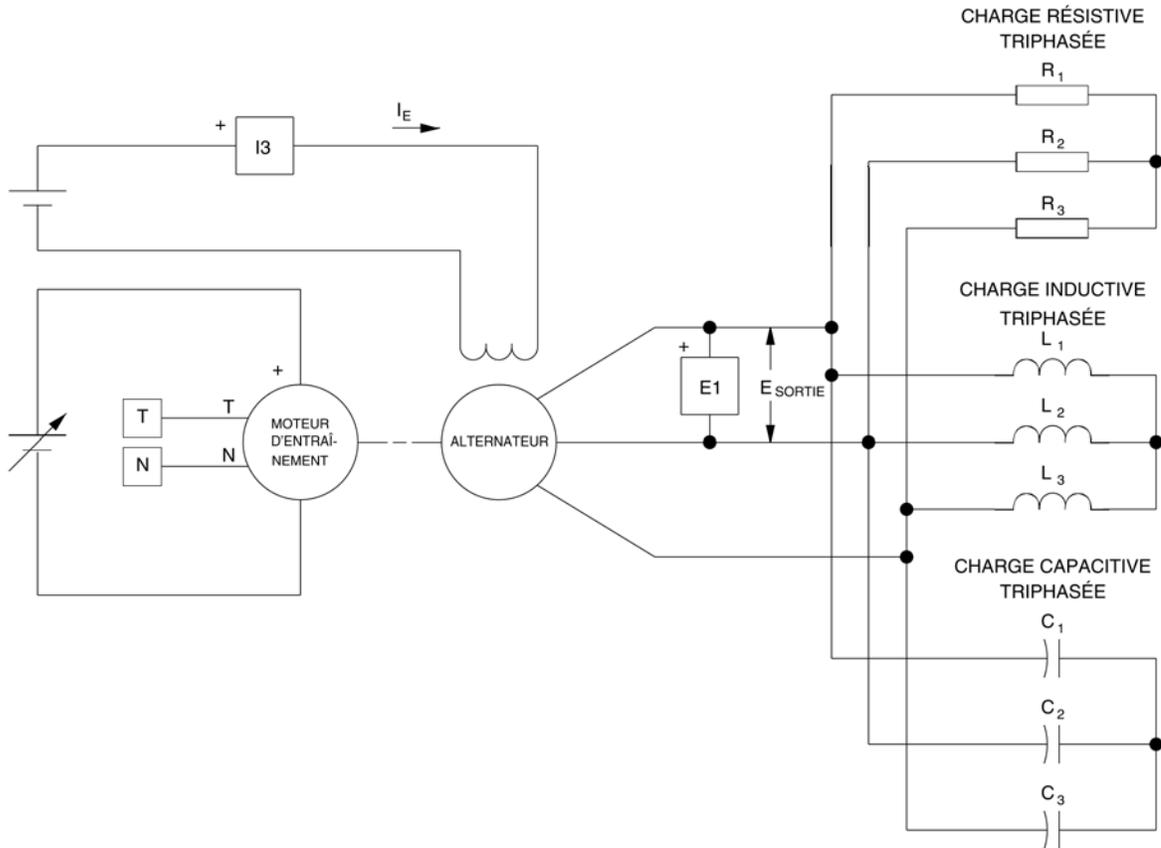


Figure 6-9. Alternateur sous charge couplé à un moteur d'entraînement.

- 6. Réglez comme suit le bouton de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Effet de la charge sur la tension de sortie et la fréquence

- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension de façon à ce que le moteur

# Régulation de fréquence et de tension

d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

8. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, tournez le bouton EXCITATION de façon à ce que la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  ligne à ligne de l'alternateur (indiquée sur l'appareil de mesure E1 de l'application Appareils de mesure) soit égale à la tension nominale.

Notez ci-dessous la tension de sortie nominale  $E_{\text{SORTIE}}$  et la fréquence  $f$  (indiquées sur l'appareil de mesure B de l'application Appareils de mesure).

$E_{\text{SORTIE}}$  (nominale) = \_\_\_\_\_ V

$f$  (nominale) = \_\_\_\_\_ Hz

9. Sur le module Charge résistive, réglez les résistances  $R_1$ ,  $R_2$ , et  $R_3$  aux valeurs indiquées dans le tableau suivant.

TENSION DE LIGNE	RÉSISTANCE OU RÉACTANCE
V ca	$\Omega$
120	240
220	880
240	960

Tableau 6-6. Charge.

Notez ci-dessous la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et la fréquence  $f$ .

$E_{\text{SORTIE}}$  = \_\_\_\_\_ V (charge résistive)

$f$  = \_\_\_\_\_ Hz (charge résistive)

De quelle façon varie la tension de sortie et la fréquence lorsqu'une charge résistive est raccordée à la sortie de l'alternateur?

---

---

# Régulation de fréquence et de tension

Ouvrez tous les commutateurs du module Charge résistive. Attendez que la fréquence et la tension de sortie se stabilisent. Elles devraient être égales aux valeurs nominales.

10. Sur le module Charge inductive, réglez la réactance des bobines  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  aux valeurs indiquées dans le tableau 6-6.

Notez ci-dessous la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et la fréquence  $f$ .

$E_{\text{SORTIE}} = \underline{\hspace{2cm}}$  V (charge résistive)

$f = \underline{\hspace{2cm}}$  Hz (charge résistive)

De quelle façon varient la tension de sortie et la fréquence lorsqu'une charge inductive est raccordée à la sortie de l'alternateur?

---

---

Ouvrez tous les commutateurs du module Charge inductive. Attendez que la fréquence et la tension de sortie se stabilisent. Elles devraient être égales aux valeurs nominales.

11. Sur le module Charge capacitive, réglez la réactance des condensateurs  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  aux valeurs indiquées dans le tableau 6-6.

Notez ci-dessous la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  et la fréquence  $f$ .

$E_{\text{SORTIE}} = \underline{\hspace{2cm}}$  V (charge résistive)

$f = \underline{\hspace{2cm}}$  Hz (charge résistive)

De quelle façon varient la tension de sortie et la fréquence lorsqu'une charge capacitive est raccordée à la sortie de l'alternateur?

---

---

Ouvrez tous les commutateurs du module Charge capacitive. Attendez que la fréquence et la tension de sortie se stabilisent. Elles devraient être égales aux valeurs nominales.

# Régulation de fréquence et de tension

12. Comparez l'effet qu'ont les charges résistive, inductive et capacitive sur la tension de sortie de l'alternateur.

---

---

---

---

---

Comparez l'effet qu'ont les charges résistive, inductive et capacitive sur la fréquence des tensions générées par l'alternateur.

---

---

---

---

## Régulation de fréquence et de tension

13. Sur le module Charge inductive, réglez la réactance des bobines  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  aux valeurs indiquées dans le tableau suivant.

TENSION DE LIGNE	RÉACTANCE DE $L_1$ , $L_2$ ET $L_3$
V ca	$\Omega$
120	600
220	1467
240	1200

Tableau 6-7. Réactance des bobines  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$ .

Tournez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation et le bouton EXCITATION du module Moteur/alternateur synchrone, de façon à ce que la tension de sortie et la fréquence de l'alternateur soient égales aux valeurs nominales.

14. Sur le module Charge capacitive, réglez la réactance des condensateurs  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  aux valeurs indiquées dans le tableau suivant.

# Régulation de fréquence et de tension

TENSION DE LIGNE	RÉACTANCE DE C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> ET C <sub>3</sub>
V ca	Ω
120	300
220	2200
240	2400

Tableau 6-8. Réactance des condensateurs C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub>.

Tournez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation et le bouton EXCITATION du module Moteur/alternateur synchrone, de façon à ce que la tension de sortie et la fréquence de l'alternateur soient égales aux valeurs nominales.

15. Sur le module Charge résistive, réglez les résistances R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub> aux valeurs indiquées dans le tableau suivant.

TENSION DE LIGNE	RÉSISTANCE DE R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> ET R <sub>3</sub>
V ca	Ω
120	200
220	880
240	800

Tableau 6-9. Résistances R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub>.

Tournez à nouveau le bouton de commande de la tension du Bloc d'alimentation et le bouton EXCITATION du module Moteur/alternateur synchrone, de façon à ce que la tension de sortie et la fréquence de l'alternateur soient égales aux valeurs nominales.

Est-il facile de régler rapidement la tension de sortie et la fréquence de l'alternateur lorsque la charge varie? Pourquoi?

---

---

---

16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Mettez l'interrupteur de la tension 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

# Régulation de fréquence et de tension

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez observé que la tension de sortie et la fréquence d'un alternateur changent selon qu'on raccorde à sa sortie une charge résistive, une charge inductive ou une charge capacitive. Vous avez observé que les charges résistives altèrent davantage la fréquence que les charges inductives et capacitives. Vous avez découvert qu'il est assez difficile, par un réglage manuel, de conserver la fréquence et la tension de sortie à des valeurs nominales lorsque la charge varie. Cela est dû au fait que l'on doit régler la vitesse de rotation et le courant d'excitation de l'alternateur pour en corriger les variations de fréquence et de tension.

## EXERCICES

1. Lorsque la charge raccordée à un alternateur varie,
  - a. cela n'altère aucunement sa tension de sortie ni sa fréquence.
  - b. cela altère sa tension de sortie et sa fréquence.
  - c. cela n'altère que sa tension de sortie.
  - d. cela n'altère que sa fréquence.
  
2. Pour qu'un alternateur génère une tension de sortie constante à une fréquence constante,
  - a. on doit en régler la vitesse et le courant d'excitation.
  - b. on doit en régler la vitesse seulement.
  - c. on doit en régler le courant d'excitation.
  - d. sa charge doit être résistive seulement.
  
3. Le réglage manuel de la vitesse et du courant d'excitation pour maintenir la tension de sortie et la fréquence d'un alternateur à leurs valeurs nominales
  - a. constitue une tâche simple.
  - b. constitue une tâche assez difficile.
  - c. n'est possible que lorsque l'alternateur fonctionne à pleine charge.
  - d. n'est possible que lorsque l'alternateur fonctionne exactement à demi-charge.
  
4. Les charges inductives et capacitives n'altèrent que peu
  - a. la tension de sortie et la fréquence d'un alternateur.
  - b. la fréquence d'un alternateur.
  - c. la tension de sortie d'un alternateur.
  - d. la puissance nominale d'un alternateur.

# Régulation de fréquence et de tension

5. Les charges résistives altèrent beaucoup
  - a. la tension de sortie et la fréquence d'un alternateur.
  - b. la fréquence d'un alternateur seulement.
  - c. la tension de sortie d'un alternateur seulement.
  - d. la puissance nominale d'un alternateur.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Synchronisation d'un alternateur

### OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de synchroniser un alternateur triphasé avec un réseau d'alimentation c.a., à l'aide du module Moteur/alternateur synchrone et du Module de synchronisation.

### PRINCIPES

De nos jours, la majeure partie de l'électricité consommée est générée par des alternateurs triphasés. Puisqu'on consomme chaque jour une énorme quantité d'électricité, les réseaux d'alimentation c.a. comportent généralement un grand nombre d'alternateurs fonctionnant tous à la même fréquence. Lorsque la demande augmente, des alternateurs additionnels sont raccordés au réseau d'alimentation c.a. Avant le raccord d'un alternateur triphasé à un réseau d'alimentation c.a., les conditions suivantes doivent prévaloir :

- La fréquence des tensions générées par l'alternateur doit être égale à la fréquence du réseau d'alimentation c.a.
- Les tensions générées par l'alternateur doivent être égales à la tension du réseau d'alimentation c.a.
- La séquence de phase des tensions générées par l'alternateur doit être la même que celle du réseau d'alimentation c.a.
- Les tensions générées par l'alternateur doivent être en phase avec les tensions du réseau d'alimentation c.a.

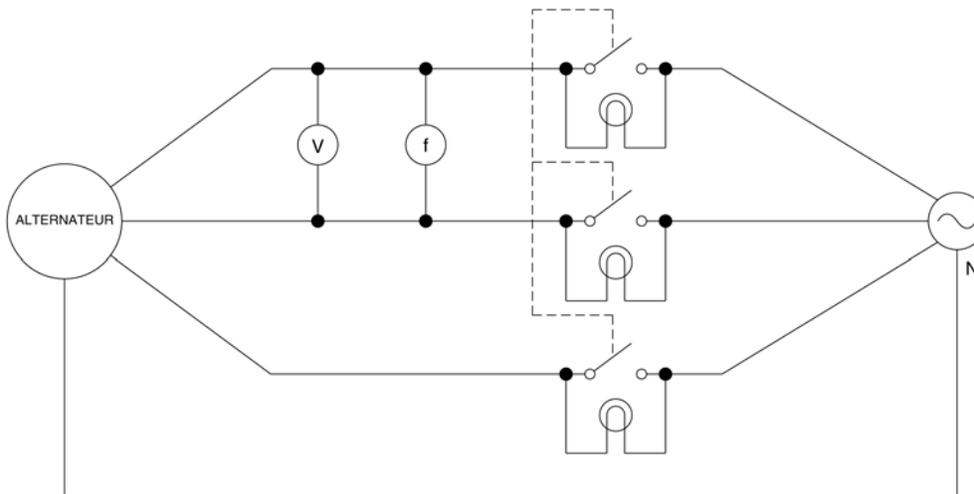
On dit qu'un alternateur est synchronisé lorsque toutes ces conditions prévalent. On ne doit jamais raccorder un alternateur à un réseau d'alimentation c.a. avant d'en vérifier la synchronisation. Le raccord d'un alternateur non synchronisé à un réseau d'alimentation c.a. pourrait l'endommager gravement, à cause du couple élevé qui serait appliqué à l'arbre de l'alternateur et des courants extrêmement élevés qui circuleraient dans ses enroulements lors du raccord.

Une fois que l'alternateur est raccordé à un réseau d'alimentation c.a., aucun courant ne circule entre lui et le réseau d'alimentation c.a., car ils génèrent des tensions en phase de même amplitude. L'alternateur ne fournit donc ni puissance active, ni puissance réactive au réseau d'alimentation c.a. Dans ce cas, on dit que l'alternateur «flotte» sur le réseau d'alimentation c.a. De plus, on ne peut plus faire varier sa fréquence en réglant le couple appliqué à son arbre, car le réseau d'alimentation c.a. est si puissant qu'il impose sa propre fréquence. Cependant, le réglage du couple appliqué à l'arbre de l'alternateur permet de modifier la puissance active échangée entre l'alternateur et le réseau d'alimentation c.a. Une augmentation du couple provoque une augmentation de la puissance active fournie au réseau d'alimentation c.a. Au contraire, une diminution du couple provoque une diminution de la puissance active fournie au réseau d'alimentation c.a. L'alternateur pourrait même recevoir une puissance active en provenance du réseau d'alimentation c.a. et, donc, fonctionner en moteur synchrone, si on diminuait jusqu'à zéro le couple appliqué à son arbre.

# Synchronisation d'un alternateur

Comme pour les moteurs synchrones triphasés, on peut faire varier la puissance réactive échangée entre un alternateur et un réseau d'alimentation c.a. en réglant le courant d'excitation. Le courant d'excitation est habituellement réglé de façon à ce qu'aucune puissance réactive ne soit échangée entre l'alternateur et le réseau d'alimentation c.a., c'est-à-dire, de façon à ce que le facteur de puissance de l'alternateur soit unitaire. Cela minimise les courants de ligne et permet de réduire au minimum la dimension des conducteurs raccordant l'alternateur au réseau d'alimentation c.a.

La figure 6-10 illustre un circuit simple utilisé pour synchroniser et raccorder un alternateur avec un réseau d'alimentation c.a. Dans ce circuit, un alternateur triphasé est raccordé à un réseau d'alimentation triphasé (source de tension triphasée) via trois ampoules et un interrupteur tripolaire ouvert. Un voltmètre et un fréquencemètre sont raccordés à la sortie de l'alternateur pour en mesurer la tension et la fréquence.



**Figure 6-10.** Circuit utilisé pour synchroniser et raccorder un alternateur à un réseau d'alimentation c.a.

La vitesse et le courant d'excitation de l'alternateur sont d'abord réglés de façon à ce que sa fréquence et sa tension soient presque égales à la tension et la fréquence nominales du réseau d'alimentation c.a. Si la séquence de phase de l'alternateur diffère de celle du réseau d'alimentation c.a., l'intensité des ampoules varie de façon synchrone. Cependant, si la séquence de phase de l'alternateur diffère de celle du réseau d'alimentation c.a., l'intensité des ampoules varie de façon asynchrone. Dans ce cas, deux des trois fils de l'alternateur doivent être interchangés, afin d'en inverser la séquence de phase.

Lorsque la séquence de phase de l'alternateur est adéquate, sa vitesse est réglée de façon à ce que la vitesse à laquelle l'intensité de l'ampoule varie soit minimale. Cela a pour effet de régler la fréquence de l'alternateur à la fréquence du réseau d'alimentation c.a. Le courant d'excitation de l'alternateur est alors réglé de façon à ce que les ampoules soient complètement éteintes lorsque leur intensité diminue. Cela a pour effet de régler la tension de l'alternateur à celle du réseau d'alimentation c.a. L'interrupteur peut ensuite être fermé à tout moment où les ampoules sont complètement éteintes (les tensions ne sont en phase qu'à ce moment), afin de raccorder de façon sécuritaire l'alternateur au réseau d'alimentation c.a.

# Synchronisation d'un alternateur

## Sommaire des manipulations

Dans la première partie de cette expérience, vous allez monter l'équipement dans le Poste de travail, le raccorder comme à la figure 6-11 et effectuer les réglages appropriés sur le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre.

Dans la deuxième partie de cette expérience, vous allez synchroniser un alternateur triphasé avec un réseau d'alimentation triphasé. Vous allez ensuite raccorder l'alternateur au réseau d'alimentation triphasé.

Dans la troisième partie de cette expérience, vous allez faire varier le couple appliqué à l'arbre de l'alternateur ainsi que le courant d'excitation  $I_E$  et observer de quelle façon cela altère le fonctionnement de l'alternateur.

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Consultez le tableau d'utilisation de l'équipement de l'Annexe C, afin d'obtenir la liste du matériel nécessaire pour cette expérience.

## MANIPULATIONS

### ATTENTION!



**Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!**

### Montage de l'équipement

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Moteur d'entraînement / Dynamomètre, Moteur/alternateur synchrone, Module de synchronisation et Interface d'acquisition de données (IAD) dans le Poste de travail EMS.

Couplez mécaniquement le module Moteur d'entraînement / Dynamomètre au module Moteur/alternateur synchrone.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Assurez-vous que le Bloc d'alimentation est raccordé à une source de tension triphasée.

- 3. Assurez-vous que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé au module IAD.

Raccordez les entrées ALIMENTATION BASSE PUISSANCE des modules IAD et Moteur d'entraînement / Dynamomètre à la sortie 24 V CA du Bloc d'alimentation.

# Synchronisation d'un alternateur

Sur le Bloc d'alimentation, mettez l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).

- 4. Lancez l'application Appareils de mesure.

Dans l'application Appareils de mesure, ouvrez le fichier de configuration ACMOTOR1.CFG, puis sélectionnez l'agencement des appareils de mesure.

- 5. Raccordez l'équipement comme à la figure 6-11.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, mettez l'interrupteur EXCITATION à la position I (fermé) et réglez le bouton EXCITATION à sa position médiane.

Sur le Module de synchronisation, mettez l'interrupteur à la position O (ouvert).

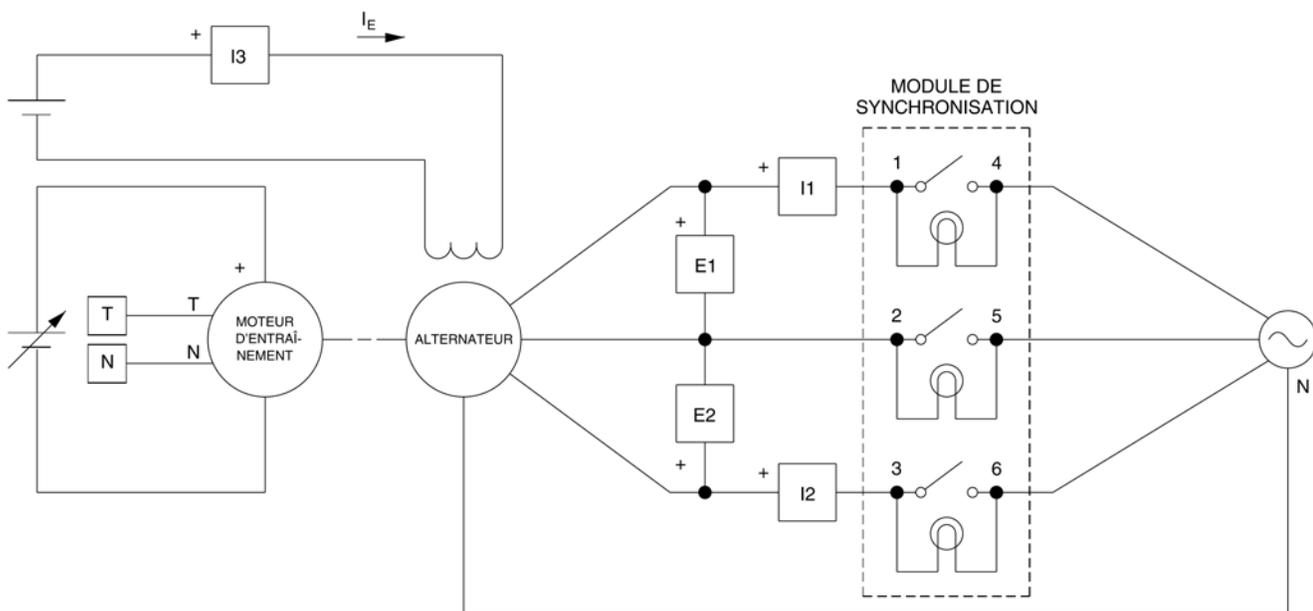


Figure 6-11. Circuit utilisé pour synchroniser et raccorder un alternateur à un réseau d'alimentation c.a.

- 6. Réglez comme suit le bouton de commande du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre :

Sélecteur MODE ..... MOTEUR  
 Sélecteur AFFICHAGE ..... VITESSE

# Synchronisation d'un alternateur

**Remarque :** Si vous réalisez l'expérience au moyen du logiciel LVSIM®-EMS, avant d'effectuer ces réglages, vous pouvez effectuer un zoom du module Moteur d'entraînement / Dynamomètre, afin de visualiser l'information additionnelle s'y rapportant et se trouvant sur la façade du module.

## Synchronisation d'un alternateur

- 7. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, inversez les fils raccordés aux bornes 1 et 2.

Mettez l'interrupteur du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez le bouton de commande de la tension, de façon à ce que le moteur d'entraînement tourne à la vitesse nominale du module Moteur/alternateur synchrone, moins 75 tr/min, environ.

**Remarque :** Les caractéristiques des machines Lab-Volt sont indiquées dans le coin inférieur gauche des façades des modules. Si vous effectuez l'expérience au moyen de LVSIM®-EMS, vous pouvez obtenir les caractéristiques d'une machine en laissant le pointeur de la souris sur le rotor de celle-ci. Après quelques secondes, une info-bulle comportant les caractéristiques de cette machine apparaîtra.

- 8. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, réglez le bouton EXCITATION de façon à ce que la tension de sortie  $E_{\text{SORTIE}}$  ligne à ligne de l'alternateur (indiquée sur l'appareil de mesure E1 de l'application Appareils de mesure) soit égale à la tension nominale.

Observez les ampoules se trouvant sur le Module de synchronisation.

La séquence de phase de l'alternateur correspond-elle à celle du réseau d'alimentation triphasé? Pourquoi?

---

---

---

- 9. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), sans modifier la position du bouton de commande de la tension.

Sur le moule Moteur/alternateur synchrone, interchangez les fils raccordés aux bornes 1 et 2.

- 10. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche).

Observez les ampoules se trouvant sur le Module de synchronisation.

# Synchronisation d'un alternateur

La séquence de phase de l'alternateur correspond-elle à celle du réseau d'alimentation triphasé? Pourquoi?

---

---

---

11. Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension de façon à ce que l'intensité des ampoules du Module de synchronisation varie très lentement (au besoin).

Lorsque les ampoules sont complètement éteintes, l'alternateur est-il synchronisé avec le réseau d'alimentation triphasé?

Oui     Non

12. Sur le Module de synchronisation, lorsque les ampoules sont complètement éteintes, mettez l'interrupteur à la position I (fermé). Cela a pour effet de raccorder l'alternateur au réseau d'alimentation triphasé.

Dans l'application Appareils de mesure, observez la puissance active indiquée sur l'appareil de mesure C. Y a-t-il échange important de puissance active entre l'alternateur et le réseau d'alimentation c.a.?

Oui     Non

## Effet du couple et du courant d'excitation sur le fonctionnement de l'alternateur

13. Dans l'application Appareils de mesure, assurez-vous que la fonction de correction du couple de l'appareil de mesure T est sélectionnée.

Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension vers la droite, jusqu'à ce que le couple indiqué sur l'appareil de mesure T (couple d'entrée de l'alternateur) soit égal à  $-1,0 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $-9,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ). Ce faisant, observez la puissance active et la vitesse de l'alternateur indiquées sur les appareils de mesure C et N.

**Remarque :** *L'alternateur génère une puissance active lorsque la valeur indiquée sur l'appareil de mesure C est positive.*

Décrivez ce qui se passe.

---

---

---

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Synchronisation d'un alternateur

L'alternateur fournit-il une puissance active au réseau d'alimentation c.a.?

- Oui       Non

14. Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension, de façon à ce que la puissance active indiquée sur l'appareil de mesure C diminue jusqu'à environ zéro. Ce faisant, observez le couple d'entrée de l'alternateur indiqué sur l'appareil de mesure T.

L'alternateur «flotte» maintenant sur le réseau d'alimentation c.a. D'où provient la puissance servant à contrecarrer le frottement?

---

15. Sur le Bloc d'alimentation, tournez lentement le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Ce faisant, observez la puissance active, le couple d'entrée de l'alternateur et la vitesse de l'alternateur indiqués sur les appareils de mesure C, T et N.

Décrivez ce qui se passe.

---

---

---

Qu'est ce que cela signifie?

---

---

---

16. Sur le Bloc d'alimentation, tournez le bouton de commande de la tension vers la droite, jusqu'à ce que le couple indiqué sur l'appareil de mesure T (couple d'entrée de l'alternateur) soit égal à  $-1,0 \text{ N}\cdot\text{m}$  ( $-9,0 \text{ lbf}\cdot\text{po}$ ). L'alternateur génère maintenant la puissance active nominale (ou presque) au réseau d'alimentation c.a.

Sur le module Moteur/alternateur synchrone, tournez lentement le bouton EXCITATION jusqu'à la position MAX., afin d'augmenter le courant d'excitation. Ce faisant, observez la puissance active, la puissance réactive, le couple d'entrée de l'alternateur et la vitesse de l'alternateur indiqués sur les appareils de mesure C, A, T et N.

**Remarque :** L'alternateur génère une puissance réactive lorsque la valeur indiquée sur l'appareil de mesure A est positive.

# Synchronisation d'un alternateur

Décrivez ce qui se passe.

---

---

---

L'alternateur fournit-il une puissance réactive au réseau d'alimentation c.a.?

Oui       Non

17. Sur le module Moteur/alternateur synchrone, tournez lentement le bouton EXCITATION jusqu'à la position MIN., afin de réduire le courant d'excitation. Ce faisant, observez la puissance réactive indiquée sur l'appareil de mesure A de l'application Appareils de mesure.

Décrivez ce qui se passe.

---

---

---

Est-il possible de régler le courant d'excitation de façon à ce que le facteur de puissance de l'alternateur soit unitaire?

Oui       Non

18. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et tourner le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Mettez l'interrupteur de la tension 24 V CA à la position O (arrêt) et débranchez tous les fils et câbles.

## CONCLUSION

Au cours de cette expérience, vous avez synchronisé un alternateur triphasé avec un réseau d'alimentation c.a. Vous avez observé qu'une variation du couple de l'arbre de l'alternateur fait varier la puissance active échangée entre l'alternateur et le réseau d'alimentation c.a. Vous avez constaté qu'une variation du courant d'excitation de l'alternateur fait varier la puissance réactive échangée entre l'alternateur et le réseau d'alimentation c.a.

# Synchronisation d'un alternateur

## EXERCICES

1. Pour qu'un alternateur soit synchronisé avec un réseau d'alimentation c.a., sa séquence de phase, sa fréquence et sa tension
  - a. doivent être identiques à celles du réseau d'alimentation c.a.
  - b. doivent être différentes de celles du réseau d'alimentation c.a.
  - c. dépendent de l'alternateur et de son moteur d'entraînement.
  - d. aucune de ces réponses.
  
2. Lorsqu'il y a synchronisation entre un réseau d'alimentation c.a. et un alternateur, la séquence de phase, la fréquence et la tension de cette dernière
  - a. sont identiques à celles du réseau d'alimentation c.a.
  - b. sont différentes de celles du réseau d'alimentation c.a.
  - c. dépendent de l'alternateur et de son moteur d'entraînement.
  - d. aucune de ces réponses.
  
3. Quels paramètres de l'alternateur doit-on régler avant de le raccorder à un réseau d'alimentation c.a.?
  - a. Sa séquence de phase et sa fréquence seulement.
  - b. Sa tension et sa fréquence seulement.
  - c. Sa séquence de phase, sa fréquence et sa tension.
  - d. Sa vitesse seulement.
  
4. Lorsqu'un alternateur «flotte» sur un réseau d'alimentation c.a., cela signifie
  - a. qu'il accélère et ralentit en fonction des fluctuations de tension du réseau.
  - b. qu'il n'y a ni échange de puissance active, ni échange de puissance réactive avec le réseau d'alimentation c.a.
  - c. qu'il se trouve au-dessus de la ligne de flottaison.
  - d. que sa tension de sortie est presque identique à celle du réseau d'alimentation c.a.
  
5. La puissance active nécessaire pour contrecarrer le frottement dû à la rotation d'un alternateur qui «flotte» sur le réseau d'alimentation c.a. provient
  - a. du réseau.
  - b. du bloc d'alimentation c.a.
  - c. de la source de puissance mécanique couplée à l'alternateur.
  - d. du courant d'excitation.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

# Questions récapitulatives

1. Un alternateur triphasé comportant 30 paires de pôles par enroulement statorique génère des tensions à une fréquence de 60 Hz lorsqu'il tourne à la vitesse nominale. Quelle est cette vitesse nominale?
  - a. 3600 tr/min.
  - b. 360 tr/min.
  - c. 120 tr/min.
  - d. 1800 tr/min.
  
2. Un alternateur triphasé
  - a. ressemble beaucoup à un frein électromagnétique.
  - b. est à la base un électro-aimant qui, lorsqu'il tourne, induit des tensions dans les enroulements statoriques.
  - c. comporte trois électro-aimants espacés de  $120^\circ$  qui, lorsqu'ils tournent, induisent des tensions dans les enroulements statoriques.
  - d. aucune de ces réponses.
  
3. Une variation de la vitesse d'un alternateur produit
  - a. une variation de la fréquence et de l'amplitude de la tension de sortie.
  - b. une variation de la fréquence de la tension de sortie seulement.
  - c. une variation de l'amplitude de la tension de sortie seulement.
  - d. une variation de la phase de la tension de sortie seulement.
  
4. De quelle façon peut-on modifier la tension de sortie d'un alternateur sans en modifier la fréquence?
  - a. En faisant varier la vitesse de l'alternateur.
  - b. En modifiant la façon dont les conducteurs sont bobinés dans l'enroulement statorique.
  - c. En faisant varier le couple appliqué à l'arbre de l'alternateur.
  - d. En faisant varier le courant d'excitation de l'alternateur.
  
5. Lorsqu'un alternateur alimente une charge résistive ou une charge inductive, sa tension de sortie
  - a. diminue lorsque son courant d'excitation augmente.
  - b. augmente lorsque son courant de sortie augmente.
  - c. demeure constante lorsque son courant de sortie varie.
  - d. diminue lorsque son courant de sortie augmente.
  
6. Lorsqu'un alternateur alimente une charge capacitive, sa tension de sortie
  - a. augmente lorsque son courant d'excitation diminue.
  - b. augmente lorsque son courant de sortie augmente.
  - c. demeure constante lorsque son courant de sortie varie.
  - d. diminue lorsque son courant de sortie augmente.

## Questions récapitulatives (suite)

7. Lorsqu'un seul alternateur alimente une charge variable, on peut maintenir la tension et la fréquence constantes en réglant
  - a. la vitesse de l'alternateur seulement.
  - b. la position des enroulements statoriques.
  - c. la vitesse et le courant d'excitation de l'alternateur.
  - d. le courant d'excitation seulement.
  
8. On dit qu'un alternateur triphasé est synchronisé avec un réseau d'alimentation c.a. lorsque
  - a. sa séquence de phase est identique à celle du réseau.
  - b. l'amplitude et la fréquence des tensions qu'il génère sont identiques à celles du réseau.
  - c. l'amplitude, la fréquence et la phase des tensions qu'il génère sont identiques à celles du réseau.
  - d. a et c.
  
9. Lorsqu'un alternateur est synchronisé avec un réseau d'alimentation c.a., une augmentation du couple appliqué à son arbre
  - a. provoque une augmentation de la puissance réactive fournie par l'alternateur.
  - b. provoque une augmentation de la puissance active fournie par l'alternateur.
  - c. provoque une diminution de la puissance réactive fournie par l'alternateur.
  - d. augmente la vitesse de l'alternateur.
  
10. Lorsqu'un alternateur est synchronisé avec un réseau d'alimentation c.a., une variation du courant d'excitation modifie
  - a. la puissance active fournie par l'alternateur.
  - b. la vitesse de l'alternateur.
  - c. la tension du réseau d'alimentation c.a.
  - d. le facteur de puissance de l'alternateur.

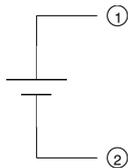
## Symboles des schémas électriques

### Introduction

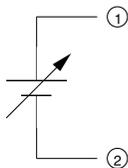
Différents symboles sont utilisés dans les nombreux schémas électriques des PRINCIPES et des MANIPULATIONS de ce manuel. Chaque symbole est une représentation fonctionnelle d'un élément utilisé en électronique de puissance. Différents symboles représentent par exemple une alimentation c.a. monophasée à tension variable, un pont de thyristors triphasé ou un moteur/alternateur synchrone. L'utilisation de ces symboles simplifie beaucoup les schémas électriques en réduisant le nombre des interconnexions montrées tout en facilitant la compréhension du fonctionnement.

À chacun des symboles utilisés dans ce manuel et dans les autres manuels de la série Électronique de puissance de Lab-Volt, cette annexe donne le nom de l'élément représenté par le symbole et un schéma de l'équipement, et, dans certains cas, les connexions nécessaires à l'obtention des dispositifs. Remarquez que les bornes de chaque symbole sont identifiées à l'aide de chiffres encadrés. Les chiffres identiques encadrés identifient les bornes correspondantes de l'équipement et du schéma de connexion.

### SYMBOLE

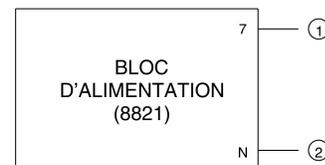
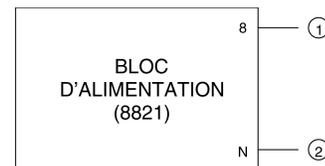


ALIMENTATION C.C.  
À TENSION FIXE



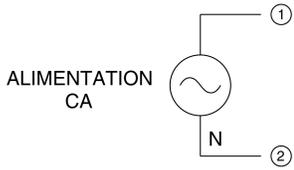
ALIMENTATION C.C.  
À TENSION VARIABLE

### ÉQUIPEMENT ET CONNEXIONS



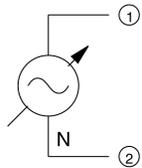
# Symboles des schémas électriques

## SYMBOLE

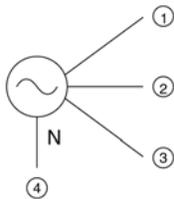


ALIMENTATION  
CA

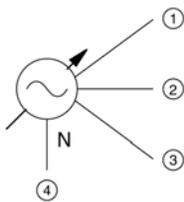
ALIMENTATION C.A.  
À TENSION FIXE



ALIMENTATION C.A.  
À TENSION VARIABLE

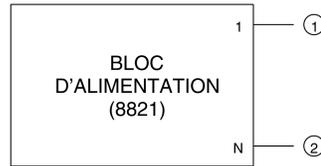


ALIMENTATION TRIPHASÉE  
À TENSION FIXE

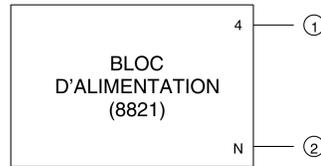


ALIMENTATION TRIPHASÉE  
À TENSION VARIABLE

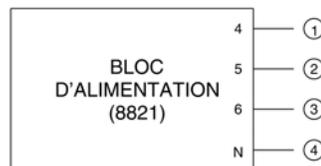
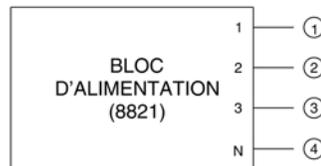
## ÉQUIPEMENT ET CONNEXIONS



\* Remarque: La borne 2 ou 3  
peut aussi être utilisée.

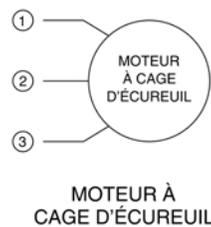
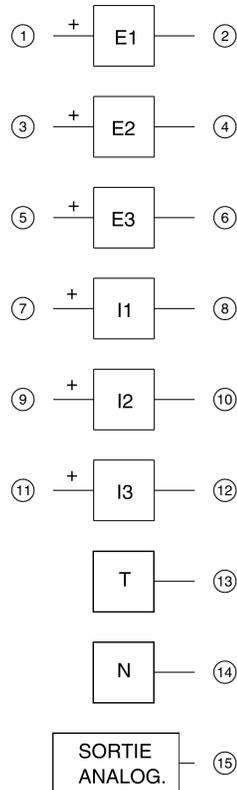


\* Remarque: La borne 5 ou 6  
peut aussi être utilisée.



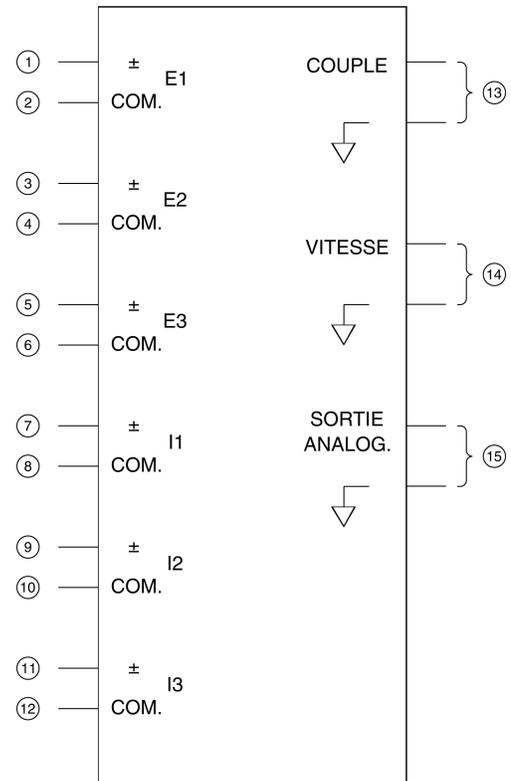
# Symboles des schémas électriques

## SYMBOLE

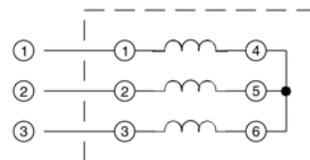


## ÉQUIPEMENT ET CONNEXIONS

INTERFACE D'ACQUISITION DE DONNÉES  
(9061 OU 9062)

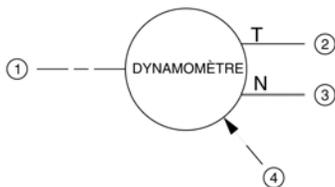
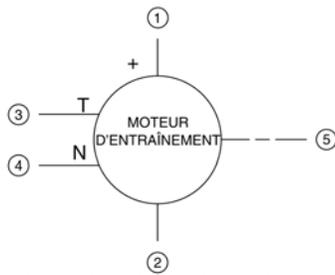
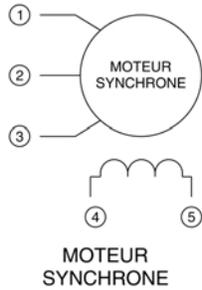


MOTEUR À CAGE  
À 4 PÔLES  
(8221)

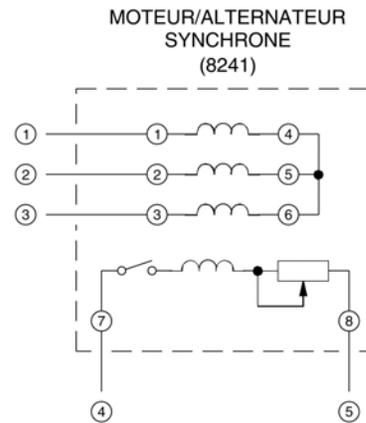


# Symboles des schémas électriques

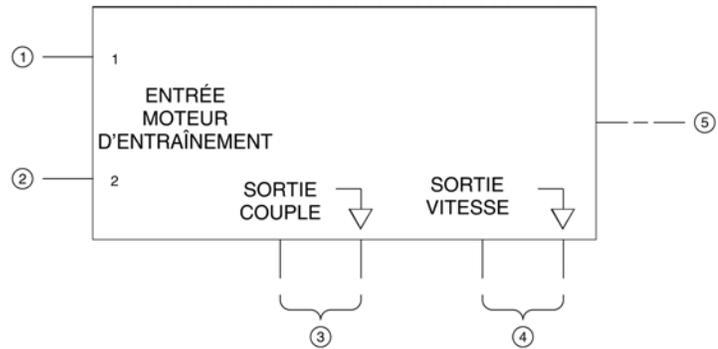
## SYMBOLE



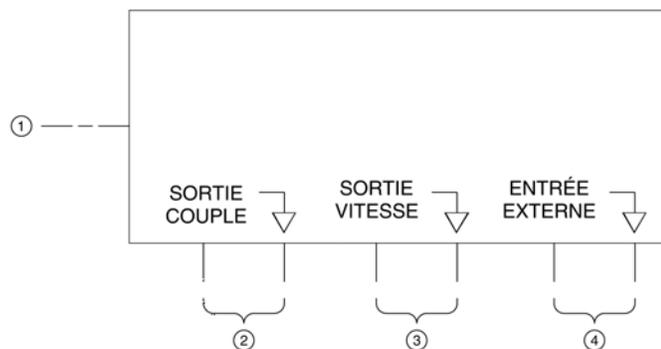
## ÉQUIPEMENT ET CONNEXIONS



MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT/DYNAMOMÈTRE (8960)



MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT/DYNAMOMÈTRE (8960)



## Tableau des impédances des modules de charge

Le tableau suivant donne les impédances qui peuvent être obtenues soit à l'aide de la Charge résistive, modèle 8311, de la Charge inductive, modèle 8321 ou de la Charge capacitive, modèle 8331. La figure B-1 montre les éléments de charge et leurs connexions. D'autres combinaisons parallèles peuvent être utilisées pour obtenir la même impédance.

IMPÉDANCE ( $\Omega$ )			POSITIONS DES COMMULATEURS DES ÉLÉMENTS DE CHARGE								
120 V 60 Hz	220 V 50 Hz	240 V 50 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1200	4400	4800									
600	2200	2400									
300	1100	1200									
400	1467	1600									
240	880	960									
200	733	800									
171	629	686									
150	550	600									
133	489	533									
120	440	480									
109	400	436									
100	367	400									
92	338	369									
86	314	343									
80	293	320									
75	275	300									
71	259	282									
67	244	267									
63	232	253									
60	220	240									
57	210	229									

Tableau B-1. Tableau des impédances des modules de charge.

# Tableau des impédances des modules de charge

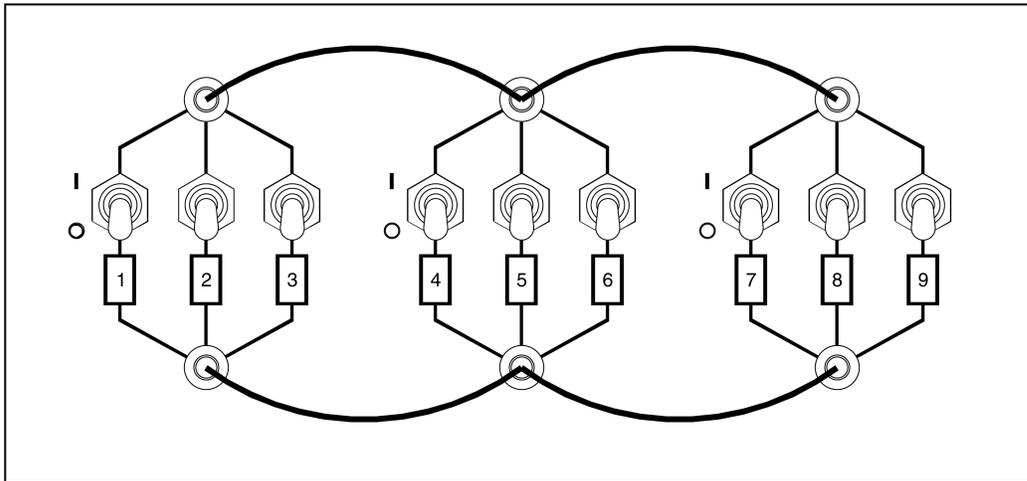


Figure B-1. Emplacement des éléments de charge.

## Tableau des impédances des modules de charge

Le tableau suivant donne les inductances qui peuvent être obtenues à l'aide de la Charge inductive, modèle 8321. La figure B-1 montre les éléments de charge et leurs connexions. D'autres combinaisons parallèles peuvent être utilisées pour obtenir la même inductance.

INDUCTANCE (H)			POSITIONS DES COMMUTATEURS DES ÉLÉMENTS DE CHARGE								
120 V	220 V	240 V	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,20	14,00	15,30	I								
1,60	7,00	7,60		I							
0,80	3,50	3,80			I						
1,07	4,67	5,08	I	I							
0,64	2,80	3,04	I		I						
0,53	2,33	2,53		I	I						
0,46	2,00	2,17	I	I	I						
0,40	1,75	1,90	I			I	I	I			
0,36	1,56	1,69		I		I	I	I			
0,32	1,40	1,52			I		I	I			
0,29	1,27	1,38			I	I	I	I			
0,27	1,17	1,27	I		I	I	I	I			
0,25	1,08	1,17		I	I	I	I	I			
0,23	1,00	1,09	I	I	I	I	I	I			
0,21	0,93	1,01	I			I	I	I	I	I	I
0,20	0,88	0,95		I		I	I	I	I	I	I
0,19	0,82	0,89			I		I	I	I	I	I
0,18	0,78	0,85			I	I	I	I	I	I	I
0,17	0,74	0,80	I		I	I	I	I	I	I	I
0,16	0,70	0,76		I	I	I	I	I	I	I	I
0,15	0,67	0,72	I	I	I	I	I	I	I	I	I

Tableau B-2. Tableau des inductances du module Charge inductive.

Property of Festo Didactic  
Sale and/or reproduction forbidden

## Tableau d'utilisation de l'équipement

L'équipement suivant de Lab-Volt est nécessaire à la réalisation des expériences de ce manuel. Les cases ombragées signifient que deux groupes d'étudiants peuvent collaborer à la réalisation des expériences. Si tel est le cas, le second modèle n'est nécessaire que pour une installation autonome.

ÉQUIPEMENT		EXPÉRIENCE							
MODÈLE	DESCRIPTION	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2
8134	Poste de travail EMS	1	1	1	1	1	1	1	1
8211	Moteur/génératrice c.c.				1	1	1	1	1
8221	Moteur à cage à quatre pôles	1							
8241	Moteur/alternateur synchrone triphasé								
8251	Moteur à démarrage par condensateur								
8254	Moteur universel								1
8311	Charge résistive					1*	1	1	
8321	Charge inductive								
8331	Charge capacitive								
8621	Module de synchronisation								
8821-2X	Bloc d'alimentation	1	1	1	1	1	1	1	1
8942	Courroie crantée	1	1	1	1	1	1	1	1
8951	Câbles de raccord et accessoires	1	1	1	1	1	1	1	1
8960	Moteur d'entraînement / Dynamomètre	1	2	2	1	1	1	1	1
9062	Interface d'acquisition de données	1	1	1	1	1	1	1	1

\* Non nécessaire lorsque l'expérience est réalisée au moyen de l'équipement 120 V.

(voir page suivante)

# Tableau d'utilisation de l'équipement

ÉQUIPEMENT		EXPÉRIENCE									
MODÈLE	DESCRIPTION	4-1	4-2	4-3	4-4	5-1	5-2	6-1	6-2	6-3	6-4
8134	Poste de travail EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8211	Moteur/génératrice c.c.										
8221	Moteur à cage à quatre pôles	1	1	1	1						
8241	Moteur/alternateur synchrone triphasé					1	1	1	1	1	1
8251	Moteur à démarrage par condensateur				1						
8254	Moteur universel										
8311	Charge résistive		1					1	1	1	
8321	Charge inductive								1	1	
8331	Charge capacitive				1				1	1	
8621	Module de synchronisation										1
8821-2X	Bloc d'alimentation	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8942	Courroie crantée	1	1	1		1	1	1	1	1	1
8951	Câbles de raccord et accessoires	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8960	Moteur d'entraînement / Dynamomètre	1	1	1		1	1	1	1	1	1
9062	Interface d'acquisition de données	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

## ÉQUIPEMENT ADDITIONNEL

La réalisation des expériences de ce manuel nécessite un ordinateur à microprocesseur 386 compatible IBM® fonctionnant dans un environnement Microsoft® Windows<sup>MD</sup>.

## Terminologie nouvelle

**Balais** – Bandes, lames ou blocs, habituellement en métal ou en carbone, montés sur le stator d'une machine tournante et effectuant un contact glissant avec le collecteur ou les bagues collectrices du rotor. Les balais permettent la circulation d'un courant entre le stator et le rotor d'une machine tournante.

**Collecteur** – Partie du rotor d'une machine tournante (moteur c.c., génératrice c.c., moteur universel, etc.) constituée d'un grand nombre de segments (barres parallèles en cuivre ou bandes isolées les unes des autres) raccordés aux enroulements du rotor. Lorsque le rotor tourne, ces segments entrent tour à tour en contact avec les balais et distribuent le courant aux enroulements du rotor. Le collecteur convertit le courant c.c. en courant c.a. ou le courant c.a., en courant c.c., selon que la machine fonctionne en moteur ou en génératrice.

**Couple magnétique** – Couple généré par des forces magnétiques.

**Couple** – Force de torsion appliquée à un objet. Le couple peut être exprimé en newtons-mètres (N·m) ou en livres-pouces (lbf·po). La puissance électrique appliquée à un moteur génère un couple qui le fait tourner. Une génératrice tourne à cause du couple qui est appliqué à son arbre par un moteur d'entraînement, une courroie ou un engrenage.

**Courant d'excitation** – Courant c.c. qui produit le champ magnétique fixe dans une machine tournante.

**Dynamomètre** – Dispositif utilisé pour mesurer la vitesse de rotation et le couple que génère un moteur en permettant l'application d'une force de freinage variable (couple opposé) à l'arbre du moteur sous essai.

**Électro-aimant** – Dispositif générant un champ magnétique lorsqu'un courant électrique le traverse. Une bobine de fil enroulé autour d'un noyau en fer constitue un exemple d'électro-aimant.

**Force magnétique** – Force d'attraction ou de répulsion entre des pôles magnétiques. Des pôles magnétiques identiques se repoussent, alors que des pôles magnétiques différents s'attirent.

**Génératrice** – Machine tournante qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique (c.a. ou c.c.) par induction électromagnétique.

**Glissement** – Dans une machine tournante, différence entre la vitesse du champ magnétique tournant et celle du rotor. Le glissement peut être exprimé en tours par minutes (tr/min) ou en pourcentage de la vitesse synchrone.

**Induction électromagnétique** – Génération d'une force électromotrice (f.é.m.), c'est-à-dire d'une tension, dans un circuit par variation du flux électromagnétique associé à ce circuit.

**Induit** – Partie tournante d'un moteur électrique ou d'une génératrice.

# Terminologie nouvelle

**Moteur c.c.** – Moteur électrique fonctionnant au moyen d'une source de tension c.c.

**Moteur électrique** – Machine tournante qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique par induction électromagnétique et interaction de champs magnétiques.

**Moteur c.a.** – Moteur électrique fonctionnant au moyen d'une source de tension c.a.

**Moteur d'entraînement** – Principale source de puissance mécanique de tout système mécanique nécessitant une force pour entraîner engrenages, courroies, volants inertiels, etc.

**Pôles magnétiques** – Parties d'un aimant desquelles sortent ou entrent les lignes de force magnétiques et où elles sont le plus concentrées. Par convention, les lignes de force magnétiques sortent du pôle nord magnétique et elles entrent au pôle sud magnétique.

**Puissance d'un moteur** – Puissance mécanique ( $P_m$ ) générée par un moteur et exprimée en watts (W). La puissance d'un moteur est obtenue en divisant le produit de sa vitesse  $n$  et de son couple  $T$  par 9,55 ( $P_m = n \times T/9,55$ ), lorsque la vitesse et le couple sont exprimés en tr/min et en N·m, respectivement. Le produit de la vitesse par le couple est divisé par 84,51 lorsque le couple est exprimé en lbf·po.

**Redresseur** – Composant électronique qui convertit une tension c.a. en tension c.c.

**Rendement d'un moteur** – Rapport de la puissance mécanique ( $P_m$ ) générée par un moteur sur la puissance électrique ( $P_{ENTRÉE}$ ) fournie à ce moteur,  $P_m / P_{ENTRÉE}$ .

**Rotor** – Partie tournante d'un moteur électrique ou d'une génératrice.

**Stator** – Partie non tournante d'un moteur électrique ou d'une génératrice.

**Vitesse** – Nombre de tours par unité de temps qu'effectue un moteur ou une génératrice en tournant. La vitesse est habituellement exprimée en tours par minutes (tr/min).

# Bibliographie

Jackson, Herbert W. *Introduction to Electric Circuits*, 5<sup>th</sup> édition,  
New Jersey: Prentice Hall, 1981.  
ISBN 0-13-481432-0

Wildi Theodore. *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 2<sup>nd</sup> édition,  
New Jersey: Prentice Hall, 1991.  
ISBN 0-13-251547-4

Wildi, Theodore. *Électrotechnique*, 2<sup>nd</sup> édition,  
Sainte-Foy: Les presses de l'Université Laval, 1991.  
ISBN 2-7637-7248-x