

Éléments de Circuits et Transformateurs

FESTO

Électricité et énergies
nouvelles

LabVolt Series

Manuel de l'étudiant

FESTO

Manuel de l'étudiant

Éléments de Circuits et Transformateurs



Allemagne

Festo Didactic SE
Rechbergstr. 3
73770 Denkendorf
Tél.: +49 711 3467-0
Télééc.: +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
Télééc.: +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
Télééc.: +1 418 849-1666
services.didactic@festo.com

www.festo-didactic.com

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic
fr
584080



Électricité et énergies nouvelles

Éléments de Circuits et Transformateurs

Manuel de l'étudiant

584080

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Numéro de manuel : 584080
Première édition
Niveau de révision : 09/2015

Par l'équipe de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 1997
Internet: www.festo-didactic.com
Courriel : did@de.festo.com

Imprimé au Canada
Tous droits réservés
ISBN 978-2-89289-360-1 (Version imprimée)
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 1997
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 1997

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

LVSIM[®]-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[®]-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[®]-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

Bloc 1 Principes fondamentaux de l'électrotechnique 1-1

Révision des concepts de base et des lois de l'électricité. Utilisation du système de mesure virtuel pour mesurer tension, courant et puissance.

Exp. 1-1 Tension, courant et loi d'Ohm 1-5

Définition des termes tension, courant et résistance. Démonstration de la loi d'Ohm en mesurant des paramètres du circuit.

Exp. 1-2 Résistance équivalente 1-13

Détermination de la résistance équivalente de différentes combinaisons de circuits série et parallèle. Vérification de calculs par la mesure de tensions et courants d'un circuit.

Exp. 1-3 Puissance dans les circuits c.c. 1-23

Distinctions entre énergie, travail et puissance. Détermination de la puissance de circuits c.c.; formule de la puissance.

Exp. 1-4 Circuits série et parallèle 1-33

Résolution de circuits à l'aide des lois des tensions et courants de Kirchhoff. Utilisation de paramètres mesurés dans le circuit pour confirmer les calculs théoriques.

Bloc 2 Courant alternatif 2-1

Introduction aux concepts associés au courant alternatif, aux signaux c.a., au déphasage et à la puissance instantanée.

Exp. 2-1 Le signal sinusoïdal 2-5

Définition du courant alternatif (c.a.), de l'amplitude (efficace, moyenne et crête), de la fréquence et de la phase de signaux c.a.

Exp. 2-2 Angle de phase 2-15

Définition de phase et mesure du déphasage. Déphasages positif et négatif.

Exp. 2-3 Puissance instantanée 2-21

Concept de la puissance instantanée. Puissance moyenne dissipée dans une charge résistive alimentée par une source c.a. Visualisation des signaux relatifs à la puissance instantanée.

Table des matières (suite)

Bloc 3 Condensateurs dans les circuits c.a. 3-1

Comportement des condensateurs dans les circuits c.a. Réactance capacitive, montage de condensateurs en parallèle et en série, et déphasage capacitif. Introduction aux concepts de puissances active, réactive et apparente.

Exp. 3-1 Réactance capacitive 3-3

Définition de réactance capacitive. Utilisation de la loi d'Ohm et de la mesure des tensions et courants du circuit pour déterminer la réactance capacitive.

Exp. 3-2 Capacité équivalente 3-11

Détermination de la capacité équivalente de différentes combinaisons de circuits série et parallèle. Vérification des calculs à l'aide des tensions et courants mesurés dans le circuit.

Exp. 3-3 Déphasage capacitif et puissance réactive 3-19

Mesure et démonstration du déphasage provoqué par les condensateurs entre la tension et le courant. Phénomène de la puissance réactive «négative».

Bloc 4 Bobines dans les circuits c.a. 4-1

Comportement des bobines dans les circuits c.a. Réactance inductive, combinaisons parallèle et série de bobines, et déphasage inductif. Puissances active, réactive et apparente associées aux bobines.

Exp. 4-1 Réactance inductive 4-3

Définition de la réactance inductive. Utilisation de la loi d'Ohm et de la mesure des tensions et courants du circuit pour déterminer la réactance inductive.

Exp. 4-2 Inductance équivalente 4-11

Détermination de l'inductance équivalente de différentes combinaisons de circuits série et parallèle. Vérification des calculs à l'aide des tensions et courants mesurés dans le circuit.

Exp. 4-3 Déphasage inductif et puissance réactive 4-19

Mesure et démonstration du déphasage entre la tension et le courant dans une bobine. Différences entre puissance réactive capacitive et puissance réactive inductive.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Table des matières (suite)

Bloc 5	Puissance, vecteurs de phase et impédance dans les circuits c.a.	5-1
	<i>Mesure des puissances active, réactive et apparente. Utilisation de vecteurs de phase et de l'impédance pour l'analyse de circuits c.a.</i>	
Exp. 5-1	Puissance dans les circuits c.a.	5-5
	<i>Mesure des puissances active, réactive et apparente. Définition du facteur de puissance. Ajout d'une capacité en parallèle avec une charge inductive afin d'améliorer un facteur de puissance faible.</i>	
Exp. 5-2	Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série	5-13
	<i>Définition de vecteurs et de vecteurs de phase. Utilisation de vecteurs et de vecteurs de phase pour l'analyse du fonctionnement de circuits c.a. série. Visualisation de vecteurs de phase de tension dans des circuits série RL, RC et RLC.</i>	
Exp. 5-3	Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle	5-25
	<i>Utilisation de vecteurs et de vecteurs de phase pour l'analyse du fonctionnement de circuits c.a. parallèle. Visualisation de vecteurs de phase de courant dans des circuits parallèle RL, RC et RLC.</i>	
Exp. 5-4	Impédance	5-33
	<i>Définition de l'impédance et de la loi d'Ohm dans les circuits c.a. Utilisation des concepts de l'impédance pour simplifier l'analyse de circuits c.a. complexes.</i>	
Bloc 6	Circuits triphasés	6-1
	<i>Concepts associés aux circuits triphasés, aux charges symétriques, aux raccords en étoile et en triangle et à la séquence de phase. Facteurs de puissance, mesure de la puissance triphasée, wattmètres et varmètres.</i>	
Exp. 6-1	Circuits triphasés équilibrés	6-3
	<i>Définition des tensions de ligne et de phase ainsi que des courants de ligne et de phase. Définition d'une charge triphasée symétrique. Raccordements en étoile et en triangle. Facteur $\sqrt{3}$ entre les valeurs de ligne et les valeurs de phase.</i>	

Table des matières (suite)

Exp. 6-2	Mesure de la puissance triphasée	6-15
	<i>Utilisation de la technique des deux wattmètres pour mesurer la puissance totale fournie à une charge triphasée. Facteur de puissance dans les circuits triphasés.</i>	
Exp. 6-3	Séquence de phase	6-29
	<i>Définition du phasage et son importance pour certains types de charges triphasées. Comment déterminer le phasage.</i>	
Bloc 7	Transformateurs monophasés	7-1
	<i>Principes de fonctionnement des transformateurs. Induction électromagnétique, charge du transformateur ainsi que configurations où les tensions s'additionnent et où elles s'opposent.</i>	
Exp. 7-1	Rapports des tensions et courants	7-5
	<i>Enroulements primaire et secondaire. Définition du rapport des enroulements ainsi que des configurations survolteur et dévolteur. Saturation d'un transformateur ainsi que caractéristiques des tensions et courants.</i>	
Exp. 7-2	Polarités d'un transformateur	7-13
	<i>Détermination des polarités des enroulements d'un transformateur. Raccord de ces enroulements de façon à ce que les tensions d'additionnent ou de façon à ce qu'elles s'opposent.</i>	
Exp. 7-3	Régulation d'un transformateur	7-21
	<i>Définition de la régulation d'un transformateur. Détermination de la régulation de tension d'un transformateur sous des charges variables. Charges inductive et capacitive.</i>	
Bloc 8	Raccordements particuliers de transformateurs	8-1
	<i>Différents raccordements des enroulements d'un transformateur afin d'obtenir des transformateurs à usage spécial. Caractéristiques de la puissance apparente (en volts-ampères).</i>	
Exp. 8-1	L'autotransformateur	8-3
	<i>Interconnexion des enroulements primaire et secondaire d'un transformateur standard pour obtenir un autotransformateur. Configurations survolteur et dévolteur.</i>	

Table des matières (suite)

Exp. 8-2	Transformateurs en parallèle	8-13
	<i>Raccordement de transformateurs en parallèle afin de générer une puissance de charge supérieure. Mesure du rendement de transformateurs raccordés en parallèle.</i>	
Exp. 8-3	Transformateurs de distribution	8-21
	<i>Introduction aux caractéristiques de base des transformateurs de distribution. Comportement d'un transformateur de distribution dans différentes conditions de charge.</i>	
Bloc 9	Transformateurs triphasés	9-1
	<i>Caractéristiques de fonctionnement des transformateurs triphasés. Les quatre types de raccordements en étoile et en triangle.</i>	
Exp. 9-1	Raccordement de transformateurs triphasés	9-3
	<i>Montage des configurations triangle-triangle et étoile-étoile. Observation et examen des caractéristiques de fonctionnement de chaque type de configuration. Vérification de la tension à l'intérieur du triangle.</i>	
Exp. 9-2	Rapport de tensions et de courants	9-13
	<i>Relations tension-courant entre le primaire et le secondaire de transformateurs triphasés raccordés selon les configurations triangle-étoile et étoile-triangle. Le facteur $\sqrt{3}$, déphasage entre le primaire et le secondaire.</i>	
Exp. 9-3	Configuration en triangle ouvert	9-21
	<i>Alimentation des charges symétriques triphasées à l'aide d'une configuration en triangle ouvert. Limites et précautions.</i>	
Annexes	A Symboles des schémas électriques	A-1
	B Tableau des impédances des modules de charge	B-1
	C Tableau d'utilisation de l'équipement	C-1
	D Terminologie nouvelle	D-1

Bibliographie

Votre opinion est importante!

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Introduction

Les 29 expériences de ce manuel, intitulé *Éléments de circuits et transformateurs*, constituent une base pour une étude plus approfondie de l'électrotechnique. En les effectuant, les étudiants acquerront de la facilité à effectuer celles se trouvant dans le manuel *Machines c.a./c.c.*, le deuxième volume de la série *Électrotechnique à l'aide de l'acquisition de données*.

Ce manuel comporte neuf blocs:

- Les blocs 1 à 4 constituent une révision élémentaire des concepts et de la théorie de l'électricité et ils mettent en relief des détails particuliers relatifs aux condensateurs, aux bobines et aux circuits monophasés.
- Le bloc 5 présente et explore le concept des vecteurs, des vecteurs de phase et de l'impédance ainsi que la façon dont ils sont utilisés dans l'analyse du fonctionnement des circuits c.a.
- Les blocs 6 à 9 traitent du raccordement des circuits triphasés, des transformateurs monophasés et triphasés ainsi que des transformateurs à raccordements particuliers.

Les expériences du présent manuel peuvent être effectuées au moyen du système didactique en électrotechnique (EMS) ou du système didactique en électrotechnique utilisant l'équipement de laboratoire virtuel (LVSIM[®]-EMS). Si vous utilisez le système EMS, avant chaque expérience, vous devrez mettre l'ordinateur sous tension, puis démarrer Windows[®]. Si vous utilisez plutôt LVSIM[®]-EMS, vous devrez mettre l'ordinateur sous tension, démarrer Windows[®], puis lancer LVSIM[®]-EMS.

Les expériences guident les étudiants dans le montage et l'utilisation du circuit. Elles permettent également l'exploration des nombreuses possibilités de mesure et d'observation du système de mesure virtuel. De l'information plus détaillée sur les paramètres des circuits (tensions et courants, signaux, angles de phase, 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 que chaque symbole représente, un schéma montrant l'équipement et, dans certains cas, 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, 220 V ca et 240 V ca des modules de charge EMS. L'Annexe C comporte un tableau décrivant de façon précise l'équipement nécessaire à la réalisation de chaque expérience. L'Annexe D explique comment installer et exécuter LVDAM.

Principes fondamentaux de l'électrotechnique

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de démontrer et d'appliquer les concepts élémentaires de résolution de circuits électriques simples à l'aide du Système d'acquisition et de gestion de données de Lab-Volt (LVDAM).

PRINCIPES FONDAMENTAUX

L'étude de l'électricité et des circuits électriques ne repose que sur quelques lois, principes, mots clés et termes fondamentaux. Les symboles utilisés pour les représenter sont universels et forment le vocabulaire de base des gens travaillant dans le domaine de l'électricité. Il est donc important d'apprendre ces symboles et cette terminologie. En électricité, que l'on parle de **tension** (E), **courant** (I), **résistance** (R), **puissance** (P) ou de tout autre concept, tous les paramètres sont représentés sous forme abrégée à l'aide de différents symboles. Cette symbologie est généralement normalisée selon les normes SI et IEEE, et les symboles utilisés dans ce manuel sont conformes aux normes internationales. L'annexe A comporte de nombreux symboles et termes couramment utilisés dans les circuits électriques.

Pour mieux comprendre la relation entre la tension, le courant et la résistance, il est utile d'acquérir une compréhension élémentaire de la nature de l'électricité. L'électricité n'est qu'une autre forme d'énergie. Présente sous diverses formes, c'est-à-dire atomique, chimique, thermique, hydraulique, etc., l'énergie peut passer d'une forme à une autre. Par exemple, l'énergie chimique d'une pile sèche fournit de l'électricité pour alimenter des dispositifs électroniques de la vie quotidienne.

L'électricité est intimement liée à la structure atomique de la matière et l'électron est l'une des particules atomiques dont la matière est constituée. Il possède une charge électrique négative et tourne autour du noyau atomique. Puisque la charge du noyau est positive, celui-ci attire l'électron et le maintient chargé négativement. Plus l'électron est éloigné du noyau, plus la force atomique qui l'attire est faible. Aussi, nous savons que certains matériaux, appelés conducteurs, possèdent sur leur dernière couche des électrons pouvant facilement être délogés par une force extérieure, comme le chauffage ou l'application d'un **champ électrique**. Les électrons ainsi chassés de leur orbite deviennent des «électrons libres» et se déplacent entre les atomes. Cela fait circuler un courant électrique qui correspond simplement au déplacement simultané d'un grand nombre d'électrons.

Après cette simple et brève explication, il apparaît évident que les matériaux dont les couches électroniques sont près les unes des autres et près du noyau ne permettent pas une circulation de courant importante. Ces matériaux sont appelés isolants. La céramique, le plastique et le caoutchouc sont des exemples d'isolants, alors que le cuivre, l'aluminium et l'or sont des exemples de conducteurs.

Principes fondamentaux de l'électrotechnique

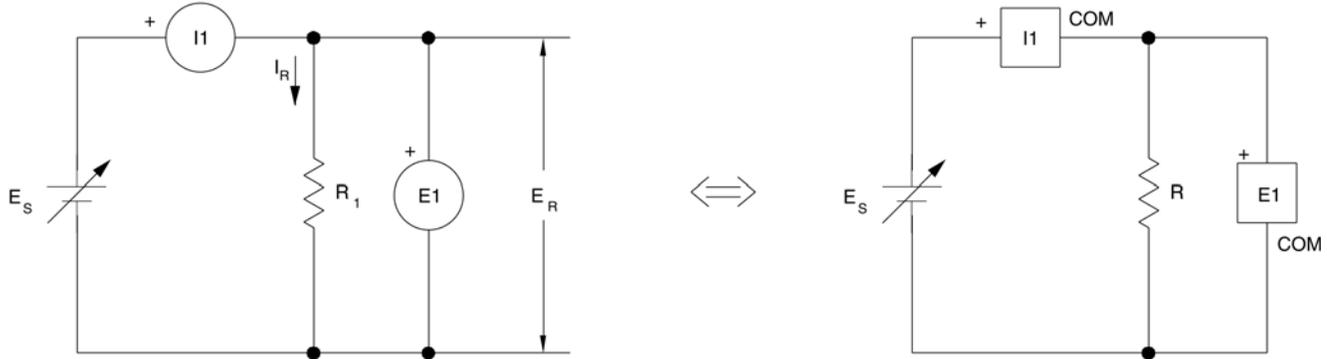


Figure 1-1. Circuit électrique illustrant la relation entre E, I et R.

L'un des principes les plus importants utilisés lors de l'étude de l'électricité est la **loi d'Ohm**, selon laquelle, pour un circuit donné, le rapport de la tension appliquée sur le courant est une constante. Cette constante est symbolisée par R et représente une propriété appelée résistance. La loi d'Ohm peut être exprimée par la formule suivante:

$$E \text{ (tension appliquée)} / I \text{ (courant du circuit)} = R \text{ (résistance du circuit).}$$

La relation entre E, I et R est illustrée à la figure 1-1, qui représente un circuit électrique simple dans lequel une source de tension E_S à courant continu (c.c.) est raccordée aux bornes d'une résistance R. Un ampèremètre est raccordé pour mesurer le courant I_R circulant dans la résistance et un voltmètre est raccordé pour mesurer la chute de tension E_R aux bornes de la résistance.

Le circuit simple de la figure 1-1 peut également être utilisé pour démontrer un autre concept important en électricité: *la puissance*. Lorsqu'un courant circule dans la résistance, elle chauffe. Cela signifie qu'elle consomme de l'électricité ou de la puissance. Le seul endroit d'où peut provenir cette puissance est la source de puissance, dans ce cas-ci, la source de tension c.c. La formule mathématique liant tension, courant et puissance est $P = E \times I$. La loi d'Ohm permet d'exprimer la formule de la puissance en termes de tension et de résistance du circuit, ou de courant et de résistance du circuit. Par substitution de E ou I dans la loi d'Ohm, on obtient $P = E^2 / R$ ou $P = I^2 \times R$. Cela signifie que la puissance peut être calculée en utilisant soit le courant, soit la tension, et qu'il n'est pas nécessaire de connaître ces deux valeurs pour la calculer.

Un autre ensemble de principes fondamentaux utilisés lors de l'analyse et de l'étude de l'électricité est basé sur les règles appelées **lois des tensions et courants de Kirchhoff**. La figure 1-2 sera utilisée pour expliquer ces principes. Lorsqu'un circuit comporte deux résistances et une source de tension raccordées comme à la figure 1-2(a), un courant I circule et produit les chutes de tension E_{R1} et E_{R2} aux bornes des résistances R1 et R2. Dans ce cas, la loi des tensions de Kirchhoff dit que la somme de toutes les chutes de tension d'un **circuit série** est égale à la tension appliquée. Donc, $E_S = E_{R1} + E_{R2}$.

Principes fondamentaux de l'électrotechnique

Dans le cas des deux résistances formant le **circuit parallèle** de la figure 1-2(b), il est évident que la tension aux bornes de R_3 et celle aux bornes de R_4 sont identiques. Cependant, le courant de la branche formée par chacune des résistances est différent. Puisque le courant ne peut s'accumuler en un point du circuit, la somme des courants de chacune des branches est égale au courant total généré par la source: $I_S = I_{R3} + I_{R4}$. Cette conclusion est directement liée à la loi des courants de Kirchhoff, selon laquelle la somme algébrique des courants entrant en un point d'un circuit est égale à la somme algébrique des courants sortant en ce point.

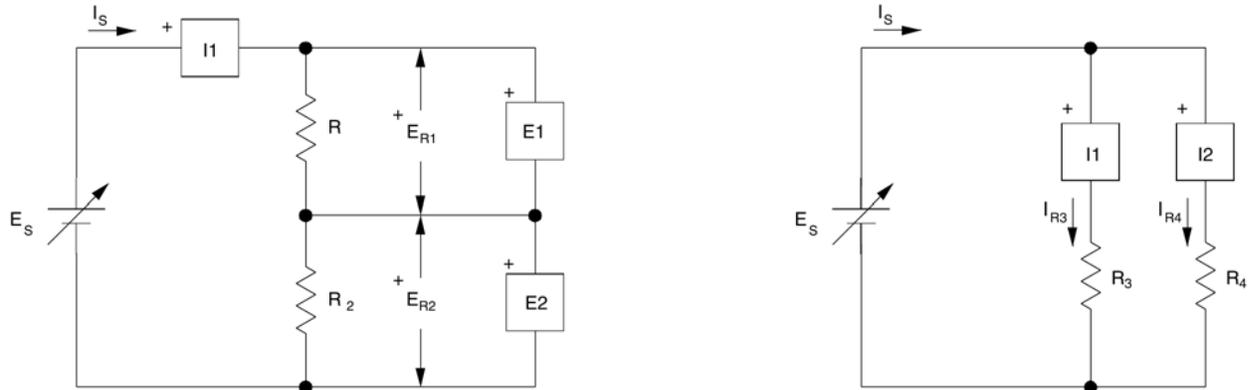


Figure 1-2.(a) Loi des tensions de Kirchhoff, (b) loi des courants de Kirchhoff.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Tension, courant et loi d'Ohm

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez capable de mesurer les tensions et courants d'un circuit ainsi que de démontrer la loi d'Ohm au moyen de ces tensions et courants mesurés.

PRINCIPES

Les premiers expérimentateurs en électricité ont déterminé que le courant électrique était le déplacement de charges le long d'un conducteur. Le sens de circulation du courant leur était inconnu et ils ont déterminé arbitrairement que le courant circulait d'un corps chargé positivement vers un corps chargé négativement (positif vers le négatif). Cette convention a été si fermement établie qu'elle est maintenant presque universelle. Donc, le sens conventionnel, ou positif, de circulation du courant est du positif vers le négatif, même si le sens de circulation de l'électron est du négatif vers le positif. Dans ce manuel, le sens conventionnel de circulation du courant, c'est-à-dire d'une borne positive à une borne négative, est utilisé.

Indépendamment du sens de circulation du courant, il y a un autre concept qui est lié à la nature de l'électricité. Il s'agit de la différence de potentiel, ou tension, entre deux points ou deux bornes. Puisque sous l'influence d'un champ électrique externe on peut faire se déplacer des électrons le long d'un conducteur, la force servant à les déplacer est augmentée si la force extérieure appliquée augmente. Le concept de différence de potentiel ressemble à celui de la pression hydraulique. Un barrage d'une hauteur de 1000 mètres produit une pression supérieure sur l'eau circulant dans un tuyau qu'un barrage d'une hauteur de 100 mètres peut le faire. Cela est dû au fait que l'énergie potentielle augmente avec la hauteur du barrage. Une tension de 100 V exercera donc une pression électrique supérieure à celle exercée par une tension de 10 V dans un circuit. Les génératrices mécaniques et les alternateurs, les accumulateurs au plomb et les piles sèches ainsi que les piles photoélectriques ne sont que quelques-unes des sources d'électricité générant différentes pressions électriques, ou tensions.

La résistance est l'opposition à la circulation d'un courant électrique dans un circuit et elle dépend de nombreux facteurs. Bien que le fil de cuivre soit considéré comme un bon conducteur d'électricité, il offre tout de même une résistance à la circulation d'un courant électrique. Un physicien allemand du nom de George Simon Ohm (1787-1854) a découvert que le rapport de la tension sur le courant est constant pour un conducteur métallique d'une longueur et d'une section données. Ce rapport est appelé résistance et il est exprimé en ohms (Ω) en son honneur.

Tension, courant et loi d'Ohm

La loi d'Ohm est souvent considérée comme la base de l'analyse de circuits et elle est exprimée par la formule:

$$R = E / I$$

où E est la différence de potentiel, ou tension, aux bornes d'un élément résistif,
 I est le courant circulant dans cet élément résistif et
 R est la résistance de cet élément résistif.

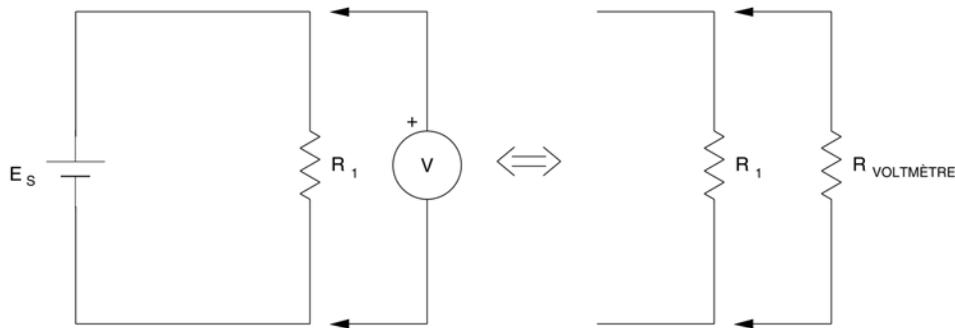
À partir de la loi d'Ohm, on peut déterminer deux formules utiles:

$$I = E / R \text{ et } E = I R.$$

Ces formules disent simplement que pour qu'il y ait circulation d'un courant, il doit d'abord y avoir une tension aux bornes d'un élément résistif et que le produit de I (en ampères) par R (en ohms) est égal à cette tension.

L'appareil de mesure de base servant à mesurer la résistance est l'ohmmètre. Il comporte généralement une source de tension c.c. (habituellement une pile), un ampèremètre et un sélecteur de gammes servant à choisir des résistances d'étalonnage internes. Son échelle est étalonnée en termes de résistance générant un courant donné. La résistance inconnue est placée aux bornes de l'ohmmètre et sa valeur peut être lue sur l'échelle ou l'afficheur de ce dernier.

Le volt (V) est l'unité de mesure de la différence de potentiel et la tension est mesurée à l'aide d'un voltmètre. Les voltmètres ont une résistance interne élevée afin de minimiser le courant circulant dans leurs fils. Leur effet sur le fonctionnement du circuit est donc minimal. Ils sont toujours raccordés en parallèle au circuit ou au composant, comme à la figure 1-3.



REMARQUE: LORSQUE $R_{\text{VOLTMETRE}}$ EST TROP FAIBLE, CELA RÉDUIT LA RÉSISTANCE DU CIRCUIT ET PROVOQUE LA CIRCULATION D'UN COURANT PLUS ÉLEVÉ.

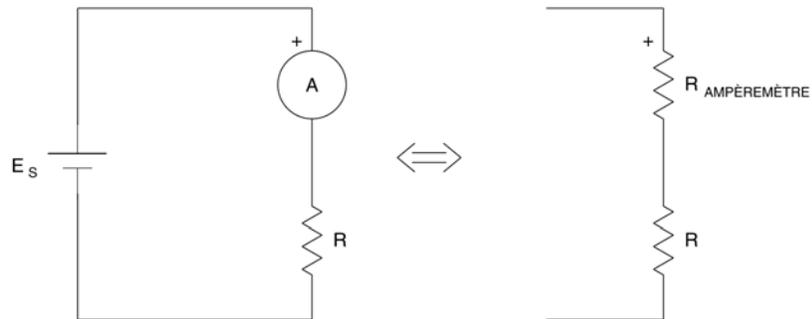
Figure 1-3. Mesure de la tension à l'aide d'un voltmètre.

Il est à remarquer que pour mesurer une valeur positive, les polarités indiquées sur les fils de l'appareil de mesure analogique standard doivent être respectées. Si elles sont inversées, l'aiguille indiquera une valeur négative.

Tension, courant et loi d'Ohm

L'ampère (A) est l'unité de mesure du courant électrique, qui est mesuré à l'aide d'un ampèremètre. Les ampèremètres possèdent également une faible résistance interne, afin de minimiser l'effet de l'ajout d'une résistance supplémentaire au circuit et d'éviter ainsi une charge inutile. Les ampèremètres sont toujours raccordés en série avec le circuit, comme à la figure 1-4.

Lors du raccord d'un ampèremètre analogique, les polarités doivent également être respectées, afin d'assurer que l'aiguille se déplace dans le sens approprié.



REMARQUE: LORSQUE $R_{\text{AMPÈREMÈTRE}}$ EST TROP ÉLEVÉE, CELA AUGMENTE LA RÉSISTANCE DU CIRCUIT ET PROVOQUE LA CIRCULATION D'UN COURANT PLUS FAIBLE.

Figure 1-4. Mesure du courant à l'aide d'un ampèremètre.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Utilisez un ohmmètre pour vérifier la résistance d'une paire de bornes d'entrée de tension (E1, E2 et E3) du module Interface d'acquisition de données (I.A.D.).

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

Tension, courant et loi d'Ohm

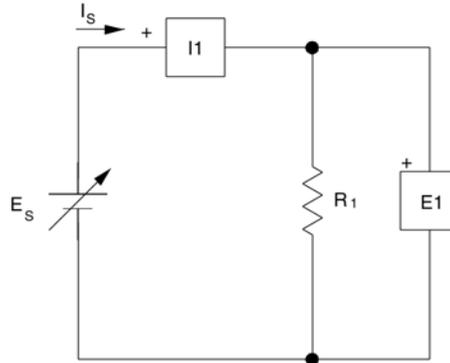
- 2. Utilisez un ohmmètre pour vérifier la résistance d'une paire de bornes d'entrée de courant (I1, I2, I3) du module Interface d'acquisition de données (I.A.D.).

$$R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

- 3. La résistance d'entrée du voltmètre est-elle beaucoup plus élevée que la résistance d'entrée de l'ampèremètre? Pourquoi?

- 4. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 5. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 7-N CC. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée et vérifiez si le voltmètre intégré indique 0 V.
- 6. Montez le circuit de la figure 1-5. Raccordez le voltmètre E1 de l'I.A.D. aux bornes de R et utilisez l'ampèremètre I1 de l'I.A.D. pour mesurer le courant circulant dans le circuit. Pour mesurer tensions et courants, assurez-vous que les polarités sont respectées lors du raccordement de l'I.A.D. et que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de cette dernière est raccordée au Bloc d'alimentation.
- 7. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'interrupteur principal de l'ordinateur à la position I (marche).
- 8. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES11-1.dai. Il est à remarquer que l'installation des fichiers de configuration des appareils de mesure n'est pas essentielle à la réalisation des expériences. Ces fichiers sont considérés comme un point de départ et ils peuvent être modifiés en tout temps pendant l'expérience.

Tension, courant et loi d'Ohm



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)
120	171
220	629
240	686

REMARQUE: UTILISER LE TABLEAU D'IMPÉDANCE EN ANNEXE POUR DÉTERMINER LA VALEUR DES RÉSISTANCES NÉCESSAIRES AU CIRCUIT.

Figure 1-5. Montage du circuit pour la mesure des tensions et courants.

- 9. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).
- 10. Réglez le bouton de commande de la tension de sortie du Bloc d'alimentation de façon à obtenir des tensions variant de 0 à 100% de la course du bouton de commande. Sept ou huit valeurs suffiront. Pour chacune, cliquez sur le bouton *Enregistrer* afin d'entrer la donnée dans le *Tableau de données*. Après la dernière acquisition de données, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Remarque : Il faut que la fenêtre *Tableau de données* soit ouverte pour que les données soient enregistrées.

- 11. Vérifiez si les valeurs ont été enregistrées dans le *Tableau de données*.
- 12. Cliquez sur le bouton *Graphique* afin d'afficher l'écran *Graphique Tableau de données*. Choisissez les éléments suivants:

Axe des Y: E1

Axe des X: I1

Tension, courant et loi d'Ohm

13. Dans la fenêtre Graphique du menu Affichage, assurez-vous d'avoir sélectionné Graphique continu et Échelle linéaire. Une représentation graphique des données devrait apparaître.

14. Ce graphique montre-t-il que le courant double, triple, etc., lorsque la tension double ou triple?
-

15. Calculez le rapport E / I pour plusieurs valeurs tension/courant. Ce rapport est-il presque égal à la résistance utilisée dans le circuit?
-

16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à 100% pour le circuit de la figure 1-5. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour enregistrer le courant mesuré dans le *Tableau de données*, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

17. Calculez le rapport E / R pour la manipulation 16. Est-il égal au courant I?

$$\frac{E}{R} = \text{_____ A}$$

- Oui Non

18. Remplacez la résistance du circuit par la résistance R_2 . Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension de façon à obtenir un courant d'environ 0,6 A. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour enregistrer la tension mesurée dans le *Tableau de données*, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

19. Le produit $I \times R_2$ est-il égal à la tension E?

- Oui Non

20. Vous allez maintenant utiliser la tension et le courant mesurés pour déterminer la résistance équivalente d'un circuit. En utilisant le même circuit, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à environ 100%. Sur le module Charge résistive, choisissez une configuration parallèle

Tension, courant et loi d'Ohm

permettant la circulation d'un courant d'environ 0,6 A dans le circuit. Au besoin, réglez à nouveau le bouton de commande de la tension de façon à conserver une tension stable.

21. À l'aide de la tension E et du courant I , calculez la résistance équivalente.

$$R_{\text{ÉQ}} = E/I = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

22. 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). Tout en prenant soin de ne pas modifier la position des sélecteurs du module Charge résistive, débranchez le circuit. Utilisez un ohmmètre pour mesurer la résistance équivalente du module.

$$R_{\text{ÉQ}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

23. Les résultats obtenus aux manipulations 21 et 22 sont-ils similaires?

Oui Non

24. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez utilisé la tension et le courant pour démontrer la loi d'Ohm et vous avez déterminé tension, courant et résistance équivalente inconnus. Vous avez également constaté que la loi d'Ohm peut être utilisée pour calculer la tension, le courant et la résistance dans un circuit.

EXERCICES

1. Un voltmètre dont la résistance interne est de 10 000 Ω par volt a un effet moindre sur le fonctionnement d'un circuit qu'un voltmètre dont la résistance interne est de 30 000 Ω par volt?
 - a. Vrai.
 - b. Faux.
 - c. Cela dépend de la tension du circuit.
 - d. Il n'y a aucune différence.

Tension, courant et loi d'Ohm

2. La résistance interne d'un ampèremètre est égale à la résistance équivalente d'un circuit dans lequel des mesures doivent être effectuées. Quel sera l'effet produit sur le courant?
 - a. Il n'y aura aucun effet.
 - b. Le courant diminuera de moitié.
 - c. Le courant doublera.
 - d. Le courant triplera.

3. Le terme «différence de potentiel» correspond à la pression électrique d'une source de tension provoquant la circulation d'un courant dans un circuit.
 - a. Vrai.
 - b. Faux.
 - c. Vrai seulement dans les circuits c.c.
 - d. Aucune de ces réponses.

4. Quelle est la résistance d'un circuit dans lequel circule un courant de 2,5 A lors de l'application d'une tension c.c. de 120 V?
 - a. 300 Ω .
 - b. 48 Ω .
 - c. 0,03 Ω .
 - d. 480 Ω .

5. Quelle tension doit-on appliquer aux bornes d'une résistance de 15 Ω pour provoquer la circulation d'un courant de 3 A?
 - a. 5 V.
 - b. 0,2 V.
 - c. 45 V.
 - d. 50 V.

Résistance équivalente

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la résistance équivalente de différentes combinaisons de résistances en série et en parallèle. Vous allez également être en mesure d'expliquer le concept de résistance équivalente à l'aide des informations données dans l'expérience.

PRINCIPES

La plupart des circuits électriques sont constitués de différentes combinaisons de résistances en série et en parallèle. La résistance équivalente de tout le circuit dépend de la façon dont les résistances sont raccordées.

Résistances en série

Lorsque des résistances sont raccordées en série, la résistance totale est égale à la somme de chacune des résistances. Si une résistance de $5\ \Omega$ est raccordée en série avec une résistance de $20\ \Omega$, comme à la figure 1-6, la résistance totale entre les bornes A et B est de $25\ \Omega$.

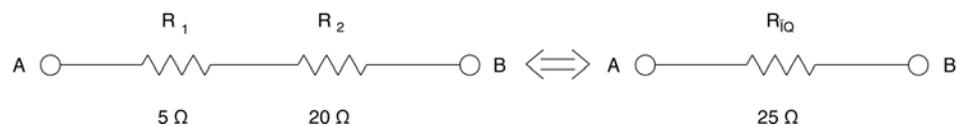


Figure 1-6. Résistances en série.

Ces deux résistances peuvent être remplacées par une seule résistance équivalente, $R_{ÉQ}$, égale à $R_1 + R_2$, dans ce cas-ci $25\ \Omega$. La formule générale pour plusieurs résistances en série est:

$$R_{ÉQ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N.$$

Résistances en parallèle

Lorsque deux ou plusieurs résistances sont raccordées en parallèle entre deux bornes, la résistance équivalente est toujours inférieure à la résistance la plus faible. Si, comme à la figure 1-7, la résistance initiale entre les bornes A et B est modifiée par l'ajout d'une résistance de $20\ \Omega$ en parallèle avec la résistance de $5\ \Omega$, il est évident que l'opposition à la circulation du courant sera inférieure, car le courant pourra circuler dans une branche additionnelle qui n'était pas disponible lorsque la résistance de $5\ \Omega$ était seule dans le circuit. Tout comme l'eau, le courant électrique circule dans toutes les branches disponibles. Lorsqu'une résistance est raccordée

Résistance équivalente

aux bornes d'une source de tension, le courant circule dans cette résistance. Lorsqu'une deuxième résistance est raccordée en parallèle avec la première, un courant additionnel circule, ce qui signifie que la résistance totale du circuit est réduite. Si la deuxième résistance est de la même valeur que la première, le même courant circule dans chacune. L'ajout d'une résistance de même valeur a donc pour effet de doubler le courant ou de diminuer de moitié la résistance. Si une troisième résistance de même valeur est ajoutée, le courant est triplé, ce qui signifie que la résistance équivalente n'est plus que le tiers de la résistance initiale. Cette relation est valide pour tout nombre de résistances de même valeur. La distribution du courant dans les diverses branches en parallèle est toujours en fonction de la somme des réciproques des résistances de chacune des branches. La formule pour trouver la résistance équivalente d'un groupe de résistances en parallèle est:

$$1/R_{\text{ÉQ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N.$$

Dans le cas particulier où seulement deux résistances sont en parallèle, la formule devient:

$$R_{\text{ÉQ}} = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$$

Donc, 20 Ω en parallèle avec 5 Ω font $100/25 = 4 \Omega$, ce qui signifie que R_1 et R_2 pourraient être remplacées par une seule résistance $R_{\text{ÉQ}} = 4 \Omega$.

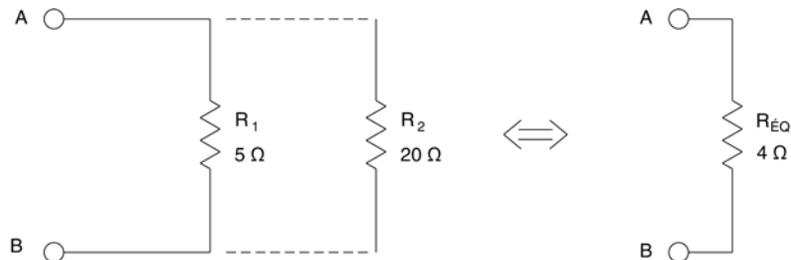


Figure 1-7. Résistances en parallèle.

Le module Charge résistive du système EMS comporte trois sections identiques de trois résistances chacune pouvant être ajoutées à un circuit à l'aide de commutateurs à bascule. La valeur sélectionnée apparaît aux bornes de sortie de chaque section lorsque le commutateur approprié est fermé et deux résistances, ou les trois, peuvent être placées en parallèle. La résistance parallèle équivalente se trouve alors entre les bornes de sortie. Cette configuration de résistances permet le montage de différentes résistances. Vous trouverez en annexe de ce manuel un tableau comportant plusieurs valeurs de ces résistances. Parmi les différentes configurations de circuits et de résistances possibles, les quatre montrées à la figure 1-8 seront utilisées tout au long de ce manuel.

Résistance équivalente

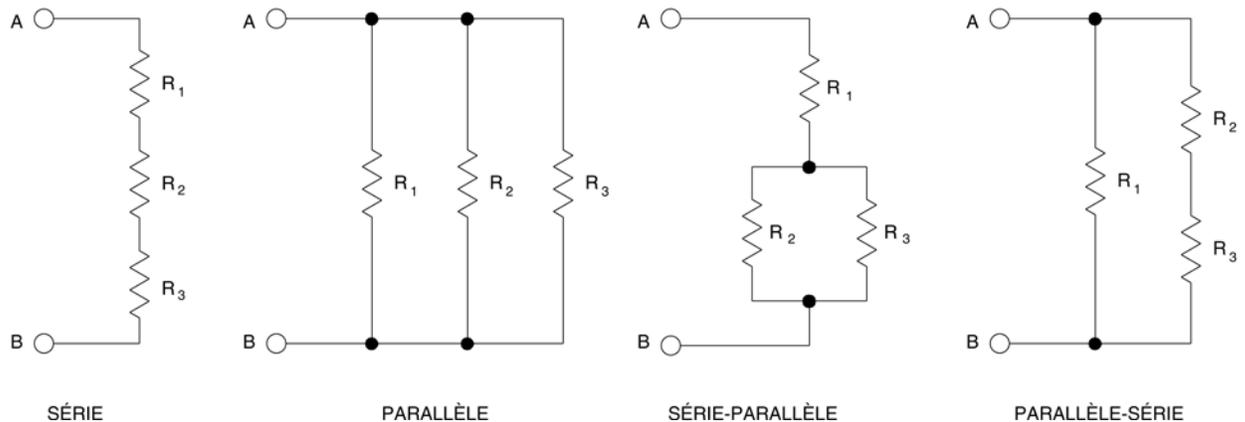


Figure 1-8. Différentes combinaisons de résistances en série et en parallèle.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

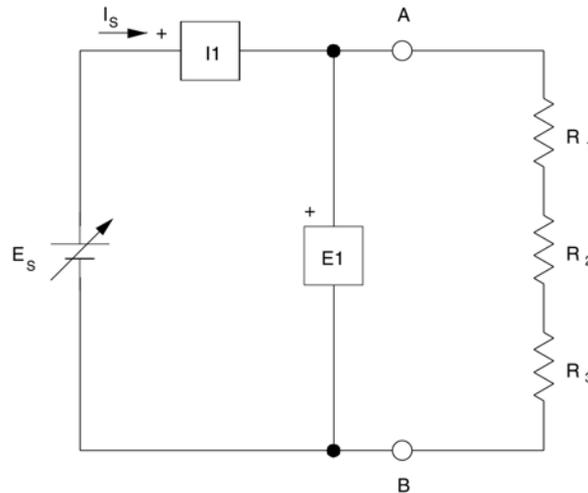
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 7-N CC. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée et vérifiez si le voltmètre intégré indique 0 V.
- 3. Montez le circuit série de la figure 1-9. Raccordez le voltmètre E1 de l'I.A.D. entre les points A et B du circuit, et utilisez l'ampèremètre I1 de l'I.A.D. pour mesurer le courant circulant dans le circuit. Pour mesurer tensions et courants, assurez-vous que les polarités sont respectées lors du raccordement de l'I.A.D. et que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de cette dernière est raccordée au Bloc d'alimentation.

Résistance équivalente



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)
120	171	200	240
220	629	733	880
240	686	800	960

Figure 1-9. Détermination de la résistance équivalente d'un circuit série.

- 4. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'interrupteur principal de l'ordinateur à la position I (marche).
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES11-2.dai. Il est à remarquer que la configuration des appareils de mesure peut être modifiée au cours de l'expérience. Cette expérience a été rédigée en utilisant celle indiquée ci-dessus.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche), et réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 1-9. À partir de l'écran *Appareils de mesure*, cliquez sur le bouton *Enregistrer* afin d'enregistrer dans le *Tableau de données* les tensions et courants mesurés. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).
- 7. Calculez la résistance équivalente du circuit série de la figure 1-9.

$$R_{\text{ÉQ}} = R_1 + R_2 + R_3 = \text{---} \Omega$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Résistance équivalente

8. À l'aide de la tension et du courant mesurés, calculez la résistance équivalente $R_{\text{ÉQ}}$.

$$R_{\text{ÉQ}} = E / I = \text{_____} \Omega$$

9. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et utilisez un ohmmètre pour mesurer la résistance équivalente du circuit.

$$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____} \Omega$$

10. Les résultats des manipulations 7, 8 et 9 concordent-ils?

Oui Non

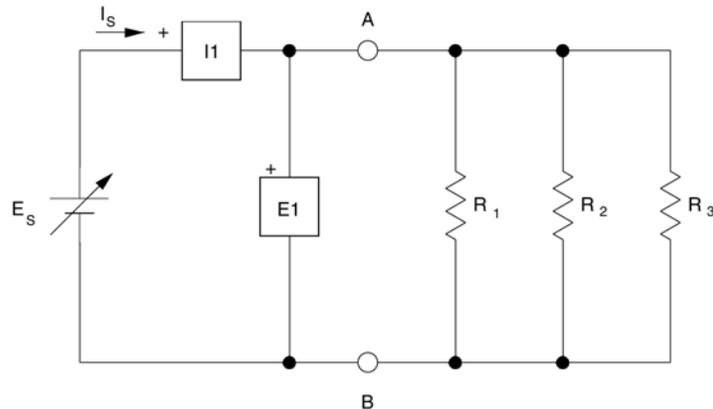
11. Montez le circuit parallèle de la figure 1-10. Raccordez le voltmètre E1 de l'I.A.D. entre les points A et B du circuit et utilisez l'ampèremètre I1 de l'I.A.D. pour mesurer le courant circulant dans le circuit. Pour mesurer tensions et courants, assurez-vous que les polarités sont respectées lors du raccordement de l'I.A.D. et que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de cette dernière est raccordée au Bloc d'alimentation.

12. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à la tension E_s indiquée. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour enregistrer dans le *Tableau de données* les tensions et courants mesurés, comme précédemment. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

13. Calculez la résistance équivalente du circuit de la figure 1-10.

$$1/R_{\text{ÉQ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 = \text{_____} \Omega$$

Résistance équivalente



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)
120	300	600	1200
220	1100	2200	4400
240	1200	2400	4800

Figure 1-10. Détermination de la résistance équivalente d'un circuit parallèle.

14. À l'aide des tensions et courants mesurés dans le circuit de la figure 1-10, calculez la résistance équivalente.

$$R_{\text{ÉQ}} = E / I = \text{_____ } \Omega$$

15. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et utilisez un ohmmètre pour mesurer la résistance équivalente du circuit.

$$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____ } \Omega$$

16. Les résultats obtenus aux manipulations 13, 14 et 15 concordent-ils?

Oui Non

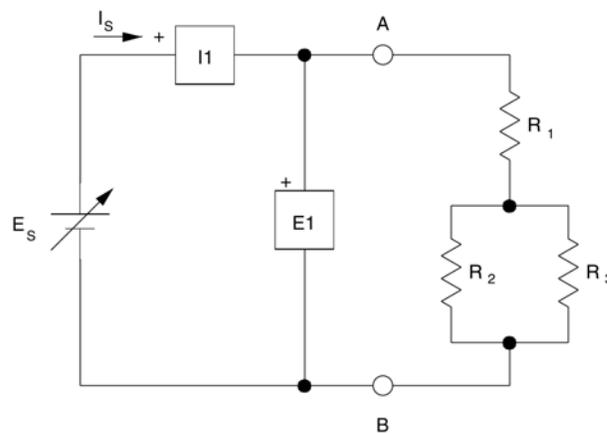
17. Montez le circuit série-parallèle de la figure 1-11. Raccordez le voltmètre E1 de l'I.A.D. entre les points A et B du circuit et utilisez l'ampèremètre I1 de l'I.A.D. pour mesurer le courant circulant dans le circuit. Pour mesurer tensions et courants, assurez-vous que les polarités sont respectées lors du raccordement de l'I.A.D. et que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de cette dernière est raccordée au Bloc d'alimentation.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Résistance équivalente

18. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez la tension E_s et utilisez le bouton *Enregistrer* pour enregistrer les tensions et courants dans le *Tableau de données*, comme précédemment. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).
19. Calculez la résistance équivalente du circuit de la figure 1-11.

$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____ } \Omega$



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)
120	171	300	600
220	629	1100	2200
240	686	1200	2400

Figure 1-11. Détermination de la résistance équivalente d'un circuit série-parallèle.

20. À l'aide des tensions et courants mesurés dans le circuit de la figure 1-11, calculez la résistance équivalente.

$R_{\text{ÉQ}} = E / I = \text{_____ } \Omega$

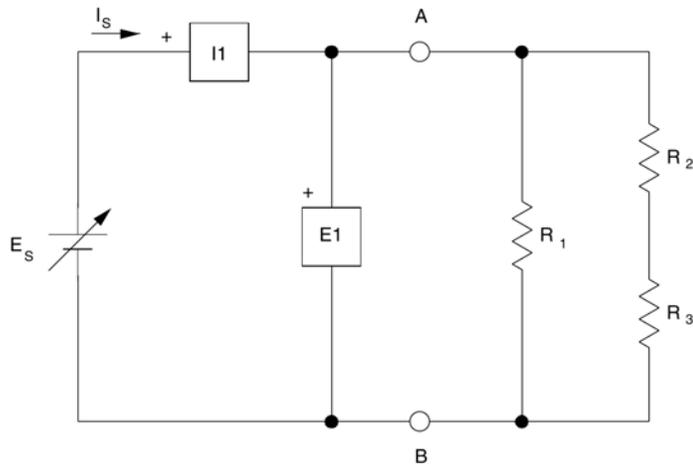
21. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et utilisez un ohmmètre pour mesurer la résistance équivalente du circuit.

$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____ } \Omega$

Résistance équivalente

22. Les résultats obtenus aux manipulations 19, 20 et 21 concordent-ils?
- Oui Non
23. Montez le circuit parallèle-série de la figure 1-12. Raccordez le voltmètre E1 de l'I.A.D. entre les points A et B du circuit, et utilisez l'ampèremètre I1 de l'I.A.D. pour mesurer le courant circulant dans le circuit. Pour mesurer tensions et courants, assurez-vous que les polarités sont respectées lors du raccordement de l'I.A.D. et que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de cette dernière est raccordée au Bloc d'alimentation.
24. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez la tension E_s et utilisez le bouton *Enregistrer* pour enregistrer les tensions et courants dans le *Tableau de données*, comme précédemment. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).
25. Calculez la résistance équivalente du circuit de la figure 1-12.

$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____ } \Omega$



TENSION DE LIGNE (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	300	171	200
220	1100	629	733
240	1200	686	800

Figure 1-12. Détermination de la résistance équivalente d'un circuit parallèle-série.

Résistance équivalente

26. À l'aide des tensions et courants mesurés dans le circuit de la figure 1-12, calculez la résistance équivalente.

$$R_{\text{ÉQ}} = E / I = \text{_____} \Omega$$

27. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt) et utilisez un ohmmètre pour mesurer la résistance équivalente du circuit.

$$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____} \Omega$$

28. Les résultats obtenus aux manipulations 25, 26 et 27 concordent-ils?

Oui Non

29. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé la résistance équivalente de différentes configurations de résistances en utilisant les formules servant à calculer les résistances équivalentes série et parallèle. Vous avez également mesuré des tensions et courants de circuits, afin d'en trouver la résistance équivalente, et vous avez réussi à comparer les valeurs calculées aux vraies valeurs mesurées à l'aide d'un ohmmètre.

EXERCICES

- Quelle est la formule permettant de calculer la résistance équivalente d'un circuit série?
 - $1/R_{\text{ÉQ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - $R_{\text{ÉQ}} = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$.
 - $R_{\text{ÉQ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - $R_{\text{ÉQ}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N$.

Résistance équivalente

2. Quelle formule est utilisée pour calculer la résistance équivalente d'un circuit parallèle?
 - a. $R_{\text{ÉQ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - b. $R_{\text{ÉQ}} = (R_1 + R_2)/(R_1 \times R_2)$.
 - c. $1/R_{\text{ÉQ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - d. $R_{\text{ÉQ}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N$.

3. Si les trois résistances de la figure 1-10 étaient de 100 Ω chacune, la résistance équivalente serait:
 - a. 300 Ω .
 - b. $1/3$ Ω .
 - c. 33,3 Ω .
 - d. impossible à calculer.

4. Si une résistance de 100 Ω était raccordée entre les points A et B illustrés à la figure 1-11, la résistance équivalente du circuit serait:
 - a. supérieure.
 - b. inférieure.
 - c. la même.
 - d. impossible à calculer.

5. La résistance équivalente d'un circuit comportant 100 résistances de 100 Ω en parallèle raccordées en série avec une résistance de 1 Ω est:
 - a. 100 Ω .
 - b. 10 000 Ω .
 - c. $(1/100) \times 100$ Ω .
 - d. 2 Ω .

Puissance dans les circuits c.c.

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la puissance dissipée dans un circuit c.c. Vous allez vérifier la puissance calculée en mesurant tensions et courants.

PRINCIPES

Dans un circuit électrique, une source de tension est utilisée pour fournir de l'énergie à une charge. La charge utilise cette énergie pour remplir une fonction ou effectuer un travail. En électricité, le travail est effectué par le mouvement des électrons et la puissance correspond à la vitesse d'exécution de ce travail. *Une force électromotrice de 1 volt produisant la circulation d'un courant d'un ampère dans une résistance de 1 Ω est égale à une puissance de 1 watt.* Dans les circuits c.c., la puissance fournie à une charge est toujours égale au produit de la tension c.c. aux bornes de cette charge par le courant c.c. circulant dans cette charge.

Cet énoncé ainsi que la loi de conservation de l'énergie nous permettent de conclure que la puissance dissipée par la combinaison de plusieurs résistances dans un circuit est égale à la puissance totale fournie par la source. La puissance totale peut être obtenue en additionnant la puissance dissipée par chacune des résistances.

Lorsque de l'énergie électrique est fournie à une résistance, elle est immédiatement convertie en chaleur et la résistance chauffe. Plus la puissance fournie à la résistance est élevée, plus la résistance devient chaude. Elle chauffe jusqu'à ce qu'elle-même, ou l'un des composants, grille. Pour demeurer à des températures acceptables, les résistances devant dissiper une puissance élevée sont plus grosses physiquement, alors que celles ne devant dissiper qu'une faible puissance sont plus petites. C'est pourquoi les dimensions d'une résistance dépendent presque entièrement de la puissance qu'elle doit dissiper et non de sa valeur ohmique. Les lampes de 100 W sont donc physiquement plus grosses que celles de 60 W. Cela en permet un meilleur refroidissement par convection et par radiation.

La formule servant à déterminer la puissance d'un circuit c.c. est:

$$P = E \times I$$

où

P = la puissance, en watts (W),

E = la tension, en volts (V),

I = le courant, en ampères (A).

D'autres formules utiles peuvent être déterminées à partir de celle de la puissance:

$$E = P/I \text{ et } I = P/E$$

Puissance dans les circuits c.c.

Puisque la tension et le courant sont liés à la résistance du circuit par la loi d'Ohm, la formule de la puissance peut être exprimée en fonction du courant ou de la tension.

En remplaçant E par IR, on obtient

$$P = IR \times I = I^2 \times R,$$

alors qu'en remplaçant E/R par I, on obtient

$$P = E^2 / R.$$

Donc, dans tout circuit, la puissance peut être calculée à l'aide de la résistance et de la tension ou à l'aide de la résistance et du courant. Ces différentes formules sont valables pour tous les types de dispositifs c.c., y compris les moteurs, les génératrices et les résistances.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

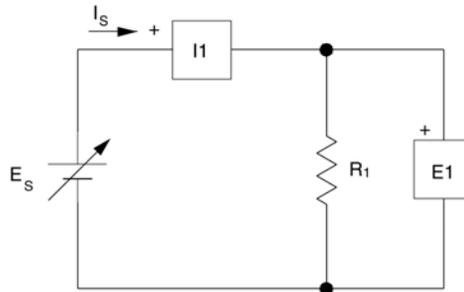
- 1. Examinez les résistances du module Charge résistive. Selon leurs dimensions, placez-les en ordre de capacité de dissipation de puissance et dites laquelle peut dissiper le plus de puissance de façon sécuritaire.

- 2. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 3. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 7-N CC. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée et vérifiez si le voltmètre intégré indique 0 V.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Puissance dans les circuits c.c.

- 4. Montez le circuit de la figure 1-13. Choisissez la résistance appropriée à la tension de ligne indiquée et raccordez les appareils de mesure E1 et I1 tel qu'indiqué. Assurez-vous que les polarités sont respectées et raccordez l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. au Bloc d'alimentation.



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)
120	120
220	440
240	480

Figure 1-13. Montage du circuit pour la détermination de la puissance.

- 5. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 6. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES11-3.dai. Il est à remarquer que la configuration des appareils de mesure peut être modifiée au cours de l'expérience. Cette expérience a été rédigée en utilisant celle indiquée ci-dessus.
- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s de la source c.c. indiquée à la figure 1-13.
- 8. Dans le menu principal comportant les appareils de mesure virtuels, cliquez sur le bouton *Enregistrer* pour enregistrer les tensions et courants mesurés dans le *Tableau de données*. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Puissance dans les circuits c.c.

9. Utilisez les valeurs mesurées pour calculer la puissance dissipée dans le circuit.

$$P = E \times I = \underline{\hspace{10cm}}$$

10. Placez votre main près de la résistance et vérifiez si elle est bien chaude (elle est conçue pour fonctionner à une température constante de 350 °C). Faites très attention de ne pas toucher à la résistance.

11. Doublez la résistance du circuit. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez ce module de façon à obtenir la même tension E_s qu'auparavant. Utilisez les appareils de mesure virtuels pour enregistrer les valeurs mesurées dans le *Tableau de données*, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

12. À l'aide des trois formes de la formule de la puissance exprimées à la section PRINCIPES, calculez la puissance dissipée par cette résistance.

$$P = E \times I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P = E^2 / R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

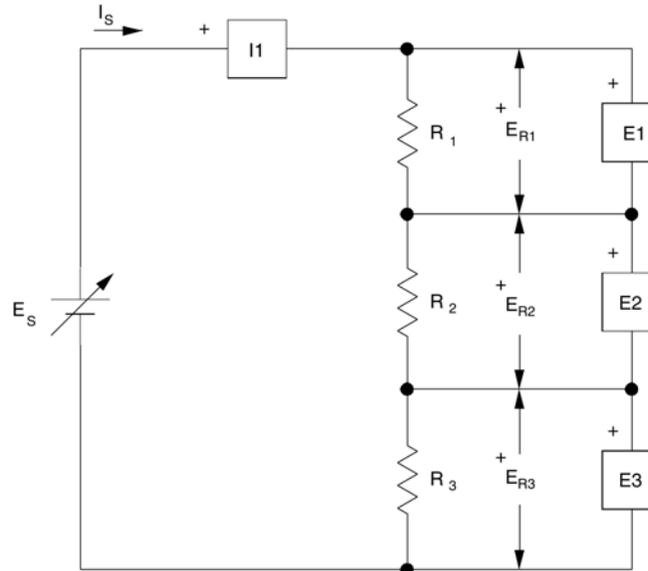
$$P = I^2 \times R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

13. Ces trois formes donnent-elles presque le même résultat ?

Oui Non

14. Montez le circuit de la figure 1-14 et utilisez le Tableau d'impédance de l'Annexe B pour choisir les résistances indiquées. Raccordez le voltmètre E1 aux bornes de la résistance R_1 , le voltmètre E2 aux bornes de la résistance R_2 et le voltmètre E3 aux bornes de la résistance R_3 , et utilisez l'ampèremètre I1 pour mesurer le courant total I du circuit. Choisissez le fichier ES11-4.dai pour l'installation des appareils de mesure. Assurez-vous que les polarités soient respectées lors des mesures des tensions et courants.

Puissance dans les circuits c.c.



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)
120	171	200	240
220	629	733	880
240	686	800	960

Figure 1-14. Détermination de la puissance totale dans un circuit à plusieurs résistances.

15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez ce module de façon à obtenir la même tension E_s qu'auparavant. Utilisez les appareils de mesure virtuels pour enregistrer les valeurs mesurées dans le *Tableau de données*, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

16. À l'aide des valeurs mesurées que comporte le *Tableau de données*, calculez la puissance dissipée par chacune des résistances.

$$P_1 = E_{R1} \times I = \text{_____ W} \quad P_2 = E_{R2} \times I = \text{_____ W}$$

$$P_3 = E_{R3} \times I = \text{_____ W}$$

17. Calculez la puissance totale dissipée et comparez-la à la puissance totale fournie par la source.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = \text{_____ W}$$

$$P_T = E_s \times I = \text{_____ W}$$

Puissance dans les circuits c.c.

18. Les résultats sont-ils presque identiques?

Oui Non

19. Retirez les fils servant à mesurer la tension du circuit de la figure 1-14 et raccordez le voltmètre E1 de façon à mesurer la tension d'alimentation aux bornes 7-N. Laissez l'ampèremètre I1 raccordé afin de mesurer le courant du circuit.

20. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à environ 75 %. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour enregistrer le courant mesuré, réglez à nouveau la tension à 0 et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

21. Calculez la puissance dissipée par chacune des résistances.

$$P_1 = I^2 R_1 = \text{_____ W}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = \text{_____ W}$$

$$P_3 = I^2 R_3 = \text{_____ W}$$

22. Calculez la puissance totale dissipée et comparez-la à la puissance totale générée par la source.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = \text{_____ W}$$

$$P_T = E_S \times I = \text{_____ W}$$

23. Les résultats sont-ils presque identiques?

Oui Non

24. La figure 1-15 montre la source de tension E_S raccordée aux bornes du réseau parallèle formé de R_1 et R_2 . Utilisez la formule pour calculer la puissance à partir de la tension, afin de déterminer la puissance dissipée

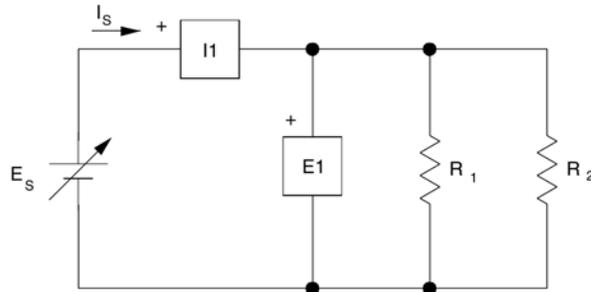
Puissance dans les circuits c.c.

par chacune des résistances ainsi que la puissance totale (utilisez la tension E_S indiquée à la figure 1-15).

$$P_{R_1} = E_S^2 / R_1 = \text{_____ W}$$

$$P_{R_2} = E_S^2 / R_2 = \text{_____ W}$$

$$P_T = P_{R_1} + P_{R_2} = \text{_____ W}$$



TENSION DE LIGNE (V)	E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
120	120	171	200
220	220	629	733
240	240	686	800

Figure 1-15. Détermination de la puissance totale d'un circuit à résistances en parallèle.

25. Sachant que le Bloc d'alimentation doit fournir la puissance totale et que la tension de la source est E_S , calculez le courant généré par la source.

$$I = P_T / E_S = \text{_____ A}$$

26. Montez le circuit de la figure 1-15. Raccordez le voltmètre E_1 de façon à mesurer la tension de source E_S et utilisez l'ampèremètre I1 pour mesurer le courant total I du circuit. Choisissez le fichier ES11-5.dai pour l'installation des appareils de mesure. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension E_S à la valeur indiquée à la figure 1-15. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour noter la valeur du courant I, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

Puissance dans les circuits c.c.

27. Comparez le courant mesuré au courant calculé à la manipulation 25. Sont-ils presque identiques?
- Oui Non
28. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez démontré que dans un circuit c.c., la puissance peut être déterminée à partir des tensions et courants mesurés. Vous avez également démontré que la puissance totale dans un circuit à plusieurs résistances est égale à la somme des puissances dissipées dans chacune des résistances. Enfin, vous avez vérifié que la puissance peut être calculée à l'aide de la tension ou du courant d'un circuit. Il n'est pas nécessaire de connaître ces deux paramètres.

EXERCICES

1. Une énergie potentielle électrique d'un volt générant un courant d'un ampère dans une résistance d'un ohm est la définition
 - a. du travail.
 - b. de la tension.
 - c. d'une puissance d'un watt.
 - d. de la résistance.
2. La puissance dissipée dans un circuit c.c. peut être déterminée à l'aide de
 - a. E et I.
 - b. E et R.
 - c. I et R.
 - d. Toutes ces réponses sont bonnes.
3. La résistance de l'enroulement shunt d'un moteur c.c. est de 240Ω . Quelle est la perte de puissance lorsque la tension c.c. aux bornes de l'enroulement est de 120 V?
 - a. 480 W.
 - b. 120 W.
 - c. 60 W.
 - d. 600 W.

Puissance dans les circuits c.c.

4. La résistance de mise à la terre à la base d'une tour de transmission est de $2\ \Omega$. Si un éclair de $20\ 000\ \text{A}$ frappe cette tour, quelle sera la puissance dissipée dans la terre?
 - a. 800 mégawatts.
 - b. 80 kilowatts.
 - c. 40 kilovolts.
 - d. Aucune.

5. Un moteur c.c. consomme un courant de $50\ \text{A}$ à $230\ \text{V}$ et dissipe une puissance de $1200\ \text{W}$ sous forme de chaleur. Quelle puissance reste-t-il pour effectuer un travail mécanique ?
 - a. 11 500 W.
 - b. 10 300 W.
 - c. 12 100 W.
 - d. 11 900 W.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Circuits série et parallèle

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de résoudre des circuits série et parallèle, et d'expliquer la loi des tensions et la loi des courants de Kirchhoff.

PRINCIPES

En poursuivant votre étude des circuits électriques, il vous apparaîtra évident que même les circuits les plus complexes peuvent être résolus simplement à l'aide des quelques règles fondamentales faisant partie de l'un des deux groupes ci-dessous. Les règles de l'un servent dans les circuits série et celles de l'autre, dans les circuits parallèle. Ces règles sont directement liées à la loi d'Ohm, aux lois de Kirchhoff et aux formules servant à trouver la résistance équivalente.

Règles pour les circuits série

1. La somme des chutes de tension aux bornes de chacune des résistances d'un circuit série est égale à la tension appliquée à ce circuit.
2. Le même courant circule dans chacune des résistances en série.
3. La résistance totale d'un circuit série est la somme de chacune des résistances de ce circuit.

La figure 1-16 sert à illustrer les règles pour les circuits série. Comme elle l'indique, une source c.c. est raccordée aux résistances R_1 , R_2 et R_3 raccordées en série. Le courant I_S circule dans le circuit par le seul chemin disponible. Grâce à la loi d'Ohm, on sait que la tension aux bornes de chacune des résistances est égale à $I_S R$, ce qui produit les tensions $I_S R_1$, $I_S R_2$ et $I_S R_3$. Selon la règle 1, on peut observer que, dans ce circuit,

$$E_{R_1} + E_{R_2} + E_{R_3} = E_S \quad (I_S R_1 + I_S R_2 + I_S R_3 = E_S).$$

La résistance équivalente de ce circuit série est calculée à l'aide de la formule:

$$R_{ÉQ} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Circuits série et parallèle

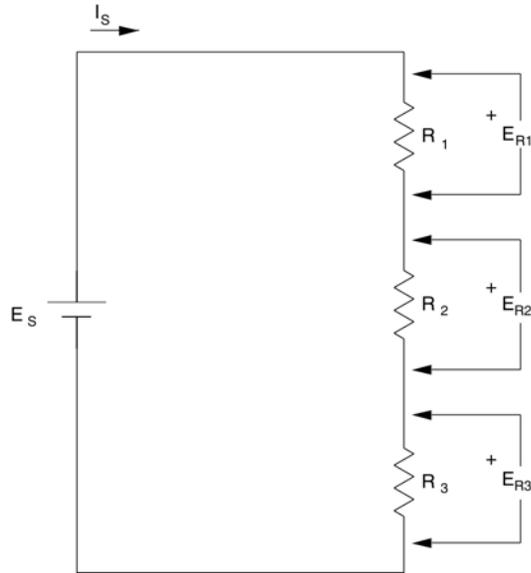


Figure 1-16. Circuit série.

Règles pour les circuits parallèle

1. La somme des courants de chacune des branches d'un circuit parallèle est égale au courant total de la source.
2. La tension est la même aux bornes de toutes les résistances d'une branche parallèle.
3. La réciproque de la résistance totale d'un circuit parallèle est égale à la somme des réciproques de chacune des résistances qui le composent.

La figure 1-17 sert à illustrer les règles pour les circuits parallèle. Comme elle l'indique, la source c.c. est raccordée aux bornes du réseau parallèle que forment les résistances R_1 , R_2 et R_3 . Le courant I_S se divise et circule dans les trois branches du circuit. La figure 1-17 montre également que la tension aux bornes de chacune des résistances est la même. Les courants des trois branches peuvent donc être déterminés à l'aide de la loi d'Ohm. Selon la règle 1, il est évident que, dans ce circuit,

$$I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = I_S \quad (E_S / R_1 + E_S / R_2 + E_S / R_3 = I_S).$$

La résistance équivalente du circuit est calculée à l'aide de la formule:

$$1 / R_{ÉQ} = (1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3).$$

Circuits série et parallèle

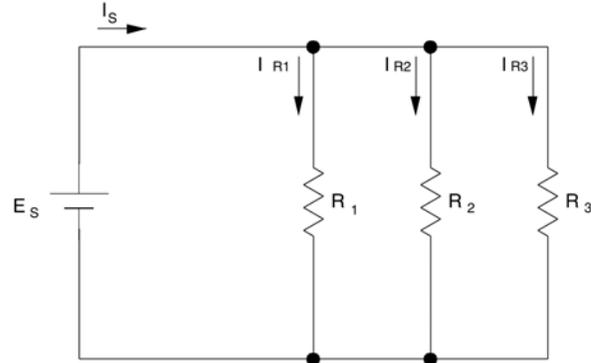


Figure 1-17. Circuit parallèle.

Il existe deux autres principes fondamentaux utilisés pour résoudre des circuits électriques: la règle du diviseur de tension et la règle du diviseur de courant. La règle du diviseur de tension dit simplement qu'une tension E_S appliquée aux bornes de deux résistances R_1 et R_2 , en série, se divise selon le rapport de chacune des résistances sur la résistance totale du circuit. En d'autres mots, le rapport des chutes de tension est égal au rapport des résistances:

$$E_{R1} / E_{R2} = R_1 / R_2,$$

ce qui entraîne que $E_{R1} = E_S \times R_1 / (R_1 + R_2)$ et $E_{R2} = E_S \times R_2 / (R_1 + R_2)$.

La règle du diviseur de courant dit que le courant I_S se sépare dans les deux branches d'un circuit selon le rapport de la résistance de la branche opposée sur la résistance totale du circuit. Cela signifie que le rapport des courants du circuit est égal à la réciproque du rapport des résistances du circuit:

$$I_{R1} / I_{R2} = R_2 / R_1,$$

ce qui entraîne que $I_{R1} = I_S \times R_2 / (R_1 + R_2)$ et $I_{R2} = I_S \times R_1 / (R_1 + R_2)$.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

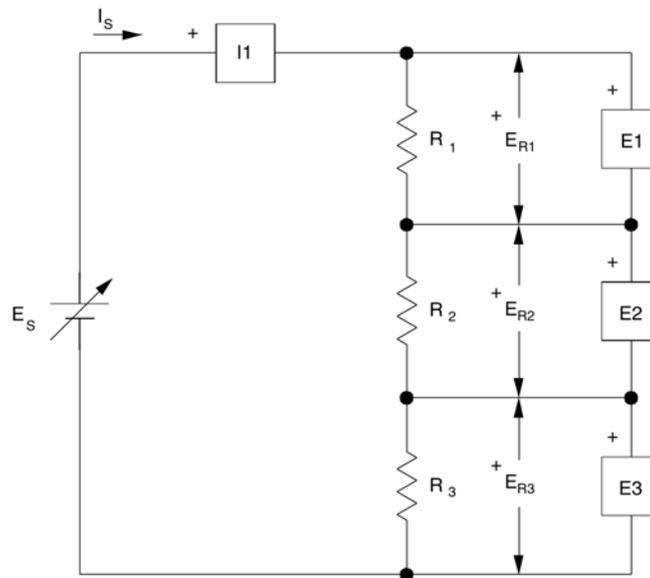
AVERTISSEMENT!

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!

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Circuits série et parallèle

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 7-N CC. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée et vérifiez si le voltmètre intégré indique 0 V.
- 3. Montez le circuit de la figure 1-18. Choisissez les résistances appropriées à la tension de ligne indiquée et raccordez les appareils de mesure I1, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, afin de mesurer le courant et les tensions du circuit série. Assurez-vous que les polarités soient respectées et raccordez l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. au Bloc d'alimentation.



TENSION DE LIGNE (V)	E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	120	171	200	240
220	220	629	733	880
240	240	686	800	960

Figure 1-18. Montage pour un circuit série.

- 4. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Circuits série et parallèle

- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES11-6.dai. Il est à remarquer que la configuration des appareils de mesure peut être modifiée au cours de l'expérience. Cette expérience a été rédigée en utilisant celle indiquée ci-dessus.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 1-18.
- 7. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer les tensions et courants mesurés dans le *Tableau de données*. Mettez l'interrupteur principal du bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

- 8. Effectuez les calculs suivants:

$$R_{\text{ÉQ}} = R_1 + R_2 + R_3 = \text{_____ } \Omega$$

$$I_s = E_s / R_{\text{ÉQ}} = \text{_____ } A$$

- 9. Calculez la chute de tension aux bornes de chacune des résistances et comparez les valeurs ainsi obtenues à celles mesurées.

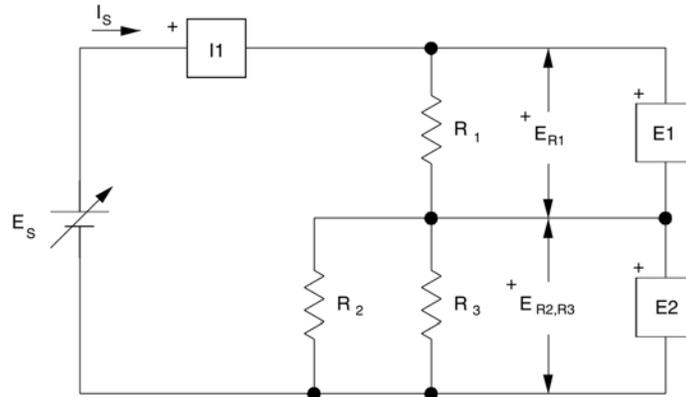
$$E_{R1} = \text{_____ } V \quad E_{R2} = \text{_____ } V \quad E_{R3} = \text{_____ } V$$

- 10. Ces valeurs concordent-elles?

Oui Non

- 11. Montez le circuit mixte à configuration série de la figure 1-19 et réglez le module Charge résistive aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure I1, E1 et E2 de façon à mesurer les paramètres du circuit. Sélectionnez Installation du fichier de configuration ES11-7.dai pour enregistrer les valeurs mesurées dans le circuit.

Circuits série et parallèle



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	120	171	300	600
220	220	629	1100	2200
240	240	686	1200	2400

Figure 1-19. Montage pour un circuit mixte à configuration série.

- 12. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez au besoin la tension E_s et mesurez les paramètres du circuit.
- 13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et calculez les tensions E_{R1} et $E_{R2,R3}$ à l'aide de la résistance équivalente de R_2 en parallèle avec les résistances R_3 , $R_{R2,R3}$, R_1 et du courant I_s mesuré.

$$R_{R2,R3} = \text{_____ } \Omega \quad E_{R1} = \text{_____ } V \quad E_{R2,R3} = \text{_____ } V$$

- 14. En utilisant la règle du diviseur de tension, calculez les tensions E_{R1} et $E_{R2,R3}$.

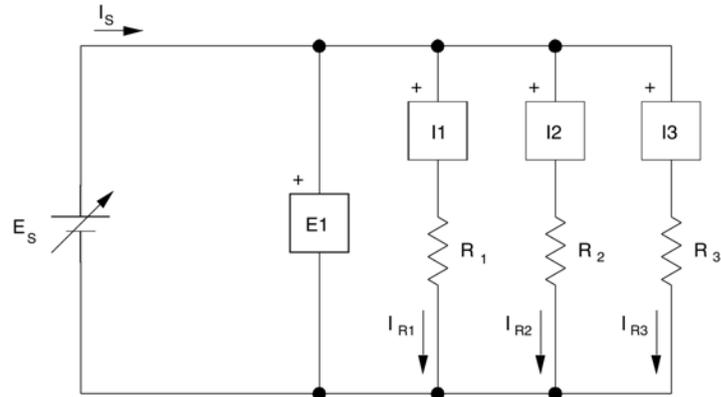
$$E_{R1} = \text{_____ } V \quad E_{R2,R3} = \text{_____ } V$$

- 15. Comparez les valeurs calculées aux valeurs mesurées. Concordent-elles?

Oui Non

- 16. Montez le circuit mixte à configuration parallèle de la figure 1-20 et réglez le module Charge résistive aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3 et E1 de façon à mesurer la tension et les courants du circuit parallèle.

Circuits série et parallèle



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	120	300	600	1200
220	220	1100	2200	4400
240	240	1200	2400	4800

Figure 1-20. Montage pour un circuit parallèle.

17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et, au besoin, réglez la tension E_s . En utilisant le fichier de configuration ES11-8 pour enregistrer les valeurs mesurées, mesurez les paramètres du circuit.

18. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et calculez $R_{\text{ÉQ}}$, I_s ainsi que le courant de chacune des branches.

$$R_{\text{ÉQ}} = \text{_____} \Omega \quad I_s = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{R1} = \text{_____} \text{ A} \quad I_{R2} = \text{_____} \text{ A} \quad I_{R3} = \text{_____} \text{ A}$$

19. À l'aide de la règle du diviseur de courant, déterminez le courant de chacune des branches.

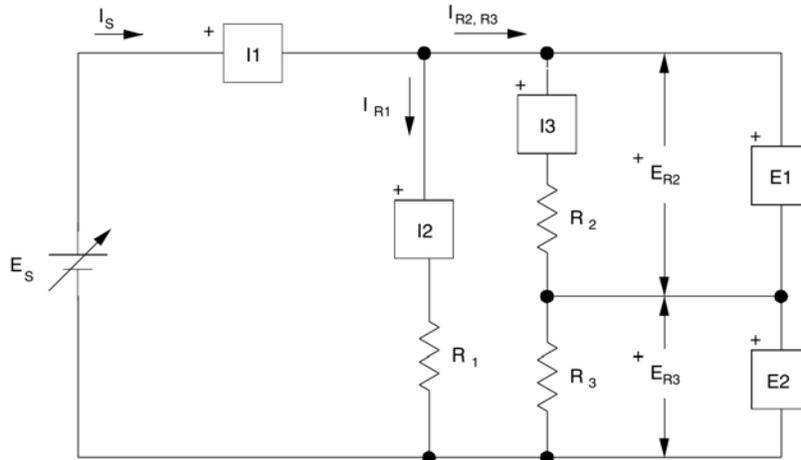
$$I_{R1} = \text{_____} \text{ A} \quad I_{R2} = \text{_____} \text{ A} \quad I_{R3} = \text{_____} \text{ A}$$

20. Comparez les valeurs calculées aux valeurs mesurées. Concordent-elles?

Oui Non

Circuits série et parallèle

21. Montez le circuit mixte à configuration parallèle de la figure 1-21 et réglez le module Charge résistive aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3, E1 et E2 de façon à mesurer les paramètres du circuit.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	120	300	171	200
220	220	1100	629	733
240	240	1200	686	800

Figure 1-21. Montage pour un circuit mixte à configuration parallèle.

22. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et, au besoin, réglez la tension E_s . En utilisant le fichier de configuration ES11-9 pour enregistrer les valeurs mesurées, mesurez les paramètres du circuit.
23. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et calculez les courants I_{R1} et $I_{R1,R3}$.

$$I_{R1} = \text{ A } \quad I_{R2,R3} = \text{ _____ A }$$

24. Comparez les valeurs mesurées aux valeurs calculées. Concordent-elles?

Oui Non

Circuits série et parallèle

25. Comparez le courant de la source I_s à la somme des courants de chacune des branches. Y a-t-il concordance?

Oui Non

26. Calculez les tensions E_{R2} et E_{R3} , puis comparez-les aux tensions mesurées.

$$E_{R2} = \text{_____ V} \qquad E_{R3} = \text{_____ V}$$

27. Y a-t-il concordance?

Oui Non

28. Comparez la tension de la source E_s à la tension E_{R1} calculée.

$$E_s = \text{_____ V} \qquad E_{R1} = \text{_____ V}$$

29. Y a-t-il concordance?

Oui Non

30. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez démontré que différentes configurations de circuits série et parallèle peuvent être résolues à l'aide de règles et de principes basés sur la loi d'Ohm et sur les lois de Kirchhoff. Vous avez également eu l'opportunité de mettre en pratique les techniques expliquées au cours des expériences antérieures.

EXERCICES

1. Les principales règles et les principaux principes de résolution des circuits électriques sont liés
 - a. à la théorie des circuits parallèle et série.
 - b. aux configurations de différents circuits.
 - c. à la loi de Kirchhoff, à la loi d'Ohm et aux règles de la résistance équivalente.
 - d. au fonctionnement naturel d'un circuit.

Circuits série et parallèle

2. Si la tension de la source du circuit de la figure 1-19 est doublée, quel effet cela aura-t-il sur le courant et les tensions du circuit?
 - a. Ils doubleront
 - b. Ils diminueront de moitié
 - c. Ils augmenteront de moitié.
 - d. Cela n'aura aucun effet.

3. Si la résistance R_3 de la figure 1-19 est réduite de moitié, le courant circulant dans la résistance R_2 augmentera-t-il ou diminuera-t-il?
 - a. Il augmentera.
 - b. Il diminuera.
 - c. Il ne variera pas.
 - d. Aucune de ces réponses.

4. Quel serait l'effet du retrait de l'une des résistances du circuit de la figure 1-20?
 - a. La tension de la source chuterait.
 - b. Le courant de la source augmenterait.
 - c. Le courant de la source diminuerait.
 - d. Il n'y aurait aucun effet.

5. Dans le circuit de la figure 1-21, comment peut-on réduire de moitié le courant I_s ?
 - a. En réduisant de moitié la tension de la source ou en doublant la résistance R_1 .
 - b. En augmentant de moitié la tension de la source ou en doublant la résistance $R_{\text{ÉQ}}$.
 - c. En réduisant de moitié la tension de la source ou en doublant la résistance $R_{\text{ÉQ}}$.
 - d. En augmentant de moitié la tension de la source et en doublant la résistance $R_{\text{ÉQ}}$.

Questions récapitulatives

1. On peut définir la tension comme étant
 - a. le rapport du courant sur la résistance.
 - b. la différence de potentiel entre deux points d'un circuit électrique.
 - c. la circulation d'électrons libres dans un conducteur électrique.
 - d. le rapport de la résistance sur le courant.

2. Laquelle des formules suivantes exprime correctement la loi d'Ohm?
 - a. $E^2 = PR$.
 - b. $E = I^2/R$.
 - c. $E = RI$.
 - d. a et c.

3. La formule servant à calculer la résistance équivalente d'un circuit série est
 - a. $1/R_{\acute{E}Q} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - b. $R_{\acute{E}Q} = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$.
 - c. $R_{\acute{E}Q} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - d. $R_{\acute{E}Q} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N$.

4. La formule servant à calculer la résistance équivalente d'un circuit parallèle est
 - a. $R_{\acute{E}Q} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - b. $R_{\acute{E}Q} = (R_1 + R_2)/(R_1 \times R_2)$.
 - c. $1/R_{\acute{E}Q} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_N$.
 - d. $R_{\acute{E}Q} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N$.

5. Quelle est la résistance équivalente d'un réseau de quatre résistances de 1 Ω en parallèle?
 - a. 4 Ω .
 - b. 12 Ω .
 - c. 0,25 Ω .
 - d. 1 Ω .

6. On peut définir la puissance comme étant
 - a. le produit de la tension par le courant dans un circuit c.c.
 - b. le rapport de la tension sur le courant dans un circuit c.c.
 - c. le rapport du courant sur la tension dans un circuit c.c.
 - d. le produit du courant par la résistance dans un circuit c.c.

Questions récapitulatives (suite)

7. Dans un circuit c.c., la puissance peut être calculée à l'aide
- du courant et de la tension.
 - du courant et de la résistance.
 - de la tension et de la résistance.
 - de deux paramètres parmi les suivants: tension, courant et résistance.
8. La résolution de circuits électriques nécessite la connaissance
- théorique très détaillée des circuits.
 - de la loi de Kirchhoff, de la loi d'Ohm et des règles servant à déterminer la résistance équivalente.
 - de quelques règles et concepts mathématiques de base seulement.
 - du fonctionnement naturel d'un circuit.
9. Dans un circuit, si la tension de la source est doublée, le courant augmente.
- Vrai, si la résistance du circuit est doublée.
 - Vrai, si la résistance du circuit demeure la même.
 - Faux, car la tension et le courant sont indépendants.
 - Il n'y a aucune variation.
10. Si la résistance d'une branche d'un circuit parallèle est doublée, la tension aux bornes de cette branche varie.
- Vrai, car le produit RI est différent.
 - Vrai seulement lorsqu'aucune résistance série ne raccorde cette branche à la source de tension.
 - Vrai seulement lorsqu'une résistance série raccorde cette branche à la source de tension.
 - Vrai seulement si la source de tension est raccordée aux bornes de cette branche.

Courant alternatif

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure d'expliquer et de démontrer l'amplitude, la fréquence et la phase d'une tension et d'un courant alternatifs. Vous allez également démontrer les concepts liés à la puissance instantanée.

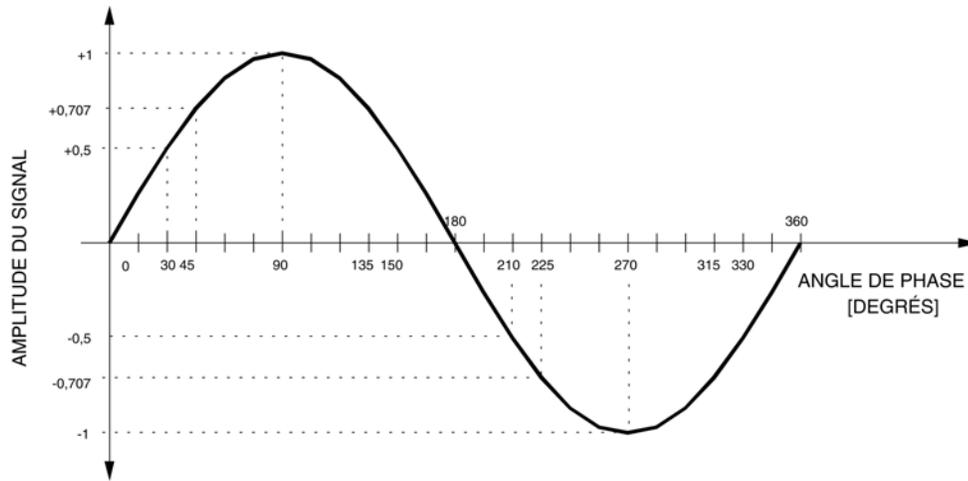
PRINCIPES FONDAMENTAUX

Le courant alternatif (c.a.) est utilisé de façon universelle dans le monde entier pour l'entraînement de moteurs et l'alimentation d'appareils électriques. Comme son nom le suggère, la tension alternative a une polarité qui est continuellement inversée (alternée). Lorsque l'on parle de tensions c.a., il convient très bien de les considérer comme des signaux c.c. dont la polarité change continuellement. Le nombre de fois que survient un changement de polarité ou de direction complet en une seconde est appelé fréquence. En Amérique du Nord, la fréquence normale du secteur est de 60 Hz, alors que dans la plupart des pays d'Europe ainsi que dans plusieurs autres, elle est de 50 Hz.

En plus de changer périodiquement de polarité, les tensions c.a. changent également de valeur d'un instant à l'autre, selon le type de bloc d'alimentation utilisé. Il est possible d'obtenir une tension rectangulaire, triangulaire ou d'une autre forme. Il a cependant été prouvé théoriquement et de façon pratique que le type de signal convenant le mieux au fonctionnement des moteurs électriques est le signal sinusoïdal. Ce signal périodique permet d'obtenir un meilleur rendement de la part des transformateurs, des moteurs et des alternateurs, et il permet également un fonctionnement moins bruyant. Une autre propriété intéressante du signal sinusoïdal réside dans le fait qu'une tension sinusoïdale produit toujours un courant sinusoïdal, ce qui n'est pas le cas des signaux triangulaires et rectangulaires, puisqu'ils ne produisent pas nécessairement un courant identique à la tension. Enfin, bien qu'ils semblent plus complexes que les signaux triangulaires ou rectangulaires, les signaux sinusoïdaux simplifient le calcul des tensions et courants des moteurs électriques. La valeur d'un signal sinusoïdal peut être calculée à tout instant de sa période à l'aide de la fonction sinus et cette valeur se répète toujours après une période complète.

La figure 2-1 comporte des valeurs fractionnaires d'un signal sinusoïdal sur une période complète. Elle peut être utilisée pour calculer rapidement et tracer ce signal sinusoïdal. Les signaux sinusoïdaux dont les valeurs crêtes sont différentes de l'unité peuvent être calculés à l'aide d'une simple proportion. Les valeurs négatives indiquent que la polarité de la tension ou du courant est inversée.

Courant alternatif



ANGLE DE PHASE	AMPLITUDE	ANGLE DE PHASE	AMPLITUDE
0°	0	180°	0
15°	0,26	195°	-0,26
30°	0,50	210°	-0,50
45°	0,71	225°	-0,71
60°	0,87	240°	-0,87
75°	0,97	250°	-0,97
90°	1,00	270°	-1,00
105°	0,97	285°	-0,97
120°	0,87	300°	-0,87
135°	0,71	315°	-0,71
150°	0,50	330°	-0,50
165°	0,26	345°	-0,26
180°	0	360°	0

Figure 2-1. Valeurs d'un signal sinusoïdal sur une période complète.

À tout moment, un signal sinusoïdal se trouve à une position donnée, qui est mesurée en degrés à partir d'un point de référence. Supposons que deux alternateurs identiques soient réglés exactement à la même fréquence et que le second soit mis sous tension un court instant après le premier. Lorsque leurs signaux respectifs seront observés ensemble sur un oscilloscope, l'écran ressemblera à celui de la figure 2-2. En utilisant le signal sinusoïdal du premier alternateur comme référence, on peut affirmer que le deuxième signal est en retard de plusieurs degrés sur le signal de référence. L'angle séparant ces deux signaux est appelé **déphasage** et les termes **déphasage en retard** ou **déphasage en avance** sont

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Courant alternatif

utilisés pour indiquer si un signal atteint son maximum après ou avant que ne l'atteigne le signal de référence.

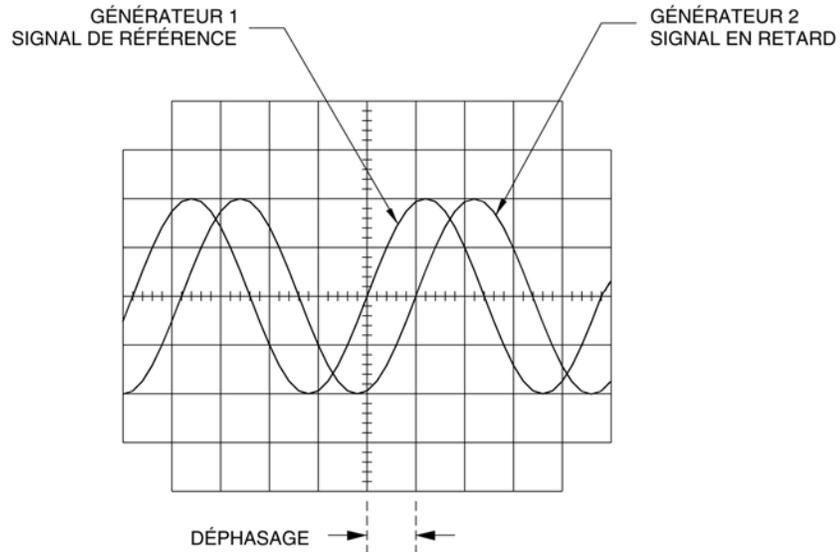


Figure 2-2. Déphasage entre deux signaux sinusoïdaux de fréquence identique.

Le concept de déphasage est très important dans les circuits c.a., car il est lié aux concepts de puissance instantanée. Dans les circuits c.c., la puissance est un paramètre très direct, car elle est obtenue simplement par le produit de la tension par le courant d'un circuit résistif. Dans les circuits c.a., la tension et le courant varient toujours entre une valeur positive et une valeur négative. Donc, dans ces circuits, d'autres concepts doivent être utilisés pour déterminer la puissance. Enfin, les mêmes lois et règles s'appliquent aux circuits c.a. et aux circuits c.c., et ce sont les tensions et courants efficaces qui sont utilisés dans les calculs.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Le signal sinusoïdal

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez capable de mesurer l'amplitude et la fréquence de signaux c.a. et de démontrer les concepts associés à ces paramètres.

PRINCIPES

Comme le montre la figure 2-3, le signal sinusoïdal est directement lié au mouvement circulaire. Chaque période d'un signal sinusoïdal est équivalente à une révolution complète de 360° . En fait, le courant alternatif standard est un signal sinusoïdal généré par l'induit rotatif d'un alternateur se trouvant à la centrale électrique locale.

La tension générée par cet alternateur est d'abord nulle, puis l'induit tourne et la tension augmente à une valeur maximale. Ensuite, elle diminue à nouveau jusqu'à zéro, puis elle change de polarité. Elle augmente ensuite jusqu'à une valeur maximale dans cette polarité, puis elle diminue à nouveau jusqu'à zéro. Lorsque la tension atteint zéro une seconde fois, l'induit a terminé une révolution complète de 360° angulaires et il en recommence une nouvelle. Dans le cas d'un système à 60 Hz, cela signifie qu'en une seconde, il y a génération de 60 périodes complètes du signal sinusoïdal. La période d'un signal sinusoïdal à 60 Hz est donc $1/60$ seconde et un intervalle de 30° est égal à $1/720$ seconde. Il est évident que dans le cas d'un système à 60 Hz, les variations de polarité sont très rapides.

L'amplitude et la fréquence constituent des paramètres importants d'un signal sinusoïdal. L'amplitude peut être indiquée en valeur crête-à-crête ou en valeur efficace. La valeur maximale qu'atteint le signal sinusoïdal pendant sa période est la valeur crête. L'amplitude crête-à-crête correspond à deux fois la valeur crête. La valeur efficace est déterminée par l'effet calorifique de la tension sinusoïdale. Par exemple, supposez qu'une tension c.a. dont la valeur crête est de 100 V soit appliquée à une résistance de charge et qu'une fois stabilisée, la température de cette dernière soit mesurée. La valeur efficace de cette tension c.a. pourrait être déterminée en utilisant un bloc d'alimentation c.c. variable et en réglant la tension c.c. jusqu'à ce que la température de la résistance se stabilise au même point qu'auparavant. La tension c.c. ainsi générée serait de 71 V, ce qui signifie que la valeur efficace de la tension c.a. est 71 V. Une autre façon de mesurer une valeur efficace consiste à appliquer une tension c.c. à une ampoule et une tension c.a. à une autre ampoule. La luminosité de ces ampoules constitue alors un indicateur assez précis de la puissance dissipée et la tension c.c. pourrait être réglée de façon à produire la même luminosité que la tension c.a. Naturellement, il serait long et très peu efficace d'utiliser ces techniques pour déterminer la valeur efficace d'une tension ou d'un courant alternatifs.

Le signal sinusoïdal

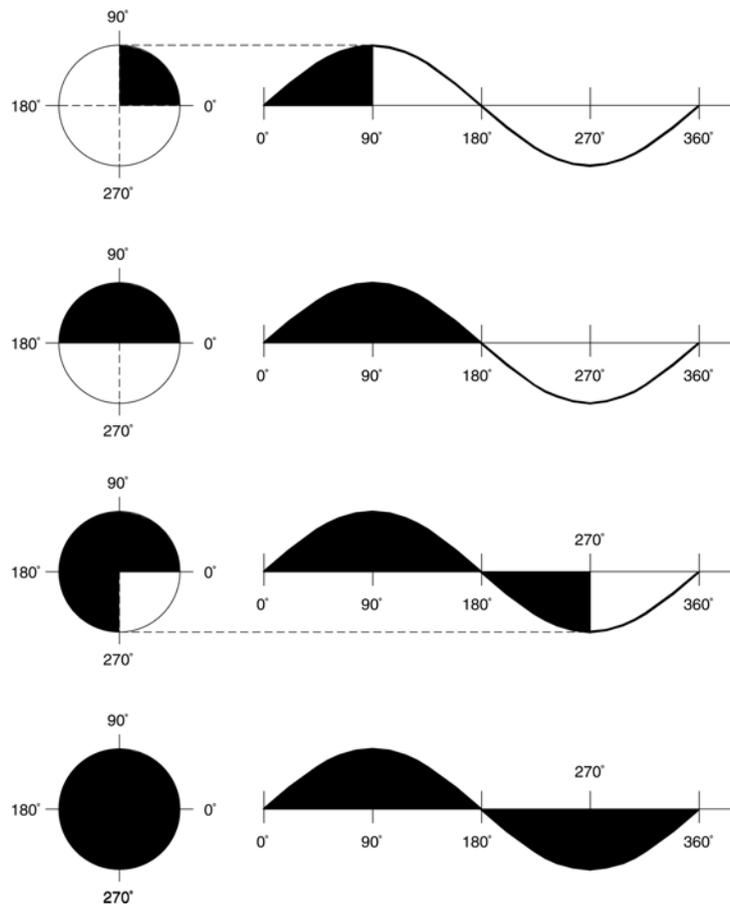


Figure 2-3. Une période complète d'un signal sinusoïdal est égale à 360° de rotation.

Les instruments de mesure servant à mesurer le courant alternatif standard sont étalonnés de façon à indiquer directement la valeur efficace. La valeur efficace est liée à la valeur crête par une formule simple: $E_{\text{efficace}} = E_{\text{crête}} \times 0,707$ (valeur crête multipliée par $1/\sqrt{2}$). Il est à remarquer que cette formule n'est valide que pour les signaux sinusoïdaux. De plus, le mot efficace en indice n'est habituellement indiqué qu'au besoin.

Enfin, l'autre paramètre important relatif au signal sinusoïdal, sa fréquence, n'est que la réciproque de sa période, c'est-à-dire $f = 1/T$. Pour une tension c.a. dont la fréquence est 60 Hz, la période est $1/60 = 0,0167$ s et la réciproque est naturellement 60 Hz. Inversement, la période est la réciproque de la fréquence: $T = 1/f$. La figure 2-4 comporte les paramètres d'un signal sinusoïdal.

Le signal sinusoïdal

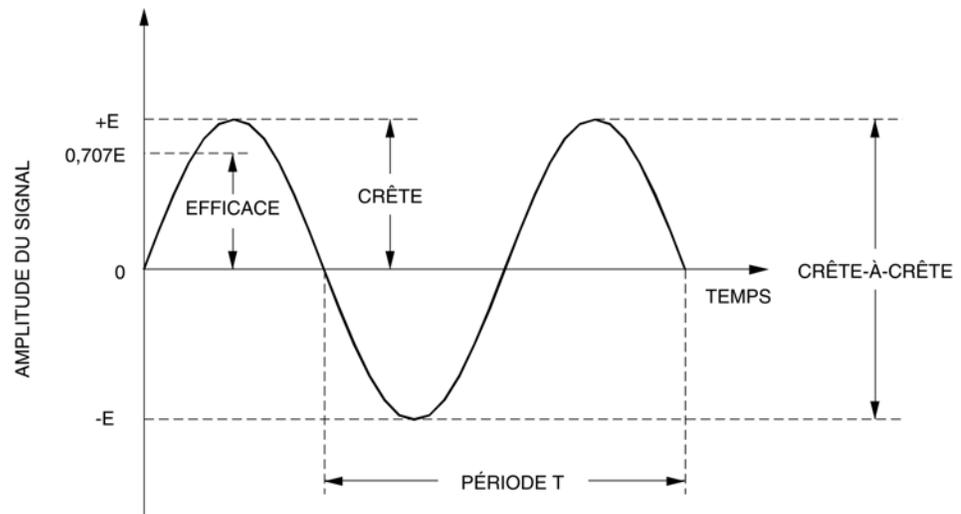


Figure 2-4. Amplitude et période d'un signal sinusoïdal.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

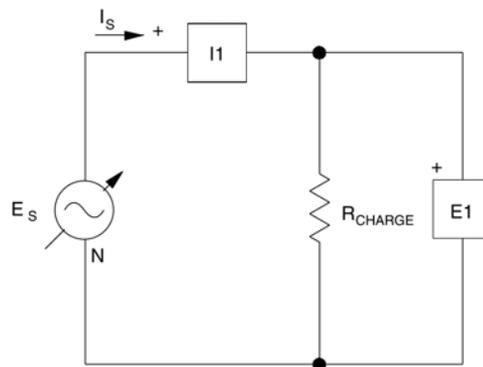
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée et vérifiez si le voltmètre intégré indique 0 V.
- 3. Montez le circuit de la figure 2-5. Remarquez le symbole utilisé pour représenter une source c.a. à tension variable dans ce circuit. Réglez le module Charge résistive de façon à obtenir la résistance indiquée et raccordez les appareils de mesure E1 et I1 de façon à mesurer le courant et la tension du circuit.

Le signal sinusoïdal



TENSION DE LIGNE (V)	R _{CHARGE} (Ω)
120	300
220	1100
240	1200

Figure 2-5. Circuit générant un signal c.a. sinusoïdal.

- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES12-1.dai. Il est à remarquer que l'installation des fichiers de configuration des appareils de mesure n'est pas essentielle à la réalisation des expériences. Ces fichiers sont considérés comme un point de départ et ils peuvent être modifiés en tout temps pendant l'expérience.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 2-5.
- 7. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer les tensions et courants mesurés dans le *Tableau de données*.
- 8. Cliquez sur le bouton *Oscilloscope* et affichez les signaux raccordés aux appareils de mesure E1 et I1 à l'aide des voies CH1 et CH2. Au besoin, réglez la base de temps de façon à afficher au moins deux périodes des signaux sinusoïdaux.

Le signal sinusoïdal

9. Réglez des échelles verticales appropriées à l'affichage et notez l'amplitude crête de la tension et du courant.

$$E_{\text{crête}} = \text{_____ V}$$

$$I_{\text{crête}} = \text{_____ A}$$

10. Multipliez les valeurs crêtes par 0,707 et comparez les résultats obtenus aux valeurs enregistrées dans le *Tableau de données*.

$$E_{\text{crête}} \times 0,707 = \text{_____ V}$$

$$I_{\text{crête}} \times 0,707 = \text{_____ A}$$

11. Quel genre de différences observez-vous entre vos calculs et les données enregistrées?

Remarque : *Vous allez remarquer que les résultats indiqués dans le Tableau de données sont des valeurs efficaces. De plus, la case de données du signal du menu Oscilloscope indique la valeur efficace des signaux appliqués aux voies d'entrée, leur valeur moyenne et leur fréquence.*

12. Comparez le signal du courant à celui de la tension. S'agit-il de deux signaux sinusoïdaux?

Oui Non

13. Quelle est l'amplitude approximative de la tension sinusoïdale à 225°?

$$\text{Amplitude} = \text{_____ V}$$

14. Quelle est la période d'un cycle complet de la tension c.a. sinusoïdale?

$$T = \text{_____ s}$$

15. Calculez la fréquence.

$$f = 1/T = \text{_____ Hz}$$

16. Comparez la fréquence du courant à celle de la tension. Sont-elles identiques?

Oui Non

Le signal sinusoïdal

17. Le courant et la tension atteignent-ils leurs valeurs maximales et minimales aux mêmes moments et atteignent-ils zéro aux mêmes moments?

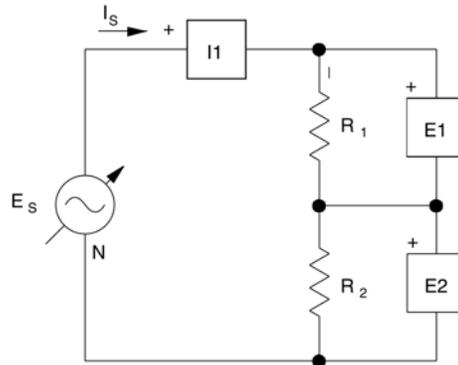
Oui Non

Remarque : *Lorsque des signaux atteignent zéro ainsi que leurs valeurs maximales aux mêmes moments, on dit qu'ils sont en phase. Cela signifie qu'il n'y a pas d'angle de phase entre eux.*

18. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit série de la figure 2-6. Réglez le module Charge résistive à la résistance indiquée et raccordez les appareils de mesure I1, E1 et E2 tel qu'illustré.
19. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à la tension E_s indiquée à la figure 2-6. Utilisez le fichier de configuration ES12-2.dai pour effectuer les mesures dans le circuit.
20. Cliquez sur le bouton Oscilloscope et affichez les valeurs E1, E2 et I1 sur les voies CH1, CH2 et CH3. Assurez-vous que le bouton de commande de la base de temps est réglé de façon à afficher au moins deux périodes des signaux sinusoïdaux.
21. Réglez les échelles verticales appropriées à l'affichage et notez les tensions et le courant efficaces.

E1 = _____ V E2 = _____ V I1 = _____ A

Le signal sinusoïdal



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
120	120	171	300
220	220	629	1100
240	240	686	1200

Figure 2-6. Circuit c.a. série.

22. Comparez le rapport des tensions au rapport des résistances.

$$E_1 / E_2 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad R_1 / R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

23. Calculez la chute de tension aux bornes de chacune des résistances et comparez-la aux valeurs efficaces mesurées à la manipulation 21.

$$E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \qquad E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

24. Calculez le courant de source qui devrait circuler dans ce circuit et comparez-le à la valeur efficace mesurée à la manipulation 21.

$$I_s = E_s / R_{EQ} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

25. Les résultats obtenus aux manipulations 21, 22, 23 et 24 démontrent-ils que la loi d'Ohm, les lois de Kirchhoff et les autres théories sur les circuits, présentées dans le Bloc 1, sont valables pour les circuits c.a.?

Oui Non

Le signal sinusoïdal

26. Observez les signaux de courant et de tension et remarquez si la relation qui existe entre eux est du même type que celle qui existe entre les signaux de la manipulation 17. Cela signifie-t-il qu'ils sont en phase?

Oui Non

27. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez démontré qu'une tension sinusoïdale produit un courant sinusoïdal et que la valeur efficace d'un signal sinusoïdal est égale à 0,707 multiplié par son amplitude crête. Vous avez également confirmé que la fréquence d'un signal est la réciproque de sa période et vous avez constaté que la théorie présentée dans le Bloc 1 est valable pour les circuits c.a.

EXERCICES

1. L'amplitude crête-à-crête d'un signal sinusoïdal est de 200 V. Quelle en est la valeur efficace?
 - a. 282 V
 - b. 70,7
 - c. 141 V
 - d. 14,1 V
2. La période d'un signal sinusoïdal est de 0,02 s. Quelle en est la fréquence?
 - a. 5 Hz
 - b. 50 Hz
 - c. 50 s
 - d. 0,02 Hz
3. On peut considérer une tension c.a. comme une tension c.c. dont l'amplitude et la polarité varient continuellement.
 - a. Faux.
 - b. Vrai, dans les cas où le courant est nul.
 - c. Vrai.
 - d. Aucune de ces réponses.

Le signal sinusoïdal

4. Une période complète d'un signal sinusoïdal correspond à une rotation de 360° .
 - a. Vrai, dans les cas où la fréquence est inférieure à 100 Hz.
 - b. Vrai.
 - c. Faux, car un signal sinusoïdal n'est pas un cercle.
 - d. Faux.

5. Quand dit-on que deux signaux sinusoïdaux sont en phase?
 - a. Lorsque le courant est en avance sur la tension.
 - b. Lorsqu'ils atteignent leurs maximums aux mêmes moments.
 - c. Lorsqu'ils atteignent zéro aux mêmes moments.
 - d. b et c.

Angle de phase

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez capable de mesurer l'angle de phase entre des signaux sinusoïdaux et de faire la différence entre un déphasage en avance et un déphasage en retard.

PRINCIPES

L'angle de phase est l'écart qui existe entre deux signaux sinusoïdaux de même fréquence. Les signaux comparés doivent être de même fréquence, mais pas nécessairement de même amplitude. Dans des blocs ultérieurs, vous verrez que les composants comme les condensateurs et les bobines produisent un déphasage entre la tension et le courant appliqués à leurs bornes. Le déphasage produit par un circuit est déterminé selon l'angle de phase mesuré entre le signal d'entrée et le signal de sortie. Le signal d'entrée est habituellement utilisé comme signal de référence pour les mesures de déphasage.

Pour mesurer l'angle de phase sur un oscilloscope, le signal de référence est appliqué à l'entrée d'une voie et le signal dont le déphasage relatif doit être mesuré est appliqué à l'autre voie. La figure 2-7 illustre la technique utilisée. L'oscilloscope est réglé de façon à ce qu'une période complète (360°) du signal de référence soit affichée sur un nombre précis de divisions, 8 dans ce cas-ci. Chaque division représente donc 45° et chaque division secondaire, 9° . Ensuite, les boutons de commande d'atténuation sont réglés de façon à ce que les deux signaux aient presque la même amplitude. Enfin, la distance horizontale séparant les deux signaux est mesurée. Dans ce cas-ci, elle est de 0,8 division. Le déphasage est donc $0,8 \times 45 = 36^\circ$.

Le deuxième signal est en retard sur le signal de référence, puisqu'il atteint son amplitude maximale plus tard au cours de la période. Tel qu'illustré, un signal en retard est décalé vers la droite du signal de référence, à l'écran de l'oscilloscope. Puisque la phase est en retard, on place souvent le signe - ou les mots en retard de devant le nombre: -36° ou en retard de 36° . Il s'agit là d'une abréviation standard servant à indiquer si la phase est en avance ou en retard. Si le deuxième signal était décalé vers la gauche à l'écran de l'oscilloscope, le déphasage serait en avance, puisque le deuxième signal atteint sa valeur maximale avant le signal de référence. Le déphasage peut également être indiqué à l'aide de nombres positifs pour représenter les déphasages supérieurs à 180° . Si vous examinez de près les images de la figure 2-3, il apparaît évident qu'un déphasage en avance de 270° correspond à un déphasage en retard de -90° . Plus tard au cours de votre programme d'étude, vous allez monter des circuits comportant des condensateurs et des bobines, qui produiront d'importants déphasages entre les tensions et courants d'entrée et de sortie.

Angle de phase

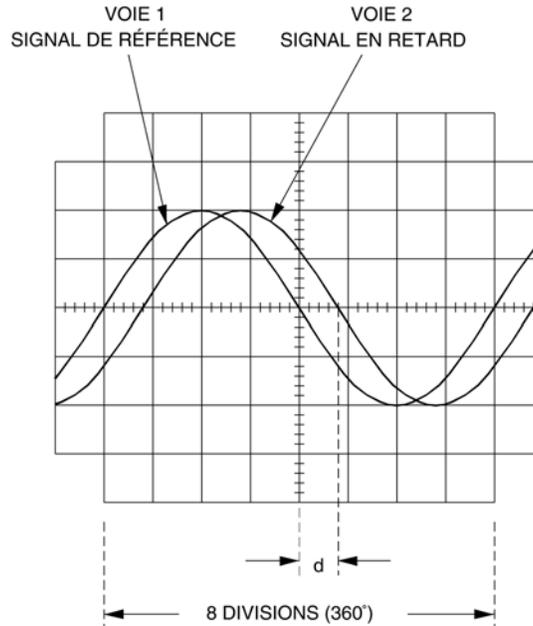


Figure 2-7. Angle de phase entre deux signaux.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation et Interface d'acquisition de données dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 2-8. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de phase du Bloc d'alimentation aux

Angle de phase

positions 1-N, 2-N et 3-N. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. et le câble port USB relié à l'ordinateur soient raccordés.

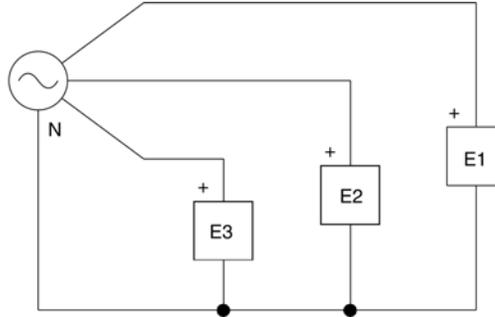


Figure 2-8. Mesure de l'angle de phase.

- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez le fichier de configuration ES12-3 pour cette expérience.
- 5. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Vérifiez si les tensions de phase sont affichées dans le menu *Appareils de mesure*.
- 6. Cliquez sur le bouton *Oscilloscope* et affichez les valeurs E1, E2 et E3 sur les voies CH1, CH2 et CH3. Assurez-vous que le bouton de commande de la base de temps est réglé de façon à afficher au moins deux périodes complètes des signaux sinusoïdaux.
- 7. Au besoin, choisissez les échelles verticales convenant aux amplitudes et utilisez E1 comme signal de référence pour mesurer le déphasage.
- 8. En observant les trois signaux, déterminez s'il y a déphasage entre eux?
 - Oui Non
- 9. Combien de degrés séparent:
 - E1 de E2? _____ °
 - E2 de E3? _____ °
 - E3 de E1? _____ °

Angle de phase

10. Le signal E1 est-il en avance ou en retard sur le signal E2?

11. Le signal E3 est-il en avance ou en retard sur le signal E1?

12. Vous avez remarqué que les signaux E1, E2 et E3 sont déphasés de 120° , ce qui est le cas pour un courant alternatif triphasé. Si le signal E2 est utilisé comme signal de référence, est-il en avance ou en retard de 120° par rapport au signal E1?

13. Modifiez le réglage de la base de temps de l'oscilloscope, afin d'augmenter le nombre de périodes affichées. Le déphasage entre les signaux varie-t-il?

Oui Non

14. Modifiez le réglage des échelles verticales de l'oscilloscope. Le déphasage entre les signaux varie-t-il?

Oui Non

15. Affichez les *Curseurs* et utilisez les curseurs gauche et droit pour mesurer le délai T_d entre les signaux au point où leur amplitude est nulle.

$T_d(E1-E2) = \underline{\hspace{2cm}}$ $T_d(E3-E1) = \underline{\hspace{2cm}}$ $T_d(E2-E3) = \underline{\hspace{2cm}}$

16. Déterminez le déphasage entre les signaux. Il est à remarquer que T correspond à la période du signal de référence.

Déphasage = $(T_d / T) \times 360^\circ$.

17. Vos mesures concordent-elles avec les résultats de la manipulation 9?

Oui Non

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Angle de phase

- 18. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez observé trois signaux sinusoïdaux déphasés de 120° . Vous avez également observé que pour déterminer si un signal est en avance ou en retard sur un autre, il est nécessaire de déterminer lequel est utilisé comme signal de référence.

EXERCICES

1. L'angle de phase est
 - a. la mesure de la période d'un signal périodique.
 - b. l'indication de la fréquence d'un signal.
 - c. la mesure de la distance entre deux signaux.
 - d. valable seulement lorsque des signaux triphasés sont mesurés.

2. Un signal sinusoïdal possède un angle de phase en avance de 72° . Atteindra-t-il son maximum avant ou après que le signal de référence l'ait atteint?
 - a. Après.
 - b. Avant.
 - c. Cela dépend de sa fréquence.
 - d. Aucune de ces réponses.

3. Une tension d'alimentation c.a. triphasée est constituée de trois signaux sinusoïdaux espacés de 120° .
 - a. Vrai en Amérique du Nord seulement.
 - b. Faux.
 - c. Vrai.
 - d. Faux, puisque des signaux rectangulaires sont parfois utilisés.

4. Un signal sinusoïdal possède un angle de phase de -45° . Le signal de référence est-il en avance ou en retard sur ce signal sinusoïdal?
 - a. En avance.
 - b. En retard.
 - c. Ni l'un ni l'autre: ces signaux sont en phase.
 - d. Le signal de référence ne peut être ni en avance ni en retard sur un signal.

Angle de phase

5. Le courant et la tension d'un circuit, observés à l'oscilloscope, montrent qu'il y a un déphasage important entre eux. Qu'est-ce que cela indique à propos du type de composants du circuit?
 - a. Rien.
 - b. Qu'ils sont défectueux.
 - c. Que tous sont des résistances.
 - d. Qu'il doit y avoir des condensateurs et/ou des bobines dans le circuit.

Puissance instantanée

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'expliquer et de démontrer le concept de puissance instantanée. Vous serez également en mesure de déterminer la puissance moyenne dissipée dans une charge résistive lorsqu'elle est raccordée à une source de courant alternatif.

PRINCIPES

Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes d'un moteur c.c., une partie de cette tension est convertie en énergie mécanique et le reste, en chaleur. Lorsqu'une tension est appliquée à un accumulateur, durant sa charge, une partie de cette tension est convertie en énergie chimique, alors que le reste est converti en chaleur. Cependant, lorsqu'une tension est appliquée aux bornes d'une résistance, toute cette tension est convertie en chaleur. Cette conversion de la tension en chaleur est un processus très efficace utilisé tous les jours dans nos grille-pain, nos cuisinières électriques ainsi que dans nos maisons chauffées à l'électricité.

Comme vous l'avez vu dans le Bloc 1, dans les circuits c.c., la puissance est le produit de la tension par le courant. Cela est également vrai pour les circuits c.a., sauf qu'il est important de savoir s'il est question de puissance instantanée ou de puissance moyenne. Selon ce que l'on a vu jusqu'à présent, il devrait être évident que la puissance dissipée par une résistance raccordée à une source c.a. est de forme sinusoïdale, puisque la tension et le courant du circuit le sont. La puissance instantanée est simplement le produit EI calculé à chaque instant de la période du signal sinusoïdal. Si on raccordait un wattmètre de façon à mesurer la puissance du circuit de la figure 2-9, il indiquerait une valeur différente de zéro, bien que la valeur moyenne de la tension et du courant soit de zéro sur une période.

C'est ce qu'illustre la courbe de la puissance instantanée de la figure 2-9. En observant attentivement cette figure, on remarque que lorsque la tension est négative, le courant est négatif, de sorte que le produit EI est toujours positif. Comme vous le constaterez au cours de cette expérience, la puissance moyenne dissipée par une charge résistive est simplement le produit de la tension par le courant efficaces du circuit. Un autre point important à remarquer est le fait que la fréquence du signal sinusoïdal représentant la puissance est deux fois celle de la source. Cela est dû au fait que le produit EI donne un signal sinusoïdal équilibré dont la fréquence est deux fois celle du signal sinusoïdal initial.

Puissance instantanée

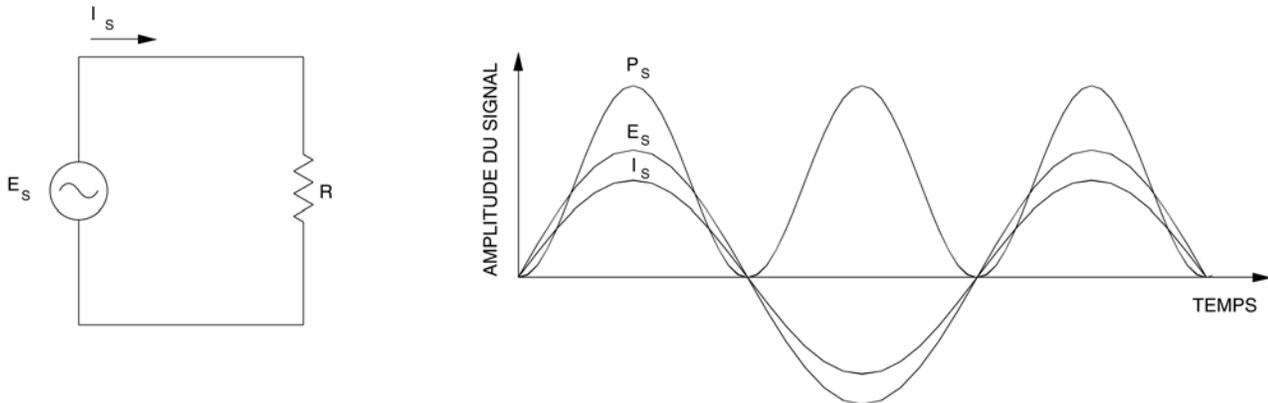


Figure 2-9. Courbe de la puissance instantanée d'une charge résistive.

Remarque : Dans les blocs ultérieurs, vous allez remarquer que lorsque des composants réactifs provoquent un déphasage entre la tension et le courant, cela fait que le signal de la puissance instantanée peut aussi bien être négatif que positif. Ce concept de «puissance négative» signifie simplement qu'il y a retour de puissance à la source.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

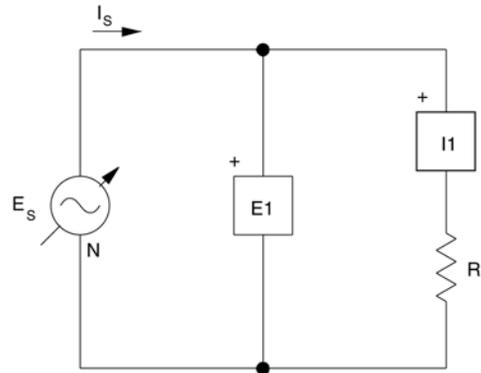
AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 2-10. Réglez le module Charge résistive à la résistance indiquée et raccordez les appareils de mesure E1 et I1 de façon

Puissance instantanée

à mesurer le courant et les tensions du circuit. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation et que le câble port USB relié à l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)
120	171
220	629
240	686

Figure 2-10. Puissance instantanée dissipée dans une charge résistive.

- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez le fichier de configuration ES12-4 pour cette expérience.
- 5. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de la commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 2-10 et vérifiez si les paramètres du circuit sont affichés dans la fenêtre *Appareils de mesure*.
- 6. Cliquez sur le bouton *Oscilloscope* et affichez les valeurs E1, I1 et P1 sur les voies CH1, CH2 et CH3. Assurez-vous que le bouton de commande de la base de temps est réglé de façon à afficher au moins deux périodes complètes des signaux sinusoïdaux.
- 7. Sélectionnez les échelles verticales appropriées à l'affichage et notez la tension et le courant efficaces ainsi que la puissance moyenne (MOY.) P1.

$$E1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad I1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \quad P1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

Puissance instantanée

8. Comparez le courant à la tension. S'agit-il de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence?

Oui Non

9. Quelle sont la période et la fréquence du signal représentant la puissance instantanée?

$T = \underline{\hspace{2cm}}$ $sf = 1/T = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz

10. Comparez la fréquence du signal représentant la puissance instantanée à celle des signaux représentant le courant et la tension.

11. Les signaux représentant le courant, la tension et la puissance sont-ils en phase?

12. Calculez le produit du courant par la tension efficaces et comparez-le à la puissance moyenne (MOY.) P1 indiquée dans le *Tableau de données* sur les signaux du menu *Oscilloscope*.

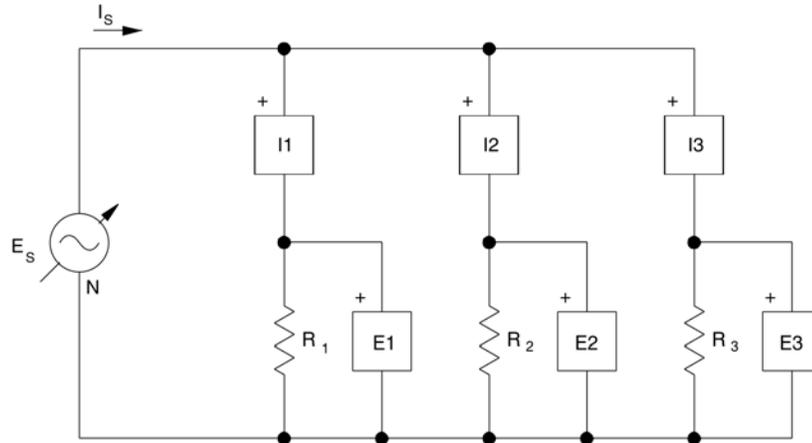
$E1 \times I1 = \underline{\hspace{2cm}}$ W $P1 = \underline{\hspace{2cm}}$ W

13. Les résultats sont-ils presque identiques?

Oui Non

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit de la figure 2-11. Réglez le module Charge résistive aux valeurs de résistances indiquées et raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3, E1, E2 et E3 tel qu'illustré.

Puissance instantanée



TENSION DE LIGNE (V)	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	R ₃ (Ω)
120	171	171	171
220	629	629	629
240	686	686	686

Figure 2-11. Puissance instantanée dans un circuit parallèle.

- 15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), réglez le bouton de commande de la tension à 100% et vérifiez si les paramètres du circuit sont affichés dans le menu *Appareils de mesure*.
- 16. À partir de la fenêtre *Appareils de mesure*, choisissez le fichier de configuration ES12-5.dai.
- 17. Cliquez sur le bouton *Oscilloscope* et affichez les valeurs I1, I2, I3 et E1 sur les voies CH1, CH2, CH3 et CH4. Assurez-vous que le bouton de commande de la base de temps est réglé de façon à afficher au moins deux périodes complètes des signaux sinusoïdaux.
- 18. Sélectionnez les échelles verticales appropriées à l'affichage et notez les courants efficaces.

$$I1 = \text{_____ A} \quad I2 = \text{_____ A} \quad I3 = \text{_____ A}$$

Puissance instantanée

19. Calculez le produit des tensions par les courants, de façon à obtenir la puissance dissipée dans chacune des trois résistances R_1 , R_2 et R_3 .

$$P_{R1} = \text{_____ W} \quad P_{R2} = \text{_____ W} \quad P_{R3} = \text{_____ W}$$

20. Quelle est la puissance totale dissipée dans le circuit?

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

21. Affichez P_1 , P_2 et P_3 dans la fenêtre *Oscilloscope* et notez les valeurs indiquées dans le *Tableau de données* sur les signaux.

$$P_1 = \text{_____ W} \quad P_2 = \text{_____ W} \quad P_3 = \text{_____ W}$$

22. Quelle est la puissance totale mesurée?

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = \text{_____ W}$$

23. Comparez les résultats des manipulations 19 à 22. La puissance totale est-elle presque la même dans les deux cas?

Oui Non

24. Comparez les phases relatives entre les différents signaux. Y a-t-il un déphasage appréciable?

Oui Non

25. Les signaux P_1 , P_2 et P_3 représentant la puissance instantanée confirment-ils que la puissance dissipée dans un circuit résistif est toujours positive?

Oui Non

26. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

Puissance instantanée

CONCLUSION

Vous avez démontré que le signal représentant la puissance instantanée, qui est généré lorsqu'un courant alternatif circule dans une charge résistive, est toujours positif et que sa fréquence est deux fois celle de la source c.a. qui le génère. Vous avez également vu que la puissance moyenne dissipée par cette charge est le produit des courants par les tensions efficaces du circuit.

EXERCICES

1. La puissance moyenne dissipée dans un circuit c.a. est égale
 - a. à zéro sur une période.
 - b. au carré de la tension, divisé par le courant.
 - c. à la moitié de la valeur crête.
 - d. au produit de la tension E par le courant I efficaces.
2. Le signal représentant la puissance dans un circuit c.a. est un signal sinusoïdal dont la fréquence est deux fois celle de la source.
 - a. Vrai.
 - b. Faux, car la puissance moyenne est supérieure à zéro.
 - c. Vrai, mais seulement avec une charge résistive.
 - d. Faux, le signal représentant la puissance est rectangulaire.
3. La courbe de la puissance instantanée montre que la puissance est toujours positive, même lorsque la tension et le courant d'un circuit c.a. passent d'une valeur positive à une valeur négative.
 - a. Faux.
 - b. Vrai, lorsque la charge est résistive.
 - c. Toujours vrai.
 - d. Cela dépend de la fréquence du signal.
4. Quelle est la puissance moyenne dissipée dans une résistance de $100\ \Omega$ lorsqu'elle est raccordée à une source c.a. dont la tension crête est de $141\ \text{V}$?
 - a. $1410\ \text{W}$
 - b. $14,1\ \text{W}$
 - c. $141\ \text{W}$
 - d. $100\ \text{W}$

Puissance instantanée

5. Est-il possible d'obtenir une «puissance négative» dans un circuit c.a.?
 - a. Oui, lorsque des condensateurs ou des bobines sont raccordés.
 - b. Non.
 - c. Seulement si la fréquence de la source est très basse.
 - d. Seulement dans des cas limites.

Questions récapitulatives

1. La valeur efficace d'une tension sinusoïdale est égale à $E_{\text{crête}} \times 1/\sqrt{2}$, ce qui correspond à la tension c.c. équivalente qui produirait le même effet calorifique.
 - a. Faux.
 - b. Vrai.
 - c. Cela dépend de la charge.
 - d. Cela dépend de la fréquence.
2. Quelle est la période d'un signal sinusoïdal dont la fréquence est de 120 Hz?
 - a. 120 ms.
 - b. 8,3 ms.
 - c. 33,4 ms.
 - d. 16,7 ms.
3. Le courant alternatif est un courant qui change périodiquement de direction et qui passe de maximums positifs à maximums négatifs.
 - a. Vrai.
 - b. Faux.
 - c. Seulement si sa valeur efficace est supérieure à zéro.
 - d. Aucune de ces réponses.
4. Quel est le déphasage normal entre la tension et le courant d'un circuit ne comportant qu'une charge résistive?
 - a. 180° .
 - b. 90° .
 - c. Il n'y a aucun déphasage.
 - d. Cela dépend de la puissance dissipée dans la charge.
5. Lorsqu'il y a déphasage entre la tension et le courant d'un circuit c.a., cela signifie
 - a. que ce circuit est défectueux.
 - b. qu'il n'y a aucune résistance dans ce circuit.
 - c. que ce circuit comporte des composants inductifs.
 - d. que le courant est en avance sur la tension.
6. Le fait de connaître l'angle de phase entre la tension et le courant permet de déterminer
 - a. la fréquence.
 - b. si la puissance est instantanée.
 - c. l'amplitude efficace des signaux.
 - d. si le circuit ne comporte que des résistances.

Questions récapitulatives (suite)

7. Dans un circuit donné, le courant alternatif associé à une tension c.a. produit davantage de puissance qu'une tension c.c. égale à la tension c.a. crête du circuit.
- Vrai.
 - Faux, car la valeur c.a. moyenne est zéro sur une période complète.
 - Faux, car la tension c.c. est supérieure à la tension c.a. efficace.
 - Vrai, car la puissance est égale au produit de la tension efficace E par le courant efficace I .
8. Le signal représentant la puissance instantanée d'un circuit c.c. est le même que celui d'un circuit c.a.
- Vrai.
 - Faux, il s'agit d'une ligne droite.
 - Vrai, mais la fréquence est très basse.
 - Faux, la puissance instantanée n'existe pas dans les circuits c.c.
9. Il est impossible de résoudre des circuits c.a., puisque la loi d'Ohm et les lois de Kirchhoff utilisées pour résoudre les circuits c.c. y sont inapplicables.
- Vrai.
 - Faux, sauf dans le cas de charges inductives.
 - Vrai, si le circuit ne comporte que des résistances.
 - Faux, toutes les lois utilisées jusqu'à présent s'appliquent aux circuits c.a.
10. Quelle est la tension c.a. nécessaire pour générer la même puissance qu'une tension c.c. de 50 V?
- 141 V
 - 70,7 V
 - 50 V
 - $50\sqrt{2}$ V

Condensateurs dans les circuits c.a.

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de démontrer et d'expliquer les effets des condensateurs dans les circuits c.a. Vous allez utiliser les valeurs mesurées afin de déterminer la réactance capacitive de condensateurs, et vous allez mesurer et observer le déphasage qu'ils provoquent entre la tension et le courant.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Lorsqu'une **capacité (C)** est ajoutée à un circuit c.a., un effet similaire à celui produit par la résistance du circuit est observé, c'est-à-dire qu'il y a opposition à la circulation du courant. Cet effet est dû à la **réactance capacitive (X_C)**, qui est définie comme l'opposition qu'offre un condensateur à la circulation d'un courant alternatif.

La capacité correspond à la quantité de charges électriques que peut emmagasiner un condensateur dans le diélectrique se trouvant entre ses deux plaques conductrices, lorsqu'une tension est appliquée aux bornes de celles-ci. L'unité de mesure de la capacité est le **farad (F)**, qui est une valeur extrêmement grande. La plupart des condensateurs sont de l'ordre du microfarad ou du picofarad, selon qu'ils sont utilisés en électrotechnique ou en électronique.

Lorsqu'une tension c.c. est soudainement appliquée aux bornes d'un condensateur, il y a circulation d'un courant important, qui diminue jusqu'à ce que le condensateur soit chargé à la tension de la source, E_s . Le courant chute alors à zéro, car la tension aux bornes du condensateur ne varie plus et celui-ci ne se charge ni ne se décharge. Le courant peut être relativement important si la tension aux bornes du condensateur varie rapidement. Si la tension de la source augmente rapidement, un courant de charge important entre dans le condensateur, qui se comporte comme une charge et emmagasine de l'énergie. Au contraire, si la tension de la source diminue rapidement, un courant de décharge important sort du condensateur, qui se comporte momentanément comme une source de tension, à la manière d'une génératrice, et libère de l'énergie. Sa capacité à emmagasiner de l'énergie électrique est due au champ électrique induit entre ses plaques. La quantité d'énergie emmagasinée dépend de la capacité du condensateur et de la tension appliquée. Lorsqu'un condensateur se charge, il reçoit et emmagasine de l'énergie, mais il n'en dissipe pas. Lorsqu'il se décharge, l'énergie emmagasinée est libérée jusqu'à ce que la tension à ses bornes atteigne zéro. Ces explications facilitent la compréhension du comportement d'un condensateur lorsqu'il est raccordé à une source de tension c.a.

Lorsque la tension c.a. augmente, le condensateur emmagasine de l'énergie et, lorsqu'elle diminue, il libère l'énergie emmagasinée. Pendant la période «d'emmagasinage», le condensateur est une charge pour la source mais, pendant la période «de libération», il retourne vraiment l'énergie à la source. Cela provoque la situation intéressante dans laquelle le condensateur se comporte périodiquement comme une source de tension retournant de l'énergie à la source lui ayant

Condensateurs dans les circuits c.a.

antérieurement fourni une tension. Dans les circuits c.a., l'énergie circule dans les deux sens entre le condensateur et la source de tension sans que rien d'utile ne soit accompli. Comme le montre la figure 3-1, l'énergie circule de gauche à droite lorsque le condensateur se charge et de droite à gauche lorsqu'il se décharge.

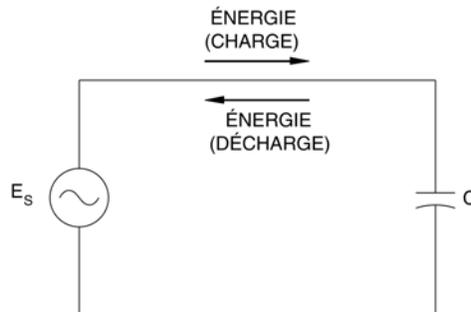


Figure 3-1. Circulation de l'énergie pendant la charge et la décharge.

Si un wattmètre était raccordé de façon à mesurer la puissance du circuit, il indiquerait zéro, puisqu'aucune puissance n'est dissipée dans le condensateur. Le wattmètre tente d'indiquer une valeur positive lorsque le condensateur se charge et une valeur négative lorsqu'il se décharge, mais l'inversion du sens de circulation du courant s'effectue si rapidement que l'aiguille du wattmètre n'arrive pas à la suivre. La puissance réelle, mieux connue sous le nom de **puissance active**, associée au condensateur idéal est donc nulle. Cependant, il y a chute de tension aux bornes du condensateur et circulation d'un courant dans le circuit. Le produit EI est appelé **puissance apparente** et il est exprimé en voltampères (VA). Pour les cas particuliers que constituent les circuits c.a. purement capacitifs et purement inductifs, la puissance apparente est appelée **puissance réactive** et elle est mesurée en var (voltampères réactifs). Le signal représentant la puissance instantanée montre qu'il y a des crêtes négatives de puissance dans les circuits réactifs, ce qui correspond à la circulation de l'énergie dans les deux sens entre la charge et la source. Comme vous le verrez dans ce bloc, le **déphasage capacitif** entre la tension et le courant est directement lié au sens de circulation du courant alternatif.

Réactance capacitive

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la réactance capacitive à l'aide de courants et tensions mesurés dans un circuit.

PRINCIPES

La réactance capacitive est définie comme l'opposition de la capacité à la circulation d'un courant alternatif. Son effet ressemble à celui de la résistance, sauf que la réactance capacitive dépend de la fréquence. Elle dépend également de la capacité du condensateur. Il y a capacité lorsque deux surfaces conductrices sont séparées par un matériau non conducteur. Les contacts d'un interrupteur ouvert, les bornes d'une pile, les enroulements isolés d'une bobine ou d'un transformateur et même les conducteurs parallèles d'une ligne de transmission électrique sont des condensateurs. Cependant, les condensateurs, en tant que composants, sont des dispositifs compacts possédant une capacité spécifique conforme aux caractéristiques d'un circuit spécifique.

La première fois qu'un circuit c.c. comportant un condensateur est alimenté, il y a circulation d'un courant et les électrons quittent l'une des plaques du condensateur pour s'accumuler sur l'autre. Lorsque les électrons en excès sur une plaque essaient de traverser jusqu'à l'autre, il y a création d'un champ électrostatique dans l'espace se trouvant entre les plaques. Le courant maximal initial diminue à mesure que la tension aux bornes des plaques du condensateur augmente jusqu'à la tension de la source, tension à laquelle aucun courant ne peut circuler. Si, à ce moment, le condensateur était retiré du circuit, il conserverait cette tension pendant un certain temps. Lorsqu'il y a conduction entre les plaques du condensateur, un courant circule pendant une courte période de temps, jusqu'à ce que le condensateur soit déchargé. Dans un circuit c.c., lorsqu'un condensateur est chargé, il est l'équivalent d'un circuit ouvert, puisque le courant ne circule plus. La réactance capacitive est donc infinie en c.c.

La formule servant à calculer la réactance capacitive d'un circuit c.a. est

$$X_c = 1/(2\pi fC)$$

où X_c = réactance capacitive, en ohms,
 C = capacité, en farads (F),
 f = fréquence de la source c.a., en Hz.

L'utilisation de la valeur numérique 6,28 au lieu de la constante 2π suffit dans la plupart des calculs relatifs à la réactance capacitive. Aussi, dans les circuits 50 et 60 Hz, le terme $2\pi f$ peut sans problème être remplacé par les valeurs numériques équivalentes 314 (50 Hz) et 377 (60 Hz).

Réactance capacitive

La formule de la réactance montre qu'elle est inversement proportionnelle à la fréquence et à la capacité, c'est pourquoi la réactance est réduite de moitié chaque fois que la capacité double. On obtient le même résultat si la fréquence est doublée.

Puisque la loi d'Ohm s'applique aux circuits c.a. et aux circuits c.c., la réactance capacitive peut également être déterminée à partir de la tension et du courant du circuit, à l'aide de la formule qui a été vue dans le Bloc 1.

On obtient $X_C = E_C / I_C$ ainsi que les formules $I_C = E_C / X_C$ et $E_C = I_C \times X_C$.

Ces formules de la loi d'Ohm ainsi que les lois de Kirchhoff vues au cours des expériences antérieures sont toutes utilisables pour résoudre des circuits c.a. capacitifs. Naturellement, E_C et I_C représentent une tension et un courant efficaces.

Le module EMS Charge capacitive utilisé au cours de cette expérience comporte trois sections identiques comportant chacune trois condensateurs pouvant être ajoutés aux circuits à l'aide d'interrupteurs à bascule. La valeur sélectionnée apparaît aux bornes de sortie de chaque section lorsque l'interrupteur approprié est fermé et deux des trois condensateurs peuvent être placés en parallèle. La capacité parallèle équivalente se trouve ensuite aux bornes de sortie. Cette configuration permet le réglage de différentes capacités et, par conséquent, de différentes réactances capacitives. Un tableau comportant un grand nombre des réactances possibles se trouve en annexe à ce manuel. De plus, les valeurs de la capacité, du courant et de la réactance de chacun des condensateurs sont sérigraphiées à côté de chaque composant sur la façade du module. Le courant et la réactance sont des valeurs nominales obtenues à la tension de ligne et à la fréquence indiquées.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

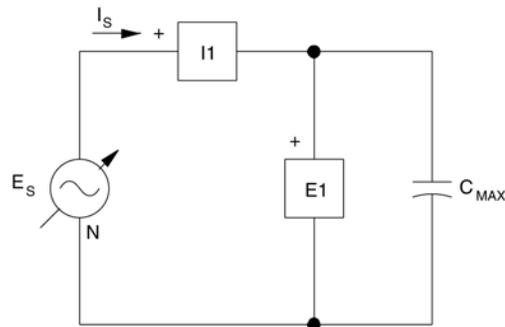
Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.

Réactance capacitive

3. Montez le circuit de la figure 3-2. Fermez tous les interrupteurs du module Charge capacitive, de façon à ce que tous les condensateurs soient en parallèle. Cela aura pour effet de produire une capacité égale à C_{MAX} . Raccordez les appareils de mesure E_1 et I_1 de façon à mesurer le courant et la tension du circuit.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	C_{MAX} (μF)
120	120	46,2 *
220	220	15,2 *
240	240	13,9 *

* VALEUR OBTENUE EN PLAÇANT TOUS LES CONDENSATEURS EN PARALLÈLE

Figure 3-2. Circuit c.a. capacitif.

4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES13-1.dai.
6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 3-2.
7. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer la tension et le courant mesurés dans le *Tableau de données* et notez-les ci-dessous.

$$E_c = \text{_____ V} \qquad I_c = \text{_____ A}$$

Réactance capacitive

8. Utilisez les valeurs E_C et I_C mesurées pour déterminer la réactance capacitive X_{C1} du circuit.

$$X_{C1} = E_C / I_C = \text{_____ } \Omega$$

9. Utilisez la valeur de X_{C1} obtenue pour déterminer la capacité C_{MAX} du circuit.

$$C_{MAX} = 1 / (2\pi f X_{C1}) = 1 / 6,28f X_{C1} = \text{_____ } \mu F$$

10. La valeur calculée à la manipulation 9 est-elle comparable à la capacité réglée sur le module Charge capacitive?

Oui Non

11. Réduisez la capacité du circuit en ouvrant les trois interrupteurs de toute une section du module Charge capacitive. Mesurez et notez les valeurs E_C et I_C .

$$E_C = \text{_____ } V$$

$$I_C = \text{_____ } A$$

12. À l'aide de ces nouvelles valeurs de tension et de courant, déterminez X_{C2} .

$$X_{C2} = \text{_____ } \Omega$$

13. Réduisez à nouveau la capacité du circuit en ouvrant les interrupteurs d'une seconde section de condensateurs. Mesurez E_C et I_C , et calculez X_{C3} .

$$E_C = \text{_____ } V \quad I_C = \text{_____ } A \quad X_{C3} = \text{_____ } \Omega$$

14. Calculez les rapports de variation de la réactance pour les différents circuits.

$$X_{C2} / X_{C1} = \text{_____}$$

$$X_{C3} / X_{C1} = \text{_____}$$

Réactance capacitive

15. Sachant que le circuit initial était fait de trois condensateurs de même capacité placés en parallèle, les rapports calculés à la manipulation 14 montrent-ils que la réactance capacitive a varié de façon inversement proportionnelle aux rapports des variations de capacité?

Oui Non

16. Avec une tension E_s égale à 50% de celle utilisée à la manipulation 6, calculez le courant circulant avec la réactance actuelle, réglée à la manipulation 13.

$$I_C = E_s / X_{C3} = \text{_____ A}$$

17. Utilisez le bouton de commande de la tension pour régler la tension E_s à 50% de la valeur indiquée à la manipulation 6, et mesurez la tension et le courant du circuit.

$$E_C = \text{_____ V} \qquad I_C = \text{_____ A}$$

18. Comparez le courant mesuré au courant calculé à la manipulation 16. Concordent-ils?

Oui Non

19. Jusqu'à quel point le rapport de la tension du circuit sur le courant du circuit correspond-il à la valeur actuelle de la réactance capacitive X_C du circuit?

20. La modification de la tension de la source a-t-elle altéré la réactance du circuit?

Oui Non

21. Les tensions et courants mesurés dans le circuit ont-ils démontré que la loi d'Ohm était valable dans les circuits c.a. capacitifs?

Oui Non

22. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Réactance capacitive

CONCLUSION

Vous avez déterminé la réactance capacitive de différents circuits c.a. en utilisant la loi d'Ohm et en mesurant les tensions et courants d'un circuit. Vous avez également observé que la loi d'Ohm était valable pour les circuits c.a. capacitifs et vous avez démontré que la réactance est directement proportionnelle à la capacité d'un circuit.

EXERCICES

1. Dans un circuit c.a. capacitif dont les condensateurs en parallèle ne sont pas de la même valeur, la tension et le courant efficaces du circuit sont de 100 V et 2 A, respectivement. Quelle est la valeur de X_C ?
 - a. 200 Ω
 - b. 50 Ω
 - c. 35,3 Ω
 - d. 35,3 F
2. Qu'advient-il de la réactance capacitive d'un circuit si la fréquence de sa source c.a. est réduite de moitié?
 - a. Elle doublera.
 - b. Elle sera réduite de moitié.
 - c. Elle ne variera pas.
 - d. Elle ne variera que s'il n'y a aucune résistance dans le circuit.
3. À quelle fréquence la réactance d'un condensateur de 27 μF est-elle de 98 Ω ?
 - a. 300 Hz
 - b. 60 Hz
 - c. 16 Hz
 - d. 6 Hz
4. La formule utilisée pour déterminer la réactance capacitive est
 - a. $X_C = I_C / E_C$.
 - b. $I_C = E_C \times X_C$.
 - c. $X_C = 2\pi fC$.
 - d. $X_C = 1/(2\pi fC)$.

Réactance capacitive

5. Comment la réactance capacitive varie-t-elle en fonction de la fréquence et de la capacité?
 - a. Elle varie de façon directement proportionnelle à la fréquence et de façon inversement proportionnelle à la capacité.
 - b. Elle varie de façon directement proportionnelle à la fréquence et à la capacité.
 - c. Elle varie de façon inversement proportionnelle à la fréquence et à la capacité.
 - d. Elle varie de façon inversement proportionnelle à la fréquence et directement proportionnelle à la capacité.

Capacité équivalente

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la capacité équivalente de condensateurs en série et en parallèle. Vous serez également en mesure d'expliquer et de démontrer une capacité équivalente à l'aide des courants et tensions mesurés dans un circuit.

PRINCIPES

Les condensateurs sont des dispositifs électriques faits de deux plaques parallèles conductrices séparées par de l'air, du papier, du mica ou un autre matériau. Ce matériau séparant les deux plaques est appelé diélectrique et, tout comme c'est le cas pour la résistance, chaque matériau possède une constante diélectrique différente. La capacité, comme la résistance, offre une opposition dans les circuits électriques. Cependant, contrairement à la résistance, qui s'oppose à la circulation du courant, le condensateur s'oppose aux variations de tension à ses bornes. La figure 3-3 illustre la composition de base de différents types de condensateurs.

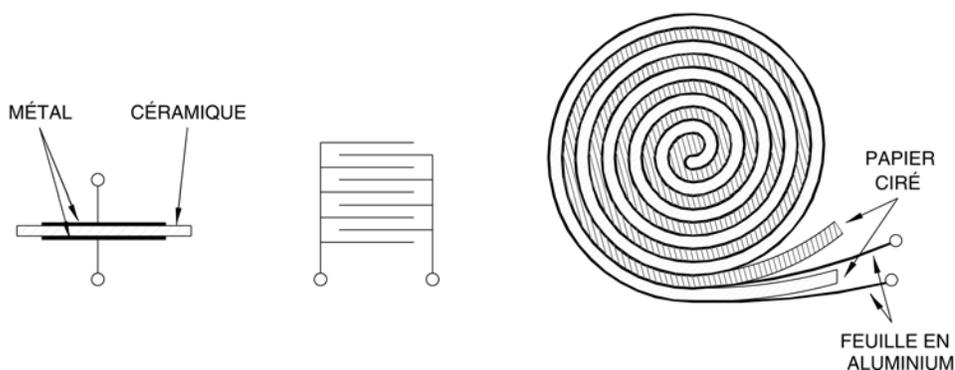


Figure 3-3. Composition de différents types de condensateurs.

Un condensateur emmagasine de l'énergie dans le champ électrique généré entre ses plaques lorsqu'une tension est appliquée aux bornes de celles-ci. L'énergie que peut emmagasiner un condensateur dépend de sa capacité, qui est proportionnelle à la constante diélectrique du matériau entre ses plaques, aux dimensions des plaques et à la distance les séparant. La capacité est mesurée en farads (F), unité de mesure extrêmement grande. En pratique, les condensateurs sont de l'ordre du picofarad et du microfarad. Une façon efficace d'augmenter la capacité d'un condensateur consiste à utiliser un électrolyte chimique entre ses plaques. Cela en fait un condensateur polarisé que l'on appelle *condensateur électrolytique*. Bien que les condensateurs électrolytiques permettent des capacités relativement élevées, leurs polarités doivent être respectées afin d'en empêcher le claquage, souvent dangereux et d'une force explosive. Tous les condensateurs doivent être manipulés

Capacité équivalente

avec soin, particulièrement ceux utilisés dans les éléments de circuits et les dispositifs haute tension, comme les tubes à rayons cathodiques. Ils peuvent emmagasiner d'importantes quantités d'énergie et peuvent prendre plusieurs jours, et même plusieurs semaines à se décharger. Avant de le manipuler, il est toujours sage de vérifier si un condensateur est déchargé.

Lorsque des condensateurs sont raccordés en série ou en parallèle, les formules utilisées pour déterminer la capacité équivalente ressemblent à celles utilisées pour calculer la résistance équivalente. Elles comportent cependant une différence puisque dans le cas de la capacité, elles sont inversées. Dans les configurations parallèles, la capacité équivalente C_{EQ} est supérieure, alors que dans les configurations sérielles, elle est inférieure. Ce n'est pas surprenant lorsque l'on pense que l'effet de plusieurs condensateurs en parallèle correspond à une augmentation de la surface des plaques où est emmagasinée l'énergie. Les placer en série produit le même effet qu'une augmentation de la distance entre les plaques. Cet effet est illustré à la figure 3-4.

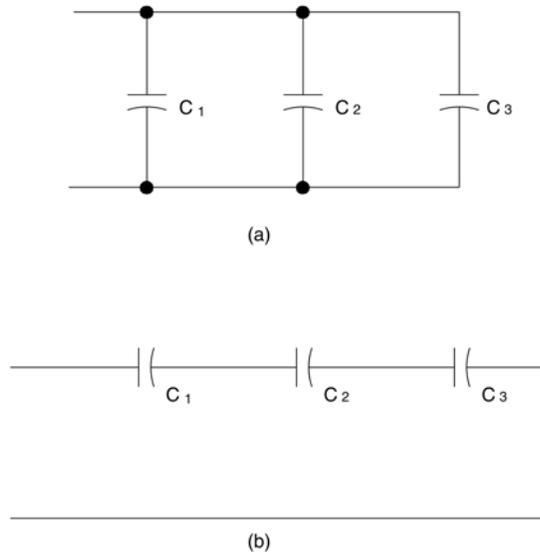


Figure 3-4. (a) Condensateurs en série. (b) Condensateurs en parallèle.

La formule pour calculer la capacité équivalente de condensateurs en parallèle est

$$C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N,$$

alors que celle pour calculer la capacité équivalente de condensateurs en série est

$$1/C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N.$$

Un remaniement de la formule $X_C = 1/(2\pi fC)$, qui lie la réactance capacitive et la capacité, donne $C = 1/(2\pi fX_C)$. Cette forme peut être utilisée pour déterminer la capacité du circuit à partir du courant et de la tension mesurés.

Capacité équivalente

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

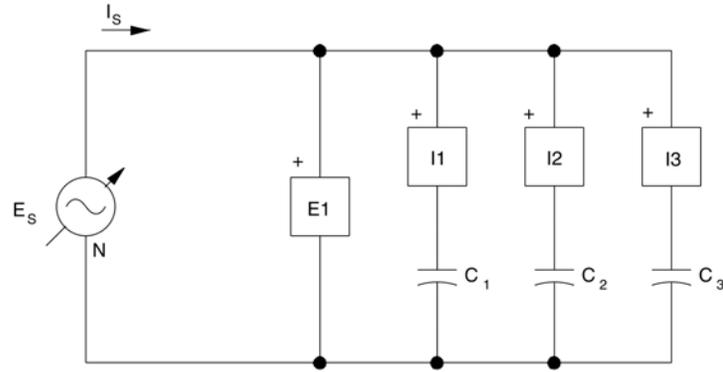
Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit parallèle de la figure 3-5 et raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3 et E1 tel qu'illustré. Réglez le module Charge capacitive de façon à obtenir les valeurs C_1 , C_2 et C_3 indiquées à la figure 3-5.
- 4. À l'aide des capacités indiquées à la figure 3-5, calculez la capacité équivalente $C_{ÉQ}$ du circuit.

$$C_{ÉQ} = C_1 + C_2 + C_3 = \text{_____ } \mu F$$

- 5. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 6. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES13-2.dai.

Capacité équivalente



TENSION DE LIGNE (V)	C ₁ (μF)	C ₂ (μF)	C ₃ (μF)
120	15,4	15,4	15,4
220	5,1	5,1	5,1
240	4,6	4,6	4,6

Figure 3-5. Calcul de la capacité équivalente d'un circuit parallèle.

7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 3-5.

8. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer la tension et le courant mesurés dans le *Tableau de données* et notez-les ci-dessous.

$$I_{C1} = \text{_____} \text{ A} \qquad I_{C2} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{C3} = \text{_____} \text{ A} \qquad E_C = \text{_____} \text{ V}$$

9. Utilisez les valeurs mesurées dans le circuit pour déterminer les capacités C_1 , C_2 et C_3 . Souvenez-vous que $X_C = E_C / I_C$.

$$C_1 = I_{C1} / (2\pi f E_C) = \text{_____} \mu\text{F}$$

$$C_2 = I_{C2} / (2\pi f E_C) = \text{_____} \mu\text{F}$$

$$C_3 = I_{C3} / (2\pi f E_C) = \text{_____} \mu\text{F}$$

Capacité équivalente

10. Les résultats obtenus à la manipulation 9 correspondent-ils aux capacités réglées sur le module Charge capacitive?

Oui Non

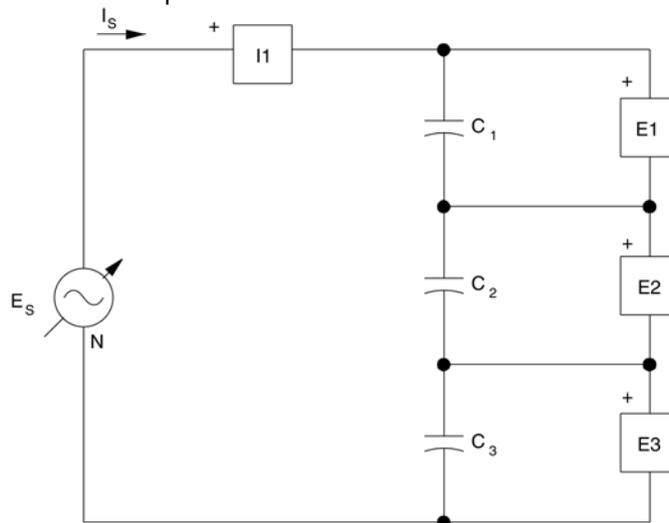
11. À l'aide des capacités de la manipulation 9, calculez la capacité équivalente $C_{\text{ÉQ}}$.

$$C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 = \underline{\hspace{2cm}} \mu\text{F}$$

12. Comparez le résultat obtenu à la manipulation 11 aux calculs théoriques effectués à la manipulation 4. Concordent-ils?

Oui Non

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit de la figure 3-6. Raccordez les appareils de mesure I1, E1, E2 et E3 tel qu'indiqué et réglez le module Charge capacitive de façon à obtenir les capacités nécessaires.



TENSION DE LIGNE (V)	C_1 (μF)	C_2 (μF)	C_3 (μF)
120	15,4	15,4	15,4
220	5,1	5,1	5,1
240	4,6	4,6	4,6

Figure 3-6. Calcul de la capacité équivalente d'un circuit série.

Capacité équivalente

14. À l'aide des capacités indiquées à la figure 3-6, calculez la capacité équivalente $C_{\text{ÉQ}}$ du circuit.

$$1/C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 = \text{_____ } \mu\text{F}$$

15. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES13-3.dai.
16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et vérifiez si la tension de la source est la même que celle réglée précédemment. Mesurez et notez le courant et les tensions du circuit.

$$E_{C1} = \text{_____ } \text{V}$$

$$E_{C2} = \text{_____ } \text{V}$$

$$E_{C3} = \text{_____ } \text{V}$$

$$I_C = \text{_____ } \text{A}$$

17. Utilisez les valeurs mesurées dans le circuit pour déterminer les capacités C_1 , C_2 et C_3 .

$$C_1 = I_{C1} / (2\pi f E_C) = \text{_____ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = I_{C2} / (2\pi f E_C) = \text{_____ } \mu\text{F}$$

$$C_3 = I_{C3} / (2\pi f E_C) = \text{_____ } \mu\text{F}$$

18. À l'aide des capacités de la manipulation 17, calculez la capacité équivalente $C_{\text{ÉQ}}$.

$$1/C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 = \text{_____ } \mu\text{F}$$

19. Comparez le résultat obtenu à la manipulation 18 aux calculs théoriques effectués à la manipulation 14. Concordent-ils?

Oui Non

20. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Capacité équivalente

CONCLUSION

Vous avez déterminé la capacité équivalente du circuit pour des configurations parallèle et série de condensateurs à l'aide des formules servant à calculer la capacité équivalente. Vous avez également utilisé ces formules avec les tensions, courants et réactances capacitatives mesurés dans le circuit.

EXERCICES

- Quelle est la formule servant à déterminer la capacité équivalente d'un circuit parallèle?
 - $C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N$.
 - $1/C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N$.
 - $C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.
 - $1/C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.
- Quelle est la formule servant à déterminer la capacité équivalente d'un circuit série?
 - $C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.
 - $1/C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N$.
 - $C_{\text{ÉQ}} = 1/(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N)$.
 - $1/C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.
- Quelle est la capacité équivalente de trois condensateurs de 15 μF raccordés en parallèle?
 - 50 μF
 - 4,5 μF
 - 45 μF
 - 5,0 μF
- Quelle est la capacité équivalente de trois condensateurs raccordés en série, dont les capacités respectives sont de 1 μF , 2 μF et 4 μF ?
 - 7 μF
 - 8 μF
 - 1,75 μF
 - 0,57 μF

Capacité équivalente

5. Quelle est la capacité équivalente de deux condensateurs de $10\ \mu\text{F}$ raccordés en parallèle, en série avec un condensateur de $5\ \mu\text{F}$?
- a. $50\ \mu\text{F}$
 - b. $25\ \mu\text{F}$
 - c. $10\ \mu\text{F}$
 - d. $4\ \mu\text{F}$

Déphasage capacitif et puissance réactive

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de mesurer et de reconnaître un déphasage capacitif. Vous observerez également le phénomène de la puissance négative associée à la puissance réactive dans les circuits c.a.

PRINCIPES

Comme vous l'avez vu dans les blocs antérieurs, dans les circuits c.a. résistifs, les tensions et courants sont en phase, et la puissance dissipée par les résistances est une puissance active transformée en chaleur. Cependant, contrairement à lorsqu'il n'y a qu'une résistance dans un circuit c.a., à cause de la capacité, il y a un déphasage entre la tension et le courant du circuit. Ce déphasage est dû au fait que les condensateurs s'opposent aux variations de tension à leurs bornes.

Comme on l'a vu précédemment, le processus charge-décharge, donc la circulation du courant capacitif, associé aux condensateurs est lié au fait que la tension appliquée varie. Si l'on s'arrête un moment pour réfléchir à ce qui se passe lorsqu'une tension c.a. passe par sa valeur maximale, on se rend compte qu'à ce moment précis, la tension ne varie plus. Le courant capacitif doit donc être nul à ce moment, puisque le taux de variation de la tension est nul. Lorsque l'amplitude de la tension c.a. est nulle, son taux de variation est maximal et le courant doit donc être maximal. Pour que la loi des tensions de Kirchhoff soit respectée, la seule façon que la tension aux bornes du condensateur soit à tout moment égale à la tension de la source, c'est que le courant soit en avance sur la tension. Pour un condensateur idéal, le déphasage est de 90° . Comme vous le savez, cela revient à dire que la tension est en retard de 90° sur le courant. Un déphasage capacitif de 90° entre la tension et le courant est illustré à la figure 3-7.

Tel que mentionné antérieurement dans le Bloc 2, des composants réactifs, comme des condensateurs, qui produisent un déphasage entre la tension et le courant d'un circuit, génèrent une puissance instantanée comportant des valeurs négatives et positives. Une «puissance négative» signifie simplement une puissance retournée à la source. La figure 3-8 illustre la puissance instantanée d'un circuit c.a. capacitif. Les surfaces sous la courbe positives et négatives sont égales, ce qui fait que la puissance moyenne est nulle sur une période complète. La partie négative du signal indique qu'il y a puissance réactive. Lorsqu'il n'y a pas de résistance dans le circuit, cette puissance réactive est égale à la puissance apparente. Il est également à remarquer que la fréquence du signal représentant la puissance est égale à deux fois la fréquence de la source c.a.

Déphasage capacitif et puissance réactive

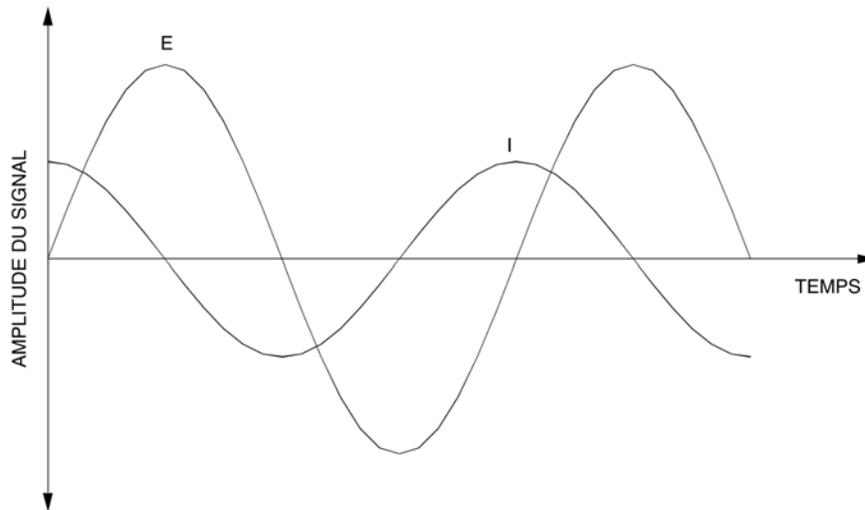


Figure 3-7. Déphasage capacitif dans un circuit c.a.

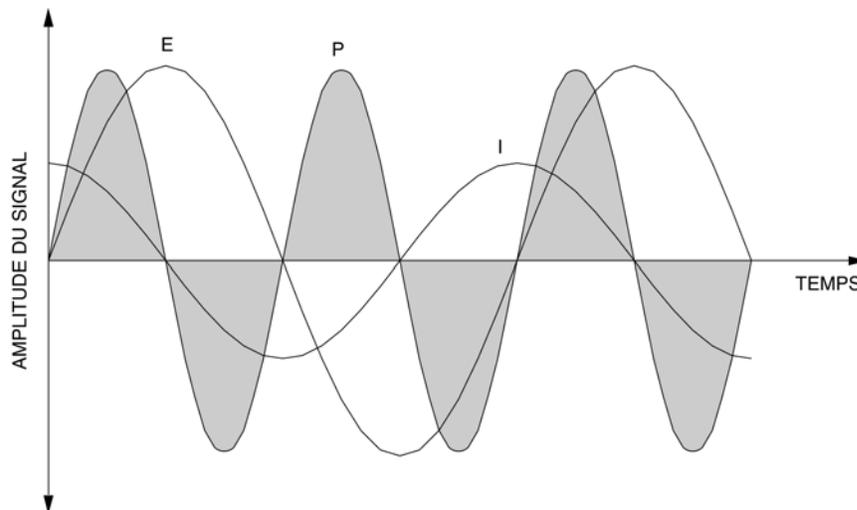


Figure 3-8. Puissance instantanée dans un circuit c.a. capacitif.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

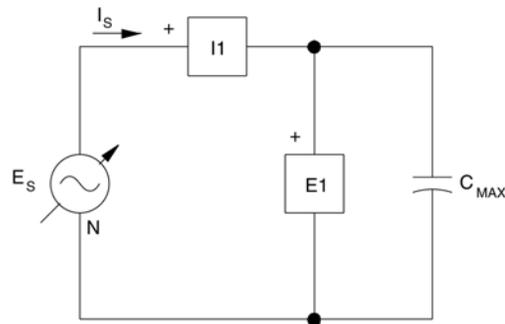
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

Déphasage capacitif et puissance réactive

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 3-9 et raccordez les appareils de mesure E1 et I1 de façon à mesurer la tension et le courant du circuit. Réglez le module Charge capacitive de façon à obtenir la capacité C_{MAX} indiquée à la figure 3-9.



TENSION DE LIGNE (V)	C_{MAX} (μF)
120	46,2 *
220	15,2 *
240	13,9 *

* VALEUR OBTENUE EN PLAÇANT TOUTS LES CONDENSATEURS EN PARALLÈLE

Figure 3-9. Déphasage capacitif et puissance réactive dans un circuit c.a.

- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez le fichier de configuration ES13-4.dai pour cette expérience.
- 5. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V - CA à la position I (marche). Réglez le bouton de la commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiqué à la figure 3-9 et vérifiez si les paramètres du circuit sont affichés dans la fenêtre *Appareils de mesure*.

Déphasage capacitif et puissance réactive

6. Notez la tension et le courant efficaces ainsi que la puissance apparente affichés sur les appareils de mesure.

$$E1 = \text{_____} \text{ V} \quad I1 = \text{_____} \text{ A} \quad PQS1 = \text{_____} \text{ VA}$$

7. La puissance apparente est-elle égale au produit de la tension efficace par le courant efficace?

Oui Non

8. Cliquez sur le bouton *Oscilloscope* et affichez les valeurs E1, I1 et P1 sur les voies CH1, CH2 et CH3. Assurez-vous que le bouton de commande de la base de temps est réglé de façon à afficher au moins deux périodes complètes des signaux sinusoïdaux.

9. Comparez le signal représentant le courant à celui représentant la tension. S'agit-il de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence?

Oui Non

10. Quel est le déphasage entre la tension et le courant?

$$\text{Déphasage} = \text{_____}^\circ$$

11. La manipulation 10 confirme-t-elle que le courant est en avance d'environ 90° sur la tension?

Oui Non

12. Le signal représentant le courant atteint-il son maximum lorsque la tension est nulle, et est-il nul lorsque la tension est à son maximum?

Oui Non

13. Déterminez la période et la fréquence du signal représentant la puissance instantanée?

$$T = \text{_____} \text{ s} \quad f = 1/T = \text{_____} \text{ Hz}$$

Déphasage capacitif et puissance réactive

14. Comment est la fréquence du signal représentant la puissance instantanée comparativement à celle de la source c.a.?

15. Le signal représentant la puissance instantanée indique-t-il que les surfaces sous la courbe positives et négatives sont presque égales?

Oui Non

16. Calculez le produit du courant efficace par la tension efficace et comparez-le à la valeur MOY. de P1, indiquée dans le *Tableau de données* du menu *Oscilloscope*.

$E1 \times I1 =$ _____ $P1 =$ _____

17. Les résultats obtenus à la manipulation 16 confirment-ils que la puissance apparente et la puissance active sont différentes?

Oui Non

18. Quelle est la puissance active totale que consomme le circuit?

$P_{ACTIVE} =$ _____ W

19. En quels points de sa période le signal représentant la puissance instantanée atteint-il sa valeur positive maximale?

Remarque : La valeur positive du signal représentant la puissance est maximale aux points d'intersection du signal représentant le courant avec celui représentant la tension. Une analyse mathématique démontre que ces points correspondent à un angle de phase de 45° , c'est-à-dire la moitié du déphasage de 90° entre les signaux. On observe le même comportement dans les circuits c.a. inductifs.

20. La manipulation 19 montre-t-elle que la puissance instantanée est nulle lorsque le courant ou la tension sont nuls?

Oui Non

Déphasage capacitif et puissance réactive

- 21. Modifiez la capacité du circuit en ouvrant les trois interrupteurs d'une section du module Charge capacitive.

- 22. Quel effet la variation de la réactance capacitive a-t-elle sur le courant, la tension et la puissance réactive du circuit?

- 23. Le déphasage entre le courant et la tension a-t-il varié?
 - Oui
 - Non

- 24. Pourquoi l'amplitude du signal représentant la puissance instantanée est-elle différente?

- 25. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé le déphasage capacitif d'un circuit c.a. à l'aide des courants et tensions mesurés. Vous avez observé le signal représentant la puissance instantanée et constaté qu'aucune puissance active n'était dissipée par le circuit capacitif. Enfin, l'observation de signaux du circuit vous a permis de vérifier le comportement théorique du courant et de la tension du circuit.

EXERCICES

1. Lorsqu'une tension est appliquée aux bornes de ses plaques, un condensateur emmagasine de l'énergie dans le champ électrique induit entre celles-ci.
 - a. Vrai.
 - b. Faux.
 - c. Faux, l'énergie est emmagasinée dans le diélectrique.
 - d. Vrai pour les circuits c.a. seulement.

Déphasage capacitif et puissance réactive

2. Le déphasage produit par un condensateur entre le courant et la tension est égal à
 - a. $+90^\circ$, si la tension est utilisée comme référence.
 - b. $+90^\circ$, si le courant est utilisé comme référence.
 - c. -90° , si la tension est utilisée comme référence.
 - d. b et c .

3. Dans un circuit c.a. capacitif, en quels points de sa période le signal représentant la puissance instantanée atteint-il son maximum?
 - a. Lorsque la tension ou le courant sont nuls.
 - b. Aux points d'intersection du signal représentant la tension avec celui représentant le courant.
 - c. Lorsque les tensions et courants efficaces sont maximaux.
 - d. Aucune de ces réponses, car la puissance active est égale à zéro.

4. Quelle est la puissance réactive d'un circuit c.a. purement capacitif lorsque la tension et le courant efficaces sont respectivement de 250 V et 3A ?
 - a. 750 W.
 - b. 750 VA.
 - c. 750 var.
 - d. 83,3 var.

5. Les surfaces sous la courbe positives et négatives du signal représentant la puissance instantanée d'un circuit sont égales. Qu'est-ce que cela signifie?
 - a. Que le circuit est résistif.
 - b. Que le circuit ne comporte que des composants réactifs.
 - c. Que la puissance active est nulle.
 - d. b et c .

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Questions récapitulatives

1. Si le courant circulant dans le circuit ou elle se trouve est de 1,2 A, quelle est la chute de tension aux bornes d'une réactance capacitive de 100 Ω ?
 - a. 1200 V.
 - b. 80 V.
 - c. 120 V.
 - d. 120 kV.

2. On peut doubler la réactance capacitive d'un circuit en
 - a. augmentant de moitié la fréquence de la source.
 - b. doublant la tension de la source.
 - c. doublant la capacité.
 - d. réduisant de moitié la capacité.

3. La formule $X_C = 1 / (2\pi fC)$ peut être utilisée pour déterminer
 - a. la réactance de résistances.
 - b. la résistance capacitive de condensateurs.
 - c. la réactance capacitive de condensateurs.
 - d. le déphasage capacitif d'un circuit.

4. La fréquence et la capacité altèrent directement
 - a. la résistance d'une source de tension.
 - b. la puissance active dissipée par une résistance.
 - c. la polarité du courant circulant dans un circuit.
 - d. la réactance capacitive d'un circuit.

5. Quelle est la formule utilisée pour calculer la capacité équivalente, $C_{\text{ÉQ}}$, de condensateurs raccordés en parallèle?
 - a. $C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N$.
 - b. $1/C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N$.
 - c. $C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.
 - d. $1/C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.

6. Quelle est la formule utilisée pour déterminer la capacité équivalente, $C_{\text{ÉQ}}$, de condensateurs raccordés en série?
 - a. $C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.
 - b. $1/C_{\text{ÉQ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_N$.
 - c. $C_{\text{ÉQ}} = 1/(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N)$.
 - d. $1/C_{\text{ÉQ}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_N$.

Questions récapitulatives (suite)

7. Quelle est la capacité équivalente de trois condensateurs de $15\ \mu\text{F}$ raccordés en série?
- $45\ \mu\text{F}$
 - $4,5\ \mu\text{F}$
 - $50\ \mu\text{F}$
 - $5,0\ \mu\text{F}$
8. Quelle est la capacité équivalente de trois condensateurs raccordés en parallèle et dont les capacités sont de $1\ \mu\text{F}$, $2\ \mu\text{F}$ et $4\ \mu\text{F}$, respectivement?
- $8\ \mu\text{F}$
 - $7\ \mu\text{F}$
 - $0,57\ \mu\text{F}$
 - $1,75\ \mu\text{F}$
9. Dans un circuit c.a. capacitif, le déphasage entre la tension et le courant est
- $+180^\circ$.
 - -180° .
 - $+90^\circ$.
 - a ou b, dépendamment du paramètre utilisé comme référence.
10. Quelle est la puissance réactive consommée par un circuit c.a. purement capacitif dont la tension efficace et le courant sont de $75\ \text{V}$ et $5\ \text{A}$, respectivement?
- $375\ \text{W}$
 - $375\ \text{VA}$
 - $375\ \text{var}$
 - $15\ \text{var}$

Bobines dans les circuits c.a.

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de démontrer et d'expliquer les effets des bobines dans les circuits c.a. Vous allez utiliser les valeurs mesurées dans un circuit pour déterminer la réactance inductive de bobines, et vous allez mesurer et observer le déphasage que produisent les bobines entre la tension et le courant.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Les expériences de ce bloc ressemblent beaucoup à celles du Bloc 3 et, comme vous le verrez, le comportement de la bobine dans les circuits magnétiques correspond à l'inverse du comportement du condensateur dans les circuits électriques. Ils emmagasinent tous deux de l'énergie et produisent tous deux un déphasage de 90° entre la tension et le courant. Cependant, les condensateurs emmagasinent de l'énergie de façon statique dans un champ électrostatique induit par l'application d'une tension, alors que les bobines emmagasinent de l'énergie dynamique dans un champ électromagnétique induit par la circulation d'un courant dans une bobine de fil.

Les bobines sont des dispositifs conçus pour générer un champ magnétique. Toute l'industrie de l'électricité repose sur les bobines. On les trouve dans les moteurs, les génératrices, les relais et de nombreux autres dispositifs électriques. L'**inductance (L)** correspond à la quantité d'énergie qu'emmagasine une bobine dans le champ magnétique généré lorsqu'un courant variable circule dans son enroulement. L'unité de mesure de l'inductance est le **henry (H)**.

Lorsqu'une bobine est ajoutée à un circuit c.a., l'effet observé est similaire à celui que produit l'ajout d'un condensateur, c'est-à-dire qu'il y a opposition à la circulation du courant. Cet effet est dû à la **réactance inductive (X_L)**, qui est définie comme l'opposition qu'offre une bobine à la circulation d'un courant alternatif. Lorsqu'un courant circule dans une bobine de fil, il y a génération d'un champ magnétique qui contient de l'énergie. Lorsque le courant augmente, cette énergie augmente aussi. Lorsque le courant diminue, cette énergie est libérée, et elle devient nulle lorsque le courant devient nul. Ce cas ressemble à celui du condensateur, sauf que dans un condensateur, c'est la tension qui détermine la quantité d'énergie emmagasinée, alors que dans une bobine, c'est le courant. Dans le circuit inductif de la figure 4-1, la source de tension c.a. provoque la circulation d'un courant alternatif dans l'enroulement de la bobine. Le courant augmente, diminue et change de polarité de la même façon que la tension de la source. L'enroulement reçoit donc de l'énergie de façon alternative en provenance de la source, puis il la renvoie, selon que le courant circulant dans la bobine augmente (augmentation de l'intensité du champ magnétique) ou diminue (diminution de l'intensité du champ magnétique). Dans les circuits c.a., le courant circule dans les deux sens entre la bobine et la source de tension sans rien accomplir d'utile, comme dans le cas des condensateurs. La figure 4-1 montre que la circulation du courant se fait de gauche à droite, lorsque

Bobines dans les circuits c.a.

l'intensité du champ magnétique augmente (augmentation du courant), et de droite à gauche, lorsque l'intensité du champ magnétique diminue (diminution du courant). Comme vous le verrez plus loin, dans les circuits c.a. inductifs, la circulation de l'énergie alternative est liée au déphasage inductif entre le courant et la tension de la même manière qu'au déphasage capacitif.

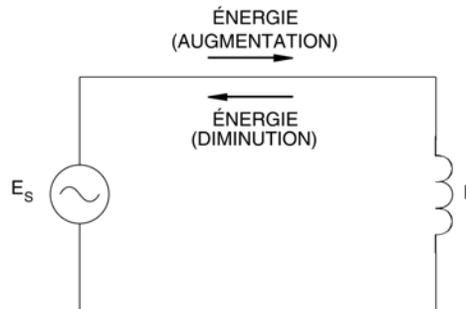


Figure 4-1. Circulation de l'énergie lors de l'augmentation et de la diminution de l'intensité du champ magnétique.

Si un wattmètre était raccordé de façon à mesurer la puissance consommée par une bobine idéale, il indiquerait zéro. Cependant, en pratique, toutes les bobines dissipent une puissance active et le wattmètre indique une faible puissance, car le fil de la bobine possède toujours une résistance provoquant des pertes. Les noyaux en fer associés à certains types de bobines provoquent également des pertes de puissance active à cause des courants de Foucault qui y sont induits.

Il y aura chute de tension aux bornes de la bobine et la circulation du courant dans le circuit c.a. inductif sera très similaire à la circulation du courant dans le circuit capacitif. La puissance apparente (produit EI) sera égale à la puissance réactive dans le cas d'une bobine idéale et le signal représentant la puissance instantanée comportera des crêtes négatives, comme celui des circuits c.a. capacitifs. Pour faire la distinction entre **puissance réactive capacitive** et **puissance réactive inductive**, on associe habituellement un signe négatif aux var capacitifs et un signe positif aux var inductifs.

Réactance inductive

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la réactance inductive à l'aide de courants et tensions mesurés dans un circuit.

PRINCIPES

La réactance inductive est définie comme étant l'opposition qu'offre l'inductance à la circulation d'un courant alternatif. Il y a inductance dès qu'il y a circulation d'un courant dans un enroulement de fil et le fait d'enrouler du fil autour d'un noyau en fer augmente cette inductance. L'effet de l'inductance est très similaire à celui de la capacité et, comme la réactance capacitive, la réactance inductive varie en fonction de la fréquence. Cependant, puisqu'elle est directement proportionnelle à la fréquence, la réactance inductive augmente lorsque la fréquence augmente, ce qui est le contraire dans le cas de la réactance capacitive. Aussi, l'augmentation de l'inductance d'une bobine augmente-t-elle la réactance inductive.

Lorsqu'un circuit c.c. comportant une bobine est alimenté pour la première fois, il y a circulation d'un courant et une variation de ce courant génère un champ magnétique. Lorsque le champ magnétique est établi, le courant se stabilise à une valeur dépendant de la résistance du circuit et l'intensité du champ magnétique ne varie plus. La tension initiale aux bornes de la bobine est égale à la tension de la source et lorsqu'elle diminue de façon exponentielle jusqu'à zéro, le courant augmente jusqu'à une valeur maximale et stable.

Si l'on retire la bobine du circuit, l'interruption du courant provoque une diminution de l'intensité du champ magnétique et il y a génération d'une tension très élevée entre les deux points où le circuit a été ouvert. Cette tension élevée provoque une étincelle entre les deux points et l'énergie que contient le champ magnétique est libérée. Dans un circuit c.c., lorsque le courant est stabilisé à sa valeur maximale, la présence de la bobine n'est plus évidente, car elle se comporte comme un court-circuit. Donc, en c.c., la réactance inductive est nulle et seule la faible résistance du fil de la bobine limite le courant.

Lorsqu'un courant alternatif commence à circuler dans une bobine, il y a génération et augmentation progressive d'un champ magnétique autour du fil de la bobine, ce qui, au même moment, induit une **force contre-électromotrice (f.c.é.m.)** dans le fil. Lorsque le courant change de direction, le champ magnétique commence à diminuer de façon régressive, générant encore une fois une f.c.é.m. La polarité de la tension induite est toujours opposée à celle de la tension de la source. La tension induite se comporte donc comme une résistance s'opposant à la tension de la source. L'opposition que produit la force contre-électromotrice correspond à la réactance inductive de la bobine.

Réactance inductive

La formule servant à déterminer la réactance inductive dans un circuit c.a. est

$$X_L = 2\pi fL$$

où X_L = réactance inductive, en ohms,
L = inductance, en henrys (H),
f = fréquence de la source c.a., en Hz.

L'utilisation de la valeur numérique 6,28 au lieu de la constante 2π suffit dans la plupart des calculs relatifs à la réactance inductive. Aussi, dans les circuits 50 et 60 Hz, le terme $2\pi f$ peut sans problème être remplacé par les valeurs numériques équivalentes 314 (50 Hz) et 377 (60 Hz). La formule servant à calculer la réactance indique qu'elle est directement proportionnelle à la fréquence et à l'inductance, et qu'elle double lorsque la fréquence ou l'inductance double.

La réactance inductive peut être calculée à partir de la tension et du courant du circuit, à l'aide de la loi d'Ohm habituelle, ce qui donne $X_L = E_L / I_L$, ainsi que les expressions équivalentes $I_L = E_L / X_L$ et $E_L = I_L \times X_L$.

Ces formules de la loi d'Ohm ainsi que les lois de Kirchhoff vues au cours des expériences antérieures sont aussi utilisables pour résoudre des circuits c.a. inductifs. Naturellement, E_L et I_L représentent une tension et un courant efficaces.

Le module EMS Charge inductive utilisé au cours de cette expérience comporte trois sections identiques comportant chacune trois bobines pouvant être ajoutées aux circuits à l'aide d'interrupteurs à bascule. La valeur sélectionnée apparaît aux bornes de sortie de chaque section lorsque l'interrupteur approprié est fermé et deux des trois bobines peuvent être placées en parallèle. L'inductance parallèle équivalente se trouve ensuite aux bornes de sortie. Cette configuration permet le réglage de différentes inductances et, par conséquent, de différentes réactances inductives. Un tableau comportant un grand nombre des réactances possibles se trouve en annexe à ce manuel. De plus, les valeurs de l'inductance, du courant et de la réactance de chacune des bobines sont sérigraphiées à côté de chaque composant sur la façade du module. Le courant et la réactance sont des valeurs nominales obtenues à la tension de ligne et à la fréquence indiquées.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

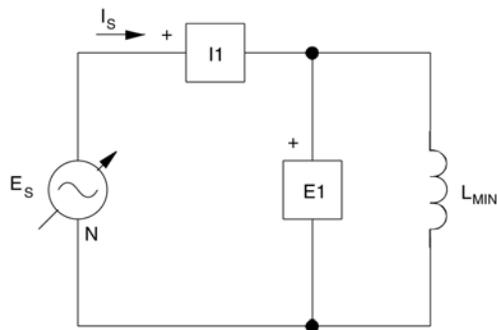
AVERTISSEMENT!

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!

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Réactance inductive

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge inductive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 4-2. Fermez tous les interrupteurs du module Charge inductive de façon à ce que toutes les bobines soient en parallèle. Cela aura pour effet de former une inductance égale à L_{min} . Raccordez les appareils de mesure E1 et I1 de façon à mesurer le courant et la tension du circuit.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	L_{MIN} (H)
120	120	0,15 *
220	220	0,67 *
240	240	0,72 *

* VALEUR OBTENUE EN PLAÇANT TOUTES LES BOBINES EN PARALLÈLE

Figure 4-2. Circuit c.a. inductif.

- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES14-1.dai.

Réactance inductive

6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 4-2.

7. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer la tension et le courant mesurés dans le *Tableau de données* et notez-les ci-dessous.

$$E_L = \text{_____ V} \qquad I_L = \text{_____ A}$$

8. Utilisez les valeurs E_L et I_L mesurées pour calculer la réactance inductive X_{L1} du circuit.

$$X_{L1} = E_L / I_L = \text{_____ } \Omega$$

9. Utilisez la valeur de X_{L1} obtenue pour calculer l'inductance L_{\min} du circuit.

$$L_{\min} = X_{L1} / 2\pi f = X_{L1} / 6,28f = \text{_____ H}$$

10. La valeur calculée à la manipulation 9 se compare-t-elle favorablement à l'inductance réglée sur le module Charge inductive?

Oui Non

11. Augmentez l'inductance du circuit en ouvrant les trois interrupteurs d'une section complète sur le module Charge inductive. Mesurez et notez E_L et I_L .

$$E_L = \text{_____ V} \qquad I_L = \text{_____ A}$$

12. À l'aide de cette nouvelle tension et de ce nouveau courant, calculez X_{L2} .

$$X_{L2} = \text{_____ } \Omega$$

13. Augmentez à nouveau l'inductance du circuit en ouvrant les interrupteurs d'une deuxième section de bobines. Mesurez E_L et I_L , puis calculez X_{L3} .

$$E_L = \text{_____ V} \qquad I_L = \text{_____ A} \qquad X_{L3} = \text{_____ } \Omega$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Réactance inductive

14. Calculez les rapports de variation de la réactance des différents circuits.

$$X_{L2} / X_{L1} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad X_{L3} / X_{L1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

15. Sachant que le circuit initial comportait trois bobines de même inductance en parallèle, les rapports à la manipulation 14 indiquent-ils que la réactance inductive a variée de façon directement proportionnelle aux rapports de variation d'inductance?

Oui Non

16. Si la tension E_s est égale à 50 % de celle utilisée à la manipulation 6, calculez le courant circulant actuellement dans le circuit qui comporte la réactance réglée à la manipulation 13.

$$I_L = E_s / X_{L3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

17. Utilisez le bouton de commande de la tension pour régler la tension E_s à 50 % de la tension réglée à la manipulation 6, et mesurez la tension et le courant du circuit.

$$E_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \qquad I_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

18. Comparez le courant mesuré à celui calculé à la manipulation 16. Concordent-ils?

Oui Non

19. Jusqu'à quel point le rapport de la tension sur le courant du circuit correspond-il à l'inductance X_L actuelle du circuit?

20. La modification de la tension de la source a-t-elle altéré la réactance du circuit?

Oui Non

Réactance inductive

21. Les tensions et courants mesurés dans le circuit démontrent-ils que la loi d'Ohm est valable dans les circuits c.a.?

Oui Non

22. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé la réactance inductive de différents circuits c.a. à l'aide de la loi d'Ohm ainsi que de tensions et courants mesurés dans le circuit. Vous avez également observé que la loi d'Ohm était valable dans les circuits c.a. inductifs et démontré que la réactance variait de façon directement proportionnelle à l'inductance du circuit.

EXERCICES

1. Dans un circuit c.a. inductif comportant une inductance en série, la tension et le courant efficaces du circuit sont de 120 V et 3 A, respectivement. Quelle est la valeur de X_L ?
 - a. 360 Ω
 - b. 36 Ω
 - c. 40 Ω
 - d. 40 H
2. Qu'advient-il de la réactance inductive d'un circuit si la fréquence de sa source c.a. est réduite de moitié?
 - a. Elle doublera.
 - b. Elle sera réduite de moitié.
 - c. Elle ne variera pas.
 - d. Elle ne variera que s'il n'y a pas de résistance dans le circuit.

Réactance inductive

3. Dans un circuit c.c., que se passe-t-il lorsque le courant cesse soudainement de circuler dans une inductance?
 - a. L'intensité du champ magnétique augmente et il y a génération d'une tension très élevée dans le circuit.
 - b. L'intensité du champ magnétique diminue et la tension chute instantanément.
 - c. L'intensité du champ magnétique diminue et il y a génération d'une tension très élevée.
 - d. L'intensité du champ magnétique augmente et la tension chute instantanément.

4. La formule utilisée pour calculer la réactance inductive est
 - a. $X_L = I_L / E_L$.
 - b. $I_L = E_L \times X_L$.
 - c. $X_L = 2\pi fL$.
 - d. $X_L = 1 / (2\pi fL)$.

5. De quelle façon la réactance inductive varie-t-elle en fonction de la fréquence et de l'inductance?
 - a. Elle varie de façon directement proportionnelle à la fréquence et inversement proportionnelle à l'inductance.
 - b. Elle varie de façon directement proportionnelle à la fréquence et à l'inductance.
 - c. Elle varie de façon inversement proportionnelle à la fréquence et à l'inductance.
 - d. Elle varie de façon inversement proportionnelle à la fréquence et directement proportionnelle à l'inductance.

Inductance équivalente

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer l'inductance équivalente de bobines montées en série et en parallèle. Vous serez également en mesure d'expliquer et de démontrer l'inductance équivalente à l'aide des courants et tensions mesurés dans le circuit.

PRINCIPES

Les bobines sont des dispositifs électriques conçus pour emmagasiner de l'énergie dans un champ magnétique. Elles sont faites d'un enroulement de fil autour d'un noyau. Le matériau dont est fabriqué le noyau peut être non magnétique (bois ou plastique) ou magnétique (fer ou acier). Les bobines dont le noyau est non magnétique sont appelées bobines à noyau d'air, alors que celles dont le noyau est en fer ou en acier sont appelées bobines à noyau de fer. L'utilisation de matériaux magnétiques dans la fabrication du noyau permet d'obtenir des inductances supérieures, car les matériaux magnétiques concentrent les lignes de force magnétique dans une zone plus étroite. Chaque type de matériaux utilisés dans la fabrication du noyau d'une bobine possède une perméabilité magnétique qui lui est propre. La perméabilité magnétique est une propriété, au même titre que la constante diélectrique et la résistivité. La figure 4-3 montre les deux principaux types de bobines.

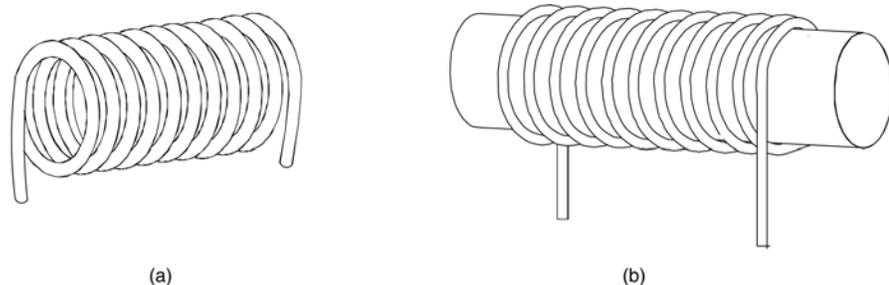


Figure 4-3. (a) Bobines à noyau d'air, (b) Bobines à noyau de fer.

Lorsque le courant circulant à l'intérieur de son enroulement de fil varie, une bobine emmagasine de l'énergie dans le champ magnétique généré autour de cet enroulement. La quantité d'énergie que peut emmagasiner une bobine dépend de son inductance, qui est liée à la perméabilité magnétique de son noyau et au nombre d'enroulements. L'unité de mesure de l'inductance, le henry (H), est la valeur obtenue lorsqu'une variation de courant d'un ampère par seconde induit une tension d'un volt dans une bobine.

Inductance équivalente

Les bobines doivent être manipulées avec soin, particulièrement celles utilisées dans les circuits d'alimentation. L'interruption de la circulation du courant dans une bobine haute tension peut générer de très hautes tensions aux bornes des points où le circuit est ouvert. Puisque les bobines peuvent emmagasiner d'énormes quantités d'énergie, il peut y avoir génération de tensions dangereuses si le courant est coupé brusquement. La figure 4-4 illustre ce phénomène. Le circuit série comporte une batterie de 12 V raccordée via un interrupteur à une résistance de 6Ω et à une bobine de 4 H. Le courant maximal circulant dans le circuit est de 2 A, si l'on considère que la résistance de la bobine est très très faible. Puisque dans une bobine le courant ne peut varier instantanément, lorsque l'interrupteur est ouvert, le courant du circuit doit être le même qu'avant son ouverture. Si l'on remplace l'interrupteur ouvert par une résistance de fuite de $500 \text{ k}\Omega$ par exemple, la tension aux bornes de l'interrupteur sera de $2 \times 500\,000 = 1\,000\,000 \text{ V}$, ce qui est une valeur très élevée. Ce même principe est utilisé dans les bobines haute tension des systèmes d'allumage d'automobile, où une tension élevée de 10 kV produit une étincelle aux bornes d'un entrefer afin d'enflammer l'essence.



Figure 4-4. Bobines en série.

Les formules utilisées pour calculer l'inductance équivalente sont de la même forme que celles utilisées pour calculer la résistance équivalente. Comme pour la résistance, l'inductance équivalente L_{EQ} est supérieure dans le cas des bobines raccordées en série, alors qu'elle est inférieure dans le cas de bobines raccordées en parallèle. Les figures 4-4 et 4-5 montrent des bobines raccordées en série et en parallèle, respectivement.

Inductance équivalente

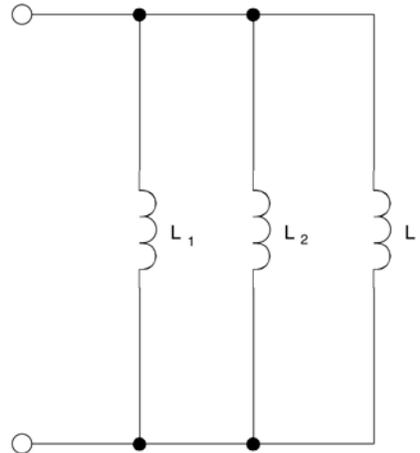


Figure 4-5. Bobines en parallèle.

La formule servant à calculer l'inductance équivalente de bobines en série est

$$L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N,$$

alors que celle servant à trouver l'inductance équivalente de bobines en parallèle est

$$1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N.$$

En isolant L dans la formule $X_L = 2\pi fL$ liant la réactance inductive à l'inductance, on obtient: $L = X_L / (2\pi fL)$. Cette forme peut être utilisée pour déterminer l'inductance d'un circuit à l'aide du courant et de la tension mesurés dans ce circuit.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

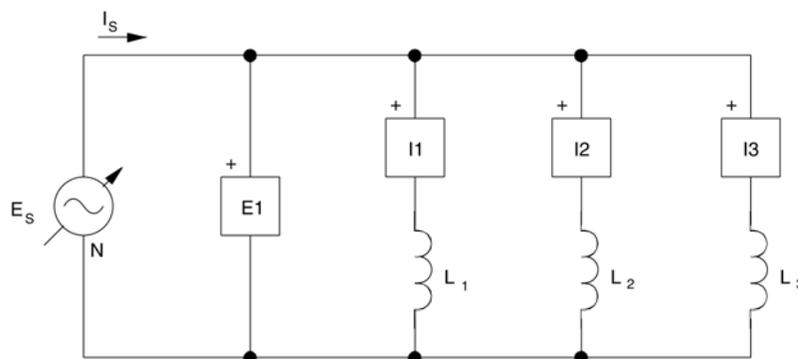
- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge inductive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position **O** (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la

Inductance équivalente

gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.

- 3. Montez le circuit parallèle de la figure 4-6 et raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3 et E1 tel qu'illustré. Réglez le module Charge inductive de façon à obtenir les inductances L_1 , L_2 et L_3 indiquées à la figure 4-6.
- 4. À l'aide des inductances indiquées à la figure 4-6, calculez l'inductance équivalente $L_{\text{ÉQ}}$ du circuit.

$$1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 = \text{_____ H}$$



TENSION DE LIGNE (V)	L_1 (H)	L_2 (H)	L_3 (H)
120	0,46	0,46	0,46
220	2,0	2,0	2,0
240	2,2	2,2	2,2

Figure 4-6. Calcul de l'inductance équivalente d'un circuit parallèle.

- 5. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'interrupteur principal de l'ordinateur à la position I (marche).
- 6. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES14-2.dai.
- 7. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 4-6.

Inductance équivalente

8. Utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer la tension et le courant mesurés dans le *Tableau de données* et notez les résultats ci-dessous.

$$I_{L1} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{L2} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{L3} = \text{_____} \text{ A}$$

$$E_L = \text{_____} \text{ V}$$

9. Utilisez les valeurs mesurées dans le circuit pour déterminer les inductances L_1 , L_2 et L_3 . Souvenez-vous que $X_L = E_L / I_L$.

$$L_1 = E_L / (2\pi f I_{L1}) = \text{_____} \text{ H}$$

$$L_2 = E_L / (2\pi f I_{L2}) = \text{_____} \text{ H}$$

$$L_3 = E_L / (2\pi f I_{L3}) = \text{_____} \text{ H}$$

10. Les résultats obtenus à la manipulation 9 correspondent-ils aux inductances réglées sur le module Charge inductive?

Oui Non

11. À l'aide des inductances calculées à la manipulation 9, calculez $L_{\text{ÉQ}}$.

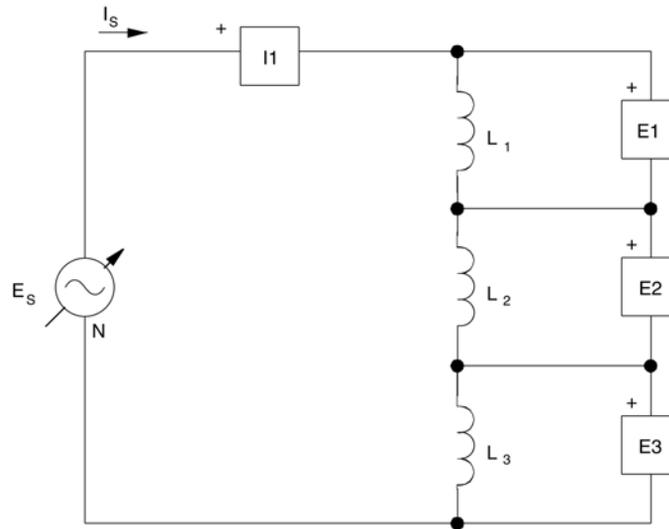
$$1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 = \text{_____} \text{ H}$$

12. Comparez le résultat obtenu à la manipulation 11 aux calculs théoriques effectués à la manipulation 4. Concordent-ils?

Oui Non

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit de la figure 4-7. Raccordez les appareils de mesure I1, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, et réglez le module Charge inductive de façon à obtenir les inductances nécessaires.

Inductance équivalente



TENSION DE LIGNE (V)	L ₁ (H)	L ₂ (H)	L ₃ (H)
120	0,46	0,46	0,46
220	2,0	2,0	2,0
240	2,2	2,2	2,2

Figure 4-7. Calcul de l'inductance équivalente d'un circuit série.

14. À l'aide des inductances indiquées à la figure 4-7, calculez l'inductance équivalente L_{EQ} du circuit.

$$L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 = \text{_____ H}$$

15. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES14-3.dai.
16. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et vérifiez si la tension de la source est identique à celle réglée précédemment. Mesurez et notez le courant et les tensions du circuit.

$$E_{L1} = \text{_____ V}$$

$$E_{L2} = \text{_____ V}$$

$$E_{L3} = \text{_____ V}$$

$$I_L = \text{_____ A}$$

Inductance équivalente

17. Utilisez les valeurs mesurées dans le circuit pour déterminer les inductances L_1 , L_2 et L_3 .

$$L_1 = E_{L1} / (2\pi f I_L) = \text{_____} \text{ H}$$

$$L_2 = E_{L2} / (2\pi f I_L) = \text{_____} \text{ H}$$

$$L_3 = E_{L3} / (2\pi f I_L) = \text{_____} \text{ H}$$

18. À l'aide des inductances de la manipulation 17, calculez $L_{\text{ÉQ}}$.

$$L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 = \text{_____} \text{ H}$$

19. Comparez le résultat obtenu à la manipulation 18 aux calculs théoriques effectués à la manipulation 14. Concordent-ils?

Oui Non

20. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé l'inductance équivalente de bobines en parallèle et en série à l'aide des formules servant à calculer l'inductance équivalente. Vous avez également combiné l'utilisation de ces formules aux tensions, aux courants et à la réactance inductive mesurés dans le circuit.

EXERCICES

1. Quelle est la formule servant à calculer l'inductance équivalente de bobines raccordées en parallèle?

- $L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N$.
- $1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N$.
- $L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.
- $1/L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.

Inductance équivalente

2. Quelle est la formule servant à calculer l'inductance équivalente de bobines raccordées en série?
- $L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.
 - $1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N$.
 - $L_{\text{ÉQ}} = 1 / (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N)$.
 - $1/L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.
3. Quelle est l'inductance équivalente de trois bobines de 15 H raccordées en parallèle?
- 50 H
 - 4,5 H
 - 45 H
 - 5,0 H
4. Quelle est l'inductance équivalente de trois bobines raccordées en série et dont les inductances sont de 1 H, 2 H et 4 H, respectivement?
- 7 H
 - 8 H
 - 1,75 H
 - 0,57 H
5. Quelle est l'inductance équivalente de deux bobines de 10 H raccordées en parallèle, en série avec une bobine de 5 H?
- 50 H
 - 25 H
 - 10 H
 - 5 H

Déphasage inductif et puissance réactive

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez capable de mesurer et de démontrer un déphasage inductif. Vous observerez également le phénomène de la puissance négative associée à l'inductance dans les circuits c.a.

PRINCIPES

Comme vous l'avez vu dans les blocs antérieurs, dans les circuits c.a. résistifs, les tensions et courants sont en phase, et la puissance dissipée par les résistances est active et libérée sous forme de chaleur. Cependant, dans un circuit c.a., tout comme la capacité, l'inductance produit également un déphasage entre la tension et le courant. La force contre-électromotrice générée par le champ magnétique d'une bobine est liée à une variation du courant inductif et elle s'oppose à la tension de la source c.a., d'où l'opposition du courant circulant dans la bobine.

Si l'on prend en compte l'instant auquel le courant alternatif atteint son maximum, il est évident qu'à cet instant particulier, le courant ne varie plus. À ce moment, la tension aux bornes de la bobine doit donc être nulle, puisque le taux de variation du courant, lui, est nul. Lorsque le courant diminue, son taux de variation est maximal et la tension doit donc être maximale. Si la loi des tensions de Kirchhoff est respectée, la seule façon que la tension aux bornes de la bobine soit en tout temps égale à la tension de la source, c'est que le courant soit en retard sur la tension. Dans le cas d'une bobine idéale, le courant est en retard de 90° sur la tension, comme le montre la figure 4-8.

Déphasage inductif et puissance réactive

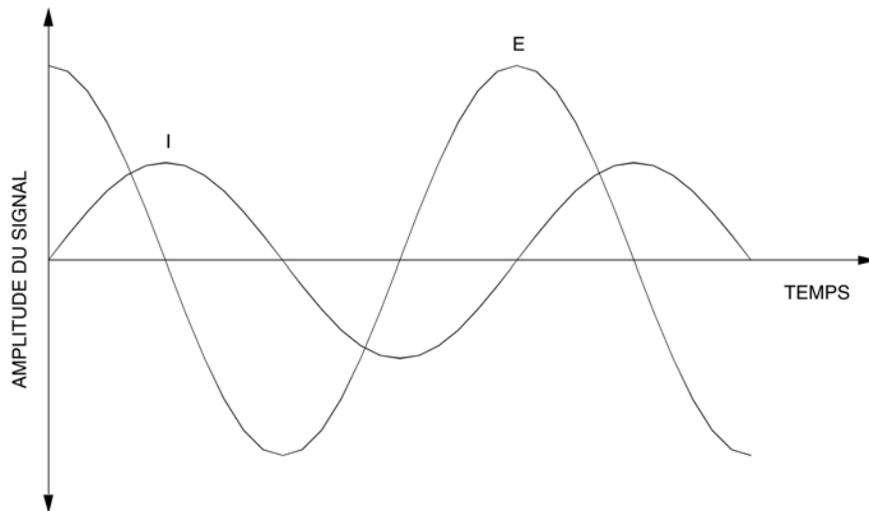


Figure 4-8. Déphasage inductif dans un circuit c.a.

Tel que mentionné antérieurement dans le Bloc 2, les composants réactifs provoquant un déphasage entre la tension et le courant d'un circuit génèrent des signaux instantanés négatifs et positifs représentant la puissance. Cela signifie qu'il y a retour de puissance à la source. La figure 4-9 montre un signal instantané représentant la puissance d'un circuit c.a. purement inductif. Ce signal comporte également des surfaces sous la courbe positives et négatives égales, comme celles d'un circuit c.a. capacitif, et, sur une période complète, la puissance moyenne est nulle. Cependant, comme vous le verrez au cours de cette expérience, de vraies bobines possèdent une résistance et consomment une faible puissance active. C'est pourquoi les surfaces sous la courbe positives et négatives du signal de puissance qui leur est associé ne sont pas tout à fait égales. Il est à remarquer que la fréquence du signal représentant la puissance correspond à deux fois la fréquence de la source c.a., c'est-à-dire qu'elle est la même que pour les circuits capacitifs.

Déphasage inductif et puissance réactive

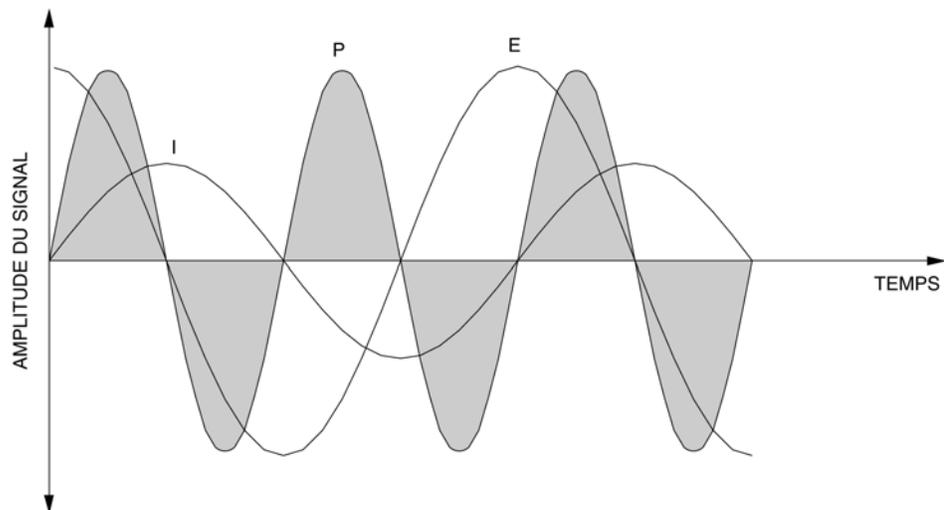


Figure 4-9. Puissance instantanée dans un circuit c.a. inductif.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

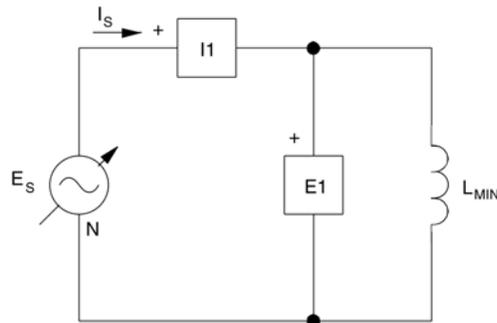
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge inductive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 4-10, et raccordez les appareils de mesure E1 et I1 de façon à mesurer la tension et le courant du circuit. Réglez le module Charge inductive de façon à obtenir l'inductance L_{\min} indiquée à la figure 4-10.

Déphasage inductif et puissance réactive



TENSION DE LIGNE (V)	L_{MIN} (H)
120	0,15 *
220	0,67 *
240	0,72 *

* VALEUR OBTENUE EN PLAÇANT TOUTES LES BOBINES EN PARALLÈLE

Figure 4-10. Déphasage inductif et puissance réactive dans un circuit c.a.

- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES14-4.dai pour cette expérience.
- 5. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 4-10 et vérifiez si les paramètres du circuit sont affichés dans la fenêtre *Appareils de mesure*.
- 6. Notez la tension et le courant efficaces ainsi que la puissance apparente affichés sur les appareils de mesure.

$$E1 = \text{_____ V} \quad I1 = \text{_____ A} \quad PQS1 = \text{_____ VA}$$

- 7. La puissance apparente est-elle égale au produit de la tension efficace et du courant efficace?

Oui Non

- 8. Cliquez sur le bouton *Oscilloscope* et affichez les valeurs E1, I1 et P1 sur les voies CH1, CH2 et CH3. Assurez-vous que le bouton de commande de

Déphasage inductif et puissance réactive

la base de temps est réglé de façon à afficher au moins deux périodes complètes des signaux sinusoïdaux.

9. Comparez le signal représentant le courant à celui représentant la tension. S'agit-il de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence?
- Oui Non

10. Quel est le déphasage entre la tension et le courant?
- Déphasage = _____ °

11. Le déphasage montre-t-il que le courant de la bobine est en retard d'environ 80° sur sa tension?
- Oui Non

Remarque : *La résistance du fil de la bobine fait en sorte que le déphasage est inférieur au déphasage théorique de 90°. À cause de cette résistance, les vraies bobines consomment une certaine puissance active.*

12. Le signal représentant le courant atteint-il son maximum lorsque la tension est nulle, et est-il nul lorsque la tension est à son maximum?
- Oui Non

13. Déterminez la période et la fréquence du signal représentant la puissance instantanée?
- T = _____ sf = 1/T = _____ Hz

14. Comment est la fréquence du signal représentant la puissance instantanée comparativement à celle de la source c.a.?
-

15. Les surfaces sous la courbe positives et négatives du signal représentant la puissance instantanée sont-elles inégales, démontrant ainsi que les vraies bobines consomment une puissance active?
- Oui Non

Déphasage inductif et puissance réactive

16. Calculez le produit du courant efficace par la tension efficace et comparez-le à la valeur MOY. de P1 indiquée dans le tableau de données du menu *Oscilloscope*.

$$E1 \times I1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

17. Les résultats obtenus à la manipulation 16 confirment-ils que la puissance apparente et la puissance active sont différentes?

Oui Non

18. Quelle est la puissance active totale que consomme le circuit?

$$P_{\text{ACTIVE}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

19. Quand l'amplitude du signal représentant la puissance instantanée est-elle nulle?

20. La manipulation 19 montre-t-elle que la puissance instantanée est nulle lorsque le courant ou la tension sont nuls?

Oui Non

21. Modifiez la capacité du circuit en ouvrant les trois interrupteurs d'une section du module Charge inductive.

22. Quel effet la variation de la réactance capacitive a-t-elle sur le courant, la tension et la puissance réactive du circuit?

23. Le déphasage entre le courant et la tension a-t-il varié?

Oui Non

Déphasage inductif et puissance réactive

24. Pourquoi l'amplitude du signal représentant la puissance instantanée est-elle différente?

25. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé le déphasage inductif d'un circuit c.a. à l'aide des courants et tensions mesurés. Vous avez démontré qu'à cause de la résistance du fil d'une bobine, il y a dissipation de puissance active dans les circuits inductifs. Enfin, l'observation des signaux du circuit vous a permis de vérifier le comportement théorique du courant et de la tension du circuit.

EXERCICES

1. Les bobines emmagasinent de l'énergie dans un champ magnétique généré et maintenu
 - a. par le courant circulant dans un enroulement de fil.
 - b. par une tension appliquée à la partie résistive de la bobine.
 - c. en raccordant la bobine à un condensateur.
 - d. en raccordant ensemble les extrémités de la bobine.
2. Le déphasage que génère une bobine entre le courant et la tension à ses bornes est de
 - a. $+90^\circ$, si la tension est utilisée comme référence.
 - b. $+90^\circ$, si le courant est utilisé comme référence.
 - c. -90° , si la tension est utilisée comme référence.
 - d. b et c.
3. Dans un circuit inductif idéal, quand la puissance instantanée est-elle nulle?
 - a. Lorsque la tension et le courant sont maximaux.
 - b. Lorsque la tension et le courant sont égaux.
 - c. Lorsque la tension et le courant efficaces sont maximaux.
 - d. Lorsque la tension ou le courant sont nuls.

Déphasage inductif et puissance réactive

4. Quelle est la puissance réactive d'un circuit c.a. purement inductif lorsque sa tension et son courant efficaces sont de 80 V et 3 A, respectivement?
 - a. 240 W.
 - b. 240 VA.
 - c. 240 var.
 - d. 26,7 var.

5. Les surfaces sous la courbe positives et négatives du signal représentant la puissance instantanée d'un circuit sont inégales. Qu'est-ce que cela signifie?
 - a. Que le circuit est résistif et réactif.
 - b. Que le circuit ne comporte que des composants réactifs.
 - c. Que la puissance apparente est nulle.
 - d. a et c.

Questions récapitulatives

1. Quel courant circule dans un circuit c.a. inductif dont la réactance est de 60Ω lorsque la tension du circuit est de 120 V ?
 - a. 20 A
 - b. $0,5 \text{ A}$
 - c. 2 A
 - d. 2 H
2. Comment peut-on réduire de moitié la réactance inductive d'un circuit sans en modifier aucun composant?
 - a. En augmentant de moitié sa réactance.
 - b. En réduisant de moitié la fréquence de sa source.
 - c. En augmentant de moitié la fréquence de sa source.
 - d. En réduisant de moitié la tension de sa source.
3. Comment peut-on tripler la réactance inductive d'un circuit c.a.?
 - a. En triplant la tension de sa source.
 - b. En réduisant du tiers la fréquence de sa source.
 - c. En triplant son inductance.
 - d. En réduisant du tiers son inductance.
4. On peut calculer la réactance inductive à partir de la formule:
 - a. $E_L = 2\pi f L I_L$.
 - b. $I_L = E_L / X_L$.
 - c. $X_L = 2\pi f L$.
 - d. a, b et c.
5. Quelle est la formule servant à calculer l'inductance équivalente de bobines en parallèle?
 - a. $L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N$.
 - b. $1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N$.
 - c. $L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.
 - d. $1/L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.
6. Quelle est la formule servant à calculer l'inductance équivalente de bobines en série?
 - a. $L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.
 - b. $1/L_{\text{ÉQ}} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_N$.
 - c. $L_{\text{ÉQ}} = 1 / (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N)$.
 - d. $1/L_{\text{ÉQ}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_N$.

Questions récapitulatives (suite)

7. Quelle est l'inductance équivalente de trois bobines de 15 H raccordées en série?
- a. 5,0 H
 - b. 45 H
 - c. 4,5 H
 - d. 0 H
8. Quelle est l'inductance équivalente de trois bobines raccordées en parallèle et dont les inductances sont de 1 H, 2 H et 4 H, respectivement?
- a. 7 H
 - b. 1,75 H
 - c. 0,57 H
 - d. 8 H
9. Dans un circuit c.a. inductif, la tension est en avance de
- a. -90° sur le courant.
 - b. $+90^\circ$ sur le courant.
 - c. $+270^\circ$ sur le courant.
 - d. b et c.
10. Quelle est la puissance réactive d'un circuit c.a. purement inductif lorsque sa tension et son courant sont de 85 V et 10 A, respectivement?
- a. 850 W
 - b. 850 VA
 - c. 850 var
 - d. 8,5 var

Puissance, vecteurs de phase et impédance dans les circuits c.a.

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de déterminer les puissances active, réactive et apparente dans les circuits et de calculer le facteur de puissance. Vous allez utiliser des vecteurs et des vecteurs de phase pour résoudre des circuits c.a. et en déterminer l'impédance. Vous vérifierez les concepts associés aux vecteurs de phase, à l'impédance et à l'alimentation c.a. en effectuant des mesures et en observant des signaux dans les circuits.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Comme vous l'avez vu dans les deux blocs précédents, dans un circuit c.a. comportant une réactance pure, qu'elle soit capacitive ou inductive, il y a un déphasage de 90° entre les tensions et les courants, et aucune puissance réelle ou utile n'est générée. Cependant, en pratique, la plupart des circuits c.a. ont une réactance et leur puissance apparente, mesurée en voltampères, est supérieure à leur puissance active, mesurée en watts. Cette différence entre la puissance apparente et la puissance active est due à la réactance, et elle est appelée puissance réactive. Elle est mesurée en var. Puisque la puissance réactive capacitive est de signe opposé à la puissance réactive inductive, la puissance apparente, dans les circuits c.a., peut être minimisée en réglant les réactances capacitive et inductive du circuit. Cela permet de réduire à son minimum le courant de ligne réactif sans modifier la puissance active que consomme la charge. Une réduction du courant de ligne correspond à une augmentation du **facteur de puissance ($\cos \phi$)** qui, dans le cas d'une charge purement résistive, est égal à 1. Le facteur de puissance de circuits comportant des charges purement réactives est nul, puisque ceux-ci ne consomment aucune puissance active, bien qu'ils consomment un courant de ligne et qu'ils constituent une charge pour la source.

Au cours des expériences antérieures, des signaux sinusoïdaux ont été utilisés pour faciliter la compréhension du concept de déphasage dans les circuits c.a. Cependant, lorsqu'un circuit comporte trois, quatre ou même davantage de signaux sinusoïdaux, il devient très déroutant d'utiliser des représentations graphiques de ces divers signaux pour déterminer les relations qui existent entre les différentes tensions et les différents courants. Par exemple, dans le circuit de la figure 5-1, la tension de la source correspond à la somme des valeurs instantanées de trois tensions déphasées de 90° . La quantité d'information présente rend les représentations graphiques très difficiles à interpréter.

Puissance, vecteurs de phase et impédance dans les circuits c.a.

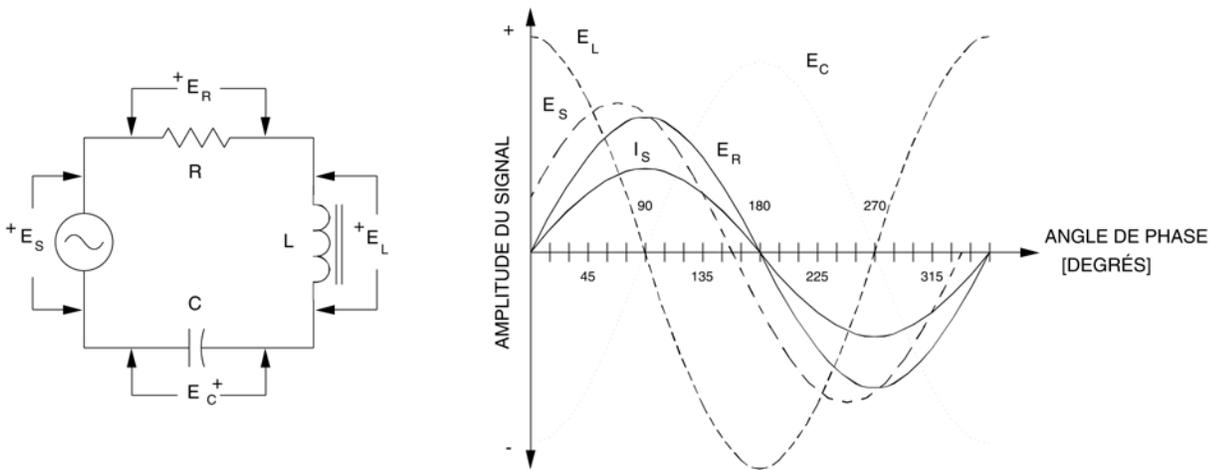


Figure 5-1. Signaux représentant la tension et le courant d'un circuit RLC série.

Heureusement la tension, le courant, la réactance, l'**impédance** ainsi que d'autres paramètres d'un circuit électrique peuvent être représentés par une entité graphique simple appelée **vecteur**. Dans le cas particulier de signaux sinusoïdaux où le vecteur tourne de 360° à une vitesse périodique égale à la fréquence du signal sinusoïdal, le vecteur est appelé **vecteur de phase**. L'utilisation des vecteurs de phase simplifie énormément l'étude des circuits c.a., car elle permet de réduire la forme complexe d'un signal sinusoïdal à une seule ligne droite. Les vecteurs de phase permettent de calculer l'angle de phase résultant entre différentes tensions et différents courants à l'aide de techniques graphiques simples consistant à additionner des vecteurs. L'analyse vectorielle permet également de déterminer le facteur de puissance, l'impédance et la distribution entre les puissances active, réactive et apparente des circuits c.a. La figure 5-2 montre comment un vecteur de phase est utilisé pour représenter un signal sinusoïdal. Le vecteur de phase est illustré à différents instants de la période du signal sinusoïdal et son orientation correspond à l'angle de phase à ces instants. La longueur du vecteur de phase correspond à l'amplitude efficace du signal sinusoïdal.

L'analyse vectorielle peut facilement être appliquée aux circuits série et parallèle. Dans les circuits série, le courant circulant dans tous les composants est le même, c'est pourquoi le courant est le paramètre de référence en phase porté sur l'axe des X. Le vecteur de phase représentant la tension inductive déphasée est tracé au-dessus de l'axe des X (+y) car, dans une bobine, la tension est en avance sur le courant. Le vecteur de phase capacitif représentant la tension est tracé au-dessous de l'axe des X (-y). Dans les circuits parallèles, la tension est la même aux bornes de chacun des composants du circuit. C'est pourquoi la tension est le paramètre de référence en phase. Puisque dans un condensateur le courant est en avance sur la tension, le vecteur de phase représentant le courant capacitif est tracé au-dessus de l'axe des X (+y), alors que le vecteur de phase représentant le courant inductif en retard est tracé au-dessous de l'axe des X (-y).

Puissance, vecteurs de phase et impédance dans les circuits c.a.

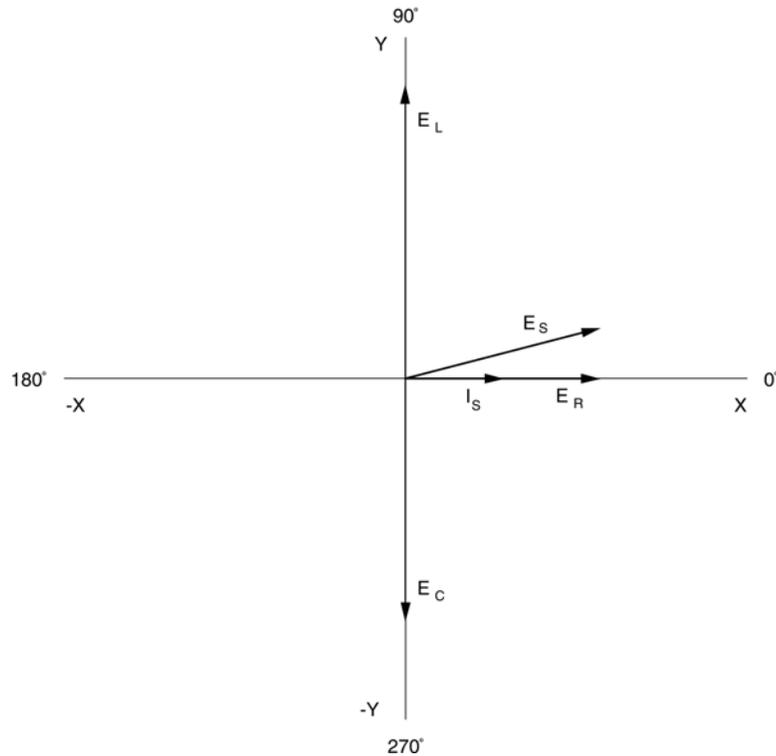


Figure 5-2. Représentation du vecteur de phase d'un signal sinusoïdal.

L'opposition totale à la circulation d'un courant dans les circuits c.a. comportant une résistance et une réactance est appelée impédance et elle peut, elle aussi, être déterminée à l'aide de vecteurs. En fait, l'impédance comporte une composante résistive et une composante réactive (mathématiquement, $Z=R\pm jX$), et elle peut être illustrée comme à la figure 5-3. L'impédance n'est pas un vecteur de phase. Elle ne peut donc pas être représentée sur un diagramme vectoriel avec des tensions et courants. Cependant, puisqu'elle est la somme vectorielle de la résistance et de la réactance, elle peut être représentée graphiquement grâce au diagramme vectoriel à angles droits illustré. À l'aide du théorème de Pythagore, on peut trouver que l'amplitude de Z est égale à la racine carrée de la somme des carrés des côtés du triangle ($Z=\sqrt{R^2 + X^2}$), $\tan \varphi$ est égale à X/R et $\cos \varphi$ est égal à R/Z .

Puissance, vecteurs de phase et impédance dans les circuits c.a.

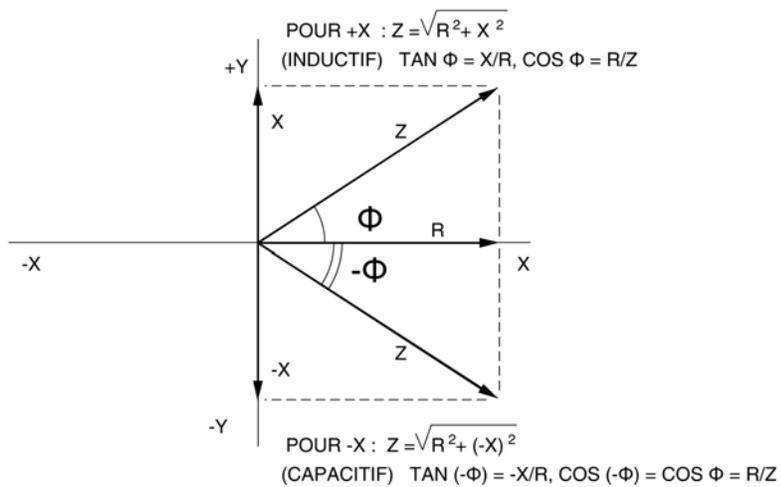


Figure 5-3. Représentation vectorielle de l'impédance dans un circuit réactif.

Le calcul des impédances peut s'avérer très déroutant et conduire à des résultats erronés si on ne tient pas compte des différences qui existent entre les circuits série et les circuits parallèle. Les principaux points à se remémorer lorsque l'on effectue ce genre de calculs sont les suivants:

L'équation $Z=R \pm jX$ est une expression mathématique dans laquelle $+jX$ représente la réactance inductive et $-jX$, la réactance capacitive.

L'amplitude de Z est calculée sans tenir compte du signe de j .

On doit tenir compte du signe de j lors du calcul de l'angle de Z .

Dans les circuits parallèle, le signe de j est inversé, car $1/j = -j$ et $1/-j = j$.

Puissance dans les circuits c.a.

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer les puissances active, réactive et apparente fournies à une charge inductive à l'aide des courants et tensions mesurés dans un circuit. Vous aurez également appris à améliorer le facteur de puissance d'une charge inductive en ajoutant une capacité au circuit.

PRINCIPES

Comme on l'a mentionné précédemment, la puissance apparente fournie à une charge est égale au produit de la tension par le courant du circuit. Dans les circuits c.a., lorsque la charge comporte une réactance, la puissance apparente est toujours supérieure à la puissance active, car la source doit générer une puissance réactive. Cette puissance réactive peut être inductive ou capacitive mais, dans la plupart des dispositifs électromécaniques, elle est inductive, à cause de l'inductance des enroulements dans les transformateurs et les moteurs.

La formule servant à calculer la puissance réactive dans un circuit c.a. est:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

où Q = la puissance réactive en var,
 S = la puissance apparente en VA,
 P = la puissance active en W.

Lorsque l'angle de phase ϕ entre la tension et le courant est connu, la puissance active peut être déterminée à l'aide de la formule $P = EI \cos \phi = S \cos \phi$. Le terme $\cos \phi$ est appelé facteur de puissance et il est égal au rapport de la puissance active sur la puissance apparente, P/S . La vraie valeur du facteur de puissance dépend du déphasage entre le courant et la tension. Si E et I sont en phase, ce qui signifie que l'angle de phase ϕ est de 0° , $\cos \phi = 1$ et la puissance active est égale au produit EI . Lorsque l'angle de phase entre le courant et la tension est de 90° , $\cos \phi = 0$. La puissance active est donc nulle. Lorsqu'un circuit comporte une résistance et une réactance, la valeur de $\cos \phi$ est comprise entre 0 et 1, et l'angle de phase ϕ est compris entre 0 et $\pm 90^\circ$, selon que la réactance du circuit est inductive ou capacitive.

L'analyse de la distribution de la puissance dans les circuits c.a peut être simplifiée par la technique du triangle de puissance. La figure 5-4 illustre le lien entre P , Q et S . L'angle mesuré entre l'axe portant la puissance active (axe des X) et l'hypoténuse du triangle correspond à l'angle de phase ϕ . La puissance réactive inductive est tracée au-dessus de l'axe des X (+y) et la puissance réactive capacitive, au-dessous de l'axe des X (-y).

Certains auteurs utilisent la convention inverse pour représenter la puissance réactive inductive et la puissance réactive capacitive. Ils représentent la puissance

Puissance dans les circuits c.a.

inductive par un vecteur négatif, car le courant inductif est en retard sur la tension aux bornes de la bobine, et la puissance capacitive par un vecteur positif, puisque le courant capacitif est en avance sur la tension.

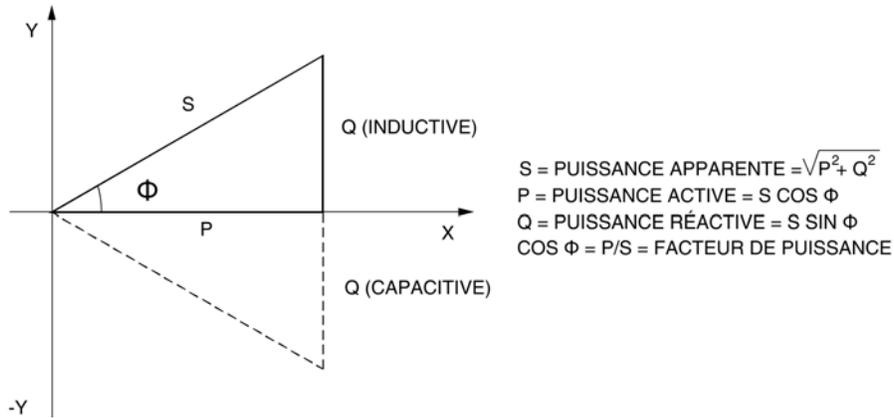


Figure 5-4. Triangle de puissance.

Les moteurs c.a. consomment une puissance réactive générée à partir de la tension du secteur, afin de créer le champ magnétique leur étant nécessaire. De plus, les moteurs c.a. absorbent la puissance active, dont la majeure partie est convertie en puissance mécanique, et ils dissipent le reste sous forme de chaleur. La puissance réactive circule dans les deux sens entre le moteur et le bloc d'alimentation c.a. sans effectuer de travail utile autre que l'induction du champ magnétique du moteur. Si un condensateur est placé en parallèle avec le moteur et que sa capacité est réglée de façon à ce que la puissance réactive capacitive soit exactement égale à la puissance réactive inductive, la puissance réactive négative du condensateur annule la puissance réactive positive du moteur. La source c.a. n'a donc plus besoin de générer de puissance réactive, ce qui entraîne une réduction importante du courant de ligne. Cet ajout d'une réactance capacitive pour réduire le courant de ligne est appelé **correction du facteur de puissance**. Cette correction améliore la régulation du secteur. Elle permet également l'utilisation d'un fil de diamètre inférieur comme ligne de transmission. Le facteur de puissance d'un moteur c.a. est habituellement relativement faible, souvent inférieur à 0,7, mais la combinaison condensateur/moteur en permet une amélioration substantielle. Si l'on choisit judicieusement la capacité du condensateur, le facteur de puissance est presque unitaire.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

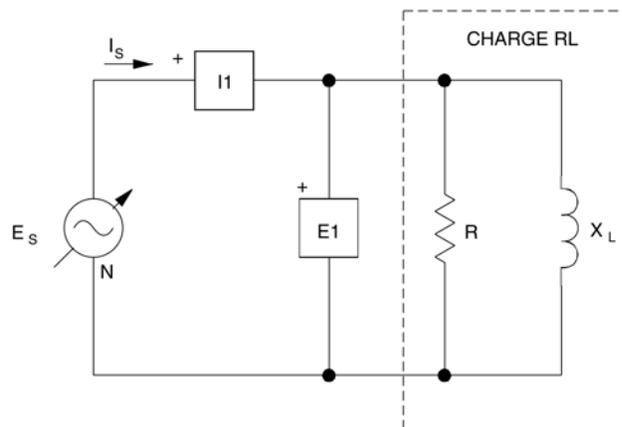
Puissance dans les circuits c.a.

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive, Charge inductive et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N . Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 5-5. La partie RL du circuit sert à simuler la charge d'un moteur c.a. monophasé. Raccordez les trois parties des modules Charge résistive et Charge inductive en parallèle, et réglez R et X_L aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure I1 et E1 tel qu'indiqué, afin de mesurer le courant et la tension du circuit.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)	X_L (Ω)
120	120	100	100
220	220	367	367
240	240	400	400

Figure 5-5. Charge RL servant à simuler un moteur c.a.

Puissance dans les circuits c.a.

- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES15-1.dai.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 5-5.
- 7. Mesurez la tension et le courant de la charge ainsi que la puissance active que consomme le circuit. Notez les valeurs mesurées, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$E = \text{_____ V} \quad I = \text{_____ A} \quad AP = \text{_____ W}$$

- 8. Utilisez les valeurs de E et de I mesurées pour déterminer la puissance apparente fournie à la charge.

$$S = E \times I = \text{_____ VA}$$

- 9. Calculez le facteur de puissance $\cos \varphi$ et la puissance réactive Q.

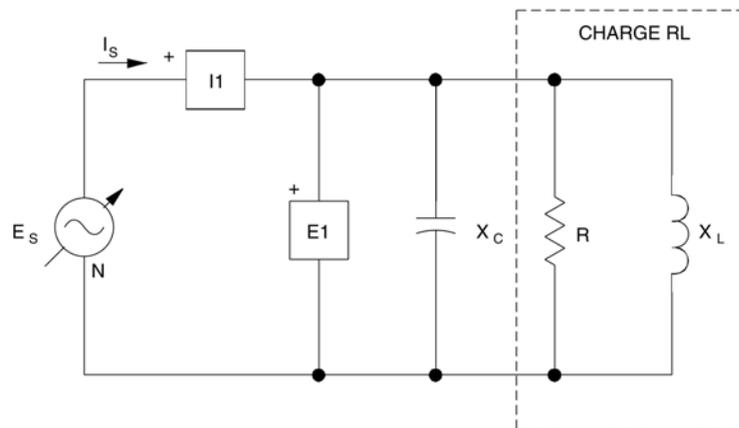
$$\cos \varphi = P/S = \text{_____} \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \text{_____ var}$$

- 10. Les valeurs calculées à la manipulation 9 témoignent-elles d'un facteur de puissance faible et d'une puissance réactive appréciable pour la charge simulée?

Oui Non

- 11. Modifiez le circuit RL en ajoutant une réactance capacitive en parallèle avec sa charge, comme à la figure 5-6. Assurez-vous que toutes les sections du module Charge capacitive soient raccordées en parallèle et que tous les interrupteurs du module soient ouverts.

Puissance dans les circuits c.a.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)	X_L (Ω)
120	120	100	100
220	220	367	367
240	240	400	400

Figure 5-6. Correction du facteur de puissance par l'ajout d'une réactance capacitive.

12. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et ajoutez une capacité au circuit en fermant le premier interrupteur de chaque section, puis l'interrupteur médian de chaque section et, enfin, le troisième interrupteur de chaque section, jusqu'à ce qu'ils soient tous fermés. Pour chaque nouvelle capacité obtenue, cliquez sur le bouton *Enregistrer* pour enregistrer dans le *Tableau de données* le courant de secteur mesuré.
13. Lorsque toutes les données sont enregistrées, affichez le menu *Graphique*, choisissez I1 comme paramètre de l'axe des Y et assurez-vous d'avoir sélectionné Graphique continu et Échelle linéaire, afin d'observer la courbe de variation du courant de secteur. Le courant de secteur augmente-t-il, diminue-t-il ou demeure-t-il constant lorsque la capacité du circuit augmente?
-
14. Lorsque la capacité augmente, y a-t-il un moment où le courant de secteur cesse de diminuer pour commencer à augmenter de nouveau?
- Oui Non

Puissance dans les circuits c.a.

15. Réglez attentivement les interrupteurs du module Charge capacitive de façon à obtenir un courant de secteur minimal, tout en réglant à nouveau, au besoin, le bouton de commande de la tension, afin de conserver la tension E_s indiquée dans le tableau. Utilisez les boutons de réglage du module pour déterminer la réactance capacitive produisant un courant de secteur minimal.

$$X_C = 1/(2\pi fC) = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Remarque : Vous aurez remarqué que le courant de secteur est minimal lorsque la réactance capacitive est égale à la réactance inductive. La puissance réactive négative annule alors la puissance réactive positive et le courant de secteur est minimisé.

16. Lorsque la réactance capacitive X_C est réglée de façon à obtenir un courant de secteur minimal, notez la tension E , le courant I_{\min} et la puissance active indiqués sur l'appareil de mesure PQS1.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad I_{\min} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \quad P1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

17. Calculez la puissance apparente S .

$$S = E \times I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

18. Calculez le facteur de puissance $\cos \varphi$ et la puissance réactive Q .

$$\cos \varphi = P/S = \underline{\hspace{2cm}} \quad Q = \sqrt{(S^2 - P^2)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$$

19. La puissance réactive consommée par le circuit a-t-elle diminué entre les manipulations 9 et 18?

Oui Non

20. L'augmentation de la capacité a-t-elle réduit de façon significative le courant de secteur?

Oui Non

21. La puissance active consommée par la charge RL est-elle presque la même avec et sans capacité?

Oui Non

Puissance dans les circuits c.a.

22. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé les puissances active, réactive et apparente d'une charge inductive, et réussi à observer l'effet produit par l'ajout d'une capacité en parallèle avec la charge. Vous avez vu comment on pouvait améliorer le facteur de puissance en ajoutant une capacité. Vous avez réussi à démontrer que le courant de secteur peut être réduit sans modifier la puissance active que consomme la charge.

EXERCICES

1. Un électro-aimant consomme une puissance active de 3 kW et une puissance réactive inductive de 4 kvar. Quelle puissance apparente consomme-t-il?
 - a. 500 VA
 - b. 5 kVA
 - c. 50 kVA
 - d. 7 kVA
2. Quel est le facteur de puissance $\cos \varphi$ de l'électro-aimant de l'exercice 1?
 - a. 0,75
 - b. 1,33
 - c. 0,60
 - d. 1,00
3. Un condensateur consommant une puissance réactive de 4 kvar est placé en parallèle avec l'électro-aimant de l'exercice 1. En quoi cela altère-t-il la puissance apparente S et le facteur de puissance $\cos \varphi$?
 - a. La puissance apparente est maintenant égale à la puissance active et le facteur de puissance $\cos \varphi$ est égal à 1.
 - b. La puissance apparente est doublée et le facteur de puissance $\cos \varphi$ demeure le même.
 - c. La puissance apparente demeure la même et le facteur de puissance $\cos \varphi$ diminue.
 - d. La puissance apparente et le facteur de puissance $\cos \varphi$ augmentent.

Puissance dans les circuits c.a.

4. Quelle est la formule utilisée pour calculer la puissance réactive Q?
 - a. $Q = S - P$
 - b. $Q = S \cos \varphi$
 - c. $Q = EI \cos \varphi$
 - d. $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

5. Un condensateur consommant 8 kvar est placé en parallèle avec un électro-aimant consommant une puissance active de 3 kW et une puissance réactive de 4 kvar. Quel effet cela a-t-il sur la puissance réactive Q et le facteur de puissance $\cos \varphi$?
 - a. La puissance réactive Q passe de + 4 à - 4 kvar et le facteur de puissance $\cos \varphi$ devient unitaire.
 - b. La puissance réactive Q passe de + 4 à - 8 kvar et le facteur de puissance $\cos \varphi$ demeure le même.
 - c. La puissance réactive Q passe de + 4 à - 4 kvar et le facteur de puissance $\cos \varphi$ devient en retard au lieu d'en avance.
 - d. La puissance réactive Q passe de + 4 à - 8 kvar et le facteur de puissance $\cos \varphi$ devient en avance au lieu d'en retard.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'utiliser les vecteurs de phase pour résoudre les circuits c.a. série et en calculer les tensions. Les principes fondamentaux des vecteurs ainsi que les courants et tensions mesurés dans les circuits seront utilisés pour vérifier votre travail.

PRINCIPES

Tel que mentionné à la section PRINCIPES FONDAMENTAUX du Bloc 5, les vecteurs de phase peuvent être utilisés pour représenter des tensions et courants sinusoïdaux. L'exemple de la figure 5-2 montre un vecteur de phase à 4 instants différents de la période du signal sinusoïdal. Le vecteur de phase tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre à partir d'une ligne de départ qui coïncide avec l'axe des X du plan cartésien. La rotation de $+x$ à $-x$, en passant par $+y$, correspond à l'alternance positive du signal sinusoïdal. La rotation de $-x$ à $+x$, en passant par $-y$, correspond à son alternance négative. Le paramètre en phase, c'est-à-dire le courant dans les circuits série et la tension dans les circuits parallèle, est porté sur la ligne de départ, ou à 0° , et il est utilisé comme référence. Les paramètres en avance, comme la tension aux bornes d'une bobine, sont représentés au-dessus de l'axe des X ($+y$), c'est-à-dire au-dessus de la composante en phase. Lorsque les valeurs mesurées sont représentées à l'échelle, l'amplitude du vecteur de phase résultant ainsi que l'angle de phase le séparant de la référence peuvent être mesurés directement sur le graphique.

Puisque dans les circuits c.a. la fréquence des signaux sinusoïdaux représentant la tension et le courant est fixe, tous les vecteurs de phase du circuit tournent à la même vitesse. On peut donc en négliger la nature rotative et utiliser le concept des vecteurs fixes. Après la sélection de l'un des signaux sinusoïdaux comme référence, le reste des signaux peut être tracé par rapport aux vecteurs de phase représentant le signal sinusoïdal de référence. La figure 5-7 montre deux signaux sinusoïdaux et leur diagramme vectoriel. La phase de la tension E_1 est réglée de façon à être en retard de 90° sur la tension E_2 et, dans cet exemple, la tension E_1 a été choisie comme référence. Le vecteur de phase de référence est porté sur l'axe des X et son amplitude correspond à la tension E_1 efficace. Le vecteur de phase associé à la tension E_2 est tracé à un angle de 90° en avance sur la référence et, comme le montre le diagramme vectoriel, il pointe en direction $+y$.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

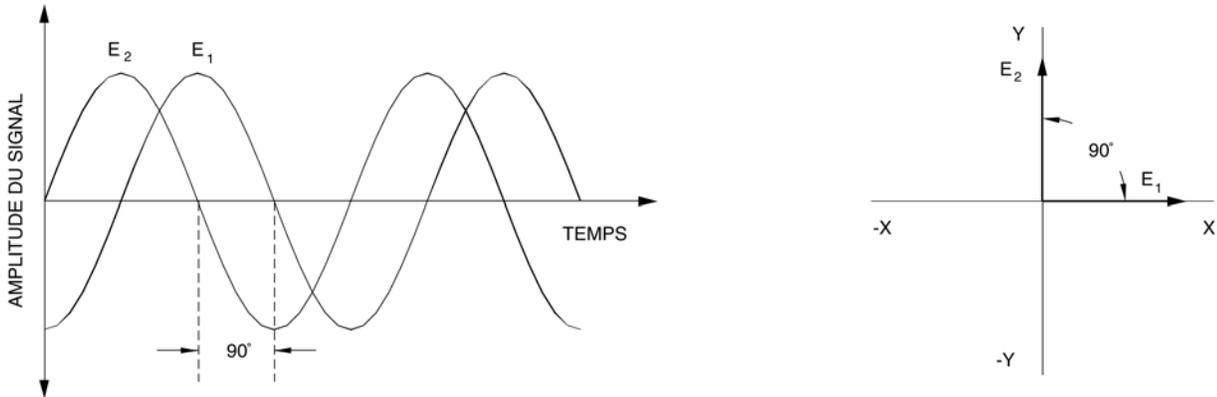


Figure 5-7. Représentation vectorielle de deux signaux sinusoïdaux.

La figure 5-8 montre comment obtenir la somme des vecteurs de phase représentant deux tensions sinusoïdales (E_A et E_B) en calculant la somme vectorielle. La queue du vecteur E_B est d'abord placée à la tête du vecteur E_A , sans que l'orientation ou l'amplitude d'aucun des vecteurs ne soient modifiées. Un troisième vecteur est alors tracé entre la queue du vecteur E_A et la tête du vecteur E_B . Ce troisième vecteur est la somme vectorielle des deux autres et son amplitude ainsi que son orientation (angle de phase ϕ) peuvent être mesurées directement sur le graphique.

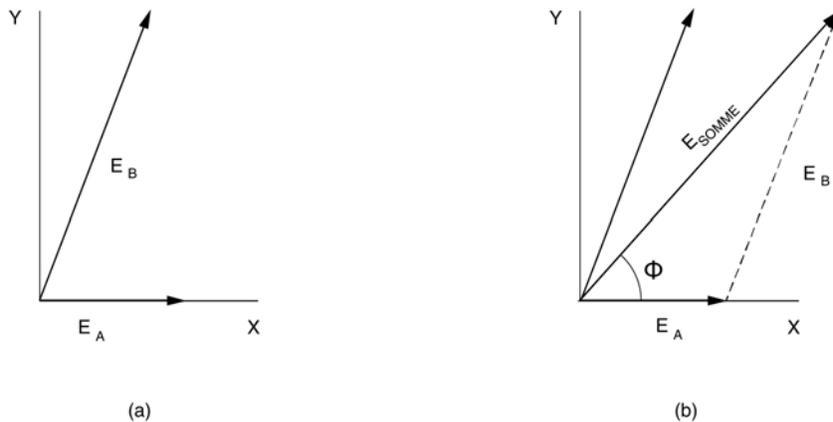


Figure 5-8. Somme vectorielle de deux vecteurs de phase.

Un nombre quelconque de vecteurs peuvent être additionnés à l'aide de cette technique, chacun des vecteurs étant placé à la tête du précédent. On en trouve la somme en traçant un dernier vecteur entre la queue du premier et la tête du dernier. La figure 5-9 représente le diagramme vectoriel du circuit de la figure 5-1 ainsi que la somme vectorielle de toutes les tensions. L'amplitude et l'angle de phase de la tension E_s de la source peuvent être mesurés directement sur ce diagramme.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

Puisque dans les circuits série le courant de la source, I_s , est le paramètre en phase, il est le vecteur de phase de référence dans cet exemple.

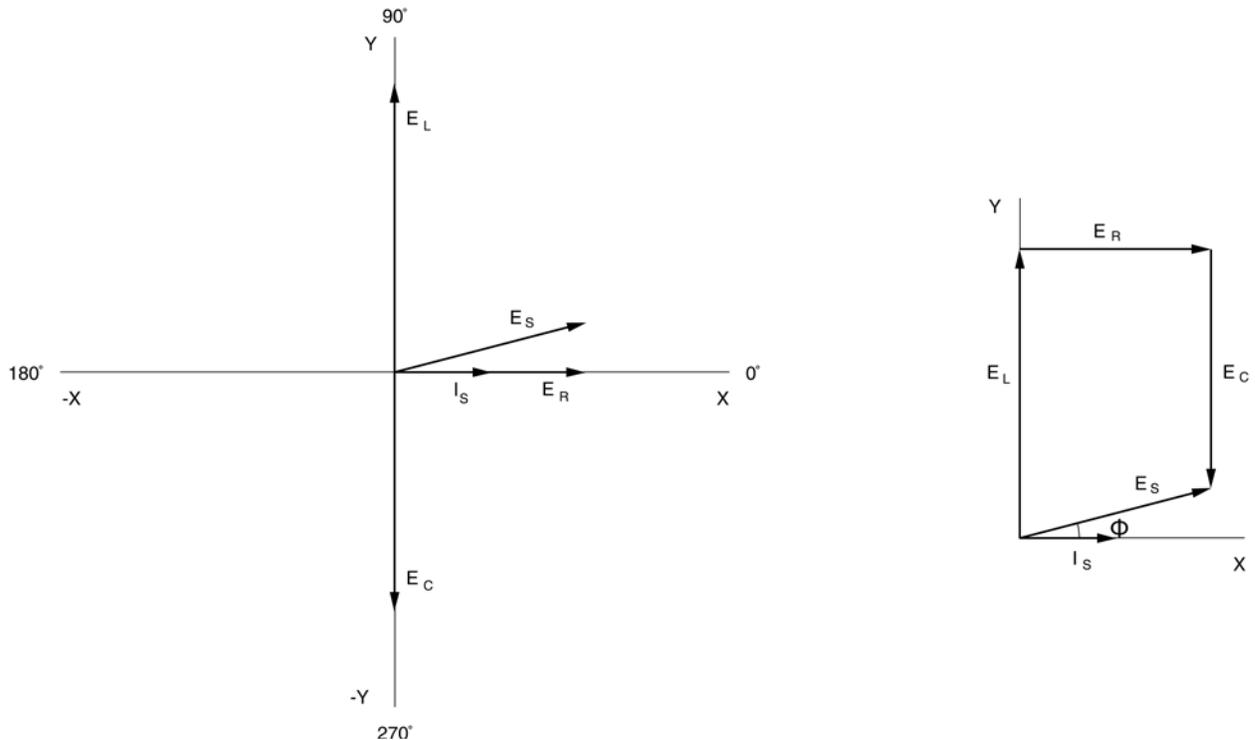


Figure 5-9. Somme vectorielle de plusieurs vecteurs de phase représentant une tension.

Lorsqu'une tension c.a. est appliquée à un circuit série RL ou RC, le courant de ligne provoque une chute de tension aux bornes des composants résistif et réactif. La chute de tension aux bornes du composant résistif est en phase avec le courant de ligne la produisant, alors que celle aux bornes du composant réactif est en avance (réactance inductive) ou en retard (réactance capacitive) de 90° sur ce même courant de ligne. La chute de tension résistive est proportionnelle au courant de ligne et à la résistance ($E_R = IR$), alors que la chute de tension réactive est proportionnelle à ce même courant de ligne et à X_L ou X_C , ($E_L = IX_L$, $E_C = IX_C$).

Parce que ces chutes de tension ne sont pas en phase, leur somme algébrique est supérieure à la tension de la source. Cependant, lorsqu'elles sont additionnées sous forme vectorielle, leur somme correspond à la tension de la source. L'angle de phase ϕ peut être calculé à l'aide de la formule $\phi = \arctan (E_L - E_C) / E_R$. Il est à remarquer que la chute de tension capacitive est soustraite de la chute de tension inductive à cause du déphasage de 180° qui existe entre elles. Dans un circuit c.a. série ne comportant qu'une réactance capacitive, la tension E_C est en retard sur le courant. L'angle de phase ϕ est donc négatif.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

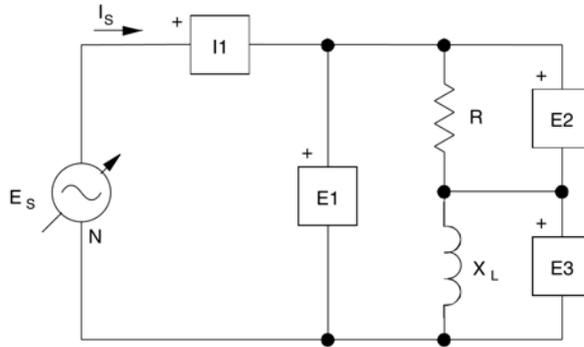
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive, Charge inductive et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 5-10. Raccordez en parallèle toutes les sections des modules de charge, et réglez R et X_L aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure I1, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, afin de mesurer le courant et les tensions du circuit.
- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES15-2.dai.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Tournez lentement le bouton de commande de la tension, de façon à obtenir exactement le courant I_s indiqué à la figure 5-10.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série



TENSION DE LIGNE (V)	I_s (A)	R (Ω)	X_L (Ω)
120	1,0	80	60
220	0,5	293	220
240	0,5	320	240

Figure 5-10. Vecteurs de phase représentant les tensions dans un circuit c.a. série.

7. Mesurez les tensions du circuit et notez-les ci-dessous.

$$E_s = \text{_____ V} \quad E_R = \text{_____ V} \quad E_L = \text{_____ V}$$

8. Calculez la somme algébrique d' E_R et E_L , puis comparez cette somme à la tension E_s mesurée.

$$E_R + E_L = \text{_____ V}$$

9. La somme des chutes de tension est-elle égale à la tension de source mesurée?

Oui Non

10. Calculez l'amplitude de la somme vectorielle représentant la tension de la source ainsi que son angle de phase.

$$E_s = \sqrt{(E_R^2 + E_L^2)} = \text{_____ V} \quad \phi = \arctan E_L/E_R = \text{_____}^\circ$$

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

11. Cliquez sur le bouton *Analyseur de vecteurs de phase* et affichez les trois vecteurs de phase représentant les tensions du circuit, ainsi que le vecteur de phase de référence I_s . Le diagramme vectoriel montre-t-il qu' E_s est la somme vectorielle d' E_R et E_L ?

Oui Non

12. Les résultats des calculs effectués à la manipulation 10 sont-ils presque égaux à l'amplitude et à la phase indiquées dans la section *Données sur les vecteurs de phase de l'Analyseur de vecteurs de phase*? Il est à remarquer que la résistance de l'enroulement de la bobine consomme une puissance active. Cela se traduit par une différence entre les résultats pratiques et les calculs théoriques.

Oui Non

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et remplacez la réactance inductive X_L du circuit de la figure 5-10 par une réactance capacitive. Réglez cette réactance capacitive X_C à la valeur de X_L précédemment utilisée et réglez la résistance à cette même valeur de X_C . Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension de la source de façon à obtenir le courant I_s utilisé à la manipulation 6.

14. Utilisez l'*Analyseur de vecteurs de phase* pour examiner à nouveau les vecteurs de phase représentant des tensions. Déterminez l'amplitude et l'angle de phase du vecteur de phase E_s et comparez-les aux valeurs indiquées dans la section *Données sur les vecteurs de phase*. Il est à remarquer que la tension E_C est en retard sur le courant.

$$E_s = \sqrt{E_R^2 + (-E_C)^2} = \text{_____ V} \quad \varphi = \arctan -E_C/E_R = \text{_____ } ^\circ$$

15. Vos résultats sont-ils presque équivalents à ceux indiqués dans le diagramme vectoriel?

Oui Non

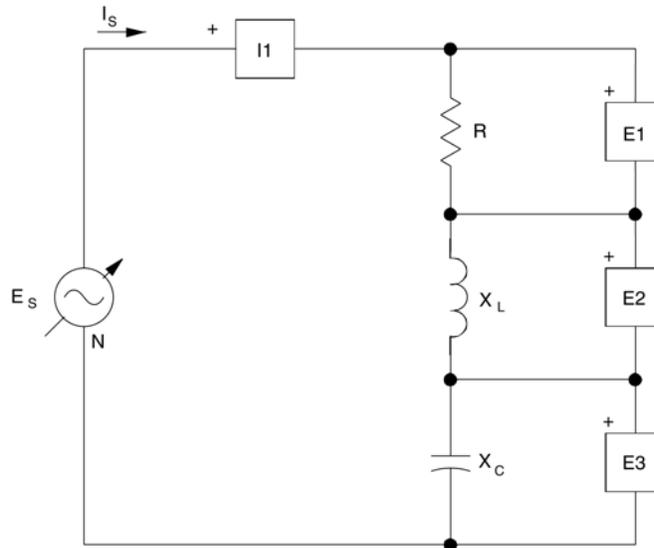
16. Vos calculs et le diagramme vectoriel montrent-ils que l'angle de phase est maintenant en retard?

Oui Non

17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à position O (arrêt) et montez le circuit RLC série de la figure 5-11. Réglez R, X_L et X_C aux valeurs

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

indiquées à la figure 5-11. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez avec précision la tension de la source, de façon à obtenir exactement le courant I_s nécessaire.



TENSION DE LIGNE (V)	I_s (A)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
120	1,0	80	80	60
220	0,5	293	293	220
240	0,5	320	320	240

Figure 5-11. Vecteurs de phase représentant des tensions dans un circuit RLC série.

18. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour observer à nouveau les vecteurs de phase des tensions. Calculez l'amplitude du vecteur de phase E_s .

$$E_s = \sqrt{\{E_R^2 + (E_L - E_C)^2\}} = \text{_____ V}$$

19. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et raccordez à nouveau les voltmètres au circuit, tel qu'illustré à la figure 5-12, afin de mesurer les tensions E_s , E_R et $(E_L - E_C)$. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et affichez à nouveau les vecteurs de phase des tensions.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

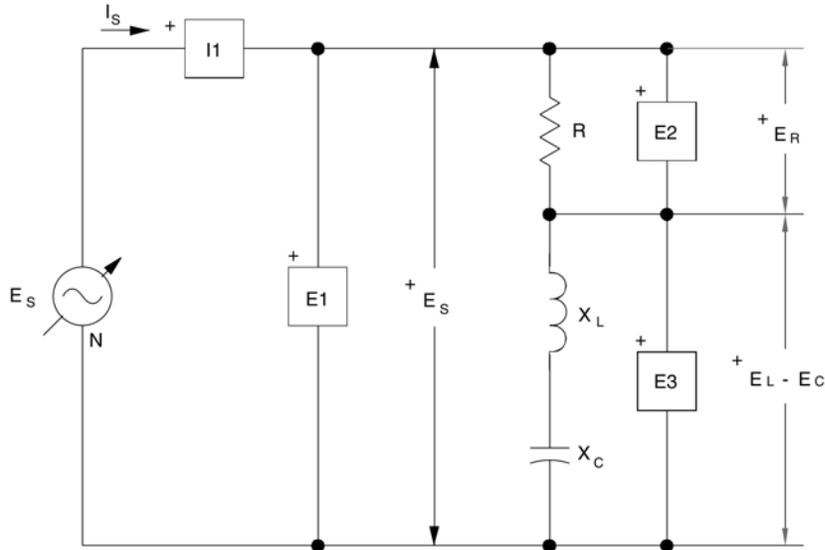


Figure 5-12. Mesure de la tension de la source dans un circuit RLC série.

20. Le diagramme vectoriel affiché confirme-t-il qu' E_s est la somme vectorielle des tensions du circuit et qu'elle est presque égale à la valeur calculée?

Oui Non

21. Calculez l'angle de phase entre E_s et I_s . Souvenez-vous qu'il y a un déphasage de 180° entre les tensions inductive et capacitive.

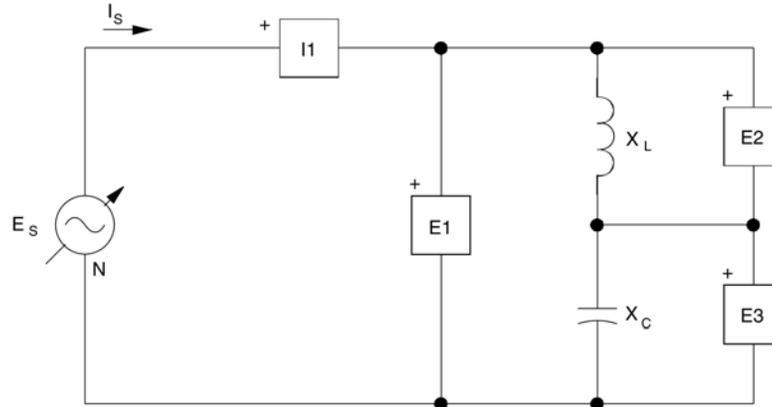
$$\varphi = \arctan (E_L - E_C) / E_R = \text{_____}^\circ$$

22. L'angle de phase calculé est-il presque égal à celui indiqué dans la section *Données sur les vecteurs de phase de l'Analyseur de vecteurs de phase*.

Oui Non

23. Avant de monter le circuit de la figure 5-13, tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Réglez X_L à la valeur de X_C utilisée à la manipulation 17 et raccordez les appareils de mesure I1, E1, E2 et E3 tel qu'illustré. Le circuit résultant est un cas particulier de circuit série résonnant dans lequel les deux réactances sont égales, mais de signes opposés.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série



TENSION DE LIGNE (V)	I_s (A)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
120	1,0	60	60
220	0,5	220	220
240	0,5	240	240

Figure 5-13. Vecteurs de phase des tensions dans un circuit série résonnant.

24. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez très précisément le bouton de commande de la tension, de façon à obtenir exactement le courant I_s utilisé précédemment. Calculez la tension E_s et comparez le résultat obtenu au vecteur de phase de tension affiché sur l'Analyseur de vecteurs de phase.

$$E_s = \sqrt{(E_L - E_C)^2} = \text{_____ V}$$

25. Les données observées à l'aide de l'Analyseur de vecteurs de phase confirment-elles que la tension de la source est presque nulle?
- Oui Non

Remarque : Le fil de la bobine possède une résistance c.c., ce qui a pour effet de générer une petite tension en phase. La tension E_s est donc faible et presque nulle.

26. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

CONCLUSION

Vous avez utilisé des techniques d'analyse vectorielle pour déterminer les différentes tensions de circuits c.a. série. Vous avez utilisé le courant de la source comme vecteur de phase de référence, puisqu'il est le paramètre en phase dans les circuits série. Vous avez vu que les réactances équivalentes, mais de signes opposés, d'un circuit série résonnant réduisaient la tension de la source à une valeur très faible. L'affichage de vecteurs de phase de différentes tensions du circuit à été utilisé pour vérifier vos calculs.

EXERCICES

1. Dans un circuit RL série, quel est l'angle de phase entre la tension et le courant, lorsque R et X_L sont toutes les deux égales à 100 Ω ?
 - a. 37 °
 - b. 53 °
 - c. 45 °
 - d. 90°
2. La principale caractéristique d'un circuit résonnant série est que
 - a. la tension de sa source est élevée.
 - b. le courant de sa source est faible.
 - c. la tension de sa source est presque nulle.
 - d. le courant de sa source est presque nul.
3. Dans un circuit RL série, la composante en phase est
 - a. la tension.
 - b. le courant.
 - c. la réactance.
 - d. la résistance.
4. L'amplitude de la somme vectorielle des vecteurs des deux tensions d'un circuit RL série peut être calculée à l'aide de la formule
 - a. $E_S = E_R + E_L$.
 - b. $E_S = I_S R X_L$.
 - c. $E_S = \sqrt{2} I_S E_R$.
 - d. $E_S = \sqrt{(E_R^2 + E_L^2)}$.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. série

5. L'angle de phase entre la tension E_S et le courant I_S d'un circuit RL série peut être déterminé en calculant le rapport
- a. E_S/E_R .
 - b. E_L/E_R .
 - c. P/Q .
 - d. Aucune de ces réponses.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure d'utiliser les vecteurs de phase pour résoudre des circuits c.a. parallèle et calculer les courants circulant dans chaque branche. Les principes fondamentaux des vecteurs ainsi que les courants et tensions mesurés dans les circuits seront utilisés pour vérifier votre travail.

PRINCIPES

Lorsqu'une tension c.a. est appliquée à un circuit RL ou RC parallèle, la tension de la source provoque la circulation d'un courant dans les composants résistifs et réactifs. Le courant résistif est en phase avec la tension de la source, alors que le courant réactif est en avance (réactance capacitive) ou en retard (réactance inductive) de 90° sur la tension de la source.

Comme on l'a vu dans le circuit c.a. série, le courant circulant dans un composant est proportionnel à la tension à ses bornes ainsi qu'à sa résistance, ou à sa réactance ($E_R = IR$, $E_L = IX_L$, $E_C = IX_C$). Parce que dans un circuit parallèle la même tension se trouve aux bornes de tous les composants, la tension est le paramètre en phase du circuit utilisé comme vecteur de phase de référence. Le vecteur de phase associé au courant capacitif est tracé au-dessus de l'axe des X (+y), car il est en avance sur la tension aux bornes du condensateur, alors que le vecteur de phase du courant en retard associé à la réactance inductive est tracé au-dessous de l'axe de X (-y).

Puisque les différents courants des branches d'un circuit parallèle sont déphasés les uns par rapport aux autres, leur somme algébrique est supérieure au courant de ligne réellement généré par la source. Cependant, lorsque les courants des branches sont représentés par des vecteurs de phase, leur somme vectorielle est égale au courant de la source. L'angle de phase φ peut être calculé à l'aide de la formule $\varphi = \arctan (I_C - I_L)/I_R$. Il est à remarquer qu'à cause du déphasage de 180° qui existe entre eux, le courant inductif est soustrait du courant capacitif. Dans un circuit c.a. parallèle ne comportant qu'une réactance inductive, le courant I_L est en retard sur la tension, ce qui fait que l'angle de phase φ est négatif. Il est à remarquer que cette expérience ressemble beaucoup à la précédente. Les mêmes composants sont utilisés, mais ils sont réglés à des valeurs différentes. Cependant, on résout les circuits parallèle à l'aide de vecteurs de phase de courants au lieu de vecteurs de phase de tensions.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

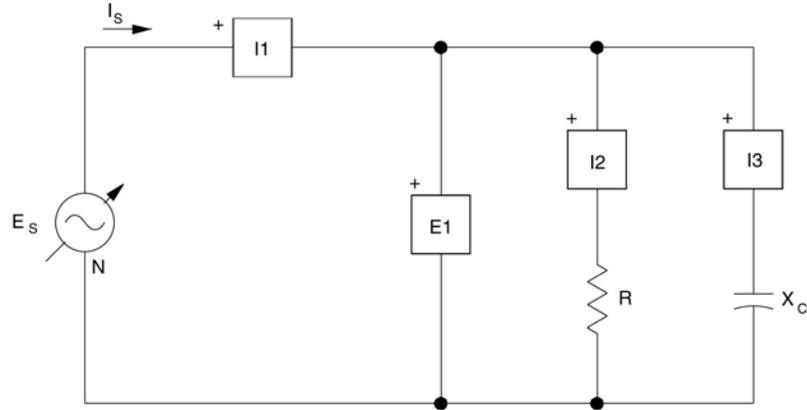
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive, Charge inductive et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 5-14. Raccordez en parallèle toutes les sections des modules de charge, et réglez R et X_C aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure E1, I1, I2 et I3 tel qu'illustré, afin de mesurer la tension et les courants du circuit.
- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'interrupteur principal de l'ordinateur à la position I (marche).
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES15-3.dai.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Tournez lentement le bouton de commande de la tension, de façon à obtenir exactement la tension E_s indiquée à la figure 5-14.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)	X_C (Ω)
120	120	60	60
220	220	220	220
240	240	240	240

Figure 5-14. Vecteurs de phase de courants dans un circuit c.a. parallèle.

7. Mesurez les courants du circuit et notez-les ci-dessous.

$$I_s = \text{_____ A} \quad I_R = \text{_____ A} \quad I_C = \text{_____ A}$$

8. Calculez la somme algébrique des courants I_R et I_C , puis comparez-la au courant I_s mesuré.

$$I_R + I_C = \text{_____ A}$$

9. La somme des courants des branches est-elle égale au courant de source mesuré?

Oui Non

10. Calculez l'amplitude de la somme vectorielle représentant le courant de la source ainsi que son angle de phase.

$$I_s = \sqrt{(I_R^2 + I_C^2)} = \text{_____ A} \quad \varphi = \arctan I_C / I_R = \text{_____ } ^\circ$$

11. Cliquez sur le bouton *Analyseur de vecteurs de phase* et affichez les trois vecteurs de phase représentant les courants du circuit ainsi que le vecteur

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle

de référence E_s . Le diagramme vectoriel montre-t-il que I_s est la somme vectorielle de I_R et I_C ?

Oui Non

12. Les résultats des calculs effectués à la manipulation 10 sont-ils presque égaux à l'amplitude et la phase indiquées dans la section *Données sur les vecteurs de phase* de l'*Analyseur de vecteurs de phase*?

Oui Non

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et remplacez la réactance capacitive du circuit de la figure 5-14 par une réactance inductive. Réglez cette réactance inductive X_L au double de la valeur de X_C précédemment utilisée et laissez la résistance telle quelle. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension de la source de façon à obtenir la tension E_s utilisée à la manipulation 6.

14. Utilisez l'*Analyseur de vecteurs de phase* pour examiner à nouveau les vecteurs de phase représentant des courants. Déterminez l'amplitude et l'angle de phase du vecteur de phase I_s et comparez-les aux valeurs indiquées dans la section *Données sur les vecteurs de phase*.

$$I_s = \sqrt{\{I_R^2 + (-I_L^2)\}} = \text{_____ A} \quad \varphi = \arctan - I_L/I_R = \text{_____ } ^\circ$$

15. Vos résultats sont-ils presque équivalents à ceux indiqués dans le diagramme vectoriel?

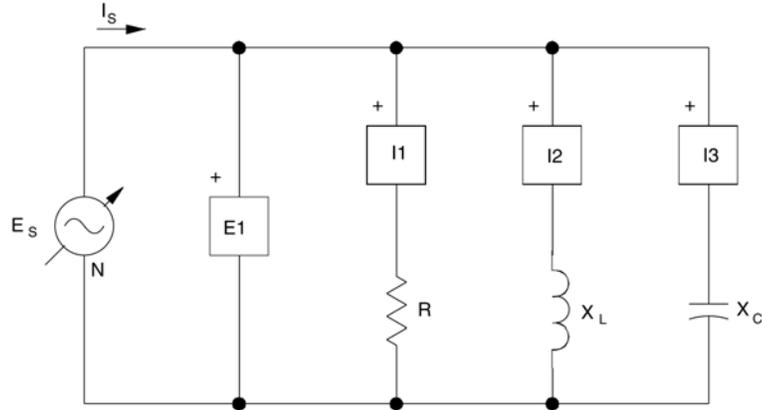
Oui Non

16. Vos calculs et le diagramme vectoriel montrent-ils que l'angle de phase est maintenant en retard?

Oui Non

17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit RLC parallèle de la figure 5-15. Réglez R , X_L et X_C aux valeurs indiquées à la figure 5-15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez avec précaution la tension de la source de façon à obtenir exactement la tension E_s nécessaire.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
120	120	60	80	100
220	220	220	293	367
240	240	240	320	400

Figure 5-15. Vecteurs de phase des courants dans un circuit RLC parallèle.

18. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour examiner à nouveau les vecteurs de phase des courants. Calculez l'amplitude du vecteur de phase I_s .

$$I_s = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = \text{_____ A}$$

19. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et raccordez à nouveau les ampèremètres aux circuits, tel qu'illustré à la figure 5-16, afin de mesurer les courants I_s , I_R et $(I_C - I_L)$. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et affichez à nouveau les vecteurs de phase des courants.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle

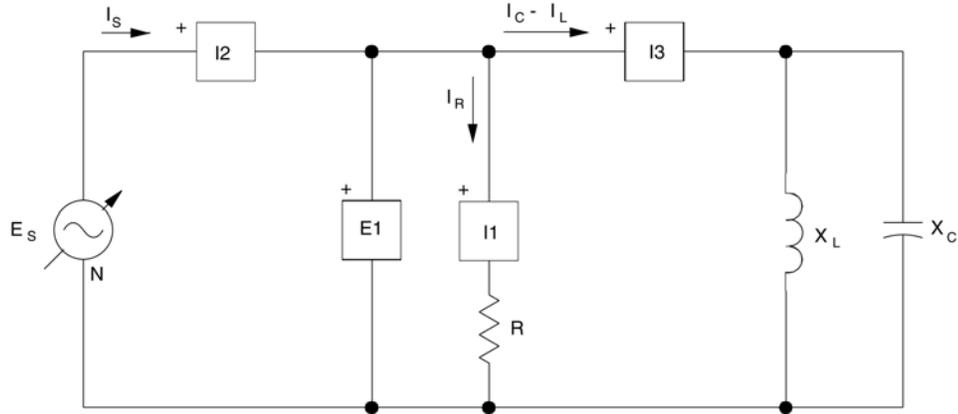


Figure 5-16. Mesure du courant de la source dans un circuit résonnant parallèle.

20. Le diagramme vectoriel affiché confirme-t-il que I_s est la somme vectorielle des courants du circuit et qu'il est presque égal à la valeur calculée?

Oui Non

21. Calculez l'angle de phase entre E_s et I_s . Souvenez-vous qu'il y a un déphasage de 180° entre les courant inductif et capacitif.

$$\varphi = \arctan (I_C - I_L) / I_R = \text{_____}^\circ$$

22. L'angle de phase calculé est-il presque égal à celui indiqué dans la section *Données sur les vecteurs de phase de l'Analyseur de vecteurs de phase*.

Oui Non

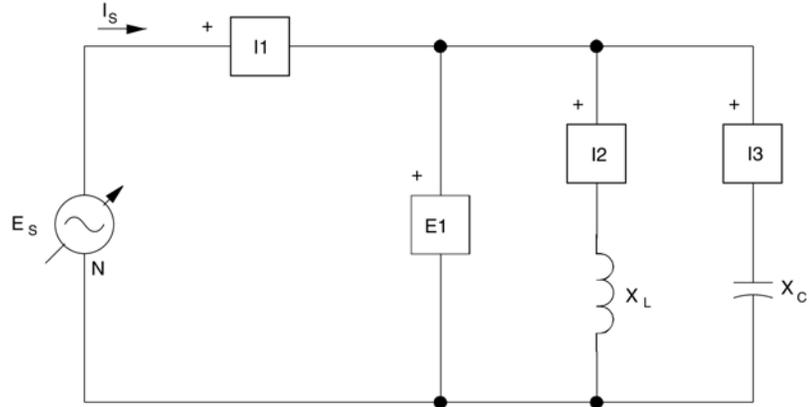
23. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit de la figure 5-17. Réglez X_L et X_C aux valeurs indiquées et raccordez les appareils de mesure E1, I1, I2 et I3 tel qu'illustré. Ce circuit est un cas particulier de circuit résonnant parallèle dans lequel les deux réactances sont équivalentes, mais de signes opposés.

24. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez très précisément le bouton de commande de la tension de façon à obtenir exactement la tension E_s utilisée précédemment. Calculez le courant I_s et comparez-le aux données mesurées à l'aide de l'Analyseur de vecteurs de phase.

$$I_s = \sqrt{(I_C - I_L)^2} = \text{_____} \text{ A}$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
120	120	60	60
220	220	220	220
240	240	240	240

Figure 5-17. Vecteurs de phase des courants dans un circuit RLC parallèle.

25. Les *Données sur les vecteurs de phase* confirment-elles que le courant de la source est presque nul?

Oui Non

Remarque : Le fil de la bobine possède une résistance c.c., ce qui a pour effet de générer un petit courant en phase. Le courant I_s est donc faible et presque nul.

26. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez utilisé des vecteurs de phase et l'analyse vectorielle pour déterminer les différents courants circulant dans les circuits c.a. parallèle. Puisqu'elle est le paramètre en phase dans les circuits parallèle, la tension de la source a été utilisée comme vecteur de phase de référence. Vous avez vu que, dans un circuit résonnant parallèle, des réactances équivalentes, mais de signes opposés, provoquaient un courant de source très faible. Les vecteurs de phase de différents courants du circuit ont été affichés pour vérifier vos calculs.

Vecteurs et vecteurs de phase dans les circuits c.a. parallèle

EXERCICES

1. Dans un circuit RC parallèle, quel est l'angle de phase entre la tension et le courant lorsque R et X_C sont de 30 Ω et 40 Ω , respectivement?
 - a. 37°
 - b. 53°
 - c. 45°
 - d. 90°

2. La principale caractéristique d'un circuit résonnant parallèle est que
 - a. le courant de sa source est élevé.
 - b. la tension de sa source est faible.
 - c. le courant de sa source est presque nul.
 - d. la tension de sa source est presque nulle.

3. Dans un circuit RL parallèle, la composante en phase est
 - a. la tension.
 - b. le courant.
 - c. la réactance.
 - d. la résistance.

4. Dans un circuit RL parallèle, la formule utilisée pour calculer l'amplitude de la somme vectorielle des deux vecteurs des courants est
 - a. $I_S = I_R + I_L$.
 - b. $I_S = E_S/RX_L$.
 - c. $I_S = \sqrt{2}E_S I_R$.
 - d. $I_S = \sqrt{(I_R^2 + I_L^2)}$.

5. L'angle de phase entre la tension E_S et le courant I_S d'un circuit RL parallèle peut être déterminé en calculant le rapport
 - a. I_S/I_R .
 - b. I_L/I_R .
 - c. S/Q.
 - d. Aucune de ces réponses.

Impédance

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de calculer et de démontrer l'impédance de circuits c.a. Les courants et tensions mesurés dans le circuit seront utilisés pour vérifier la théorie et les formules présentées à l'aide des équations servant à calculer l'impédance.

PRINCIPES

Au cours des expériences antérieures, vous avez observé que l'opposition totale à la circulation d'un courant, dans un circuit comportant une résistance et une réactance (X_L ou X_C), n'est pas constituée simplement de la somme algébrique de cette résistance et de cette réactance. On doit additionner la réactance et la résistance en tenant compte du déphasage de 90° entre les deux tensions, dans un circuit série, ou entre les deux courants, dans un circuit parallèle. L'opposition totale à la circulation d'un courant est appelée impédance (Z) et elle est exprimée mathématiquement par $Z = R \pm jX$.

Dans un circuit RL ou RC série, la tension aux bornes d'une résistance, d'une bobine ou d'un condensateur est égale au produit du courant par la résistance, par la réactance inductive ou par la réactance capacitive. En appliquant la loi d'Ohm au circuit RL série de la figure 5-18, on obtient:

$$E_R = IR \text{ et } E_L = IX_L.$$

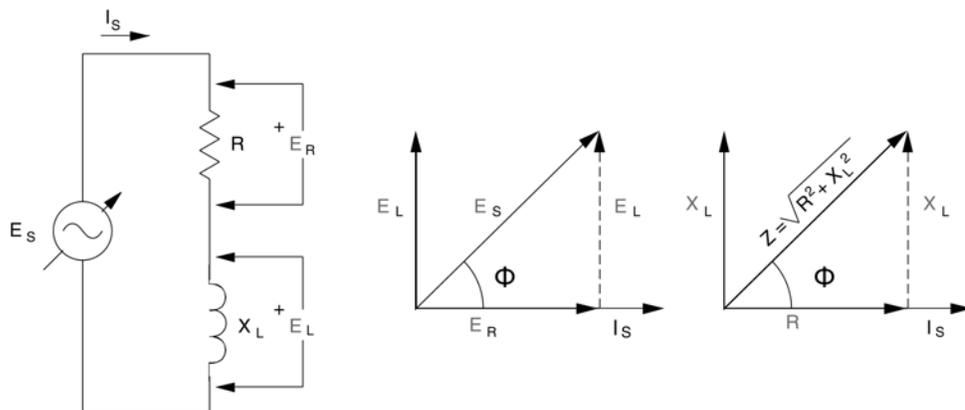


Figure 5-18. Impédance dans un circuit c.a.

La tension totale correspond au produit du courant par l'opposition totale à la circulation de celui-ci dans le circuit. Elle est exprimée par la formule $E = IZ$. L'impédance et la chute de tension totale peuvent également être calculées à l'aide des vecteurs de phase, comme le montre la figure 5-18. La tension E_R est égale à

Sale and/or reproduction forbidden

Impédance

$I_s R$ et la tension E_L est égale $I_s X_L$. La somme vectorielle de E_R et E_L est égale à la tension de la source, E_s , c'est-à-dire au produit $I_s Z$. Parce que chaque vecteur de phase représente un produit où le courant I est un facteur commun, les vecteurs de phase peuvent être tracés proportionnellement à R et X_L , tel qu'illustré. La somme vectorielle de R et X_L représente donc l'impédance Z du circuit. La somme vectorielle correspond également à l'hypoténuse d'un triangle rectangle et elle peut être calculée à l'aide du théorème de Pythagore:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

L'angle de phase de l'impédance Z est le même que l'angle de phase de la somme vectorielle et, à l'aide de la trigonométrie, on peut trouver que $\tan \varphi = X_L/R$, ou $\cos \varphi = R/Z$. Dans les circuits c.a., les relations entre E , I et Z ressemblent à celles qui existent dans les circuits c.c. entre E , I et R . La loi d'Ohm peut donc être utilisée pour résoudre des circuits c.a. Il suffit de remplacer R par Z , ce qui donne $E = IZ$, $Z = E/I$ et $I = E/Z$.

Dans les circuits RL ou RC parallèle, la tension E_s appliquée est la même aux bornes de chaque branche. Elle est donc utilisée comme référence de phase. Le courant circulant dans chaque branche peut être calculé en divisant la tension E_s par l'impédance R , X_L ou X_C de cette branche. Le courant de la source, I_s , est ensuite calculé en additionnant de façon vectorielle les courants des branches, ce qui donne

$$I_s = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \text{ et } I_s = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}.$$

Dans les circuits parallèle, l'impédance peut être calculée à l'aide de la loi d'Ohm, $Z = E/I$. L'amplitude de Z peut également être déterminée en calculant la somme vectorielle de la résistance et de la réactance à l'aide des formules suivantes:

$$Z = R X_L / \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ et } Z = R X_C / \sqrt{R^2 + X_C^2}.$$

Dans les circuits parallèle, l'angle de phase φ peut être calculé à l'aide des équations $\tan \varphi = R/X$ et $\cos \varphi = Z/R$.

Lorsqu'un circuit comporte des composants inductifs et des composants capacitifs, il faut d'abord en déterminer la réactance équivalente $X_{\text{ÉQ}}$ et l'utiliser dans les formules ci-dessus. Dans les circuits série, $X_{\text{ÉQ}} = (X_L - X_C)$, alors que dans les circuits parallèle, $X_{\text{ÉQ}} = (X_L X_C) / (X_L - X_C)$. Selon que $(X_L - X_C)$ est positif ou négatif, la réactance équivalente est inductive ou capacitive et son angle de phase est en avance (positif) ou en retard (négatif).

Cette expérience est divisée en deux parties distinctes: **l'Impédance dans les circuits série** et **l'Impédance dans les circuits parallèle**. Elle peut être effectuée en deux séances de laboratoire consécutives, si une seule ne suffit pas.

Impédance

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

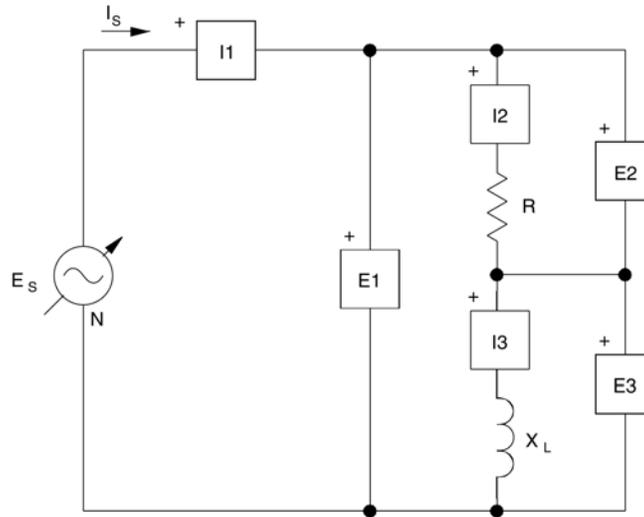
AVERTISSEMENT!

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!

Impédance dans les circuits série

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive, Charge inductive et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit de la figure 5-19. Raccordez en parallèle toutes les sections des modules de charge et réglez R et X_L aux valeurs indiquées. Raccordez les appareils de mesure I_1 , I_2 , I_3 , E_1 , E_2 et E_3 tel qu'illustré, afin de mesurer les tensions et les courants du circuit.
- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES15-4.dai.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche). Tournez lentement le bouton de commande de la tension, afin d'obtenir exactement le courant I_s indiqué à la figure 5-19.

Impédance



TENSION DE LIGNE (V)	I_s (A)	R (Ω)	X_L (Ω)
120	1,0	80	60
220	0,5	293	220
240	0,5	320	240

Figure 5-19. Calcul de l'impédance dans un circuit RL série.

7. Notez les tensions mesurées dans le circuit ainsi que les valeurs de Z, R et X_L indiquées sur les appareils de mesure programmables A, B et C.

$$E_s = \text{_____ V} \quad E_R = \text{_____ V} \quad E_L = \text{_____ V}$$

$$Z = \text{_____ } \Omega \quad R = \text{_____ } \Omega \quad X_L = \text{_____ } \Omega$$

8. À l'aide des valeurs indiquées dans le circuit de la figure 5-19, calculez Z et φ .

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_L^2)} = \text{_____ } \Omega \quad \varphi = \arctan X_L/R = \text{_____ } ^\circ$$

9. Utilisez la loi d'Ohm ainsi que les valeurs I_s , Z, R et X_L pour calculer les tensions du circuit ($E_s = I_s Z$, $E_R = I_s R$ et $E_L = I_s X_L$).

$$E_s = \text{_____ V}$$

$$E_R = \text{_____ V}$$

$$E_L = \text{_____ V}$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Impédance

10. Comparez les valeurs de Z et des tensions calculées aux valeurs de Z et des tensions mesurées. Sont-elles presque identiques?

Oui Non

11. Les valeurs de R et de X_L mesurées sont-elles presque identiques à celles réglées sur les modules de charge?

Oui Non

12. Utilisez l'*Analyseur de vecteurs de phase* pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant de la source. La valeur de φ mesurée est-elle presque égale à la valeur calculée?

Oui Non

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et remplacez la réactance inductive du circuit de la figure 5-19 par une réactance capacitive. Réglez X_C à la valeur de X_L et réglez la valeur de R à cette même valeur de X_C . 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 obtenir le courant I_S utilisé à la manipulation 6.

14. Notez les valeurs mesurées affichées sur les appareils de mesure.

Remarque : Le signe négatif sur l'appareil de mesure programmable C indique qu'une réactance capacitive est mesurée. Ne tenez pas compte de ce signe lorsque vous notez la valeur de X_C .

$$E_S = \text{_____} \text{ V} \quad E_R = \text{_____} \text{ V} \quad E_C = \text{_____} \text{ V}$$

$$Z = \text{_____} \Omega \quad R = \text{_____} \Omega \quad X_C = \text{_____} \Omega$$

15. À l'aide des valeurs indiquées dans le circuit de la manipulation 13, calculez Z et φ .

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_C^2)} = \text{_____} \Omega \quad \varphi = \arctan - X_C/R = \text{_____}^\circ$$

16. Utilisez à nouveau la loi d'Ohm et les valeurs de I_S , Z, R et X_C pour calculer les tensions du circuit.

$$E_S = \text{_____} \text{ V} \quad E_R = \text{_____} \text{ V} \quad E_C = \text{_____} \text{ V}$$

Impédance

17. Comparez les valeurs de Z et des tensions calculées aux valeurs de Z et des tensions mesurées. Sont-elles presque identiques?

Oui Non

18. Les valeurs de R et de X_C mesurées sont-elles presque identiques à celles réglées sur les modules de charge?

Oui Non

19. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant de la source. La valeur de φ mesurée est-elle presque égale à la valeur calculée?

Oui Non

20. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et ajoutez une réactance inductive afin d'obtenir le circuit RLC série de la figure 5-20. Raccordez les appareils de mesure I1 et E1 tel qu'illustré et réglez R, X_L et X_C aux valeurs indiquées. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et tournez lentement le bouton de réglage de la tension de façon à obtenir exactement le courant I_S indiqué à la figure 5-20.

21. Notez les valeurs de Z, R et X_{EQ} (égale à $X_L - X_C$) affichées sur les appareils de mesure A, B et C.

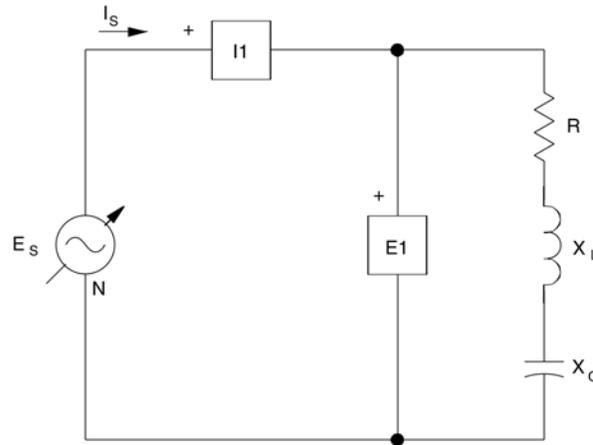
Z = _____ Ω R = _____ Ω X_{EQ} = _____ Ω

22. À l'aide des valeurs indiquées dans le circuit de la figure 5-20, calculez Z et φ .

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \text{_____ } \Omega$$

$$\varphi = \arctan X_{EQ}/R = \text{_____ } ^\circ$$

Impédance



TENSION DE LIGNE (V)	I_s (A)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
120	0,5	80	60	120
220	0,25	293	220	440
240	0,25	320	240	480

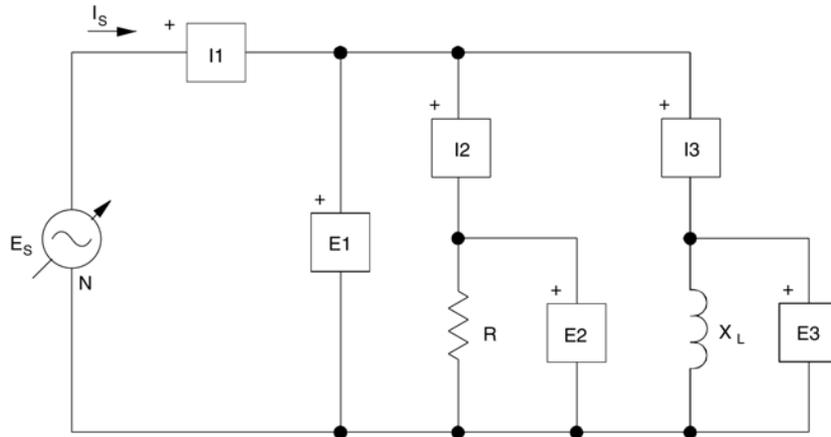
Figure 5-20. Calcul de l'impédance dans un circuit RLC série.

23. Comparez les valeurs de Z calculées aux valeurs de Z mesurées. Sont-elles presque identiques?
- Oui Non
24. Les valeurs de R et de X_{EQ} mesurées sont-elles presque identiques à celles réglées dans le circuit?
- Oui Non
25. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour observer l'angle de phase entre la tension et le courant de la source. La valeur de ϕ mesurée est-elle presque égale à la valeur calculée?
- Oui Non

Impédance dans les circuits parallèle

26. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit RL parallèle de la figure 5-21. Réglez R et X_L aux valeurs indiquées et raccordez les appareils de mesure $I1$, $I2$, $I3$, $E1$, $E2$ et $E3$ tel qu'illustré, afin de mesurer les courants et tensions du circuit.

Impédance



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)	X_L (Ω)
120	120	80	60
220	220	293	220
240	240	320	240

Figure 5-21. Calcul de l'impédance dans un circuit RL parallèle.

27. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension à la valeur E_s indiquée à la figure 5-21. Notez les courants mesurés dans le circuit ainsi que les valeurs de Z, R et X_L indiquées sur les appareils de mesure programmables A, B et C.

$$I_s = \text{_____ A} \quad I_R = \text{_____ A} \quad I_L = \text{_____ A}$$

$$Z = \text{_____ } \Omega \quad R = \text{_____ } \Omega \quad X_L = \text{_____ } \Omega$$

28. À l'aide des valeurs indiquées dans le circuit de la figure 5-21, calculez Z et φ .

$$Z = R X_L / \sqrt{R^2 + X_L^2} = \text{_____ } \Omega$$

$$\varphi = \arctan R/X_L = \text{_____ } ^\circ$$

29. Utilisez les valeurs de E_s , Z, R et X_L pour calculer les courants.

$$I_s = \text{_____ A} \quad I_R = \text{_____ A} \quad I_L = \text{_____ A}$$

Impédance

30. Comparez les valeurs de Z et des courants calculées aux valeurs de Z et des courants mesurées. Sont-elles presque identiques?

Oui Non

31. Les valeurs de R et de X_L mesurées sont-elles presque identiques à celles réglées sur les modules de charge?

Oui Non

32. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant de la source. La valeur de φ mesurée est-elle presque égale à la valeur calculée?

Remarque : Pour répondre à cette question, ne tenez pas compte du signe de l'angle de phase indiqué sur l'Analyseur de vecteurs de phase.

Oui Non

33. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et, dans le circuit de la figure 5-21, remplacez X_L par une réactance capacitive afin d'obtenir un circuit RC parallèle. Réglez X_C à la valeur de X_L et conservez la même valeur de R.

34. 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 obtenir la tension E_s utilisée à la manipulation 27. Notez les valeurs mesurées affichées sur les appareils de mesure.

Remarque : Le signe négatif sur l'appareil de mesure programmable C indique qu'une réactance capacitive est mesurée. Ne tenez pas compte de ce signe lorsque vous notez la valeur de X_C .

$I_s = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$ $I_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$ $I_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$
 $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ $R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ $X_C = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

35. À l'aide des valeurs indiquées dans le circuit de la manipulation 33, calculez Z et φ .

$$Z = R X_c \sqrt{R^2 + X_c^2} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$\varphi = \arctan - R/X_c = \underline{\hspace{2cm}} ^\circ$$

Impédance

36. Utilisez la loi d'Ohm et les valeurs d' E_s , Z , R et X_C pour calculer les courants du circuit.

$$I_s = \text{_____ A} \quad I_R = \text{_____ A} \quad I_C = \text{_____ A}$$

37. Comparez les valeurs de Z et des courants calculées aux valeurs de Z et des courants mesurées. Sont-elles presque identiques?

Oui Non

38. Les valeurs de R et de X_C mesurées sont-elles presque identiques à celles réglées sur les modules de charge?

Oui Non

39. Utilisez l'*Analyseur de vecteurs de phase* pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant de la source. La valeur de ϕ mesurée est-elle presque égale à la valeur calculée?

Remarque : Pour répondre à cette question, ne tenez pas compte du signe de l'angle de phase indiqué sur l'*Analyseur de vecteurs de phase*.

Oui Non

40. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et montez le circuit RLC parallèle de la figure 5-22. Raccordez les appareils de mesure E1 et I1 tel qu'indiqué, et réglez R , X_L et X_C aux valeurs indiquées. 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 obtenir exactement la tension E_s indiquée à la figure 5-22.

41. Notez les valeurs de Z , R et X_{EQ} {égale à $X_L X_C / (X_C - X_L)$ } affichées sur les appareils de mesure A, B et C.

$$Z = \text{_____ } \Omega \quad R = \text{_____ } \Omega \quad X_{EQ} = \text{_____ } \Omega$$

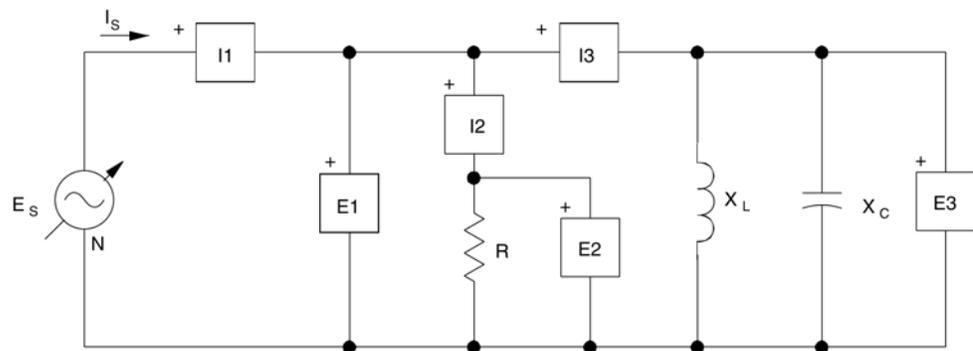
Impédance

42. À l'aide des valeurs indiquées dans le circuit de la figure 5-22, calculez Z , X_{EQ} et φ .

$$X_{EQ} = X_L X_C / (X_C - X_L) = \text{_____ } \Omega$$

$$Z = R X_{EQ} / \sqrt{R^2 + X_{EQ}^2} = \text{_____ } \Omega$$

$$\varphi = \arctan R / X_{EQ} = \text{_____ } ^\circ$$



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
120	120	80	80	60
220	220	293	293	220
240	240	320	320	240

Figure 5-22. Calcul de l'impédance dans un circuit RLC parallèle.

43. Comparez les valeurs de Z calculées aux valeurs de Z mesurées. Sont-elles presque identiques?
- Oui Non
44. Les valeurs de R et de X_{EQ} mesurées sont-elles presque identiques à celles réglées dans le circuit?
- Oui Non
45. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant de la source. La valeur de φ mesurée est-elle presque égale à la valeur calculée?

Remarque : Pour répondre à cette question, ne tenez pas compte du signe de l'angle de phase indiqué sur l'Analyseur de vecteurs de phase.

Impédance

Oui Non

46. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez calculé l'impédance dans les circuits série et parallèle, et comparé vos résultats à ceux obtenus en mesurant le courant et la tension. Vous avez démontré que l'impédance est le quotient de la tension de la source par le courant de la source et que la réactance équivalente d'un circuit RLC est soit inductive ou capacitive, selon la valeur relative de X_L et X_C . Enfin, l'observation des vecteurs de phase des tensions et courants vous a permis de vérifier vos calculs de l'angle de phase de l'impédance.

EXERCICES

- L'opposition totale à la circulation d'un courant dans un circuit est appelée:
 - résistance.
 - réactance.
 - impédance.
 - inductance.
- L'impédance d'un circuit peut être calculée à l'aide de l'équation suivante:
 - $Z = E/I$.
 - $Z = R + X_L + X_C$
 - $Z = EI$.
 - $Z = I/E$.
- Quelle est l'impédance d'un circuit RLC parallèle dont R , X_L et X_C sont égales, dont la tension E_s est de 120 V et dont le courant I_s est de 2 A?
 - 60 Ω .
 - 240 Ω .
 - 20 Ω .
 - 180 Ω
- La réactance équivalente d'un circuit c.a. série est telle que l'angle de phase de son impédance est positif. Le courant de ce circuit est-il en avance ou en retard sur la tension de sa source?

Impédance

- a. Le courant est en avance sur la tension, car la réactance est capacitive.
 - b. Le courant est en retard sur la tension, car la réactance est inductive.
 - c. Le courant est en avance sur la tension, car la réactance est inductive.
 - d. Le courant est en retard sur la tension, car la réactance est capacitive.
5. L'impédance d'un circuit RLC parallèle peut être déterminée
- a. en calculant le quotient de la tension de sa source par le courant du circuit.
 - b. en calculant le produit de la tension de sa source par le courant du circuit.
 - c. à l'aide de la formule $Z = R X_{\text{EQ}} / \sqrt{R^2 + X_{\text{EQ}}^2}$.
 - d. a et c.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Questions récapitulatives

1. Un moteur dont le facteur de puissance est de 0,8 consomme une puissance active de 4 kW. Quelle est la puissance apparente S fournie au moteur?
 - a. $\cos \varphi = P/S = 0,80$, donc $S = 5$ kVA.
 - b. $\cos \varphi = S/P = 0,80$, donc $S = 3,2$ kVA.
 - c. $\cos \varphi = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = 0,80$, donc $S = 7,2$ kVA.
 - d. $\cos \varphi / S-Q = 0,80$, donc $S = 8,8$ kVA.
2. La puissance apparente est liée à la puissance active et à la puissance réactive par l'équation:
 - a. $S = P + Q$.
 - b. $S = P - Q$.
 - c. $S = \sqrt{(P^2 - Q^2)}$.
 - d. $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$.
3. Un condensateur consommant une puissance réactive de 8 kvar est placé en parallèle avec un électro-aimant consommant une puissance active de 6 kW et une puissance réactive de 6 kvar. Quel effet cela a-t-il sur le facteur de puissance $\cos \varphi$?
 - a. Le facteur de puissance devient unitaire.
 - b. Le facteur de puissance passe de 0,5 à 0,67.
 - c. Le facteur de puissance en avance devient en retard.
 - d. Aucune de ces réponses.
4. Dans un circuit RLC série, quel est l'angle de phase entre la tension et le courant lorsque R, X_L et X_C sont toutes égales à 100 Ω ?
 - a. 45°
 - b. 37°
 - c. 0°
 - d. 30°
5. Le paramètre en phase du circuit utilisé comme référence pour l'analyse vectorielle est
 - a. la tension, dans les circuits série, et le courant, dans les circuits parallèle.
 - b. le courant, dans les circuits série, et la tension, dans les circuits parallèle.
 - c. la réactance dans les circuits série et parallèle.
 - d. toujours la tension.

Questions récapitulatives (suite)

6. Dans un circuit RL série, l'angle de phase entre la tension E_S et le courant I_S peut être déterminé en calculant le rapport
- E_S/E_R .
 - E_L/E_R .
 - P/Q .
 - Aucune de ces réponses.
7. Dans un circuit RC parallèle, quel est l'angle de phase entre la tension et le courant, lorsque R et X_C sont de 60Ω et 100Ω , respectivement?
- 53°
 - 31°
 - 59°
 - 37°
8. L'impédance est l'opposition totale à la circulation d'un courant dans un circuit et elle comprend
- la résistance et la réactance.
 - la réactance seulement.
 - la capacité seulement.
 - l'inductance seulement.
9. Quelle est l'impédance d'un circuit RLC série dont R , X_L et X_C sont égales, dont la tension E_S est de 120 V et dont le courant I_S est de 2 A ?
- 60Ω .
 - 240Ω .
 - 20Ω .
 - 180Ω .
10. L'angle de phase de l'impédance d'un circuit c.a. parallèle est positif. Le courant de la source est-il en avance ou en retard sur la tension de la source?
- Le courant est en avance sur la tension, car la réactance est capacitive.
 - Le courant est en retard sur la tension, car la réactance est inductive.
 - Le courant est en avance sur la tension, car la réactance est inductive.
 - Le courant est en retard sur la tension, car la réactance est capacitive.

Circuits triphasés

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous serez en mesure de résoudre des circuits c.a. triphasés équilibrés raccordés en étoile et en triangle, ainsi que de démontrer la différence entre la tension de ligne et la tension de phase. Vous serez également en mesure de déterminer les puissances active, réactive et apparente ainsi que d'établir la séquence de phase d'un bloc d'alimentation c.a. triphasé. Vous allez utiliser la tension et le courant mesurés pour vérifier la théorie et les calculs présentés dans les expériences.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Les circuits triphasés ne sont pas plus difficiles à résoudre que les circuits monophasés. Dans la majorité des cas, ils sont équilibrés et possèdent des impédances identiques dans chacune de leurs trois branches. Chaque branche peut être traitée exactement comme un circuit monophasé, car un **circuit triphasé équilibré** est simplement la combinaison de trois circuits monophasés. Les courbes de tension, de courant et de puissance des circuits triphasés peuvent donc être déterminées à l'aide des règles et techniques mises au point pour les circuits monophasés. Les circuits non équilibrés représentent une condition non naturelle et leur analyse peut être complexe. Ce manuel ne traite donc pas des circuits triphasés non équilibrés.

Un circuit c.a. triphasé est alimenté par trois signaux sinusoïdaux de même fréquence et de même amplitude, déphasés de 120° entre eux. L'angle de phase entre les tensions d'un bloc d'alimentation triphasé est donc de 120° , comme nous l'avons vu dans le Bloc 2. Les tensions d'un bloc d'alimentation triphasé peuvent être générées tel qu'illustré par l'alternateur triphasé (génératrice triphasée) simplifié de la figure 6-1. Un champ magnétique tournant tourne à l'intérieur de trois bobines de fil (enroulements) identiques placées à 120° l'une de l'autre. L'aimant tournant tourne à vitesse constante, ce qui fait que la fréquence est constante, et les trois tensions atteignent leur maximum à tour de rôle, à intervalles de 120° .

Circuits triphasés

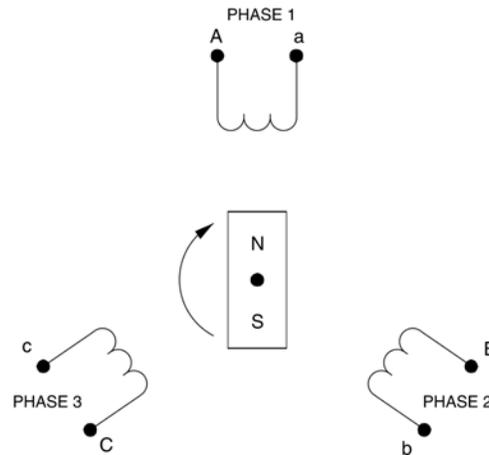


Figure 6-1. Alternateur triphasé simplifié.

La **séquence de phase** des trois tensions est l'ordre selon lequel elles se suivent et atteignent leur maximum, comme le montre la figure 6-2. Ces tensions sont illustrées par la séquence de phase E_A , E_B , E_C qui, sous forme abrégée, donne la séquence A-B-C. La séquence de phase est importante, car les moteurs triphasés tournent dans la même direction que le champ magnétique tournant. Si les phases sont raccordées hors séquence, le moteur tourne dans la direction opposée et cela peut avoir des conséquences relativement graves. Par exemple, si une rotation vers la droite correspond à la direction normale pour faire monter un ascenseur, un mauvais branchement des fils de phase fera descendre l'ascenseur au lieu de le faire monter, vice et versa, et un grave accident pourrait survenir.

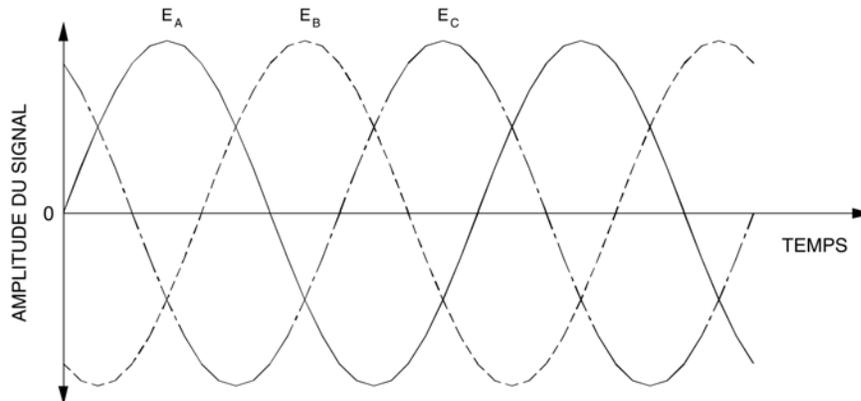


Figure 6-2. Séquence de phase A-B-C d'un bloc d'alimentation triphasé.

Circuits triphasés équilibrés

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de distinguer les tensions de ligne des tensions de phase dans les circuits c.a. raccordés en étoile et en triangle. Les paramètres mesurés dans les charges résistives équilibrées seront utilisés pour vérifier les calculs du circuit.

PRINCIPES

Les enroulements d'un bloc d'alimentation c.a. triphasé (alternateur de la figure 6-1) peuvent être raccordés en étoile ou en triangle. Ces noms découlent de l'allure des schémas des circuits. La figure 6-3 illustre les raccordements correspondant à chaque configuration. Chacune comporte des caractéristiques électriques particulières. La tension générée par un seul enroulement est appelée **tension de phase**, E_{PHASE} (E_{AN} , E_{BN} , E_{CN}), alors que la tension entre deux enroulements est appelée tension ligne à ligne ou **tension de ligne**, E_{LIGNE} (E_{AB} , E_{BC} , E_{CA}). Dans un système raccordé en étoile, la tension de ligne est $\sqrt{3}$ (environ 1,73) fois supérieure à la tension de phase, c'est-à-dire $E_{\text{LIGNE}} = \sqrt{3}E_{\text{PHASE}}$.

Remarque : Dans le système EMS, les chiffres 1, 2, 3 (fixes) et 4,5,6 (variables) sont utilisés au lieu des lettres A, B et C pour représenter les tensions de ligne et de phase correspondantes. La ligne neutre est indiquée par N.

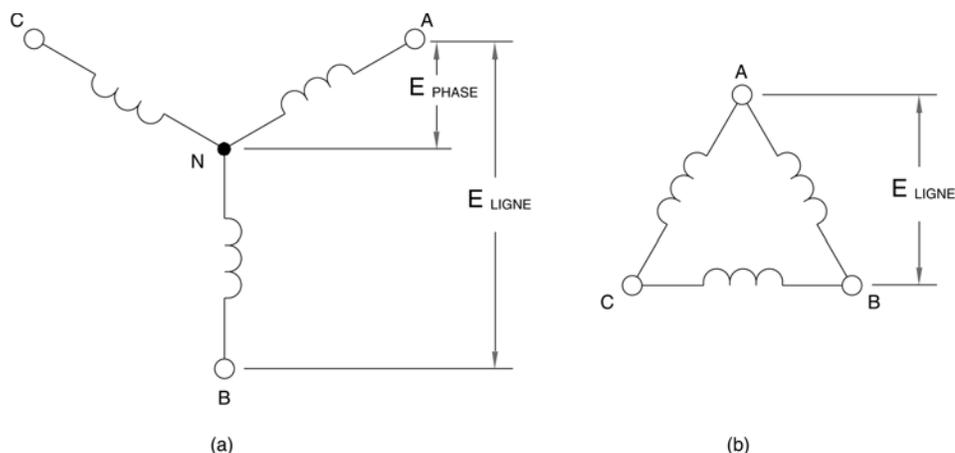


Figure 6-3. (a) Raccordement triphasé en étoile (b) Raccordement triphasé en triangle.

Habituellement, les fils triphasés et le fil neutre d'un système d'alimentation triphasé peuvent être raccordés à la charge, qui peut être **raccordée en étoile** ou **raccordée en triangle**. Ces deux types de raccordements sont illustrés à la figure 6-4, de façon à montrer les trois tensions c.a. séparées alimentant le circuit triphasé équilibré. Une

Circuits triphasés équilibrés

analyse du circuit démontre que la tension entre deux lignes d'une charge raccordée en étoile est 1,73 fois supérieure à la tension de phase individuelle (aux bornes de la charge). Aussi, le **courant de ligne** d'une charge raccordée en triangle est 1,73 fois supérieur au courant de phase individuel (circulant dans la charge). Le **courant de phase** d'une charge raccordée en triangle est donc 1,73 fois inférieur au courant de ligne.

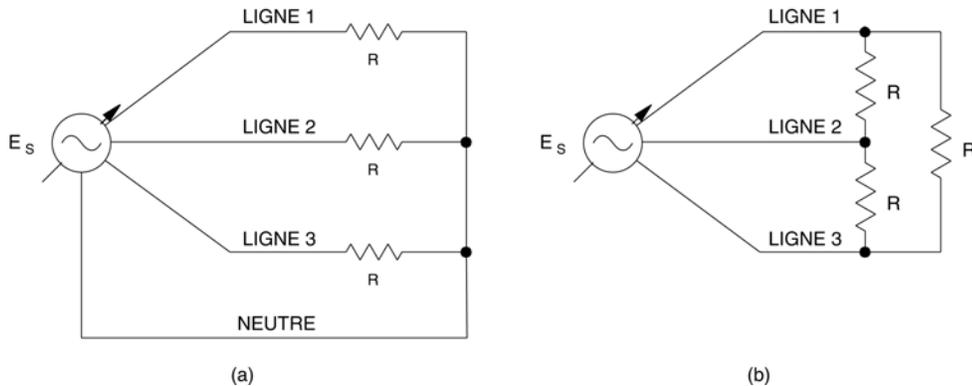


Figure 6-4. (a) Charge raccordée en étoile (b) Charge raccordée en triangle.

Les équations liant tensions et courants de ligne et de phase facilitent l'analyse des circuits triphasés équilibrés. En voici les formes abrégées:

pour les circuits en étoile, $E_{LIGNE} = \sqrt{3}E_{PHASE}$ et $I_{LIGNE} = I_{PHASE}$

pour les circuits en triangle, $E_{LIGNE} = E_{PHASE}$ et $I_{LIGNE} = \sqrt{3}I_{PHASE}$.

Les formules servant à calculer les puissances active, réactive et apparente dans les circuits triphasés équilibrés sont les mêmes que celles utilisées dans les circuits monophasés, sauf en ce qui a trait au facteur $\sqrt{3}$. En se basant sur la formule servant à calculer la puissance d'un circuit monophasé, on peut affirmer que la puissance active dissipée dans chacune des phases d'une charge raccordée en étoile ou en triangle est $P_{PHASE} = (E_{PHASE} \times I_{PHASE} \times \cos \varphi)$, où φ est l'angle entre la tension et le courant de phase. La puissance active totale P_T fournie à la charge est donc:

$$P_T = 3 \times P_{PHASE} = 3 (E_{PHASE} \times I_{PHASE} \times \cos \varphi).$$

Dans le cas d'une charge résistive, $\cos \varphi$ est égal à 1, donc $P_T = 3 (E_{PHASE} \times I_{PHASE})$.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

Circuits triphasés équilibrés

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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.

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Charge résistive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension de sortie vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez l'écran *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES16-1.dai.
- 5. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions ligne à neutre et ligne à ligne fixes du Bloc d'alimentation de la figure 6-5.

Remarque : Dans ce manuel, la notation E_{PHASE} est utilisée pour désigner la tension ligne à neutre et la notation E_{LIGNE} pour désigner la tension ligne à ligne.

Circuits triphasés équilibrés

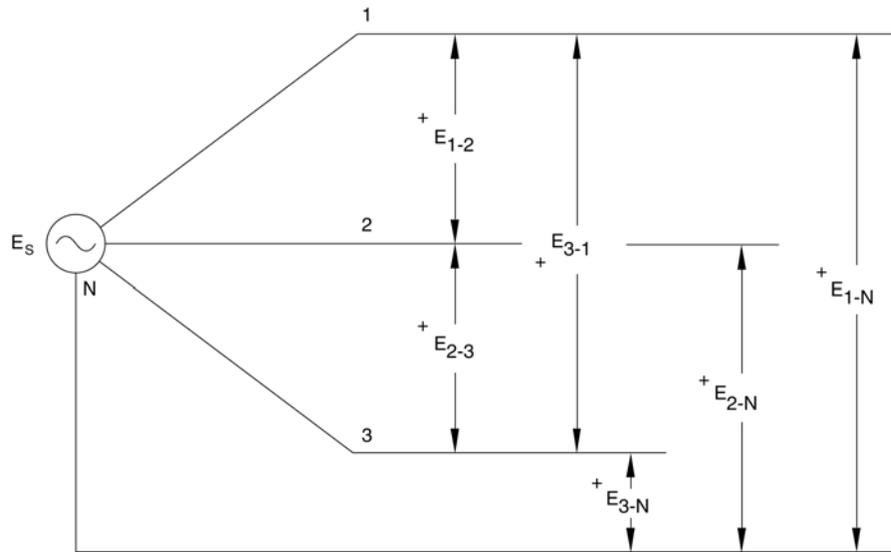


Figure 6-5. Mesure des tensions de ligne et de phase.

- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V CA à la position I (marche).
- 7. Notez les valeurs mesurées, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Calculez la valeur moyenne des tensions de phase et de ligne.

$$E_{1-N} = \text{_____ V} \quad E_{2-N} = \text{_____ V} \quad E_{3-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{\text{PHASE}} \text{ moyenne} = (E_{1-N} + E_{2-N} + E_{3-N}) / 3 = \text{_____ V}$$

$$E_{1-2} = \text{_____ V} \quad E_{2-3} = \text{_____ V} \quad E_{1-3} = \text{_____ V}$$

$$E_{\text{LIGNE}} \text{ moyenne} = (E_{1-2} + E_{2-3} + E_{1-3}) / 3 = \text{_____ V}$$

- 8. Calculez le rapport de la tension de ligne moyenne sur la tension de phase moyenne.

$$E_{\text{LIGNE}} / E_{\text{PHASE}} = \text{_____}$$

- 9. Ce rapport est-il presque égal à 1,73 ($\sqrt{3}$)?

Oui Non

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Circuits triphasés équilibrés

10. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions ligne à neutre et ligne à ligne variables E_{4-N} , E_{5-N} , E_{6-N} , E_{4-5} , E_{5-6} et E_{4-6} du Bloc d'alimentation.
11. 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 obtenir une tension ligne à neutre de 120 V, 220 V ou 240 V, selon le système EMS que vous utilisez. Notez les valeurs mesurées, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Calculez la valeur moyenne des tensions de phase et de ligne.

$$E_{4-N} = \text{_____ V} \quad E_{5-N} = \text{_____ V} \quad E_{6-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{\text{PHASE}} \text{ moyenne} = (E_{4-N} + E_{5-N} + E_{6-N}) / 3 = \text{_____ V}$$

$$E_{4-5} = \text{_____ V} \quad E_{5-6} = \text{_____ V} \quad E_{4-6} = \text{_____ V}$$

$$E_{\text{LIGNE}} \text{ moyenne} = (E_{4-5} + E_{5-6} + E_{4-6}) / 3 = \text{_____ V}$$

12. Calculez le rapport de la tension de ligne moyenne sur la tension de phase moyenne.

$$E_{\text{LIGNE}} / E_{\text{PHASE}} = \text{_____}$$

13. Ce rapport est-il presque égal à 1,73 ($\sqrt{3}$)?

Oui Non

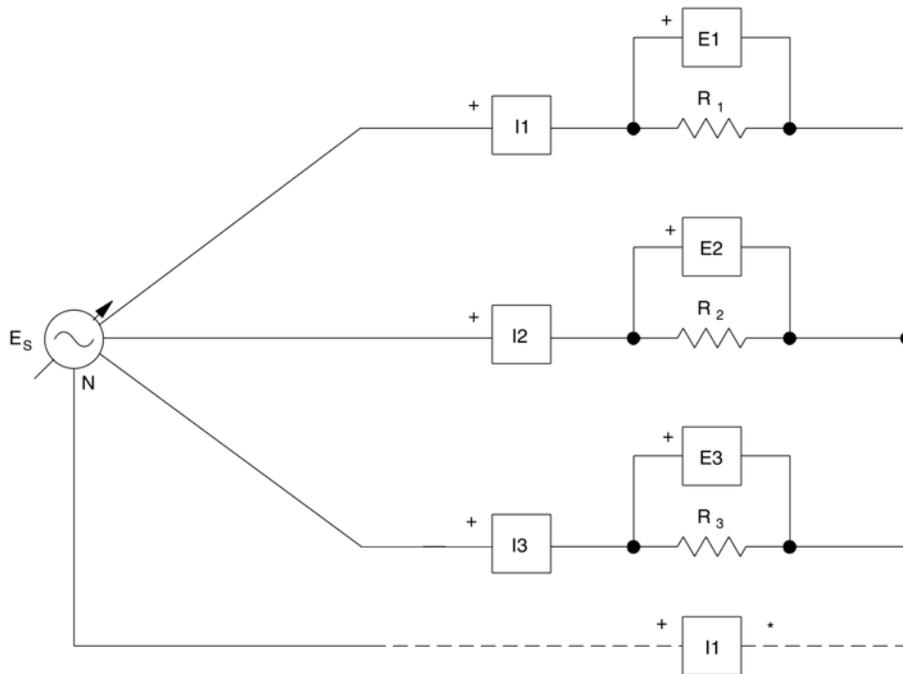
14. Montez le circuit résistif triphasé en étoile de la figure 6-6. Ne raccordez pas le neutre du module Charge résistive au neutre du Bloc d'alimentation. Raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, afin de mesurer les courants et tensions.

15. 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 obtenir la tension ligne à ligne E_S (E_{4-5} , E_{5-6} ou E_{4-6}) indiquée à la figure 6-6. Mesurez les tensions et courants du circuit, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$E_{R1} = \text{_____ V} \quad E_{R2} = \text{_____ V} \quad E_{R3} = \text{_____ V}$$

$$I_{R1} = \text{_____ A} \quad I_{R2} = \text{_____ A} \quad I_{R3} = \text{_____ A}$$

Circuits triphasés équilibrés



* CONSULTER LES MANIPULATIONS

TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	208	300	300	300
220	380	1100	1100	1100
240	415	1200	1200	1200

Figure 6-6. Charge résistive triphasée raccordée en étoile.

16. Comparez les tensions et courants de chacune des charges. Sont-ils presque égaux, montrant que la charge totale est équilibrée?

Oui Non

17. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 16, calculez la tension moyenne de la charge.

$$E_{\text{CHARGE}} \text{ moyenne} = (E_{R_1} + E_{R_2} + E_{R_3}) / 3 = \text{_____ V}$$

18. Le rapport E_{LIGNE} sur E_{CHARGE} est-il presque égal à $\sqrt{3}$?

Oui Non

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Circuits triphasés équilibrés

19. Raccordez l'appareil de mesure I1 tel qu'indiqué par la ligne pointillée de la figure 6-6, afin de mesurer le courant de ligne du neutre lorsque le neutre du Bloc d'alimentation est raccordé au neutre de la charge en étoile. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et notez le courant I_N obtenu en réglant la tension E_S à la même valeur que la tension E_{LIGNE} réglée à la manipulation 15.

$$I_N = \text{_____ A}$$

20. Le courant du neutre est-il nul?

Oui Non

21. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 15, calculez la puissance active consommée dans chacune des phases du circuit ainsi que la puissance totale consommée par la charge.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \text{_____ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \text{_____ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \text{_____ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

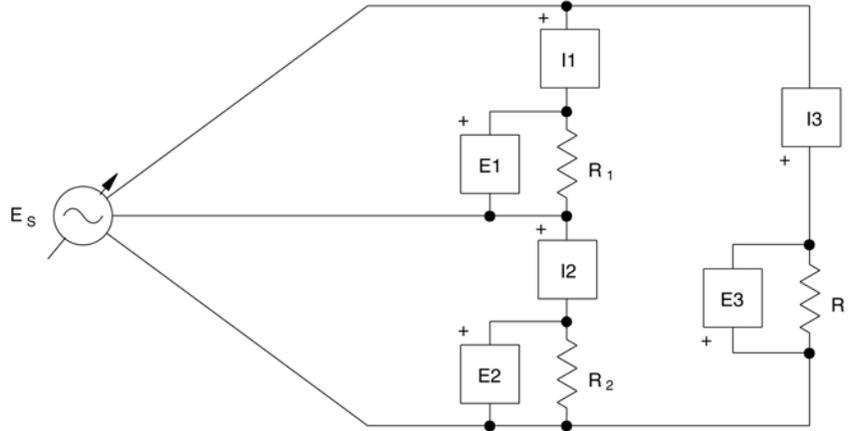
22. À l'aide de la tension et du courant de phase, calculez la puissance totale P_T et comparez-la à celle calculée à la manipulation 21. Sont-elles presque égales?

$$P_T = 3 (E_{PHASE} \times I_{PHASE}) = \text{_____ W}$$

Oui Non

23. Montez le circuit résistif triphasé raccordé en triangle de la figure 6-7. Raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, afin de mesurer les courants et tensions.

Circuits triphasés équilibrés



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	120	300	300	300
220	220	1100	1100	1100
240	240	1200	1200	1200

Figure 6-7. Charge résistive triphasée raccordée en triangle.

24. 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 obtenir la tension ligne à ligne E_s (E_{4-5} , E_{5-6} ou E_{4-6}) indiquée à la figure 6-7. Mesurez les tensions et courants du circuit, puis mettez l'interrupteur du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$E_{R1} = \text{_____ V} \quad E_{R2} = \text{_____ V} \quad E_{R3} = \text{_____ V}$$

$$I_{R1} = \text{_____ V} \quad I_{R2} = \text{_____ V} \quad I_{R3} = \text{_____ V}$$

25. Comparez les tensions et courants de chacune des charges. Sont-ils presque égaux, montrant que la charge totale est équilibrée?

Oui Non

26. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 24, calculez le courant moyen de la charge.

$$I_{\text{CHARGE}} \text{ moyen} = (I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}) / 3 = \text{_____ A}$$

27. Raccordez à nouveau les appareils de mesure I1, I2 et I3, comme à la figure 6-8, afin de mesurer les courants de ligne de la charge raccordée en triangle. Assurez-vous que la tension E_s est réglée à la valeur utilisée à la

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Circuits triphasés équilibrés

manipulation 23. Mesurez et notez les courants de ligne, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Calculez le courant de ligne moyen.

$$I_1 = \text{_____ A} \quad I_2 = \text{_____ A} \quad I_3 = \text{_____ A}$$

$$I_{\text{LIGNE moyen}} = (I_1 + I_2 + I_3) / 3 = \text{_____ A}$$

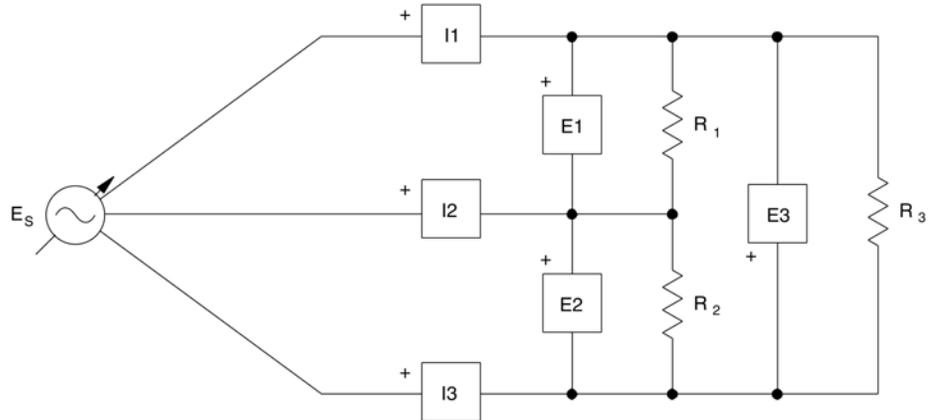


Figure 6-8. Mesure des courants de ligne dans une charge résistive raccordée en triangle.

28. Calculez le rapport du courant de ligne moyen sur le courant moyen de la charge. Est-il presque égal à $\sqrt{3}$?

Oui Non

29. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 24, calculez la puissance active consommée dans chaque phase du circuit ainsi que la puissance totale consommée par la charge.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \text{_____ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \text{_____ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \text{_____ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

Circuits triphasés équilibrés

30. À l'aide de la tension et du courant de phase, calculez la puissance totale P_T et comparez-la à celle calculée à la manipulation 29. Sont-elles presque égales?

$$P_T = 3 (E_{\text{PHASE}} \times I_{\text{PHASE}}) = \text{_____} \text{ W}$$

- Oui Non

31. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez mesuré les tensions et courants de ligne et de phase de charges résistives équilibrées raccordées en étoile et en triangle. Vous avez ensuite constaté que les valeurs de ligne et de phase étaient liées par le facteur $\sqrt{3}$. Vous avez constaté qu'aucun courant ne circule dans le fil neutre d'une charge équilibrée raccordée en étoile et démontré que les tensions et courants de ligne sont égaux lorsque les charges triphasées sont équilibrées. Enfin, vous avez démontré que la puissance totale d'une charge résistive triphasée est trois fois supérieure à la puissance fournie à l'une des branches du circuit.

EXERCICES

1. Dans un circuit équilibré raccordé en étoile,
 - a. les tensions et courants de ligne sont égaux aux tensions et courants de charge.
 - b. la tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de charge.
 - c. la tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension de charge.
 - d. le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieur au courant de charge.

2. Dans un circuit équilibré raccordé en triangle,
 - a. les tensions et courants de ligne sont égaux aux tensions et courants de charge.
 - b. le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois inférieur au courant de charge.
 - c. le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieur au courant de charge.
 - d. la tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de charge.

Circuits triphasés équilibrés

3. Dans un circuit équilibré raccordé en étoile, quelle est la tension ligne à neutre (de phase) lorsque la tension ligne à ligne est de 346 V?
 - a. 346 V
 - b. 600 V
 - c. 200 V
 - d. 245 V

4. Quel est le courant de ligne circulant dans une charge résistive équilibrée raccordée en triangle lorsque le courant de charge circulant dans chaque branche est de 10 A?
 - a. 27,3 A
 - b. 17,3 A
 - c. 11,6 A
 - d. 5,8 A

5. Le courant de ligne circulant dans une charge résistive triphasée équilibrée raccordée en étoile est de 25 A. Que se passera-t-il si le fil neutre est débranché?
 - a. Les circuits de protection du Bloc d'alimentation entreront en fonction, à cause du déséquilibre.
 - b. Rien, car aucun courant ne circulera dans la ligne neutre.
 - c. La tension de ligne sera déséquilibrée.
 - d. Le courant de phase augmentera jusqu'à un niveau dangereux.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Mesure de la puissance triphasée

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la puissance active dans les circuits triphasés équilibrés en utilisant la technique des deux wattmètres. Vous déterminerez également les puissances réactive et apparente à l'aide des tensions et courants mesurés.

PRINCIPES

Comme nous l'avons vu au cours de l'expérience précédente, on peut calculer la puissance active totale P_T fournie à une charge triphasée équilibrée à l'aide de la formule:

$$P_T = 3 \times P_{\text{PHASE}} = 3 (E_{\text{PHASE}} \times I_{\text{PHASE}} \times \cos \varphi).$$

Cependant, dans un circuit raccordé en étoile, $E_{\text{PHASE}} = E_{\text{LIGNE}} / \sqrt{3}$ et le courant de phase est égal au courant de ligne. La formule ci-dessus devient donc:

$$P_T = (3/\sqrt{3}) (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi).$$

Le facteur $(3/\sqrt{3})$ peut être simplifié et devenir $\sqrt{3}$, de façon à ce qu'enfin pour un circuit raccordé en étoile,

$$P_T = \sqrt{3} (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi).$$

Dans un circuit raccordé en triangle, le même résultat est obtenu, car la tension de phase est égale à la tension de ligne et $I_{\text{PHASE}} = I_{\text{LIGNE}} / \sqrt{3}$. Donc, pour une charge équilibrée raccordée en étoile ou une charge équilibrée raccordée en triangle, la puissance active triphasée totale est calculée à l'aide de la formule:

$$P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi).$$

Puisque $(E_{\text{PHASE}} \times I_{\text{PHASE}} \times \cos \varphi)$ est la formule servant à calculer la puissance active pour une phase, le produit $E_{\text{PHASE}} \times I_{\text{PHASE}}$ représente la puissance apparente pour une phase. La puissance apparente triphasée totale d'une charge équilibrée raccordée en étoile ou en triangle peut donc être calculée à l'aide de la formule:

$$P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}}).$$

Le facteur de puissance d'une charge triphasée équilibrée est le rapport de la puissance active sur la puissance apparente, P/S , et la formule liant P , Q et S demeure celle vue précédemment, $S^2 = P^2 + Q^2$. Donc, la puissance réactive Q est égale à $\sqrt{(S^2 - P^2)}$.

La puissance active est mesurée à l'aide d'un wattmètre, qui est un appareil de mesure de type électrodynamomètre comportant deux bobines. L'une est fixe

Mesure de la puissance triphasée

(bobine du courant) et l'autre (bobine de tension) peut tourner dans le champ magnétique généré par la première. La bobine fixe est raccordée en série avec la ligne afin de porter le courant de ligne. La bobine mobile, dont la résistance est élevée, est raccordée aux bornes de la charge, comme un voltmètre, et le faible courant qui y circule est proportionnel à la tension de charge. La bobine de tension tourne autour d'un ressort hélicoïdal et son couple est proportionnel au produit des courants circulant dans les deux bobines. Le couple est donc proportionnel au produit du courant et de la tension mesurés et l'échelle de mesure de l'appareil est étalonnée de façon à indiquer la puissance active, en watts. La figure 6-9 illustre le principe d'un wattmètre raccordé de façon à mesurer la puissance fournie à une charge et les raccordements du circuit équivalent de l'I.A.D. servant à obtenir le même résultat avec le système *Appareils de mesure*.

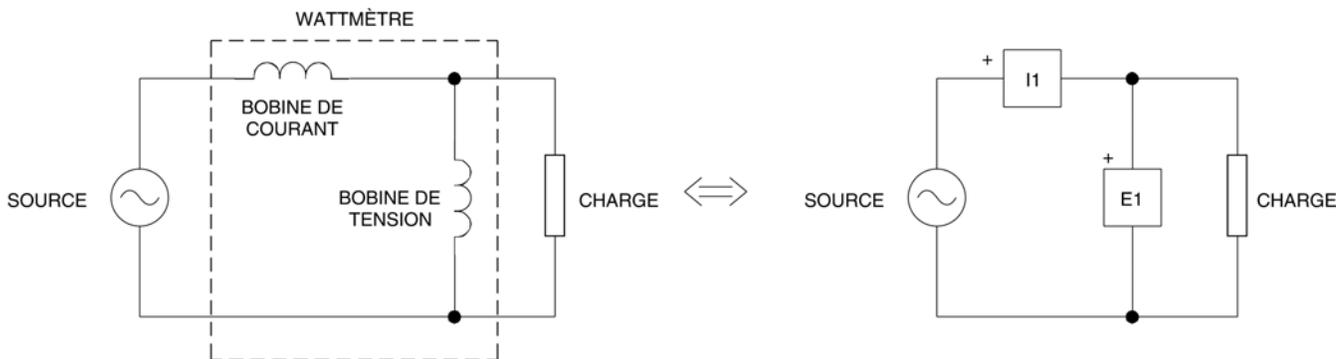


Figure 6-9. Mesure de la puissance à l'aide d'un wattmètre.

Pour mesurer la puissance fournie par un système triphasé à quatre fils, trois wattmètres monophasés peuvent être raccordés de façon à mesurer la puissance de chacune des phases. Il s'agit ensuite d'additionner les puissances ainsi mesurées pour obtenir la puissance totale, comme nous l'avons vu au cours de l'expérience précédente. Cependant, cela n'est pas nécessaire, car on obtient le même résultat à l'aide de deux wattmètres monophasés raccordés comme à la figure 6-10. Une analyse mathématique a démontré qu'en raccordant les bobines de courant pour mesurer le courant dans deux des trois lignes, tout en raccordant les deux bobines de tension entre ces deux lignes et la troisième, permet de mesurer la puissance triphasée totale. Cette puissance triphasée totale est la somme algébrique des deux puissances mesurées à l'aide du wattmètre. Cette technique de mesure de la puissance est appelée **technique des deux wattmètres**.

Mesure de la puissance triphasée

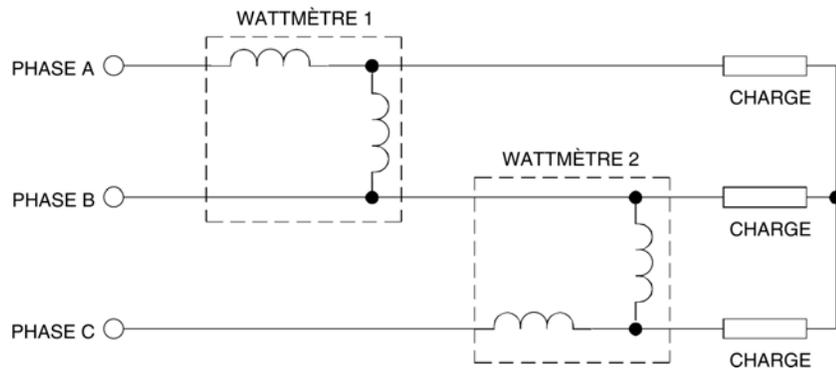


Figure 6-10. Technique des deux wattmètres servant à mesurer la puissance triphasée.

Dans le cas de charges équilibrées à facteur de puissance unitaire, les valeurs mesurées à l'aide des wattmètres sont identiques. Lorsque le facteur de puissance de la charge est de 0,5, un wattmètre indique 0 et l'autre indique la puissance totale. Lorsque le facteur de puissance est compris entre 0,5 et 1, l'un des wattmètres indique une valeur supérieure à celle indiquée par l'autre. Lorsque le facteur de puissance est inférieur à 0,5, la valeur indiquée sur l'un des wattmètres est négative et la puissance totale est réduite d'une quantité égale à cette valeur négative. Lorsque le facteur de puissance est nul, les deux wattmètres indiquent des valeurs égales, mais de signes opposés. Naturellement, le résultat obtenu est de 0 watt. Dans tous les cas, la puissance totale est la somme algébrique des valeurs indiquées sur les deux wattmètres et il y a un rapport défini des valeurs mesurées à l'aide des wattmètres pour les différentes plages du facteur de puissance. La figure 6-11 montre comment on peut raccorder les appareils de mesure E1, E2, I1 et I2 de l'I.A.D. à un circuit pour obtenir la puissance triphasée totale équivalente, mesurée à l'aide des deux wattmètres. Remarquez la façon dont l'appareil de mesure E2 est raccordé pour obtenir une valeur mesurée positive.

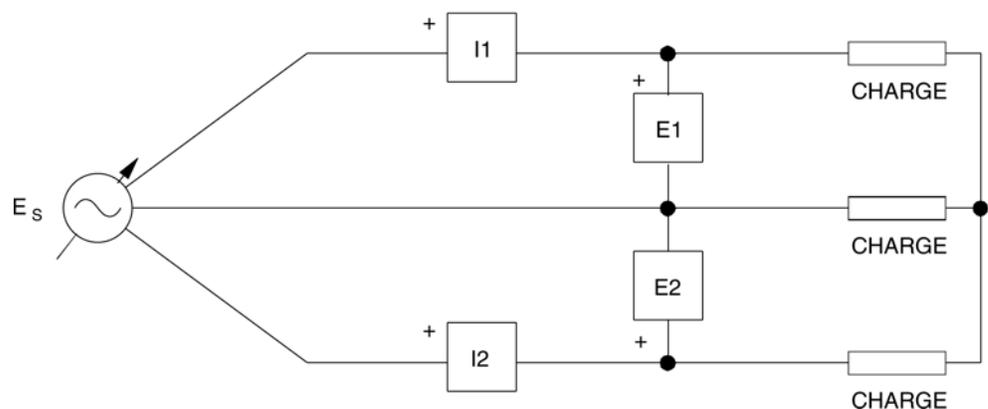


Figure 6-11. Raccordement de l'I.A.D. pour mesurer la puissance à l'aide de la technique des deux wattmètres.

Mesure de la puissance triphasée

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

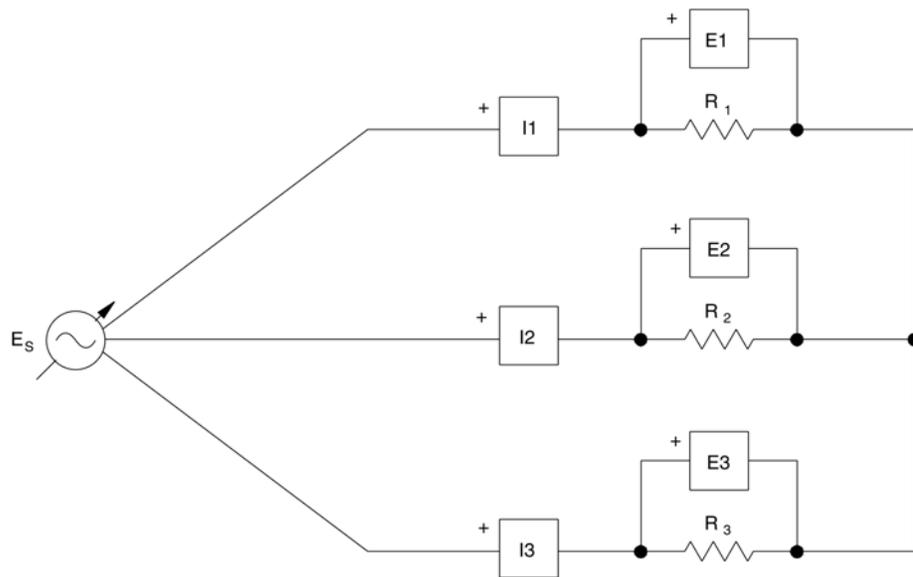
MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive et Charge capacitive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre du Bloc d'alimentation à la position 4-N. Raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Montez le circuit résistif triphasé raccordé en étoile de la figure 6-12. Ne raccordez pas le neutre de la charge résistive au neutre du Bloc d'alimentation. Raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, afin de mesurer les courants et tensions.
- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez l'I.A.D. au câble port USB dont l'une des extrémités est déjà raccordée à l'arrière de l'ordinateur et mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES16-2.dai.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur 24 V - CA à la position I (marche). Tournez lentement le bouton de commande de la tension, afin d'obtenir exactement la tension ligne à ligne E_s indiquée à la figure 6-12.

Mesure de la puissance triphasée



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	208	300	300	300
220	380	1100	1100	1100
240	415	1200	1200	1200

Figure 6-12. Charge résistive triphasée raccordée en étoile.

7. Mesurez les tensions et courants du circuit et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$E_{R1} = \text{_____ V} \quad E_{R2} = \text{_____ V} \quad E_{R3} = \text{_____ V}$$

$$I_{R1} = \text{_____ A} \quad I_{R2} = \text{_____ A} \quad I_{R3} = \text{_____ A}$$

8. Calculez la puissance active consommée dans chacune des phases du circuit ainsi que la puissance totale consommée par la charge.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \text{_____ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \text{_____ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \text{_____ W}$$

$$P_{\text{TOTALE}} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

Mesure de la puissance triphasée

9. Calculez la tension moyenne et le courant moyen de la charge.

$$E_{\text{CHARGE}} \text{ moyenne} = (E_{R_1} + E_{R_2} + E_{R_3}) / 3 = \text{_____ V}$$

$$I_{\text{CHARGE}} \text{ moyen} = (I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3}) / 3 = \text{_____ A}$$

10. La tension moyenne de la charge est-elle presque $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension de ligne réglée à la manipulation 6?

Oui Non

11. Comparez la puissance totale calculée à la manipulation 8 à la puissance calculée à l'aide de la tension et du courant de ligne. Sont-elles presque égales? Il est à remarquer que, dans ce circuit, $I_{\text{CHARGE}} = I_{\text{LIGNE}}$ et que la tension E_{LIGNE} est celle réglée à la manipulation 6.

$$P_{\text{TOTALE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}}) = \text{_____ W}$$

Oui Non

12. Remontez le circuit comme à la figure 6-13, afin de mesurer la puissance totale de la charge à l'aide de la technique des deux wattmètres.

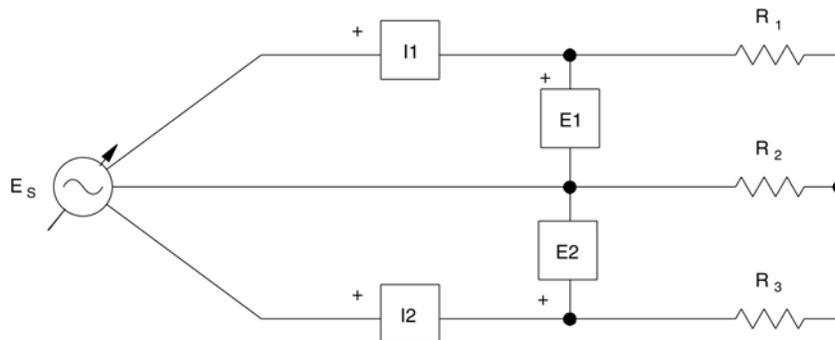


Figure 6-13. Mesure de la puissance totale à l'aide de la technique des deux wattmètres.

13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et, au besoin, réglez à nouveau la tension E_s de façon à obtenir la valeur utilisée précédemment. Notez les puissances actives mesurées à l'aide des appareils de mesure PQS1 et PQS2 ainsi que la puissance apparente totale

Mesure de la puissance triphasée

indiquée sur l'appareil de mesure programmable A. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et calculez P_{TOTALE} .

$$P_{\text{QS1}} = \text{_____ W} \quad P_{\text{QS2}} = \text{_____ W}$$

$$P_{\text{APPARENTE}} = \text{_____ VA} \quad P_{\text{TOTALE}} = P_{\text{QS1}} + P_{\text{QS2}} = \text{_____ W}$$

14. Comparez les valeurs mesurées à la manipulation 13 à celles calculées aux manipulations 8 et 11. La puissance P_{TOTALE} est-elle presque identique dans tous les cas?

Oui Non

15. Les résultats obtenus pour les puissances $P_{\text{APPARENTE}}$ et P_{TOTALE} démontrent-ils que la puissance apparente et la puissance active sont presque identiques?

Oui Non

16. Ajoutez un condensateur en parallèle avec la charge raccordée en étoile, comme à la figure 6-14, et réglez X_{C1} , X_{C2} et X_{C3} aux mêmes valeurs que R_1 , R_2 et R_3 . Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et, au besoin, réglez à nouveau la tension E_S , de façon à obtenir la valeur utilisée précédemment.

17. Mesurez la tension et le courant de ligne, et notez les puissances totales apparente, active et réactive indiquées sur les appareils de mesure programmables A, B et C. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$E_{\text{LIGNE}} = \text{_____ V} \quad I_{\text{LIGNE}} = \text{_____ A}$$

$$P_{\text{APPARENTE}} = \text{_____ VA}$$

$$P_{\text{ACTIVE}} = \text{W} \quad P_{\text{RÉACTIVE}} = \text{_____ var}$$

Mesure de la puissance triphasée

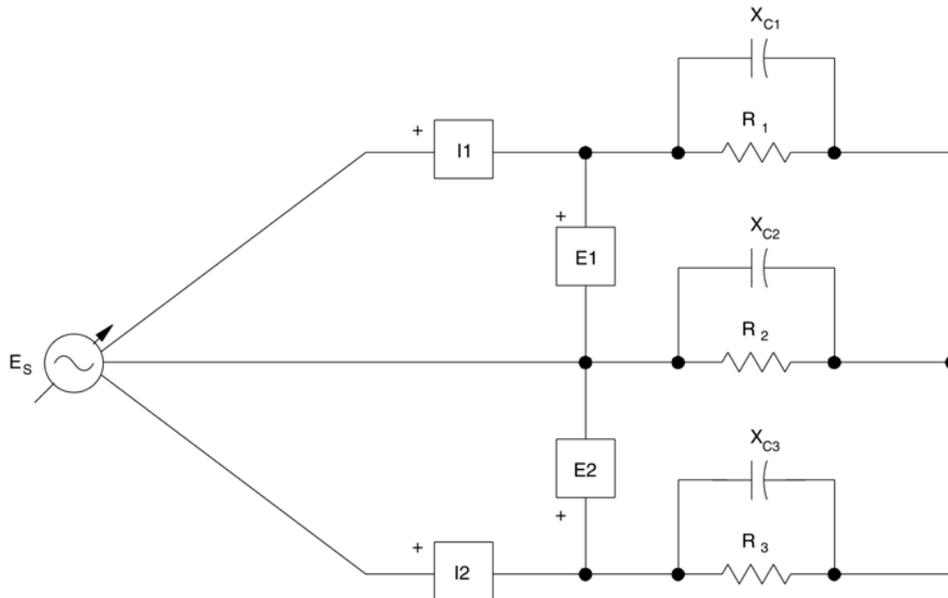


Figure 6-14. Ajout d'un condensateur à la charge raccordée en étoile.

18. Calculez la puissance apparente totale consommée par la charge ainsi que le facteur de puissance $\cos \varphi$.

$$P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}}) = \text{_____ VA}$$

$$\cos \varphi = P_{\text{ACTIVE}} / P_{\text{APPARENTE}} = \text{_____}$$

19. Utilisez le facteur de puissance $\cos \varphi$ pour calculer la puissance P_{ACTIVE} et comparez le résultat obtenu à la puissance active mesurée à la manipulation 17. Sont-elles presque identiques?

$$P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi) = \text{_____ W}$$

Oui Non

20. À l'aide des puissances $P_{\text{APPARENTE}}$ et P_{ACTIVE} , calculez la puissance $P_{\text{RÉACTIVE}}$:

$$P_{\text{RÉACTIVE}} = \sqrt{(S^2 - P^2)} = \text{_____ var}$$

21. La puissance réactive calculée est-elle presque égale à celle mesurée à la manipulation 17?

Remarque : Pour répondre à cette question, ne tenez pas compte du signe de la puissance active mesurée à la manipulation 17.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

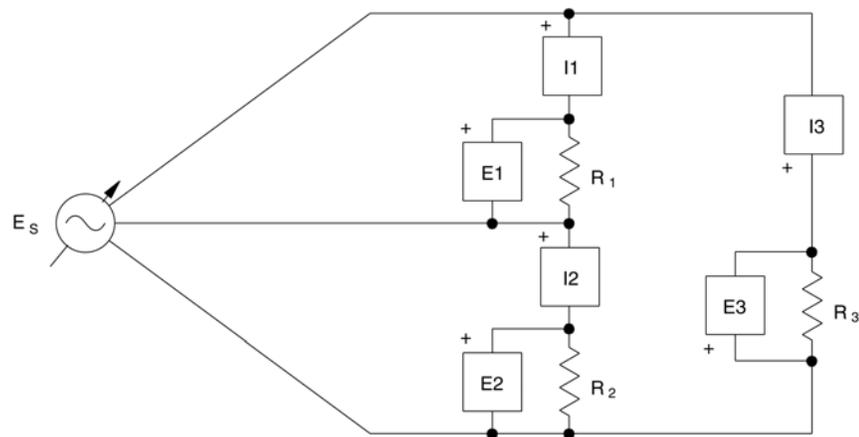
Mesure de la puissance triphasée

Oui Non

22. La puissance apparente calculée à la manipulation 18 est-elle presque égale à celle mesurée et notée à la manipulation 17?

Oui Non

23. Montez le circuit résistif triphasé raccordé en triangle de la figure 6-15. Raccordez les appareils de mesure I1, I2, I3, E1, E2 et E3 tel qu'illustré, afin de mesurer les courants et tensions.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
120	120	300	300	300
220	220	1100	1100	1100
240	240	1200	1200	1200

Figure 6-15. Charge résistive triphasée raccordée en triangle.

24. 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 obtenir la tension ligne à ligne E_s indiquée à la figure 6-15. Mesurez les tensions et courants du circuit, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$E_{R1} = \text{_____ V} \quad E_{R2} = \text{_____ V} \quad E_{R3} = \text{_____ V}$$

$$I_{R1} = \text{_____ A} \quad I_{R2} = \text{_____ A} \quad I_{R3} = \text{_____ A}$$

Mesure de la puissance triphasée

25. Calculez la puissance active consommée dans chacune des branches du circuit ainsi que la puissance active totale consommée par la charge.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_{ACTIVE} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____} \text{ W}$$

26. Comparez la puissance active totale, calculée à la manipulation 25, à la puissance calculée à l'aide de la tension et du courant de ligne. Sont-elles presque égales?

$$I_{LIGNE} = \sqrt{3} (I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}) / 3 = \text{_____} \text{ A}$$

$$P_{ACTIVE} = 1,73 (E_{LIGNE} \times I_{LIGNE}) = \text{_____} \text{ W}$$

Oui Non

27. Remontez le circuit de la figure 6-16, afin de mesurer la puissance totale de la charge à l'aide de la technique des deux wattmètres.

28. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et, au besoin, réglez à nouveau la tension E_s de façon à obtenir la valeur utilisée précédemment. Notez les valeurs mesurées à l'aide des appareils de mesure PQS1 et PQS2 ainsi que de l'appareil de mesure programmable B. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$PQS1 = \text{_____} \text{ W} \quad PQS2 = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_{ACTIVE} = \text{_____} \text{ W}$$

Mesure de la puissance triphasée

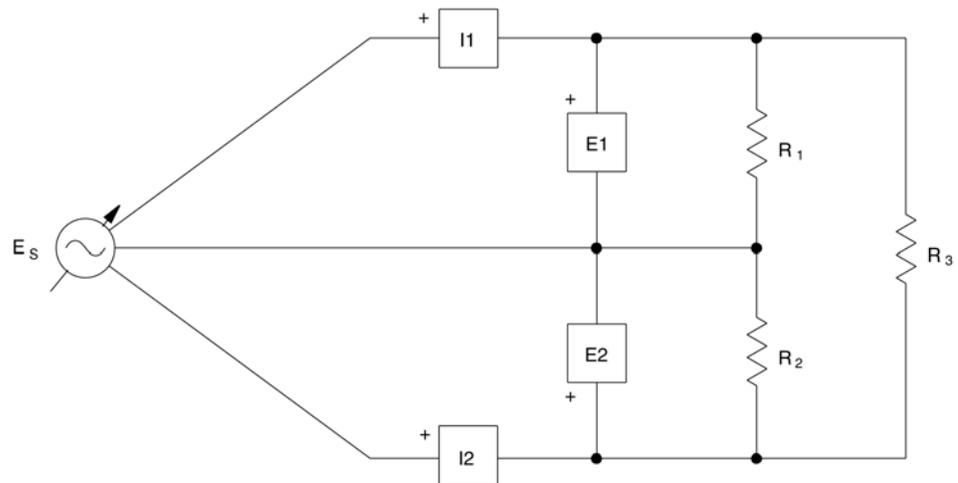


Figure 6-16. Mesure de la puissance totale à l'aide de la technique des deux wattmètres.

29. La puissance P_{ACTIVE} mesurée est-elle presque égale à celle calculée aux manipulations 25 et 26, confirmant ainsi la validité des calculs?
- Oui Non
30. La puissance P_{ACTIVE} est-elle égale à la somme des valeurs mesurées à l'aide des wattmètres PQS1 et PQS2?
- Oui Non
31. Ajoutez un condensateur en parallèle avec la charge raccordée en triangle, comme à la figure 6-17, et réglez X_{C1} , X_{C2} et X_{C3} aux mêmes valeurs que R_1 , R_2 et R_3 . Mettez l'interrupteur du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et, au besoin, réglez à nouveau la tension E_s de façon à obtenir la valeur utilisée précédemment.

Mesure de la puissance triphasée

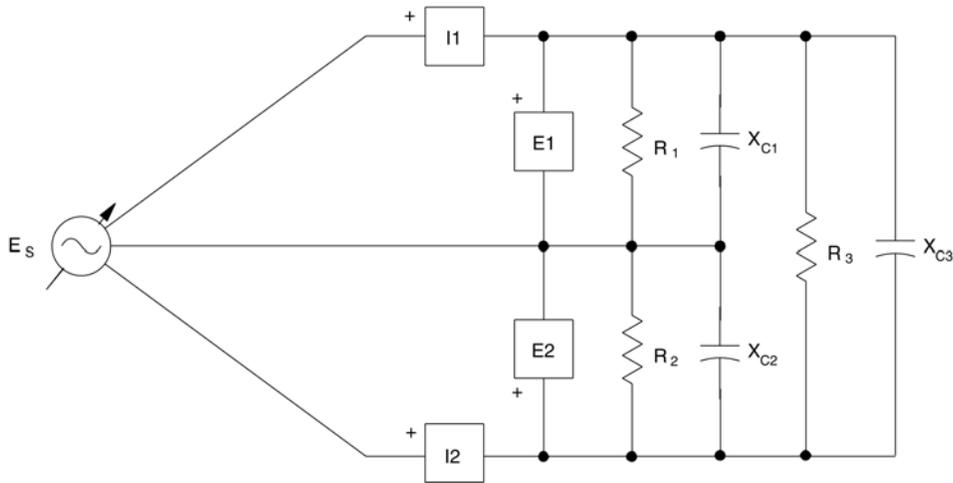


Figure 6-17. Ajout d'un condensateur à la charge raccordée en triangle.

32. Mesurez la tension et le courant de ligne puis notez les puissances totales apparentes, actives et réactives mesurées à l'aide des appareils de mesure programmable A, B et C puis coupez l'alimentation.

$$E_{\text{LIGNE}} = \text{_____ V} \quad I_{\text{LIGNE}} = \text{_____ A}$$

$$P_{\text{APPARENTE}} = \text{_____ VA}$$

$$P_{\text{ACTIVE}} = \text{_____ W} \quad P_{\text{RÉACTIVE}} = \text{_____ var}$$

33. Calculez la puissance apparente totale consommée par la charge ainsi que le facteur de puissance $\cos \varphi$.

$$P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}}) = \text{_____ VA}$$

$$\cos \varphi = P_{\text{ACTIVE}} / P_{\text{APPARENTE}} = \text{_____}$$

34. Utilisez le facteur de puissance $\cos \varphi$ pour calculer la puissance P_{ACTIVE} et comparez la puissance ainsi obtenue à la puissance active mesurée à la manipulation 32. Sont-elles presque identiques?

$$P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi) = \text{_____ W}$$

Oui Non

Mesure de la puissance triphasée

35. À l'aide des puissances $P_{\text{APPARENTE}}$ et P_{ACTIVE} , calculez la puissance $P_{\text{RÉACTIVE}}$.

$$P_{\text{RÉACTIVE}} = \sqrt{(S^2 - P^2)} = \text{_____ var}$$

36. La puissance réactive calculée est-elle presque égale à la puissance réactive mesurée à la manipulation 32?

Remarque : Pour répondre à cette question, ne tenez pas compte du signe de la puissance active mesurée à la manipulation 17.

- Oui Non

37. La puissance apparente calculée à la manipulation 33 est-elle presque égale à celle mesurée et notée à la manipulation 32?

- Oui Non

38. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez démontré que l'on peut déterminer les puissances apparente, active et réactive de charges triphasées à l'aide de la technique des deux wattmètres, ce qui a pour effet de réduire la quantité de matériel nécessaire pour mesurer la puissance. Vous avez également vu que l'on pouvait résoudre des circuits triphasés équilibrés comme s'il s'agissait de trois circuits monophasés individuels. Vous avez vérifié vos calculs en les comparant à de vrais paramètres mesurés dans le circuit.

EXERCICES

1. Dans un circuit triphasé équilibré, la puissance active peut être déterminée à l'aide de deux wattmètres raccordés selon la technique
 - a. du wattmètre monophasé.
 - b. du wattmètre triphasé.
 - c. des deux wattmètres.
 - d. de la puissance apparente.

Mesure de la puissance triphasée

2. La formule servant à calculer la puissance active totale dans un circuit triphasé équilibré est
 - a. $P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{PHASE}} \times I_{\text{PHASE}} \times \cos \varphi)$.
 - b. $P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{PHASE}} \times \cos \varphi)$.
 - c. $P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}})$.
 - d. $P_{\text{ACTIVE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi)$.

3. La puissance apparente triphasée d'une charge résistive raccordée en triangle est égale
 - a. à $\sqrt{3}$ fois la puissance active.
 - b. au produit de la tension de ligne par le courant de ligne.
 - c. à 1,73 fois le produit de la tension de ligne par le courant de ligne.
 - d. à $\sqrt{3}$ fois la puissance réactive.

4. Pour une charge triphasée équilibrée, les valeurs indiquées sur les deux wattmètres sont 175 W et -35 W. Sachant que ces mesures ont été effectuées à l'aide de la technique des deux wattmètres, quelle est la puissance totale consommée par la charge?
 - a. 220 W
 - b. 140 W
 - c. 175 W
 - d. -35 W

5. À la question 4, le facteur de puissance est-il supérieur, égal ou inférieur à 0,5?
 - a. Il ne peut être calculé avec l'information donnée.
 - b. Il est inférieur à 0,5.
 - c. Il est égal à 0,5.
 - d. Il est supérieur à 0,5.

Séquence de phase

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer la séquence de phase d'une source de tension triphasée et d'expliquer l'importance de raccorder certains types de charges triphasées conformément à la séquence de phase appropriée.

PRINCIPES

Comme nous l'avons vu précédemment, un système électromécanique triphasé comporte trois tensions E_A , E_B et E_C d'amplitude égale déphasées de 120° l'une par rapport à l'autre. Cependant, il ne suffit pas de dire que ces tensions sont déphasées de 120° l'une par rapport à l'autre. L'ordre dans lequel elles se suivent, c'est-à-dire la séquence de phase, est important. Cette séquence est déterminée à la centrale électrique par le sens de rotation des alternateurs.

Lors du raccord de moteurs triphasés au secteur, il est extrêmement important de connaître la séquence de phase, car le sens de rotation des moteurs dépend de la mise en phase. Prenons par exemple le raccordement d'un moteur de 4000 kW. Cela peut prendre plusieurs heures de travail à un électricien pour souder et raccorder les trois gros fils du moteur au Bloc d'alimentation. Si la séquence de phase n'est pas établie au préalable, il y a 50% de risque que le moteur tourne dans le mauvais sens. Le travail devra donc être refait et il se peut que le moteur soit endommagé s'il a été raccordé à une charge. Un autre cas où la séquence de phase est d'une importance capitale est celui où une puissance supérieure est nécessaire et où l'on doit ajouter un ou plusieurs alternateurs pour partager la charge. Les alternateurs sont placés en parallèle et, si la séquence de phase est incorrecte, des dommages importants seront occasionnés lors de leur mise sous tension.

La séquence de phase peut être déterminée rapidement à l'aide de deux ampoules incandescentes et d'un condensateur raccordés en étoile, comme à la figure 6-18.

L'une des ampoules brillera davantage et la séquence de phase sera intense-faible-condensateur, ce qui signifie que la séquence de phase sera A-B-C si le circuit est raccordé aux lignes A, B et C, tel qu'illustré. L'ampoule de plus forte intensité représentera la phase de la tension la plus en avance des trois, l'ampoule de plus faible intensité, celle de la tension de phase moyenne et le condensateur, celle de la tension la plus en retard. Si une bobine était utilisée au lieu d'un condensateur, la séquence de phase, dans cet exemple, serait intense-bobine-faible.

Séquence de phase

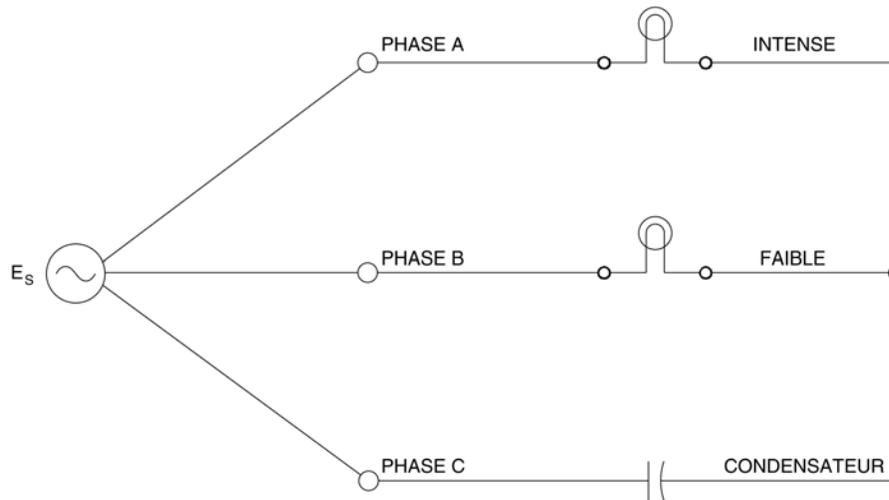


Figure 6-18. Détermination de la séquence de phase d'un bloc d'alimentation triphasé.

Si la séquence de phase A-B-C est exprimée sous la forme A-B-C-A-B-C-A-B-C..., on observe que B-C-A et C-A-B représentent la même séquence que A-B-C. La seule différence se trouve au niveau de la tension utilisée comme référence pour décrire la séquence. La séquence inverse de A-B-C est A-C-B, qui est l'équivalent de C-B-A et B-A-C, lorsque la séquence est écrite sous la forme A-C-B-A-C-B-A-C-B-A.... La séquence de phase et, donc, le sens de rotation peuvent être modifiés en interchangeant deux des fils du bloc d'alimentation c.a.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

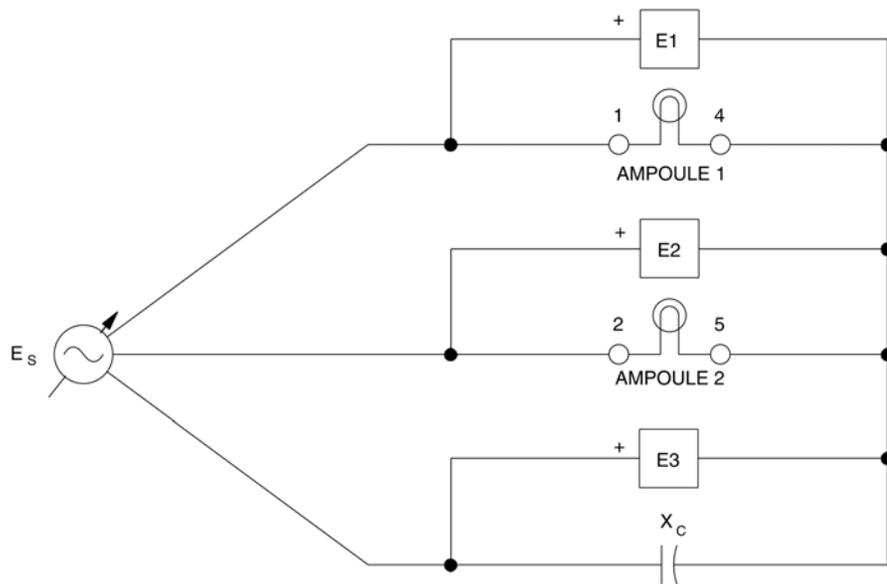
Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive, Charge capacitive, Charge inductive et Module de synchronisation 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

Séquence de phase

vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N, puis raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.

- 3. Montez le circuit de la figure 6-19. Réglez X_C à la valeur indiquée et raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 comme à la figure 6-19. **Assurez-vous que l'interrupteur du Module de synchronisation est ouvert, sans quoi il y aura court-circuit aux bornes des lignes du Bloc d'alimentation c.a.**



TENSION DE LIGNE (V)	X_C (Ω)
120	1200
220	4400
240	4800

Figure 6-19. Détermination de la séquence de phase d'un bloc d'alimentation c.a.

- 4. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation. Raccordez le câble port USB de l'ordinateur à l'I.A.D., puis mettez l'ordinateur sous tension.
- 5. Affichez l'écran *Appareils de mesure* et choisissez Installation du fichier de configuration ES16-3.dai.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation et l'interrupteur d'alimentation 24 V CA à la position I (marche). Réglez le bouton de

Séquence de phase

commande de la tension à environ 50% afin d'obtenir la tension E_s ligne à ligne indiquée. Il est à remarquer que, dans cette expérience, il n'est pas essentiel d'obtenir la tension d'alimentation c.a. exacte.

7. À l'aide de la séquence intense-faible-condensateur, déterminez la séquence de phase.

Remarque : Pour le module EMS Bloc d'alimentation, la séquence de phase 4-5-6 correspond à la séquence A-B-C. Si la prise murale du Bloc d'alimentation est câblée conformément à cette séquence, la séquence 4-5-6 est intense-faible-condensateur. La séquence correspondante des vecteurs de phase de tension est E1-E2-E3.

8. Utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour observer la position relative des vecteurs de phase de tension correspondant aux lignes d'alimentation c.a. En prenant E1 comme vecteur de phase de référence, la séquence de phase est-elle identique à celle déterminée à l'aide du circuit ampoules/condensateur?

Oui Non

9. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et interchangez deux fils du Bloc d'alimentation c.a. (4 et 5, 5 et 6 ou 4 et 6). Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et notez la nouvelle séquence de phase.

-
10. Cette nouvelle séquence est-elle l'inverse de la précédente?

Oui Non

11. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et dans le circuit de la figure 6-19, remplacez X_C , par une réactance inductive X_L de même valeur. Raccordez les fils du Bloc d'alimentation c.a. comme dans le premier circuit.

12. À l'aide du circuit ampoules/bobine, déterminez la séquence de phase.

Séquence de phase

13. La séquence intense-bobine-faible donne-t-elle la séquence de phase déterminée à la manipulation 7?

Oui Non

14. L'*Analyseur de vecteurs de phase* indique-t-il la séquence de phase déterminée à la manipulation 7?

Oui Non

15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et interchangez deux fils du Bloc d'alimentation c.a. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et notez la nouvelle séquence de phase.
-

16. La nouvelle séquence de phase est-elle l'inverse de la précédente?

Oui Non

17. L'afficheur de l'*Analyseur de vecteurs de phase* confirme-t-il que la séquence de phase a été inversée?

Oui Non

18. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez vu que la séquence de phase d'un bloc d'alimentation triphasé peut être déterminée à l'aide d'un simple circuit indicateur constitué de deux ampoules et d'un condensateur raccordés en étoile. La séquence de phase est toujours intense-faible-condensateur. Ce simple circuit peut être utilisé pour vérifier une séquence de phase connue ou déterminer celle de fils d'alimentation non marqués.

Séquence de phase

EXERCICES

1. On peut déterminer une séquence de phase à l'aide de deux ampoules et d'un condensateur
 - a. raccordés en série.
 - b. raccordés en triangle.
 - c. raccordés en étoile.
 - d. raccordés en parallèle.

2. La séquence de phase inverse de B-A-C est
 - a. A-B-C.
 - b. A-C-B.
 - c. B-A-C.
 - d. a et b.

3. Un moteur triphasé tourne vers la droite lorsque les lignes d'alimentation c.a. A, B et C sont raccordées aux fils 1, 2 et 3 de ce moteur, respectivement. Si les raccords sont modifiés de façon à ce que les lignes A, B et C soient raccordées aux fils 3, 1 et 2, respectivement, le moteur
 - a. tournera vers la gauche.
 - b. tournera vers la droite, car le raccordement des lignes est inversé deux fois.
 - c. tournera vers la droite, car la séquence est inversée.
 - d. cessera de tourner, car la séquence est erronée.

4. Dans un système triphasé, la séquence de phase B-A-C représente l'ordre dans lequel
 - a. il y a déphasage entre la tension et le courant.
 - b. le courant est en retard sur la tension.
 - c. les pointes de tension sont comptées.
 - d. les tensions d'alimentation se succèdent.

5. La séquence de phase d'un réseau d'alimentation triphasé dépend
 - a. du sens de rotation des alternateurs de la centrale électrique.
 - b. du déphasage acceptable sur le réseau d'alimentation.
 - c. du moment de la journée, car la demande est plus faible la nuit.
 - d. de la charge du réseau d'alimentation.

Questions récapitulatives

1. Le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieur au courant de charge
 - a. avec une charge équilibrée raccordée en étoile.
 - b. avec une charge équilibrée raccordée en triangle.
 - c. lorsque la tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension de charge.
 - d. lorsque la tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de charge.

2. La tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de charge
 - a. avec une charge équilibrée raccordée en étoile.
 - b. avec une charge équilibrée raccordée en triangle.
 - c. lorsque le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieur au courant de charge.
 - d. lorsque le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois inférieur au courant de charge.

3. Quel est le courant de ligne neutre d'un circuit équilibré raccordé en étoile dont la tension ligne à ligne est de 346 V et les résistances de charge de 100 Ω ?
 - a. 3,46 ampères.
 - b. 10,38 ampères.
 - c. 0 ampère.
 - d. 2 ampères.

4. Quel est le courant de charge d'une charge résistive équilibrée raccordée en triangle et dont le courant de ligne circulant dans chacune des branches est de 34,6 A?
 - a. 60 A
 - b. 11,5 A
 - c. 20 A
 - d. 104 A

5. La puissance apparente d'un circuit triphasé équilibré est de 150 VA et sa puissance active de 100 W. Quel est le facteur de puissance de la charge?
 - a. 0,67
 - b. 1,5
 - c. 0,33
 - d. 0,25

6. La technique des deux wattmètres, qui sert à mesurer la puissance,
 - a. permet de déterminer la puissance réactive d'un circuit monophasé.
 - b. permet de déterminer la puissance active d'un circuit monophasé.
 - c. permet de déterminer la puissance active d'un circuit triphasé équilibré.
 - d. permet de déterminer la puissance apparente d'un circuit monophasé.

Questions récapitulatives (suite)

7. La formule servant à calculer la puissance apparente d'un circuit triphasé équilibré est
- a. $P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{PHASE}} \times I_{\text{PHASE}} \times \cos \varphi)$.
 - b. $P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{PHASE}} \times \cos \varphi)$.
 - c. $P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}} \times \cos \varphi)$.
 - d. $P_{\text{APPARENTE}} = 1,73 (E_{\text{LIGNE}} \times I_{\text{LIGNE}})$.
8. Les valeurs d'une charge triphasée équilibrée mesurées à l'aide de deux wattmètres sont 200 W et 50 W. Sachant que ces valeurs ont été mesurées à l'aide de la technique des deux wattmètres, quelle est la puissance totale consommée par la charge?
- a. 250 W
 - b. 150 W
 - c. 500 W
 - d. 750 W
9. La séquence de phase A-C-B est identique à la séquence de phase
- a. A-B-C.
 - b. C-B-A.
 - c. B-C-A.
 - d. a et c.
10. Pour inverser le sens de rotation d'un moteur triphasé, quelles modifications doit-on apporter aux raccordements de la ligne d'alimentation?
- a. Tous les fils doivent être inversés.
 - b. Les fils doivent être raccordés via un transformateur.
 - c. Deux fils doivent être interchangés.
 - d. On ne peut modifier le sens de rotation du moteur de cette façon.

Transformateurs monophasés

OBJECTIF

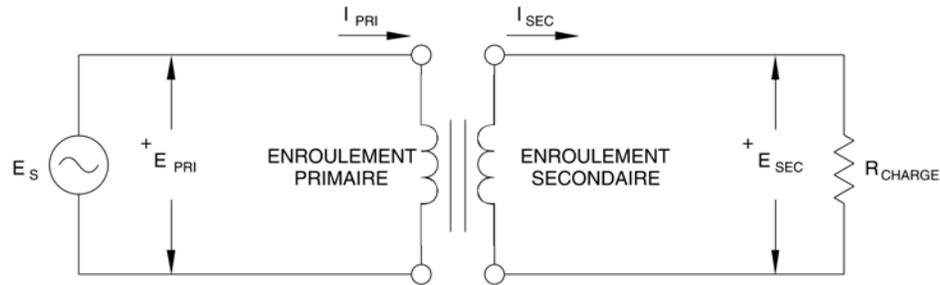
À la fin de ce bloc, vous serez en mesure d'expliquer et de démontrer les caractéristiques de fonctionnement importantes des transformateurs monophasés. Vous serez en mesure de raccorder les enroulements d'un transformateur de façon à ce que les tensions s'additionnent, ou à ce qu'elles s'opposent, ainsi que de démontrer l'effet de la charge sur la tension du secondaire. Les tensions et courants mesurés ainsi que les courbes de charge du transformateur seront utilisés pour étudier ce dernier et ses caractéristiques de fonctionnement.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Les transformateurs sont des dispositifs magnétiques pouvant modifier la tension, le courant et l'impédance sans altérer la fréquence de la source c.a. Ils sont probablement les dispositifs les plus universels de l'industrie de l'électricité. Il en existe de minuscules, que l'on trouve à l'intérieur des radios à transistors, ainsi que d'énormes, pesant plusieurs tonnes, que l'on trouve dans les centrales électriques. Cependant, à la base, ils fonctionnent tous selon les mêmes principes et possèdent tous les mêmes caractéristiques. Chacun possède un **enroulement primaire** recevant la tension d'entrée et un **enroulement secondaire** raccordé à la charge. Certains sont également conçus de façon à comporter plus d'un enroulement au secondaire. Le rapport entre le nombre de tours de fil du primaire et celui du secondaire, N_1/N_2 , appelé **rapport des enroulements**, détermine les paramètres de sortie d'un transformateur. La figure 7-1 représente un transformateur monophasé raccordé à une charge résistive et dont le rapport des enroulements N_1/N_2 est de 1:1. La première expérience de ce bloc indique comment E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} et I_{SEC} sont liés au rapport des enroulements.

Lorsqu'il y a induction mutuelle entre deux bobines ou deux enroulements, une variation de courant dans l'une des bobines provoque une variation de tension dans l'autre. Aussi, lorsque l'enroulement du primaire d'un transformateur est raccordé à une source de tension, il reçoit de l'énergie électrique en provenance de la source et la communique à l'enroulement du secondaire par l'entremise d'un champ magnétique variable. Cette énergie apparaît sous forme de force électromotrice aux bornes de l'enroulement du secondaire et, lorsqu'une charge est raccordée au secondaire, cette énergie est transmise à la charge. Ce **couplage magnétique** permet le transfert de l'énergie électrique entre deux circuits sans qu'ils ne soient raccordés, ce qui produit une isolation électrique entre eux.

Transformateurs monophasés



RAPPORT DES ENROULEMENTS $N_p/N_s = N_1/N_2 = 1/1$
(HABITUELLEMENT EXPRIMÉ SOUS LA FORME 1:1)

Figure 7-1. Transformateur monophasé raccordé à une charge résistive.

Parce que les transformateurs permettent la conversion d'une puissance à un niveau de tension et de courant en une puissance équivalente à un niveau de tension et de courant différent, ils sont indispensables dans les réseaux de distribution c.a. Cependant, lorsque la tension du primaire est augmentée à une valeur supérieure à la valeur nominale, cela provoque la saturation du noyau de fer du transformateur. Le **courant d'excitation**, courant générant le champ magnétique alternatif, augmente plus rapidement lorsque la tension du primaire augmente de moins en moins, comme le montre la courbe de la tension du primaire en fonction du courant d'excitation. Un courant de plus en plus fort est nécessaire pour obtenir une augmentation de plus en plus faible du flux magnétique, qui augmente habituellement de façon directement proportionnelle à la tension du primaire. Dans certaines circonstances, le courant d'excitation peut même dépasser le courant nominal à pleine charge. La figure 7-2 montre la courbe de saturation d'un transformateur.

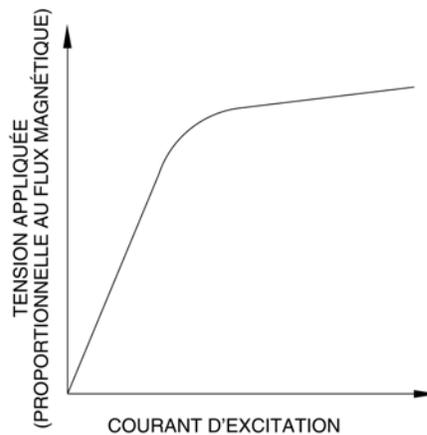


Figure 7-2. Courbe de saturation d'un transformateur.

Parce qu'un courant alternatif circule dans les enroulements d'un transformateur, il y a création d'un champ magnétique alternatif dans son noyau de fer. À cause des

Transformateurs monophasés

pertes dues au cuivre et au fer, la puissance active est dissipée dans les enroulements du transformateur et ce dernier chauffe. La résistance du fil utilisé dans l'enroulement provoque les pertes dues au cuivre. Celles dues au fer sont causées par l'hystérésis, c'est-à-dire la propriété qu'ont les matériaux magnétiques d'offrir une résistance aux variations de magnétisation. Aussi, la puissance réactive doit être fournie par la source de tension pour induire le champ magnétique liant le primaire au secondaire. C'est pourquoi la puissance fournie à l'enroulement du primaire est toujours légèrement supérieure à la puissance totale fournie par l'enroulement du secondaire.

Cependant, puisque les transformateurs sont parmi les dispositifs électriques les plus efficaces qui existent, leur puissance de sortie est souvent considérée égale à leur puissance d'entrée. Les puissances actives, réactive et apparente au secondaire sont donc presque égales à celles fournies au primaire. Cependant, la tension de sortie au secondaire varie habituellement en fonction des variations de la charge. Elle peut passer de la tension du primaire, à vide, à une tension inférieure, lorsque la charge est maximale au secondaire. La variation de la tension au secondaire est appelée **régulation d'un transformateur** et elle dépend du type de charge (résistive, inductive ou capacitive) raccordée au secondaire. Comme nous le verrons dans ce bloc, la tension du secondaire peut même augmenter à une valeur supérieure à sa valeur nominale, au lieu de diminuer.

Rapports des tensions et courants

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez familiarisé avec les caractéristiques des tensions et courants d'un transformateur monophasé et vous serez en mesure d'utiliser le rapport des enroulements d'un transformateur pour prévoir la tension et le courant de l'enroulement du secondaire.

PRINCIPES

Les enroulements d'un transformateur monophasé standard sont appelés enroulement primaire et enroulement secondaire, comme le montre la figure 7-1 de la section PRINCIPES FONDAMENTAUX de ce bloc. L'enroulement primaire est l'enroulement d'entrée de la tension d'alimentation et il est raccordé au Bloc d'alimentation. L'enroulement secondaire est raccordé à la charge. Il est physiquement et électriquement isolé du primaire. La tension et le courant du secondaire sont liés à la tension et au courant du primaire par le rapport des enroulements N_1 / N_2 (ou N_p / N_s) du transformateur grâce à une formule fort simple. Le rapport de la tension du primaire sur la tension du secondaire est égal à N_1 / N_2 , alors que le rapport du courant du primaire sur le courant du secondaire est égal à la réciproque du rapport des enroulements, c'est-à-dire N_2 / N_1 . Il en résulte que:

$$E_{PRI} / E_{SEC} = N_1 / N_2, \text{ ce qui donne } E_{SEC} = E_{PRI} (N_2 / N_1), \text{ et}$$

$$I_{PRI} / I_{SEC} = N_2 / N_1, \text{ ce qui donne } I_{SEC} = I_{PRI} (N_1 / N_2).$$

On conçoit des transformateurs à rapports fixes entre les tensions du primaire et du secondaire. Ils sont très utilisés pour élever (augmenter) ou abaisser (diminuer) les tensions et courants de charge. Les caractéristiques nominales du module Transformateur monophasé utilisé au cours de ces expériences sont sérigraphiées sur sa façade. La plupart des transformateurs comportent des marques en indiquant les caractéristiques nominales. Aussi, le secondaire de plusieurs transformateurs est pourvu de prises intermédiaires ou de bornes de raccordement, ce qui permet l'obtention de différents rapports de tensions à l'aide d'un seul transformateur.

Le calcul du rapport des tensions d'un transformateur est relativement simple. Lorsqu'aucune charge n'est raccordée à l'enroulement du secondaire, seul le faible courant d'excitation nécessaire à la génération du champ magnétique à l'intérieur du transformateur circule dans l'enroulement primaire. Les pertes à l'intérieur du transformateur sont minimales et le rapport de la tension du primaire sur la tension du secondaire est égal au rapport des enroulements. On peut déterminer le rapport des enroulements en mesurant la tension à vide du secondaire lorsque la tension nominale est appliquée au primaire. Le rapport des courants peut être évalué en mesurant le courant de court-circuit du secondaire lorsqu'une faible tension c.a. est appliquée au primaire. La tension appliquée au primaire doit être assez faible pour assurer que le courant nominal circulant dans l'enroulement du primaire ne soit pas dépassé, sans quoi les enroulements pourraient surchauffer et subir des dommages.

Rapports des tensions et courants

Le courant d'excitation, qui est directement proportionnel au flux magnétique alternatif, augmente de façon proportionnelle à la tension appliquée, jusqu'à saturation du noyau. Cette dernière survient lorsque la tension appliquée excède la tension nominale du primaire, puis la relation linéaire entre la tension du primaire et le courant d'excitation est rompue. La courbe de la tension du primaire en fonction du courant d'excitation s'aplatit et des augmentations plus faibles de la tension du primaire entraînent des augmentations plus importantes du courant de magnétisation. Le courant d'excitation circulant dans le module EMS Transformateur monophasé n'est que de quelques milliampères et, généralement, il ne représente qu'un faible pourcentage du courant nominal d'un transformateur.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Transformateur monophasé dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation soit à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension soit tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N, puis raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur d'alimentation 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES17-1.dai.
- 5. Montez le transformateur de la figure 7-3. Raccordez les appareils de mesure E1 et I1 tel qu'illustré, et utilisez l'appareil de mesure E2 pour mesurer les différentes tensions du secondaire.

Rapports des tensions et courants

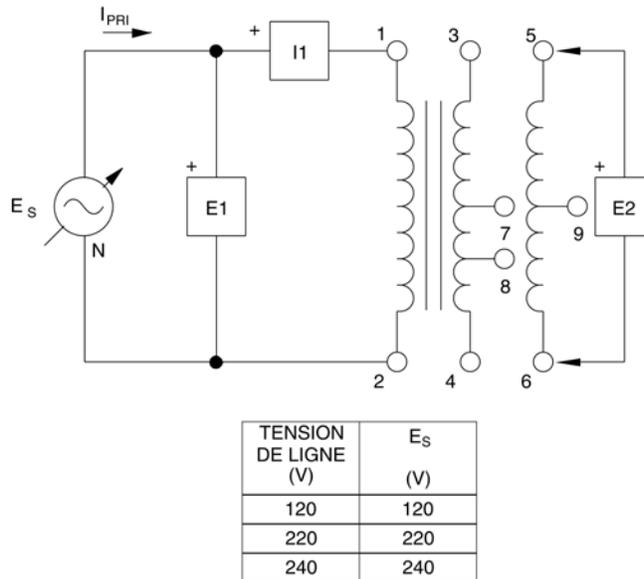


Figure 7-3. Valeurs mesurées dans le Transformateur monophasé.

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 obtenir la tension E_s indiquée à la figure 7-3. Mesurez le courant circulant dans l'enroulement primaire du transformateur ainsi que les tensions des différentes bornes. Après avoir noté les valeurs mesurées, 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).

$$I_{PRI} = \text{_____ A} \quad E_{1-2} = \text{_____ V} \quad E_{3-4} = \text{_____ V}$$

$$E_{5-6} = \text{_____ V} \quad E_{3-7} = \text{_____ V} \quad E_{7-8} = \text{_____ V}$$

$$E_{8-4} = \text{_____ V} \quad E_{5-9} = \text{_____ V} \quad E_{9-6} = \text{_____ V}$$

7. Les tensions du secondaire sont-elles comparables aux valeurs nominales inscrites sur la façade?

Oui Non

8. Les enroulements du transformateur, entre les bornes 1 et 2 et entre les bornes 5 et 6, comportent chacun 500 tours de fil. L'enroulement entre les bornes 3 et 4 en comporte 865. Dans chaque cas, calculez le rapport entre l'enroulement du primaire et l'enroulement du secondaire.

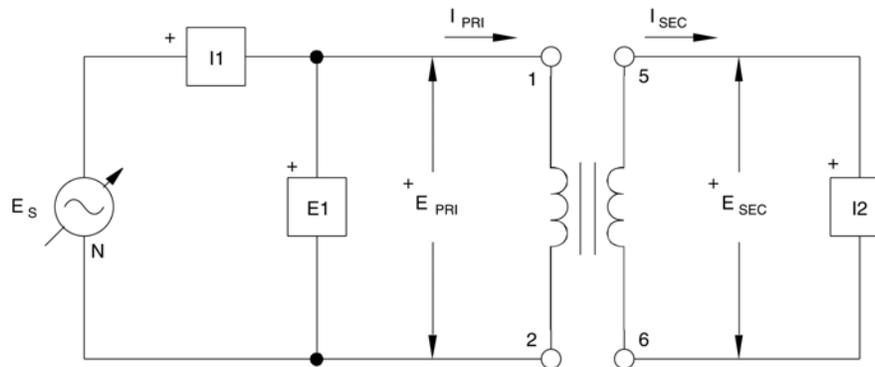
$$N_{1-2} / N_{5-6} = \text{_____} \quad N_{1-2} / N_{3-4} = \text{_____}$$

Rapports des tensions et courants

9. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 6, comparez ces rapports d'enroulements du transformateur aux rapports de tensions correspondants. Sont-ils presque identiques?

Oui Non

10. Raccordez l'appareil de mesure I2 comme à la figure 7-4 et vérifiez s'il court-circuite l'enroulement 5-6 du secondaire. 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 obtenir le courant I_S indiqué à la figure 7-4.



TENSION DE LIGNE (V)	I_S (A)
120	0,40
220	0,20
240	0,20

Figure 7-4. Détermination du rapport du courant du primaire sur le courant du secondaire.

11. Notez la tension et le courant du primaire ainsi que le courant de court-circuit du secondaire circulant dans l'enroulement 5-6.

$$E_{PRI} = \text{_____ V} \quad I_{PRI} = \text{_____ A} \quad I_{SEC} = \text{_____ A}$$

12. Remettez le bouton de commande de la tension à zéro et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Calculez le rapport du courant du primaire sur le courant du secondaire.

$$I_{PRI} / I_{SEC} = \text{_____}$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Rapports des tensions et courants

13. Ce rapport est-il presque égal à N_2 / N_1 ?

Oui Non

14. Raccordez l'appareil de mesure I2 de façon à ce qu'il court-circuite les bornes 3 et 4 du secondaire. 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 obtenir le courant utilisé à la manipulation 10. Renotez la tension et le courant du primaire ainsi que le courant circulant dans l'enroulement du secondaire.

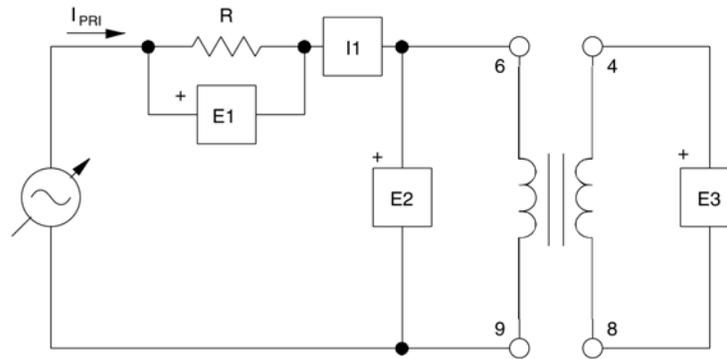
$$E_{\text{PRI}} = \text{_____ V} \quad I_{\text{PRI}} = \text{_____ A} \quad I_{\text{SEC}} = \text{_____ A}$$

15. Remettez le bouton de commande de la tension à zéro et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Calculez à nouveau le rapport du courant du primaire sur le courant du secondaire. Est-il égal à N_2 / N_1 ?

Oui Non

16. Montez le transformateur de la figure 7-5. Il sera utilisé pour montrer la façon dont le courant d'excitation est altéré lors de la saturation du noyau d'un transformateur. Puisque le courant d'excitation est si faible, la tension correspondante aux bornes d'une résistance de détection R sera utilisée pour en mesurer la variation. Raccordez les bornes du primaire du transformateur aux bornes 4 et 5 du Bloc d'alimentation, via la résistance de détection R. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions du transformateur. Raccordez l'appareil de mesure I1 pour mesurer le courant du primaire.

Rapports des tensions et courants



TENSION DE LIGNE (V)	R (Ω)
120	100
220	367
240	400

Figure 7-5. Effet de la saturation du noyau sur le courant d'excitation.

- 17. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et utilisez le bouton de commande de la tension pour obtenir des valeurs de la tension E2 espacées à intervalles réguliers d'environ 15%, sur toute la course du bouton de commande. Lors de chaque réglage de la tension, cliquez sur le bouton *Enregistrer* pour entrer les valeurs mesurées dans le *Tableau de données*. Ne laissez pas des courants élevés circuler longtemps dans l'enroulement primaire du transformateur. Prenez toutes les mesures qui requièrent un courant supérieur au courant nominal circulant dans l'enroulement du transformateur en moins de deux minutes. Laissez le transformateur refroidir pendant 15 minutes après la mise hors tension du bloc d'alimentation.
- 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).
- 19. Affichez le menu *Graphique*, choisissez E1 comme paramètre de l'axe des X et E2 comme paramètre de l'axe des Y. Assurez-vous d'avoir sélectionné Graphique continu et Échelle linéaire, afin d'observer la courbe de la tension du primaire en fonction du courant d'excitation, représenté par E1. Le courant d'excitation augmente-t-il plus rapidement lorsque la tension nominale est excédée?
 - Oui Non

Rapports des tensions et courants

20. La courbe indique-t-elle que le noyau du transformateur est saturé?

Oui Non

21. Revoyez les données mesurées, afin de déterminer de quelle façon le rapport entre la tension du primaire et celle du secondaire a été altéré par la saturation du noyau du transformateur.

22. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez mesuré les tensions du primaire et du secondaire d'un transformateur monophasé et vérifié si le rapport entre la tension de son primaire et celle de son secondaire était égal au rapport N_1 / N_2 de ses enroulements. Les courants mesurés dans les enroulements primaire et secondaire ont démontré que le rapport des courants était égal à la réciproque du rapport des enroulements. Vous avez également observé le phénomène de la saturation d'un noyau et vous avez constaté que la saturation d'un transformateur n'altérerait pas le rapport des tensions.

EXERCICES

1. Le rapport des enroulements d'un transformateur comportant un enroulement primaire de 225 tours et un enroulement secondaire de 675 tours est

- a. 1 : 3.
- b. 3 : 1.
- c. N_S / N_P .
- d. N_2 / N_1 .

2. Le courant de court-circuit du secondaire d'un transformateur est de 5 A. Quel est le courant circulant dans son enroulement primaire si son rapport d'enroulement est de 1 : 4?

- a. 20 A
- b. 1,25 A
- c. 2,0 A
- d. 0,8 A

Rapports des tensions et courants

3. Il y a saturation d'un transformateur lorsque
 - a. le courant circulant dans son enroulement primaire est supérieur à son courant nominal.
 - b. son enroulement secondaire est court-circuité.
 - c. la tension circulant dans son enroulement secondaire est inférieure à sa tension nominale.
 - d. la tension de son enroulement primaire est supérieure à sa tension nominale.

4. Lorsqu'une tension de 200 V est appliquée à l'enroulement primaire d'un transformateur survolteur doublant la tension du primaire, quel courant circule dans une résistance de charge de 100 Ω raccordée aux bornes de l'enroulement de son secondaire?
 - a. 1 A
 - b. 2 A
 - c. 3 A
 - d. 4 A

5. Lorsque l'on évalue le rapport des courants d'un transformateur, pourquoi est-il nécessaire d'appliquer une faible tension à l'enroulement primaire, au lieu de lui appliquer la tension nominale?
 - a. Pour s'assurer que le courant nominal circule dans le secondaire.
 - b. Pour s'assurer que le courant nominal du primaire ne soit pas excédé.
 - c. Pour s'assurer que la tension nominale du secondaire soit respectée.
 - d. Pour s'assurer que le courant d'excitation soit maximal.

Polarités d'un transformateur

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer et d'utiliser les polarités d'un transformateur, de façon à bien raccorder des enroulements séparés, pour que les tensions s'additionnent (addition des tensions) ou se soustraient (opposition des tensions).

PRINCIPES

Lorsque l'enroulement primaire d'un transformateur est alimenté par une source c.a., il y a génération d'un flux magnétique alternatif à l'intérieur du noyau de fer de ce transformateur. Ce flux alternatif lie, ou couple, les tours de chaque enroulement du transformateur et il induit des tensions c.a. dans ses enroulements. Étant donné qu'il s'agit de dispositifs c.a., la polarité peut sembler peu importante dans les transformateurs. Cependant, lorsque deux ou plusieurs enroulements sont raccordés, leurs polarités relatives instantanées ont un effet important sur la tension totale résultante. Si la tension aux bornes d'un enroulement atteint une crête positive lorsque la tension d'un autre enroulement atteint une crête négative, c'est-à-dire qu'elles sont déphasées de 180° , elles s'opposent l'une à l'autre et la tension résultante correspond à la différence entre celles-ci. C'est pourquoi des normes ont été établies pour régir le marquage des polarités des fils des transformateurs. Selon les normes nord-américaines, les fils haute tension sont identifiés par H1 et H2, et les fils basse tension, par X1 et X2. Lorsque H1 devient positif instantanément, X1 devient également positif instantanément. Ce système de marquage permet de bien raccorder les transformateurs, afin que les tensions de leurs enroulements soient additionnées ou soustraites, au besoin. D'autres types de marquage sont également utilisés pour identifier les polarités des transformateurs. Les bornes d'un transformateur peuvent être marquées au moyen de points, de croix, de nombres ou d'autres symboles pratiques. À la figure 7-6, des points ont été utilisés dans un schéma représentant un transformateur et ses enroulements.

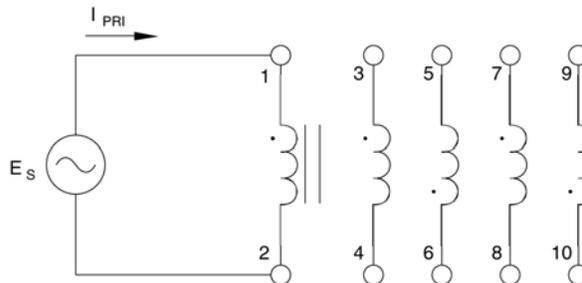


Figure 7-6. Marquage des polarités d'un transformateur.

Polarités d'un transformateur

Lorsque l'on parle des polarités des enroulements d'un transformateur, on identifie toutes les bornes de même polarité, qu'elles soient négatives ou positives, à tout moment. Les points utilisés à la figure 7-6 indiquent qu'à un instant donné, **lorsque la borne 1 est positive par rapport à la borne 2,**

la borne 3 est positive par rapport à la borne 4,
la borne 6 est positive par rapport à la borne 5,
la borne 7 est positive par rapport à la borne 8,
la borne 10 est positive par rapport à la borne 9.

Il est à remarquer qu'une borne ne peut être positive en soi, elle ne peut être positive que par rapport à une autre borne. Donc, à un instant donné, les bornes 1, 3, 6, 7 et 10 sont toutes positives par rapport aux bornes 2, 4, 5, 8 et 9.

Lorsque des piles ou des batteries c.c. sont raccordées en série pour générer une tension de sortie supérieure, la borne positive d'une batterie doit être raccordée à la borne négative de l'autre. De la même façon, si les enroulements d'un transformateur doivent être raccordés de façon à ce que leurs tensions s'additionnent, la borne «marquée» du transformateur doit être raccordée en série avec la borne «non marquée» de l'autre enroulement. Cela est particulièrement important lorsque des transformateurs sont raccordés en parallèle, afin de partager le courant nécessaire à une charge, ainsi que lorsqu'ils sont raccordés en série, afin d'augmenter la tension de la charge.

Il y a deux techniques pour déterminer les polarités d'un transformateur. L'une nécessite une source c.c. et l'autre, une source c.a. Selon la technique utilisant la source c.c., un voltmètre c.c. est raccordé aux bornes de l'enroulement du secondaire et une faible tension c.c. est appliquée au primaire. Le sens de déviation de l'aiguille du voltmètre, lors de la mise sous tension, indique les polarités du secondaire. L'aiguille dévie vers la droite si la borne positive du voltmètre est de même polarité que la borne du primaire à laquelle la borne positive de la source est raccordée. Si elle dévie vers la gauche, les bornes du primaire et du secondaire sont de polarités opposées. Selon la technique utilisant la source c.a., une tension c.a. est raccordée à l'enroulement du primaire, qui est temporairement raccordé en série avec le secondaire. Si les deux bornes interconnectées sont de même polarité, la tension aux bornes du montage série est inférieure à la tension appliquée. Si cette tension est supérieure, les bornes interconnectées sont de polarités opposées. La figure 7-7 illustre les deux techniques servant à déterminer les polarités d'un transformateur.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

Polarités d'un transformateur

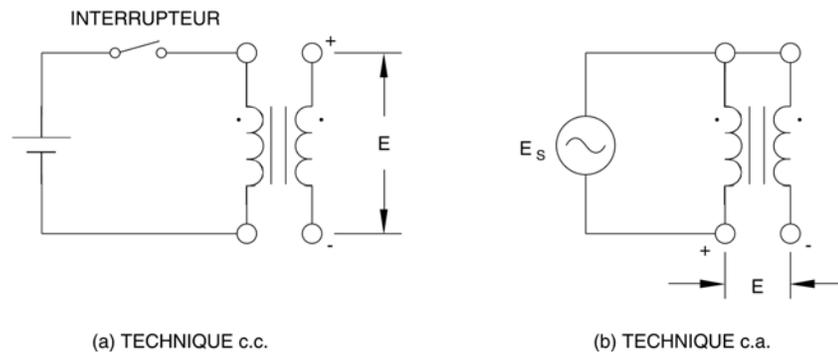


Figure 7-7. Techniques servant à déterminer les polarités d'un transformateur.

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données et Transformateur monophasé 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. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES17-2.dai.
- 5. Montez le transformateur de la figure 7-8 et raccordez les bornes 1 et 5 tel qu'illustré. Il est à remarquer que la tension d'entrée c.a. de ce circuit est raccordée à l'enroulement 3-4.

Polarités d'un transformateur

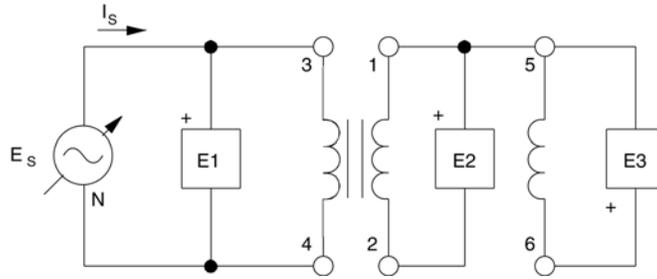


Figure 7-8. Enroulements d'un transformateur raccordés en série.

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 obtenir une tension E_s exactement égale à 50% de la tension nominale à l'enroulement 3-4. Il est à remarquer que la tension nominale est la somme des tensions de l'enroulement intermédiaire entre les bornes 3 et 4. Mesurez et notez les tensions des enroulements 1-2, 5-6 et 2-6 du transformateur. Il est à remarquer que la tension E_{2-6} est obtenue à partir de l'appareil de mesure programmable A, à l'aide de la fonction E2+E3.

$$E_{1-2} = \text{_____ V} \quad E_{5-6} = \text{_____ V} \quad E_{2-6} = \text{_____ V}$$

7. Les enroulements sont-ils raccordés de façon à obtenir des tensions qui s'additionnent ou des tensions qui s'opposent?

Remarque : Normalement, la tension mesurée entre les bornes 2 et 6 est presque nulle, ce qui signifie que les enroulements sont raccordés de façon à ce que les tensions se soustraient. Les polarités du transformateur peuvent être déterminées de cette façon, car la tension aux bornes de deux enroulements raccordés est inférieure à la tension appliquée lorsque les bornes raccordées sont de même polarité.

8. Rmettez le bouton de commande de la tension à zéro et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Débranchez les bornes 1 et 5 et raccordez les bornes 1 et 6 l'une à l'autre. Si grâce à ce nouveau raccord les tensions s'additionnent, quelle sera la tension E_{2-5} si la tension de la manipulation 6 est appliquée à l'enroulement 3-4?
-

9. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez à nouveau la tension E_s à exactement 50% de la tension nominale

Polarités d'un transformateur

à l'enroulement 3-4. Mesurez et notez les tensions aux enroulements 1-2, 5-6 et 2-5 du transformateur. Il est à remarquer que la tension E_{2-5} est obtenue à partir de l'appareil de mesure programmable A.

$$E_{1-2} = \text{_____ V} \quad E_{5-6} = \text{_____ V} \quad E_{2-5} = \text{_____ V}$$

10. La tension E_{2-5} obtenue est-elle celle prévue à la manipulation 8?

Oui Non

11. Remettez le bouton de commande de la tension à zéro, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et retirez le fil entre les bornes 1 et 6. Quelles sont les trois tensions de sortie possibles si les enroulements 3-4 et 1-2 sont raccordés en série et que la même tension qu'à la manipulation 9 est appliquée à l'enroulement 3-4?

12. Raccordez l'une à l'autre les bornes 1 et 4, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension E_s à exactement 50% de la tension nominale à l'enroulement 3-4. Mesurez et notez les tensions aux enroulements 1-2 et 2-3 du transformateur.

$$E_{1-2} = \text{_____ V} \quad E_{2-3} = \text{_____ V}$$

13. Remettez le bouton de commande de la tension à zéro et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Débranchez les bornes 1 et 4 et raccordez les bornes 1 et 3 l'une à l'autre. Interchangez les raccords à l'entrée E2 du module I.A.D.

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez la tension E_s à exactement 50% de la tension nominale à l'enroulement 3-4. Mesurez et notez la tension à l'enroulement 2-4 du transformateur.

$$E_{2-4} = \text{_____ V}$$

15. Comment sont les résultats obtenus aux manipulations 12 et 14 comparativement aux prédictions faites à la manipulation 11?

16. Quels ensembles de bornes sont de même polarité: 1 et 3, 2 et 4, 1 et 4 ou 2 et 3?

Sale and/or reproduction forbidden

Polarités d'un transformateur

- 17. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez déterminé les polarités d'un transformateur à l'aide de la technique c.a. Vous avez également démontré qu'il y a opposition des tensions lorsque les bornes de même polarité d'un enroulement sont raccordées, alors qu'il y a addition des tensions lorsque des bornes de polarités opposées sont raccordées. Cela ressemble au raccord de batteries en série pour obtenir des tensions plus élevées.

EXERCICES

1. Si ses bornes ne sont pas marquées, peut-on raccorder différents enroulements d'un transformateur pour obtenir des tensions supérieures?
 - a. Oui, mais ses polarités doivent être déterminées de façon expérimentale au préalable.
 - b. Non.
 - c. Seulement si les enroulements se trouvent au primaire du transformateur.
 - d. Seulement si le courant est inférieur à 1 A.

2. Deux des quatre bornes du secondaire d'un transformateur sont marquées d'une croix. Si ces deux bornes sont raccordées l'une à l'autre, les enroulements du secondaire sont
 - a. raccordés de façon à ce que les tensions s'opposent.
 - b. raccordés de façon à ce que les tensions s'additionnent.
 - c. raccordés de façon à augmenter la tension résultante.
 - d. b et c.

3. Est-il possible qu'un voltmètre raccordé aux bornes de l'enroulement du secondaire d'un transformateur à prises médianes de 50 V, 125 V et 75 V mesure 0 V, bien que la tension nominale soit appliquée à l'enroulement du primaire?
 - a. Non, ce voltmètre doit avoir un problème.
 - b. Oui, si les prises médianes 50 V et 75 V sont raccordées de façon à s'opposer à la prise médiane de 125 V.
 - c. Oui, si les prises médianes 50 V et 75 V sont raccordées de façon à s'additionner à la prise médiane de 125 V.
 - d. Non, le transformateur doit être endommagé.

Polarités d'un transformateur

4. Les deux techniques servant à déterminer les polarités des enroulements d'un transformateur sont:
 - a. la technique résistive et la technique inductive.
 - b. la technique d'opposition des tensions et la technique d'addition des tensions.
 - c. la technique c.c. et la technique c.a.
 - d. la technique expérimentale et la technique théorique.

5. Pour bien raccorder les enroulements d'un transformateur afin d'obtenir des tensions élevées, il faut
 - a. connaître leurs caractéristiques nominales.
 - b. connaître le courant maximal d'un enroulement.
 - c. connaître le type de matériau dont est fait le noyau.
 - d. connaître les polarités des enroulements.

Régulation d'un transformateur

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de déterminer le pourcentage de régulation de tension d'un transformateur à charge variable et de discuter de l'effet des charges capacitive et inductive sur la régulation d'un transformateur. La tension et le courant mesurés seront utilisés pour tracer des courbes de régulation.

PRINCIPES

La charge d'un gros transformateur de puissance dans une sous-station varie d'une très faible valeur, tôt le matin, à une valeur très élevée pendant les pointes de tension dues aux activités industrielles et commerciales. La tension au secondaire d'un transformateur varie quelque peu en fonction de la charge et, parce que les moteurs, les ampoules incandescentes et les dispositifs de chauffage sont tous relativement sensibles aux variations de tension, la régulation d'un transformateur revêt une importance considérable. La tension au secondaire dépend également du facteur de puissance de la charge, qui peut être en avance, en retard ou unitaire. On doit donc savoir comment le transformateur se comportera (régulation) lorsqu'il sera raccordé à une charge capacitive, inductive ou résistive. La régulation d'un transformateur est calculée à l'aide de la formule $100 (E_{NL} - E_{FL}) / E_{NL}$ et le résultat obtenu, un pourcentage, fournit une indication de son comportement avec charge.

Plusieurs facteurs altèrent le fonctionnement d'un transformateur. La résistance et la réactance inductive de ces enroulements provoquent des chutes de tension internes qui varient selon l'intensité du courant circulant dans les enroulements. Si la charge raccordée au secondaire est faible, le courant circulant dans la résistance et la réactance de l'enroulement est faible et les pertes de puissance internes ne sont pas importantes. Lorsque la charge augmente, le courant et les pertes de puissance internes augmentent également. Dans le cas d'un transformateur idéal, il n'y aurait aucune résistance dans les enroulements pour provoquer des pertes de puissance active. Aussi, aucune puissance réactive ne serait nécessaire pour créer le champ magnétique dans ses bobines. Un tel transformateur offrirait une régulation parfaite dans toutes les conditions de charge et la tension au secondaire demeurerait tout à fait constante. Mais, en pratique, les transformateurs sont faits de vrai fil possédant une résistance et ils ont besoin de puissance réactive pour créer leur champ magnétique. Les enroulements secondaires et primaires possèdent donc une résistance totale R et une réactance totale X . En pratique, le circuit équivalent d'un transformateur dont le rapport des enroulements est 1:1 peut être représenté par le schéma de la figure 7-9. Les vraies bornes du transformateur sont P_1 et P_2 au primaire, et S_1 et S_2 au secondaire.

Régulation d'un transformateur

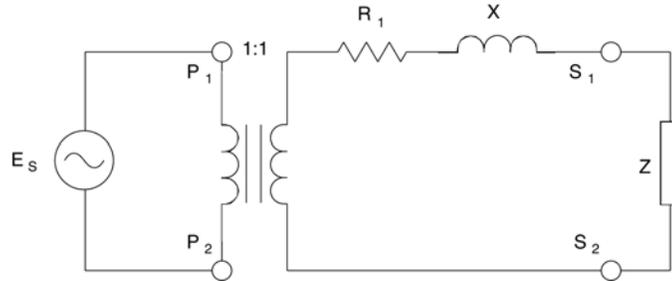


Figure 7-9. Circuit équivalent d'un transformateur.

En pratique, le transformateur est représenté comme un transformateur idéal en série avec une impédance constituée d'une résistance R et d'une réactance X en représentant les imperfections. Sur le schéma, il est évident que la tension au primaire est constante et que la tension au secondaire varie proportionnellement au courant de la charge, à cause de l'effet du diviseur de tension de l'impédance interne du transformateur. Avec une charge capacitive, un effet intéressant apparaît, car il y a établissement d'une résonance partielle entre la charge capacitive et la réactance X . En effet, il se peut que la tension au secondaire ait tendance à augmenter proportionnellement à la charge capacitive.

Le type de charge raccordée à l'enroulement du secondaire a un effet important sur la régulation de la tension. Lorsque la charge est résistive, le courant et la tension de la charge sont en phase, ce qui réduit l'angle de phase inductif entre le courant et la tension de l'enroulement du secondaire, et réduit le déphasage entre ces deux paramètres. Plus la charge est élevée, plus le courant résistif est élevé et plus l'angle de phase entre la tension et le courant au secondaire est petit. Lorsque la charge résistive augmente, la tension du secondaire diminue et son courant augmente. Une charge inductive augmente la réactance inductive du secondaire. Les variations de tension et de courant sont plus importantes avec une charge inductive qu'avec une charge résistive identique.

Une charge capacitive ajoute une réactance capacitive en série avec la réactance inductive de l'enroulement du secondaire et forme un circuit LC série. La réactance capacitive varie de façon inversement proportionnelle à la fréquence et à la capacité de façon à ce que, lorsque le circuit fonctionne à la fréquence de résonance, la réactance capacitive soit élevée et la chute de tension aux bornes de la charge capacitive soit supérieure à celle aux bornes de la réactance inductive de l'enroulement du secondaire. Lorsque la réactance capacitive diminue, le circuit devient un circuit résonnant dans lequel les tensions aux bornes des réactances augmentent. À la résonance, les deux réactances sont égales et les tensions réactives sont égales et maximales.

Régulation d'un transformateur

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

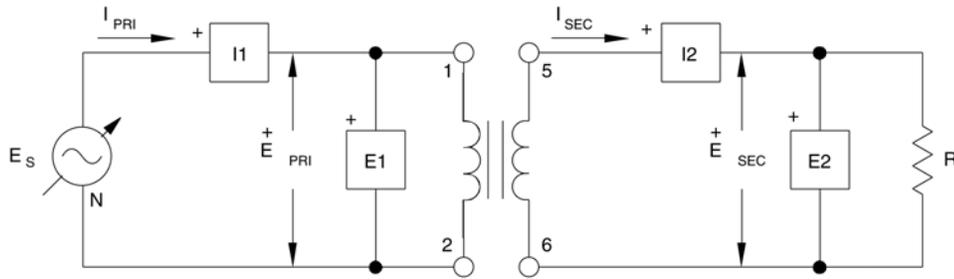
Vous serez en présence de tensions élevées au cours de cette expérience de laboratoire! Ne faites aucune connexion sur les circuits sous tension, à moins d'indication contraire!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Transformateur monophasé, Charge résistive, Charge capacitive et Charge inductive dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES17-3.dai.
- 5. Montez le circuit de charge du transformateur de la figure 7-10. Assurez-vous que tous les interrupteurs des modules Charge résistive, Charge capacitive et Charge inductive sont ouverts, et raccordez les appareils de mesure E1, E2, I1 et I2 tel qu'illustré. Différentes valeurs de Z seront utilisées pour vérifier de quelle façon varie la tension (charge) du secondaire en fonction des variations de la charge du transformateur. La première série de mesure sera effectuée à l'aide du module Charge résistive.
- 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 obtenir la tension E_s indiquée. Sans raccorder de charge au transformateur (tous les interrupteurs du module de charge étant ouverts), cliquez sur le bouton *Enregistrer* afin d'entrer les valeurs E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} et I_{SEC} mesurées dans le *Tableau de données*.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Régulation d'un transformateur



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)
120	120	∞
220	220	∞
240	240	∞

Figure 7-10. Transformateur à charge variable.

- 7. Sur le module Charge résistive, réglez les interrupteurs de façon à obtenir l'une après l'autre les résistances indiquées au tableau 7-1. Pour chacune, notez les valeurs mesurées, comme à la manipulation 6. 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).

TENSION DE LIGNE	R, X_L , X_c				
V	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
120	1 200	600	400	300	240
220	4 400	2 200	1 467	1 100	880
240	4 800	2 400	1 600	1 200	960

Tableau 7-1. Valeurs de R, X_L et X_c .

- 8. Affichez le menu *Graphique*, choisissez E2 comme paramètre de l'axe des Y et I2 comme paramètre de l'axe des X. Assurez-vous d'avoir sélectionné Graphique continu et Échelle linéaire, afin d'observer la courbe de la tension du secondaire en fonction du courant du secondaire. Qu'est-ce qui arrive à la tension du secondaire lorsque la charge résistive augmente, c'est-à-dire que la résistance de charge diminue?

Remarque : Pour faciliter la comparaison entre les courbes obtenues avec les différentes charges, les graphiques des manipulations 8, 13 et 17 peuvent être imprimés à l'aide du bouton *Imprimer* de la Barre d'outils.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Régulation d'un transformateur

9. À l'aide des tensions de sortie à vide ($R = \infty$) et à pleine charge ($R = \text{maximale}$), calculez le pourcentage de régulation de tension.

$$\frac{100 (E_{NL} - E_{FL})}{E_{NL}} = \text{-----} \%$$

10. Utilisez le bouton *Effacer le tableau* de la fenêtre *Tableau de données* afin d'effacer les données, puis remplacez le module Charge résistive du circuit de la figure 7-10 par le module Charge inductive.
11. 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 obtenir la tension E_s indiquée. Sans raccorder de charge au transformateur (tous les interrupteurs du module de charge étant ouverts), cliquez sur le bouton *Enregistrer* afin d'entrer les valeurs E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} et I_{SEC} mesurées dans le Tableau de données.
12. Réglez les interrupteurs du module charge inductive de façon à obtenir l'une après l'autre les réactances indiquées au tableau 7-1. Pour chacune, notez les valeurs mesurées, comme à la manipulation 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).
13. Affichez le menu *Graphique*, choisissez E2 comme paramètre de l'axe des Y et I2 comme paramètre de l'axe des X. Assurez-vous d'avoir sélectionné Graphique continu et Échelle linéaire, afin d'observer la courbe de la tension du secondaire en fonction du courant du secondaire. De quelle façon varie la tension du secondaire lors d'une augmentation de la charge inductive?

-
14. Utilisez le bouton *Effacer le tableau* de la fenêtre *Tableau de données* afin d'effacer les données, puis remplacez le module Charge inductive du circuit de la figure 7-10 par le module Charge capacitive.

15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension principal de façon à obtenir la tension E_s indiquée. Sans raccorder de charge au transformateur (tous les interrupteurs du module de charge étant ouverts), cliquez sur le bouton *Enregistrer* afin d'entrer les valeurs E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} et I_{SEC} mesurées dans le *Tableau de données*.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Régulation d'un transformateur

- 16. Réglez les interrupteurs du module Charge capacitive de façon à obtenir l'une après l'autre les réactances indiquées au tableau 7-1. Pour chacune, notez les valeurs mesurées, comme à la manipulation 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).

- 17. Affichez le menu *Graphique*, choisissez E2 comme paramètre de l'axe des Y et I2 comme paramètre de l'axe des X. Assurez-vous d'avoir sélectionné Graphique continu et Échelle linéaire, afin d'observer la courbe de la tension du secondaire en fonction du courant du secondaire. De quelle façon varie la tension du secondaire lors d'une augmentation de la charge capacitive?

- 18. Quelles différences observez-vous entre les trois courbes obtenues?

- 19. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez observé les effets de la régulation de tension d'un transformateur et constaté que la tension du secondaire varie de façon proportionnelle à la charge raccordée au transformateur. Vous avez tracé des courbes de variation des charges résistive, inductive et capacitive. Ces courbes ont démontré qu'avec une charge capacitive, la tension de sortie peut augmenter à cause du phénomène de résonance entre la réactance inductive du transformateur et la réactance capacitive de la charge. Aussi, une charge inductive provoque des chutes de tension plus importantes qu'une charge résistive et, donc, une moins bonne régulation.

Régulation d'un transformateur

EXERCICES

1. Le pourcentage de régulation d'un transformateur peut être déterminé à l'aide de la formule:
 - a. $100 (E_{PRI} - E_{SEC}) / E_{PRI}$.
 - b. $100 (E_{NL} - E_{FL}) / E_{NL}$.
 - c. $100 (I_{PRI} - I_{SEC}) / I_{PRI}$.
 - d. $100 (I_{NL} - I_{FL}) / I_{NL}$.

2. Quel est le pourcentage de régulation d'un transformateur dont les tensions à vide et à pleine charge sont de 100 V et 95 V, respectivement?
 - a. 105%.
 - b. 10,5%.
 - c. 95%.
 - d. 5%.

3. La tension du secondaire peut dépasser la valeur nominale lorsque la charge est
 - a. résistive.
 - b. capacitive.
 - c. inductive.
 - d. un circuit RL série.

4. Les variations de tension et de courant du secondaire sont
 - a. les mêmes avec une charge inductive et une charge résistive équivalente.
 - b. plus faibles avec une charge inductive qu'avec une charge résistive équivalente.
 - c. plus importantes avec une charge inductive qu'avec une charge résistive équivalente.
 - d. plus faible avec une charge capacitive qu'avec une charge résistive équivalente.

5. La régulation d'un transformateur
 - a. dépend du type de charge raccordée au secondaire.
 - b. est indépendante de la charge raccordée au secondaire.
 - c. ne peut être déterminée que s'il n'y a aucune charge au secondaire.
 - d. dépend de la tension appliquée au primaire.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Questions récapitulatives

1. Le primaire d'un transformateur comporte 320 tours de fil et la tension de son secondaire est de 160 V lorsqu'une tension de 40 V est appliquée à son primaire. Le rapport des tensions est donc
 - a. 1 : 8.
 - b. 2 : 1.
 - c. 1 : 4.
 - d. 2 : 1.

2. Le courant de court-circuit du secondaire d'un transformateur est de 2 A. Quel est le courant de son primaire si le rapport des enroulements du transformateur est 2 : 5?
 - a. 2 A
 - b. 5 A
 - c. 2 A
 - d. 0,8 A

3. Lorsque la tension du primaire dépasse sa valeur nominale,
 - a. le transformateur fonctionne mieux.
 - b. le transformateur fonctionne moins bien à cause de la saturation du noyau.
 - c. de plus du double, le transformateur fonctionne mieux.
 - d. le courant du primaire diminue.

4. Pour évaluer le rapport des courants d'un transformateur,
 - a. sa tension nominale doit être appliquée à son primaire.
 - b. son courant nominal doit circuler dans son primaire.
 - c. une très faible tension doit être appliquée à son primaire.
 - d. son primaire doit être court-circuité.

5. Lorsque des bornes non marquées d'un transformateur sont raccordées ensemble, cela signifie habituellement que les enroulements sont raccordés
 - a. de façon à ce que les tensions s'additionnent.
 - b. de façon à ce que les tensions s'opposent.
 - c. de façon à augmenter la tension résultante.
 - d. b et c.

Questions récapitulatives (suite)

6. Le pourcentage de régulation de tension d'un transformateur peut être déterminé à l'aide de la formule:
- $100 (I_{NL} - I_{FL}) / I_{NL}$.
 - $100 (I_{PRI} - I_{SEC}) / I_{PRI}$.
 - $100 (E_{NL} - E_{FL}) / E_{NL}$.
 - $100 (E_{PRI} - E_{SEC}) / E_{PRI}$.
7. Quelle est la tension à vide lorsque la tension à pleine charge du secondaire est de 108 V et que le pourcentage de régulation du transformateur est de 10%?
- 98 V.
 - 120 V.
 - 12 V.
 - 118,8 V.
8. Une charge capacitive peut forcer la tension du secondaire d'un transformateur à
- augmenter à une valeur supérieure à sa valeur nominale.
 - diminuer de façon constante lorsque la charge augmente.
 - augmenter de façon constante lorsque la charge diminue.
 - aucune de ces réponses.
9. Une charge inductive provoque
- une variation moindre de la tension du secondaire qu'une charge résistive équivalente.
 - la même variation de la tension du secondaire qu'une charge résistive équivalente.
 - une plus importante variation de la tension du secondaire qu'une charge résistive équivalente.
 - une plus importante variation de la tension du secondaire qu'une charge capacitive équivalente.
10. Le type de charge raccordée au secondaire d'un transformateur
- n'a que peu d'effet sur la régulation de ce transformateur.
 - a un effet important sur la régulation de ce transformateur.
 - n'a aucun effet sur la régulation de ce transformateur.
 - aucune de ces réponses.

Raccordements particuliers de transformateurs

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous vous serez familiarisé avec les transformateurs raccordés de façon particulière, comme les autotransformateurs et les transformateurs de distribution. Vous serez également en mesure de raccorder des transformateurs en parallèle, de façon à ce qu'ils fonctionnent ensemble pour fournir de la puissance à une charge. Les tensions et courants mesurés seront utilisés pour étudier le fonctionnement des transformateurs ainsi que leurs caractéristiques.

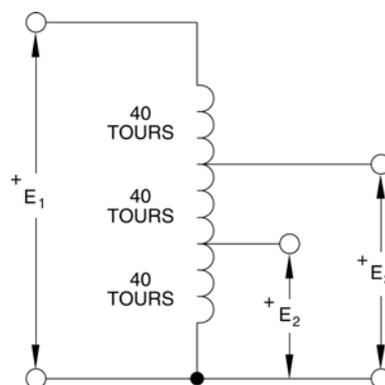
PRINCIPES FONDAMENTAUX

Comme nous l'avons vu dans le bloc précédent, les transformateurs peuvent modifier des niveaux de tension et de courant, et leurs paramètres de sortie sont proportionnels au rapport de leurs enroulements. Il existe quelques manières différentes de raccorder des transformateurs monophasés: en **autotransformateur**, pour augmenter ou diminuer la tension, en **transformateur de distribution**, pour générer différents niveaux de tension de charge, ou en parallèle, pour partager la charge.

En général, la plupart des transformateurs servent à isoler une source c.a. de son circuit de charge, ce qui, souvent, constitue un important facteur de sécurité. Cependant, un autotransformateur n'offre aucune isolation, car ses enroulements primaire et secondaire sont constitués du même bobinage. La figure 8-1 illustre un autotransformateur comportant différentes prises médianes qui permettent différentes tensions au secondaire.

Puisque les règles vues précédemment s'appliquent à l'autotransformateur, d'après le rapport des enroulements, il paraît évident que

$$E_2 = E_1 / 3 \text{ et } E_3 = E_1 / 1,5$$



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{ET} \quad \frac{E_1}{E_3} = \frac{N_1}{N_3}$$

$$E_2 = \frac{40}{120} E_1 = \frac{E_1}{3}$$

$$E_3 = \frac{80}{120} E_1 = \frac{E_1}{1,5}$$

Figure 8-1.- Autotransformateur

Raccordements particuliers de transformateurs

La figure 8-1 montre également comment le primaire et le secondaire d'un autotransformateur sont raccordés en un point commun du seul enroulement et illustre l'absence d'isolation électrique. Cette absence d'isolation constitue le principal inconvénient d'un autotransformateur.

Les transformateurs de distribution ne comportent pas cet inconvénient des autotransformateurs, car ils possèdent un enroulement primaire et souvent plus d'un enroulement secondaire, comme c'est le cas pour le module Transformateur monophasé. Les enroulements du secondaire sont habituellement raccordés en série et le point commun entre eux sert de neutre dans un circuit de distribution à deux tensions. La figure 8-2 montre un transformateur de distribution générant deux tensions de charge différentes.

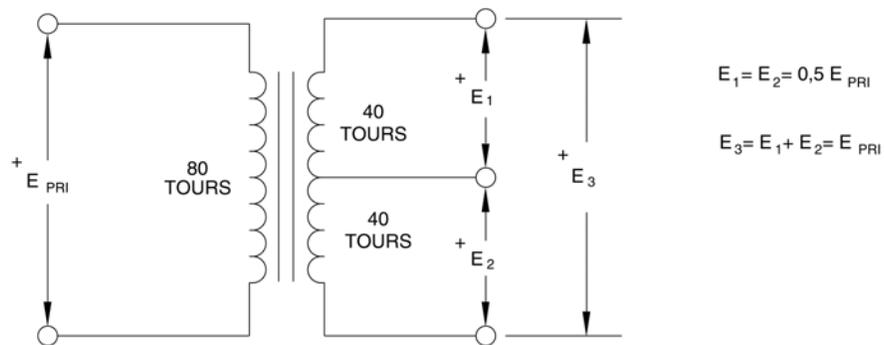


Figure 8-2. Transformateur de distribution

L'autotransformateur

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous vous serez familiarisé avec les caractéristiques des tensions et courants d'un autotransformateur et vous serez en mesure de raccorder un transformateur standard en autotransformateur dans les configurations survolteur et dévolteur.

PRINCIPES

L'autotransformateur est un type particulier de transformateur ne possédant qu'un seul enroulement qui sert de primaire et de secondaire. Lorsque l'autotransformateur est utilisé pour élever une tension, seule une partie de son enroulement sert de primaire, alors que la totalité de cet enroulement sert de secondaire. Cependant, lorsque l'autotransformateur est utilisé pour abaisser une tension, les rôles du primaire et du secondaire sont inversés. La totalité d'un enroulement est raccordée de façon à être utilisée comme primaire et seule une partie sert de secondaire. La figure 8-3 montre comment l'on doit raccorder l'autotransformateur pour obtenir les configurations survolteur et dévolteur.

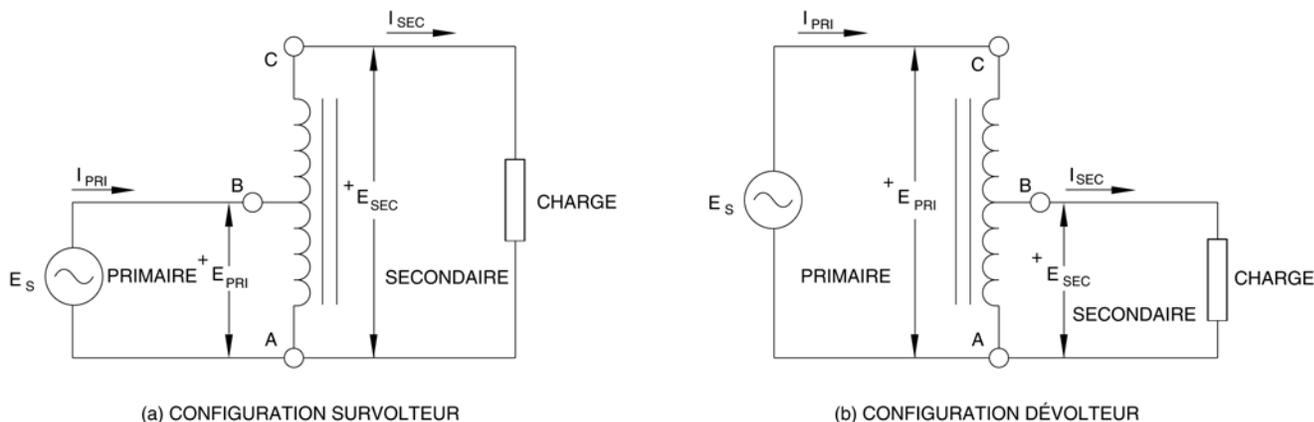


Figure 8-3. Raccordement de l'autotransformateur (a) Survolteur (b) Dévolteur

À la base, l'autotransformateur fonctionne comme un transformateur standard à deux enroulements. La tension est transférée du primaire vers le secondaire par un champ magnétique variable. Le secondaire, pour sa part, régule le courant du primaire afin que la tension du primaire soit égale à la tension du secondaire. L'augmentation ou la diminution de la tension dépend du rapport des enroulements entre le primaire et le secondaire. Il est à remarquer que pour ce qui est des calculs, chaque enroulement est pris individuellement, bien que certains tours soient

L'autotransformateur

communs au primaire et au secondaire. Les tensions et courants peuvent être déterminés à l'aide de deux formules simples:

$$E_{\text{PRI}} \times I_{\text{PRI}} = E_{\text{SEC}} \times I_{\text{SEC}} \text{ et}$$

$$E_{\text{PRI}} / E_{\text{SEC}} = N_{\text{PRI}} / N_{\text{SEC}}$$

La première dit simplement que la puissance apparente du primaire d'un transformateur est égale à la puissance apparente de son secondaire. La seconde lie les tensions du primaire et du secondaire au rapport des enroulements du transformateur. À partir de la figure 8-3, on obtient donc les formules:

$$E_{\text{PRI}} / E_{\text{SEC}} = N_{\text{A-B}} / N_{\text{A-C}}, \text{ pour la configuration survolteur, et}$$

$$E_{\text{PRI}} / E_{\text{SEC}} = N_{\text{A-C}} / N_{\text{A-B}}, \text{ pour la configuration dévolteur.}$$

Ces équations sont vraies lorsque les tensions $E_{\text{A-B}}$ et $E_{\text{B-C}}$ sont en phases et s'additionnent. Aussi, le courant circulant dans la charge raccordée au secondaire de l'autotransformateur ne peut dépasser le courant nominal de l'enroulement du transformateur. Lorsque le courant nominal est connu, il est facile de calculer la charge, en voltampères (VA), que peut fournir un autotransformateur particulier.

L'autotransformateur est un peu plus efficace que les transformateurs à enroulements séparés, car ses pertes dues au cuivre et au noyau sont plus faibles. Il est principalement utilisé lorsque de petites augmentations ou diminutions de la tension du secondaire sont nécessaires. Par exemple, pour amplifier une tension de ligne et compenser les pertes dues aux longues lignes de transmission, ou pour réduire les tensions d'allumage de moteurs, ce qui a pour effet de maintenir leur courant d'allumage faible, afin qu'il demeure à une valeur acceptable. Dans les applications industrielles nécessitant plusieurs tensions pour des systèmes à circuits complexes, un transformateur à plusieurs prises est utilisé. L'un des principaux inconvénients d'un autotransformateur est l'absence d'isolation électrique entre son enroulement primaire et son enroulement secondaire, puisque ceux-ci ne sont pas séparés. Aussi, il est généralement contre-indiqué d'utiliser un autotransformateur comme dispositif dévolteur à rapport élevé, car, si la partie basse tension de l'enroulement était défectueuse et s'ouvrirait, la tension élevée du primaire se trouverait aux bornes de la charge basse tension.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

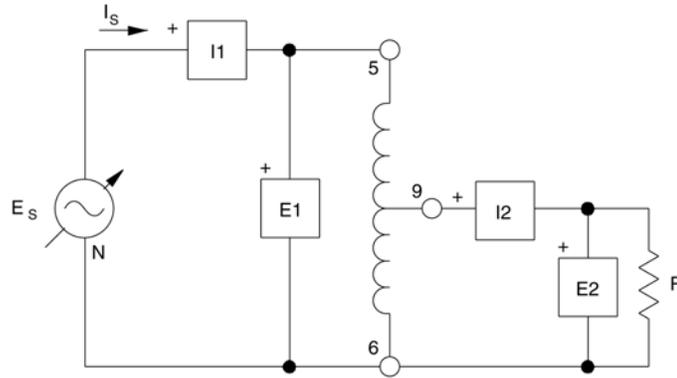
AVERTISSEMENT!

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!

L'autotransformateur

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive et Transformateur monophasé dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur d'alimentation 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D..
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES18-1.dai.
- 5. Montez l'autotransformateur de la figure 8-4, raccordez les appareils de mesure E1 et I1 tel qu'illustré, et utilisez les appareils de mesure E2 et I2 pour mesurer la tension et le courant du secondaire. Il est à remarquer que l'enroulement 5-6 sert de primaire et que la borne 9 de la prise médiane ainsi que la borne 6 servent de secondaire.
- 6. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et assurez-vous que tous les interrupteurs du module Charge résistive sont ouverts. Réglez le bouton de commande de la tension à la tension E_s indiquée à la figure 8-4. Il s'agit de la tension nominale de l'enroulement du primaire.

L'autotransformateur



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)
120	120	∞
220	220	∞
240	240	∞

Figure 8-4. Autotransformateur servant à réduire la tension du secondaire.

- 7. Réglez le module Charge résistive de façon à obtenir la valeur R indiquée au tableau 8-1.

TENSION DE LIGNE	R
V	Ω
120	120
220	440
240	480

Tableau 8-1. Valeur de la résistance R.

Mesurez et notez les valeurs I_{PRI} , I_{SEC} , E_{SEC} , S_{PRI} et S_{SEC} . Il est à remarquer que les puissances apparentes du primaire et du secondaire sont mesurées à l'aide des appareils de mesure de la puissance électrique PQS1 et PQS2. Après avoir noté les valeurs mesurées, 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).

$$I_{PRI} = \text{_____ A} \quad I_{SEC} = \text{_____ A} \quad E_{SEC} = \text{_____ V}$$

$$S_{PRI} = \text{_____ VA} \quad S_{SEC} = \text{_____ VA}$$

L'autotransformateur

8. Comparez les valeurs de S_{PRI} et S_{SEC} . Sont-elles presque identiques, si l'on ne tient pas compte de la petite différence due aux pertes dans le cuivre et dans le noyau?

Oui Non

9. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 7, calculez la puissance apparente des circuits du primaire et du secondaire.

$$S_{PRI} = E_{PRI} \times I_{PRI} = \text{_____ VA}$$

$$S_{SEC} = E_{SEC} \times I_{SEC} = \text{_____ VA}$$

10. Les valeurs calculées sont-elles presque identiques à celles mesurées à l'aide des appareils de mesure PQS1 et PQS2?

Oui Non

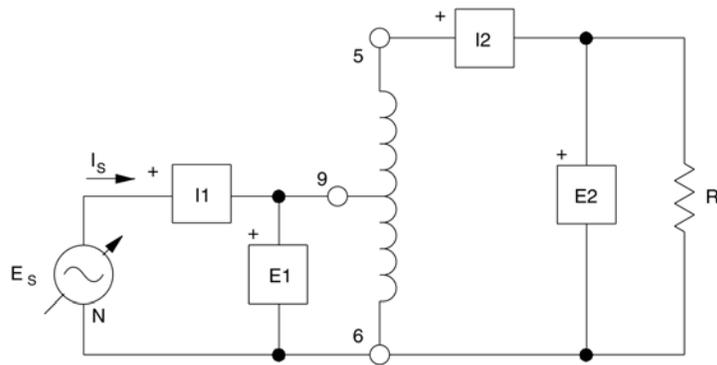
11. L'autotransformateur est-il raccordé selon la configuration survolteur ou selon la configuration dévolteur?

12. Calculez le rapport du courant du primaire sur le courant du secondaire. Correspond-il à la réciproque du rapport des enroulements?

Oui Non

13. Montez l'autotransformateur de la figure 8-5. Raccordez les appareils de mesure E1 et I1 tel qu'illustré, et utilisez les appareils de mesure E2 et I2 pour mesurer la tension et le courant du secondaire. Il est à remarquer que l'enroulement 9-6 sert maintenant de primaire et que les bornes 5 et 6 servent de secondaire.

L'autotransformateur



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)
120	60	∞
220	110	∞
240	120	∞

Figure 8-5. Autotransformateur servant à augmenter la tension du secondaire.

- 14. Assurez-vous que tous les interrupteurs du module Charge résistive sont ouverts et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Réglez le bouton de commande de la tension de façon à obtenir la tension E_s indiquée à la figure 8-5. Il s'agit de la tension nominale de l'enroulement 9-6.
- 15. Réglez le module Charge résistive à la valeur R indiquée au tableau 8-2.

TENSION DE LIGNE	R
V	Ω
120	600
220	2 200
240	2 400

Tableau 8-2. Valeur de la résistance R.

Mesurez et notez les valeurs I_{PRI} , I_{SEC} , E_{SEC} , S_{PRI} et S_{SEC} . Lorsque les valeurs mesurées sont notées, tournez le bouton de commande de la tension vers la

L'autotransformateur

gauche, jusqu'au bout, et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt).

$$I_{\text{PRI}} = \text{_____ A} \quad I_{\text{SEC}} = \text{_____ A} \quad E_{\text{SEC}} = \text{_____ V}$$

$$S_{\text{PRI}} = \text{_____ VA} \quad S_{\text{SEC}} = \text{_____ VA}$$

16. Comparez les valeurs S_{PRI} et S_{SEC} . Sont-elles presque identiques, sauf en ce qui a trait à la petite différence due aux pertes dans le cuivre et dans le noyau?

Oui Non

17. À l'aide des valeurs mesurées à la manipulation 15, calculez la puissance apparente des circuits du primaire et du secondaire.

$$S_{\text{PRI}} = E_{\text{PRI}} \times I_{\text{PRI}} = \text{_____ VA}$$

$$S_{\text{SEC}} = E_{\text{SEC}} \times I_{\text{SEC}} = \text{_____ VA}$$

18. Les valeurs calculées sont-elles presque identiques aux valeurs mesurées à l'aide des appareils de mesure PQS1 et PQS2?

Oui Non

19. L'autotransformateur est-il raccordé selon la configuration survolteur ou selon la configuration dévolteur?

20. Comparez le rapport du courant du primaire sur le courant du secondaire. Correspond-il à la réciproque du rapport des enroulements du transformateur?

Oui Non

21. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

L'autotransformateur

CONCLUSION

Vous avez raccordé un transformateur standard à deux enroulements de façon à ce qu'il fonctionne comme un autotransformateur dans les configurations survolteur et dévolteur. Les puissances apparentes mesurées au primaire et au secondaire du circuit ont démontré qu'elles étaient presque égales, sauf en ce qui a trait à la petite différence due aux pertes dans le transformateur. Vous avez également vu que les relations entre le courant et la tension d'un autotransformateur sont basées sur les mêmes règles que celles des transformateurs standards.

EXERCICES

1. Un autotransformateur est un type particulier de transformateur possédant
 - a. un seul enroulement qui sert de primaire et de secondaire.
 - b. des enroulements primaire et secondaire séparés.
 - c. plus d'un enroulement primaire.
 - d. deux enroulements secondaires raccordés en série.

2. La tension du primaire d'un autotransformateur est
 - a. inférieure à celle de son secondaire.
 - b. de beaucoup supérieure à celle de son secondaire.
 - c. exactement égale à celle de son secondaire.
 - d. légèrement supérieure à celle de son secondaire.

3. Quelle est la tension du secondaire lorsqu'une tension de source de 150 V est appliquée aux bornes de l'enroulement total d'un autotransformateur à prise médiane?
 - a. 300 V
 - b. 150 V
 - c. 75 V
 - d. 225 V

4. Dans un autotransformateur survolteur, le courant du secondaire
 - a. est égal au rapport des enroulements.
 - b. ne peut dépasser le courant de l'enroulement.
 - c. est inférieur au courant du primaire.
 - d. n'est pas limité.

L'autotransformateur

5. La puissance apparente nominale d'un autotransformateur dont le rapport des enroulements est 10:1 est de 450 VA. Cela signifie que la puissance apparente nominale du secondaire est
- a. 45 VA.
 - b. 4500 VA.
 - c. 450 VA.
 - d. aucune de ces réponses.

Transformateurs en parallèle

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de raccorder des transformateurs en parallèle et d'en déterminer le rendement global en mesurant la puissance d'entrée et la puissance de sortie.

PRINCIPES

On peut raccorder des transformateurs en parallèle pour fournir une puissance de charge supérieure à la puissance nominale d'un seul transformateur. Lorsque l'on raccorde des transformateurs en parallèle, il y a deux précautions à prendre: les tensions nominales des enroulements à placer en parallèle doivent être identiques et les enroulements doivent être raccordés en respectant les polarités. Des courants de court-circuit très forts peuvent circuler si les raccords ne sont pas faits de façon appropriée. Les transformateurs, les disjoncteurs et les circuits associés peuvent être gravement endommagés, et ils peuvent même exploser, si les courants de court-circuit sont suffisamment élevés.

La figure 8-6 représente deux transformateurs possédant les mêmes caractéristiques nominales et raccordés en parallèle pour fournir une charge de 200 VA. Chacun constitue une charge nominale de 100 VA et les bornes de même polarité sont raccordées ensemble, de façon à ce que chacun fournisse la moitié de la puissance de la charge.

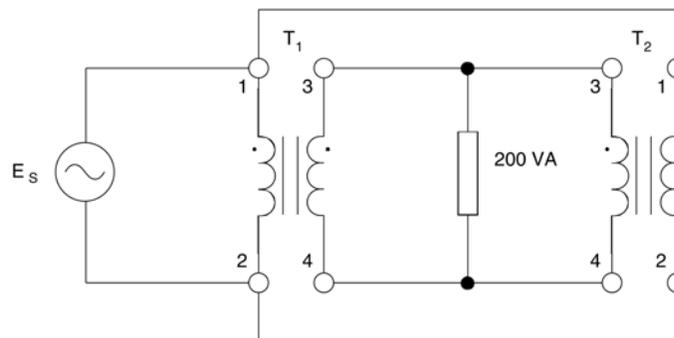


Figure 8-6. Raccord de transformateurs en parallèle.

Le rendement d'une machine ou d'un dispositif électrique est déterminé en calculant le rapport de la puissance active, $P_{\text{SORTIE}} / P_{\text{ENTRÉE}}$, et il est représenté par la lettre

Transformateurs en parallèle

grecque êta (η). La puissance apparente et la puissance réactive ne sont pas utilisées pour calculer le rendement. La formule suivante sert à calculer le rendement en %:

$$\text{rendement } \eta = 100 P_{\text{SORTIE}} / P_{\text{ENTRÉE}}$$

Dans un transformateur idéal, toutes les lignes de force magnétique relient théoriquement le primaire et le secondaire, et il n'y a aucune perte interne. La puissance du secondaire est donc exactement égale à la puissance du primaire. En pratique, ce type de transformateur n'existe pas et il y a perte de puissance à cause du transformateur qui chauffe, de certaines lignes de force magnétique qui ne relient pas les enroulements primaire et secondaire, de la saturation du noyau, de l'hystérésis et des courants de Foucault. La somme de ces pertes correspond simplement à $P_{\text{ENTRÉE}} - P_{\text{SORTIE}}$, puisque cette «puissance perdue» fait partie de la puissance totale fournie par la source.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

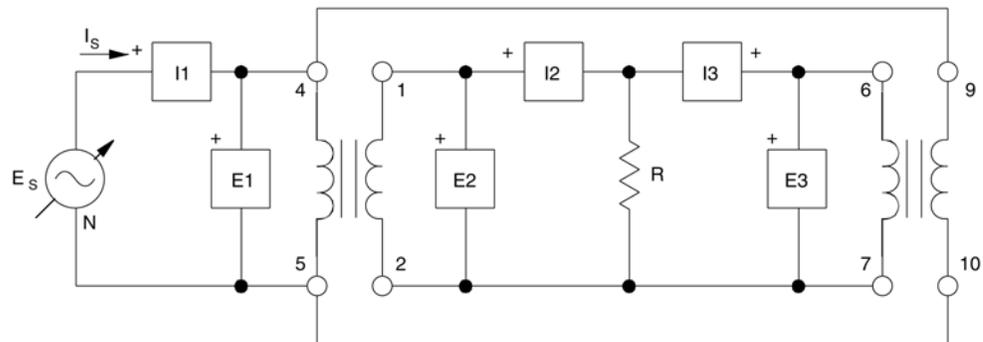
- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive et Transformateur triphasé dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur d'alimentation 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES18-2.dai.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Transformateurs en parallèle

- 5. Montez le circuit de la figure 8-7. Les deux transformateurs de ce circuit sont des sections séparées du module Transformateur triphasé. Au besoin, deux modules Transformateur monophasé peuvent être utilisés, pourvu que les caractéristiques nominales et les polarités de chacun soient respectées.

Remarque : Chaque section du transformateur est raccordée de façon à élever la tension de la source. La charge est raccordée aux bornes des enroulements 1-2 et 6-7, raccordés en parallèle, et la tension de la source est appliquée aux enroulements 4-5 et 9-10, raccordés en parallèle.



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)
120	60	∞
220	110	∞
240	120	∞

Figure 8-7. Transformateurs raccordés en parallèle et rendement

- 6. Utilisez les appareils de mesure E1, E2 et E3 pour mesurer les tensions du primaire et du secondaire, puis raccordez les appareils de mesure I1, I2 et I3 tel qu'indiqué. Pour vous assurer que les raccords en parallèle sont adéquats, vous devez maintenant vérifier qu'aucun courant ne circule dans les enroulements du secondaire lorsque la charge n'est pas raccordée.
- 7. Assurez-vous que tous les interrupteurs du module Charge résistive sont ouverts et mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Tournez lentement le bouton de commande de la tension d'environ 10%, en observant les valeurs indiquées sur les appareils de mesure I2 et I3.

Transformateurs en parallèle

8. Les valeurs mesurées à l'aide des appareils de mesure I2 et I3 confirment-elles qu'aucun courant ne circule dans les enroulements du secondaire des transformateurs raccordés en parallèle?

Oui Non

Remarque : S'il y a circulation d'un courant dans les enroulements du secondaire, cela signifie que les raccords sont inadéquats et qu'ils doivent être vérifiés. Réglez à nouveau le bouton de commande de la tension à zéro, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et vérifiez le câblage.

9. Lorsque les raccords sont adéquats, raccordez à nouveau l'appareil de mesure I2 en série avec R, de façon à mesurer I_{CHARGE} . 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 obtenir la tension E_s indiquée à la figure 8-7. Réglez le module Charge résistive de façon de obtenir la valeur de R indiquée au tableau 8-3. Sélectionnez le fichier de configuration ES18-3.dai.

TENSION DE LIGNE	R
V	Ω
120	200
220	733
240	800

Tableau 8-3. Valeur de la résistance R.

10. Mesurez et notez les valeurs E_{PRI} , E_{CHARGE} , I_{PRI} , I_{CHARGE} , P_{PRI} et P_{CHARGE} ainsi que le rapport P2/P1. Après avoir noté ces valeurs mesurées, mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), sans régler à nouveau le bouton de commande de la tension. Il est à remarquer que le rapport P2/P1 est indiqué sur l'appareil de mesure programmable A.

$$E_{\text{PRI}} = \text{_____ V} \quad E_{\text{CHARGE}} = \text{_____ V}$$

$$I_{\text{PRI}} = \text{_____ A} \quad I_{\text{CHARGE}} = \text{_____ A}$$

$$P_{\text{PRI}} = \text{_____ W} \quad P_{\text{CHARGE}} = \text{_____ W} \quad P2/P1 = \text{_____ \%}$$

Transformateurs en parallèle

11. Calculez $P_{\text{ENTRÉE}}$ et P_{SORTIE} , puis comparez-les aux valeurs P_{PRI} et P_{CHARGE} mesurées. Sont-elles presque identiques?

$$P_{\text{ENTRÉE}} = E_{\text{PRI}} \times I_{\text{PRI}} = \text{_____ W}$$

$$P_{\text{SORTIE}} = E_{\text{CHARGE}} \times I_{\text{CHARGE}} = \text{_____ W}$$

12. Calculez le rendement η du circuit.

$$\text{Rendement } \eta = 100 P_{\text{SORTIE}} / P_{\text{ENTRÉE}} = \text{_____}$$

13. Comparez la valeur η calculée au rapport P2/P1 indiqué sur l'appareil de mesure programmable A. Sont-ils presque identiques?

Oui Non

14. Calculez la «perte de puissance» dans le transformateur.

$$\text{«Perte de puissance»} = P_{\text{ENTRÉE}} - P_{\text{SORTIE}} = \text{_____ W}$$

15. Raccordez l'appareil de mesure I2 comme à la manipulation 6, afin de mesurer le courant du secondaire du premier transformateur. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et assurez-vous que la tension E_s est exactement la même qu'à la manipulation 9.

16. Mesurez et notez les valeurs de P2 et de P3 indiquées sur les appareils de mesure PQS2 et PQS3.

$$P2 = \text{_____ W} \quad P3 = \text{_____ W}$$

17. Calculez la somme de P2 et de P3, et comparez-la à la puissance P_{CHARGE} mesurée à la manipulation 10. Sont-elles presque identiques?

Oui Non

Transformateurs en parallèle

18. Les valeurs mesurées confirment-elles que la puissance de la charge est distribuée de façon égale entre les deux transformateurs?
- Oui Non
19. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez raccordé deux transformateurs en parallèle afin de fournir à une charge une puissance plus élevée que celle que vous pouviez fournir à l'aide d'un seul transformateur. Vous avez vérifié si les raccords étaient adéquats en vous assurant qu'aucun courant ne circulait dans les enroulements du secondaire avant de raccorder la charge. Vous avez également calculé le rendement global des transformateurs raccordés en parallèle et constaté que la puissance de la charge était distribuée de façon égale entre les deux transformateurs.

EXERCICES

1. Le raccord de transformateurs en parallèle est une façon
 - a. de fournir une puissance plus élevée à une charge.
 - b. d'économiser de l'énergie.
 - c. d'augmenter la tension d'une charge.
 - d. de diminuer la puissance d'une charge.
2. Des transformateurs raccordés en parallèle doivent
 - a. posséder des tensions nominales identiques.
 - b. être raccordés selon leurs polarités.
 - c. chacun posséder des caractéristiques nominales permettant l'obtention de la puissance de charge nécessaire.
 - d. a et b.
3. Une charge de 500 VA peut être alimentée à l'aide de transformateurs raccordés en parallèle possédant chacun une tension nominale de
 - a. 500 VA.
 - b. 200 VA.
 - c. 300 VA.
 - d. a et c, mais des transformateurs dont la tension nominale est inférieure peuvent être plus économiques.

Transformateurs en parallèle

4. À vide, lorsqu'il y a circulation d'un courant dans les enroulements secondaires de transformateurs raccordés en parallèle,
 - a. les raccords sont adéquats.
 - b. les enroulements ne sont pas raccordés selon leurs polarités.
 - c. les caractéristiques nominales des enroulements sont identiques.
 - d. les enroulements primaires sont court-circuités.

5. La puissance de charge fournie par deux transformateurs identiques raccordés en parallèle est partagée
 - a. de façon égale entre eux.
 - b. de façon proportionnelle au rapport de leurs enroulements.
 - c. de façon proportionnelle à leurs caractéristiques nominales.
 - d. de façon proportionnelle au rapport de leurs courants.

Transformateurs de distribution

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous vous serez familiarisé avec les concepts de base des transformateurs de distribution. Vous mesurerez les tensions et courants de ligne afin d'observer le comportement d'un transformateur de distribution avec différentes charges.

PRINCIPES

En Amérique du Nord, la majorité des transformateurs de distribution servant à alimenter les bâtiments résidentiels comportent un enroulement primaire à tension élevée. Leur enroulement secondaire fournit une tension de 120 V pour l'éclairage et les petits appareils ménagers ainsi qu'une tension de 240 V pour le chauffage, les cuisinières électriques et les autres charges élevées. Le secondaire peut comporter un seul enroulement à prise médiane ou deux enroulements raccordés en série.

À cause des avantages qu'offre un circuit de distribution à une tension plus élevée tout en permettant le fonctionnement d'appareils à une tension moins élevée, le système de distribution 120/240 V à trois fils a été mis au point. Pour une perte fixe dans la ligne, une tension peut être transmise à l'aide d'un système à trois fils comportant beaucoup moins de cuivre qu'un système 120 V à deux fils. De plus, le système à trois fils comporte l'avantage de fournir deux tensions différentes pour le fonctionnement des appareils électriques.

L'enroulement du secondaire, ou enroulement basse tension, des transformateurs de distribution est habituellement bobiné en deux parties. Lorsque ces deux parties sont raccordées en série, le transformateur peut être utilisé pour alimenter une charge de 240 V sur deux fils. Ce raccord en série peut également servir à alimenter un circuit 120/240 V à trois fils, si l'on raccorde le fil neutre, ou commun, à la borne commune du secondaire. De cette façon, les ampoules et les appareils 120 V peuvent être raccordés entre l'un des fils et le neutre, alors que les charges de 240 V, comme les cuisinières et les chauffages électriques, peuvent être raccordées aux bornes des lignes d'entrée.

Lorsque les charges sont équilibrées de part et d'autre du fil neutre, aucun courant ne circule dans le fil neutre. Cependant, lorsqu'une charge élevée est raccordée entre un fil et le neutre, le neutre porte le courant non équilibré du transformateur vers la charge. Le courant circulant dans le neutre correspond toujours à la différence entre les courants circulant dans les deux lignes. Les charges se trouvant de part et d'autre du neutre doivent donc être le plus équilibrées possible, afin de minimiser le courant circulant dans le neutre.

Si la charge n'est raccordée qu'à un seul côté du système à trois fils, le neutre porte tout le courant de la charge, c'est pourquoi il est du même calibre que les deux fils de ligne. Une ouverture accidentelle du neutre lorsqu'une charge non équilibrée est alimentée déséquilibre grandement les tensions aux bornes des autres charges, ce

Transformateurs de distribution

qui fait que les ampoules éclairent davantage ou faiblissent. Le neutre est donc solidement raccordé entre le transformateur et la charge, et aucun fusible, ni dispositif de protection contre les surintensités de courant, n'est installé sur celui-ci. Pour augmenter la protection contre une éventuelle ouverture du neutre et contre la foudre, ce dernier est raccordé à la terre.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

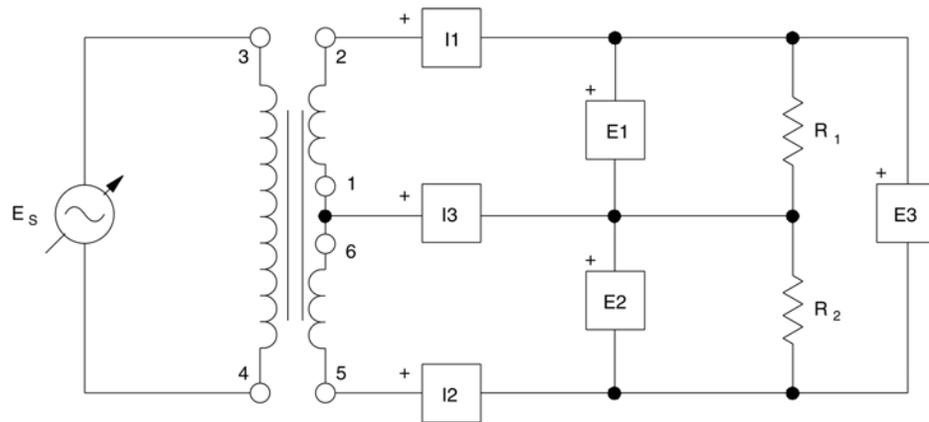
AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive, Charge inductive et Transformateur monophasé dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-N et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur d'alimentation 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES18-3.dai.
- 5. Montez le circuit du transformateur de distribution de la figure 8-8. Il est à remarquer que l'enroulement 3-4 est utilisé comme primaire et qu'il est raccordé aux bornes 4-5 de la sortie c.a. variable du Bloc d'alimentation. Les enroulements 1-2 et 5-6 du transformateur sont raccordés en série, afin d'obtenir une tension élevée entre les bornes 2 et 5. Assurez-vous que tous les interrupteurs des modules Charge résistive et Charge inductive sont ouverts, et raccordez les voltmètres et les ampèremètres comme à la figure 8-8.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Transformateurs de distribution



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
120	208	∞	∞
220	380	∞	∞
240	415	∞	∞

Figure 8-8. Transformateur de distribution avec une charge résistive.

- 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 obtenir la tension E_s indiquée. Sans aucune charge sur le transformateur (tous les interrupteurs des modules de charge ouverts), cliquez sur le bouton *Enregistrer* afin d'entrer les valeurs mesurées dans le *Tableau de données*.
- 7. Réglez le module Charge résistive de façon à obtenir les valeurs de R_1 et R_2 indiquées au tableau 8-4.

TENSION DE LIGNE	R_1	R_2
V	Ω	Ω
120	300	300
220	1 100	1 100
240	1 200	1 200

Tableau 8-4. Valeurs des résistances R_1 et R_2 .

Comme à la manipulation 6, enregistrez les valeurs mesurées dans le circuit. Il est à remarquer que des sections distinctes du module Charge résistive sont utilisées pour R_1 et R_2 .

Transformateurs de distribution

8. Pourquoi le courant circulant dans le neutre et indiqué sur l'appareil de mesure I3 est-il nul?

9. Réglez la résistance R_2 de façon à ce qu'elle soit le double de la résistance R_1 . Enregistrez à nouveau les valeurs mesurées dans le circuit.

10. Le courant circulant dans le neutre et indiqué sur l'appareil de mesure I3 est-il égal à la différence entre les valeurs mesurées à l'aide des appareils de mesure I1 et I2?

Oui Non

11. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et débranchez le neutre raccordant le transformateur au circuit de la charge. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et assurez-vous que la tension E_s est la même qu'à la manipulation 6. Comme précédemment, utilisez le bouton *Enregistrer* pour entrer les valeurs mesurées.

12. Quelle différence observez-vous relativement aux tensions de charge?

13. Si les résistances de charge étaient des ampoules incandescentes, qu'est ce que l'on remarquerait lors de ce déséquilibre?

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt). Retirez la résistance R_2 du circuit de la figure 8-8 et remplacez-la par une réactance inductive X_L . Reconnectez la ligne neutre entre le transformateur et le circuit de charge (via I3). Réglez R_1 et X_L aux valeurs indiquées au tableau 8-5.

Transformateurs de distribution

TENSION DE LIGNE	R_1	X_L
V	Ω	Ω
120	400	400
220	1 467	1 467
240	1 600	1 600

Tableau 8-5. Valeurs de la résistance R_1 et de la réactance inductive X_L .

15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Assurez-vous que la tension E_s est la même qu'auparavant et cliquez sur le bouton *Enregistrer* pour entrer les valeurs mesurées dans le *Tableau de données*.
16. Quelle différence observez-vous relativement aux tensions de charge?
-
17. Le courant circulant dans le neutre et indiqué sur l'appareil de mesure I3 est-il égal à la différence entre les valeurs mesurées à l'aide des appareils I1 et I2?
- Oui Non
18. Expliquez pourquoi votre réponse à la manipulation 17 est différente de celle à la manipulation 10.
-
19. Cliquez sur le bouton *Tableau de données* et relisez les valeurs mesurées. Concordent-elles avec l'information théorique présentée à la section PRINCIPES?
- Oui Non

Remarque : *En observant les valeurs mesurées, il devrait paraître évident que le courant circulant dans le neutre correspond à la différence vectorielle entre I1 et I2. Lorsque ces courants sont en phase, comme c'est le cas pour des résistances de charge égale, cette différence correspond à la différence algébrique.*

Transformateurs de distribution

- 20. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez monté le circuit d'un transformateur de distribution et observé son comportement avec différentes charges. Vous avez constaté qu'il est possible d'alimenter des charges à tensions élevée et basse à l'aide d'un transformateur de distribution et, qu'avec une charge équilibrée, le courant circulant dans le neutre est nul.

EXERCICES

1. Un transformateur de distribution 120/240 V peut alimenter
 - a. des charges à différentes tensions.
 - b. des charges à une seule tension.
 - c. des charges résistives seulement.
 - d. des charges inférieures à 1000 VA.

2. Un transformateur de distribution 120/240 V nécessite
 - a. trois fils au primaire.
 - b. deux fils au secondaire.
 - c. deux fils et un neutre au secondaire.
 - d. quatre fils pour chaque secondaire de 120 V.

3. Le courant circulant dans le neutre d'un transformateur de distribution
 - a. n'est pas important.
 - b. est nul lorsque les charges sont bien équilibrées.
 - c. est égal à la différence entre les courants de ligne.
 - d. b et c.

4. Le neutre d'un système de distribution à trois fils
 - a. est du même calibre que les lignes.
 - b. est d'un calibre inférieur à celui des lignes.
 - c. est d'un calibre supérieur à celui des lignes.
 - d. doit être d'un calibre supérieur à celui des lignes.

Transformateurs de distribution

5. Les disjoncteurs et les fusibles
 - a. sont toujours raccordés au neutre.
 - b. ne sont jamais raccordés au neutre.
 - c. ne sont pas utiles dans un système à trois fils.
 - d. ne peuvent que servir de protection contre la foudre.

Questions récapitulatives

1. Un transformateur ne comportant qu'un seul enroulement qui sert de primaire et de secondaire
 - a. est un transformateur de distribution.
 - b. est un autotransformateur.
 - c. est un transformateur à deux enroulements.
 - d. est un transformateur de courant.

2. La puissance apparente nominale d'un autotransformateur détermine
 - a. la puissance de son secondaire.
 - b. le courant minimal pouvant circuler dans son enroulement.
 - c. la puissance maximale disponible pour une charge.
 - d. a et c.

3. Quelle est la tension du primaire d'un autotransformateur dont la tension à la prise médiane du secondaire est 100 V?
 - a. 100 V
 - b. 200 V
 - c. 300 V
 - d. 50 V

4. Des transformateurs raccordés en parallèle peuvent fournir une puissance de charge supérieure lorsqu'ils sont
 - a. raccordés de façon à ce que leurs tensions s'opposent.
 - b. raccordés de façon à ce que leurs tensions s'additionnent.
 - c. raccordés selon les polarités appropriées.
 - d. raccordés en parallèle de façon appropriée.

5. Deux transformateurs de 300 VA raccordés en parallèle peuvent fournir une charge maximale de
 - a. 150 VA.
 - b. 300 VA.
 - c. 450 VA.
 - d. 600 VA.

6. Lorsque deux transformateurs sont raccordés en parallèle, pour s'assurer que les raccords sont adéquats, on mesure le courant du secondaire
 - a. à la moitié de la charge et à tension réduite au primaire.
 - b. à pleine charge et à tension réduite au primaire.
 - c. à vide et à tension réduite au primaire.
 - d. à vide et à pleine tension au primaire.

Questions récapitulatives (suite)

7. Deux transformateurs de puissances apparentes nominales différentes, raccordés en parallèle, peuvent fournir une charge maximale
 - a. deux fois supérieure à la tension nominale la plus élevée des deux.
 - b. égale à la moitié de la somme de leurs tensions nominales respectives.
 - c. égale à deux fois la plus faible de leurs tensions nominales respectives.
 - d. égale à la somme de leurs tensions nominales respectives.

8. Un transformateur de distribution est utilisé pour alimenter
 - a. des charges à tension élevée seulement.
 - b. des charges à tension basse seulement.
 - c. des charges à tensions basse et élevée.
 - d. tout type de charges à quatre fils.

9. Si le courant circulant dans le neutre d'un système de distribution 120/240 V est nul,
 - a. il y a quelque chose qui ne va pas.
 - b. les charges raccordées à ce système sont équilibrées.
 - c. les courants de ligne sont déphasés.
 - d. le neutre est court-circuité à la terre.

10. Le neutre d'un système de distribution à trois fils
 - a. n'est jamais raccordé à la terre.
 - b. n'est jamais raccordé à des disjoncteurs ou à des fusibles.
 - c. est toujours raccordé à un dispositif de protection.
 - d. ne porte jamais de courant.

Transformateurs triphasés

OBJECTIF

À la fin de ce bloc, vous vous serez familiarisé avec les caractéristiques de fonctionnement des transformateurs triphasés. Vous serez en mesure de raccorder en étoile et en triangle les enroulements d'un transformateur et de vérifier s'ils sont raccordés dans la relation de phase appropriée. Les tensions et courants mesurés seront utilisés pour étudier le transformateur ainsi que ses caractéristiques de fonctionnement.

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Bon nombre des principes utilisés dans ce bloc ont été vus au Bloc 6. Il peut s'avérer utile d'en revoir le contenu, afin de s'assurer une meilleure compréhension de la matière présentée ici. Les principales caractéristiques qu'il est important de se souvenir à propos des circuits triphasés sont les suivantes. D'abord, il y a deux sortes de raccordements: en étoile et en triangle. Ensuite, selon la configuration, la tension ou le courant de ligne est supérieur(e) d'un facteur $\sqrt{3}$ à la tension ou au courant de phase.

Un **transformateur triphasé** peut être fait d'un seul dispositif ou de trois dispositifs monophasés. Les enroulements de son primaire et de son secondaire peuvent être raccordés en étoile ou en triangle pour donner quatre types de raccordements: **triangle-triangle**, **étoile-étoile**, **triangle-étoile** et **étoile-triangle**. Habituellement, la tension triphasée est de 208 V (380 V ou 415 V dans certains pays) et une tension monophasée standard de 120 V peut être générée à partir de cette tension de ligne, comme le montre la figure 9-1. Le secondaire, raccordé en étoile, génère une tension 120 / 208 V triphasée à l'aide de 4 fils, tel qu'illustré. Le primaire du transformateur peut être raccordé en triangle, comme dans la figure, ou en étoile. L'un des grands avantages de l'utilisation d'une configuration en triangle au primaire est que seulement trois fils sont nécessaires à la distribution des trois phases.

L'un des avantages du raccordement triangle-triangle est que deux transformateurs peuvent fonctionner dans la configuration que l'on appelle **triangle ouvert**, ou en «V», si l'un des trois est endommagé ou hors service. Le groupe de transformateurs en triangle ouvert génère alors des tensions et courants dans les phases appropriées, mais sa capacité est réduite à 57,7% ($1/\sqrt{3}$) de la capacité totale nominale disponible lorsque les trois transformateurs sont en fonction.

Transformateurs triphasés

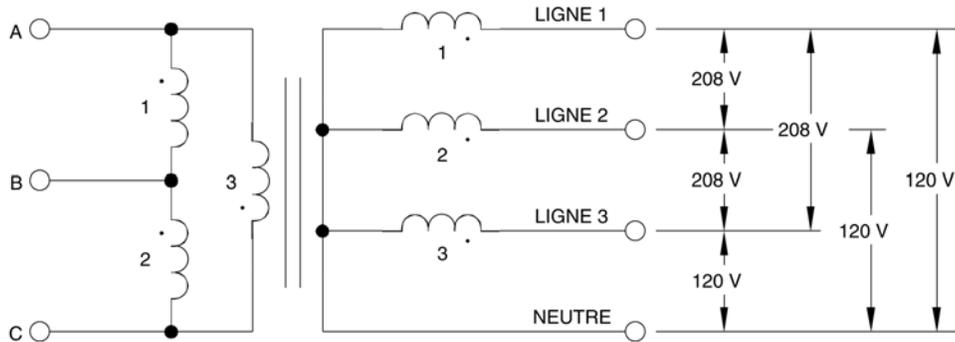


Figure 9-1. Alimentation commerciale triphasée de 120 / 208 V.

Dans la configuration étoile-étoile, seulement 57,7% de la tension de ligne est appliquée à chaque enroulement, mais tout le courant de ligne circule dans chaque enroulement du transformateur. Cette configuration est rarement utilisée. La configuration triangle-étoile est bien adaptée à l'élévation de tensions, puisque, dans cette configuration, la tension du secondaire est $\sqrt{3}$ fois supérieure au rapport des enroulements. Au contraire, la configuration étoile-triangle peut être utilisée pour abaisser les tensions d'un facteur $\sqrt{3}$. Des quatre types de configurations, la configuration triangle-étoile est la plus utilisée, bien que la configuration triangle ouvert soit parfois utilisée dans les urgences et les cas particuliers.

Indépendamment de la façon dont les enroulements d'un transformateur triphasé sont raccordés, on doit prendre des précautions afin de s'assurer que les secondaires soient raccordés dans la phase appropriée. Dans le cas d'une configuration en étoile, cela signifie que la tension mesurée aux bornes de deux enroulements secondaires doit être $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de phase aux bornes de l'un des enroulements, sans quoi les raccords doivent être inversés avant de poursuivre.

Dans la configuration en triangle, la tension mesurée entre les extrémités des deux enroulements secondaires raccordés en série doit être égale à la tension aux bornes de chacun des enroulements, sans quoi les raccords doivent être inversés. Lorsque le troisième enroulement est raccordé, la tension mesurée aux bornes des trois enroulements raccordés en série **doit être nulle** avant qu'on ne les raccorde l'un à l'autre pour fermer le triangle.

Il est extrêmement important de vérifier si la tension à l'intérieur du triangle est nulle avant de fermer le triangle, sans quoi le courant résultant sera très élevé et les enroulements seront endommagés.

Raccordement de transformateurs triphasés

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de raccorder des transformateurs triphasés en triangle et en étoile. Vous allez mesurer les tensions des enroulements, afin de vérifier si les enroulements secondaires sont raccordés dans la phase appropriée, et vous allez vérifier si la tension à l'intérieur d'un triangle est nulle avant de le fermer.

PRINCIPES

Tel que mentionné précédemment, il existe quatre façons de raccorder des transformateurs pour former un groupe de transformateurs triphasés, c'est-à-dire les configurations: triangle-triangle, étoile-étoile, triangle-étoile et étoile-triangle, illustrées aux figures 9-2 et 9-3. Comme nous l'avons vu dans le Bloc 6, pour obtenir une configuration en étoile, il faut d'abord raccorder trois composants en un point commun, que l'on raccorde au neutre, puis raccorder l'autre borne de chacun des composants à l'un des trois fils d'alimentation c.a. Pour obtenir une configuration en triangle, il faut d'abord raccorder le premier composant en série avec le second et le second en série avec le troisième, puis le troisième en série avec le premier, afin de fermer le triangle. Les trois fils d'alimentation c.a. sont ensuite raccordés séparément à chacun des noeuds du triangle.

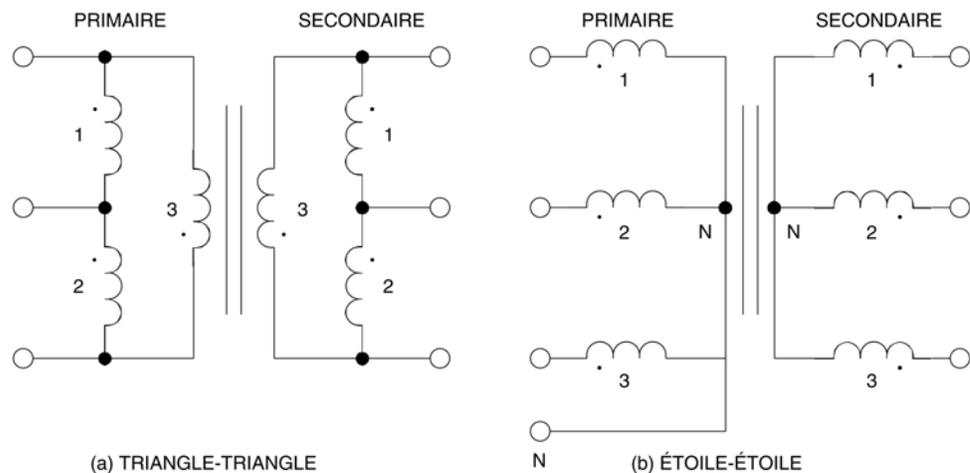


Figure 9-2. Configurations triangle-triangle et étoile-étoile.

Raccordement de transformateurs triphasés

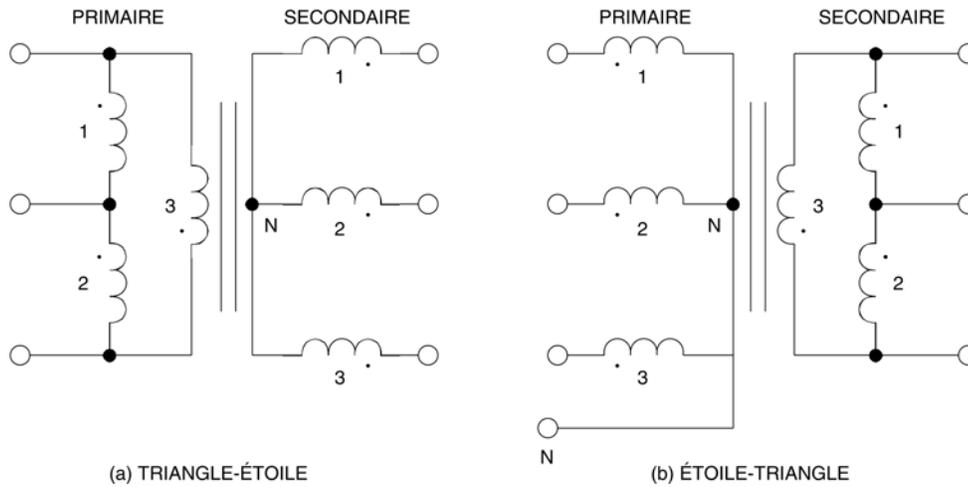


Figure 9-3. Configurations triangle-étoile et étoile-triangle.

Avant la mise en service d'un transformateur triphasé, ses relations de phase doivent être vérifiées. Dans le cas d'une configuration en étoile, les tensions E_{AB} , E_{BC} et E_{CA} du secondaire doivent être $\sqrt{3}$ fois supérieures aux tensions de phase E_{AN} , E_{BN} et E_{CN} , sans quoi les raccords des enroulements doivent être inversés. Dans la configuration en étoile, pour vérifier si les relations de phase sont adéquates, on doit mesurer la tension entre les deux enroulements, tel qu'indiqué à la figure 9-4, afin de vérifier si elle est $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension ligne à neutre aux bornes de chacun des enroulements. On mesure ensuite la tension entre le troisième enroulement et les autres, afin de vérifier si elle est $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de phase.

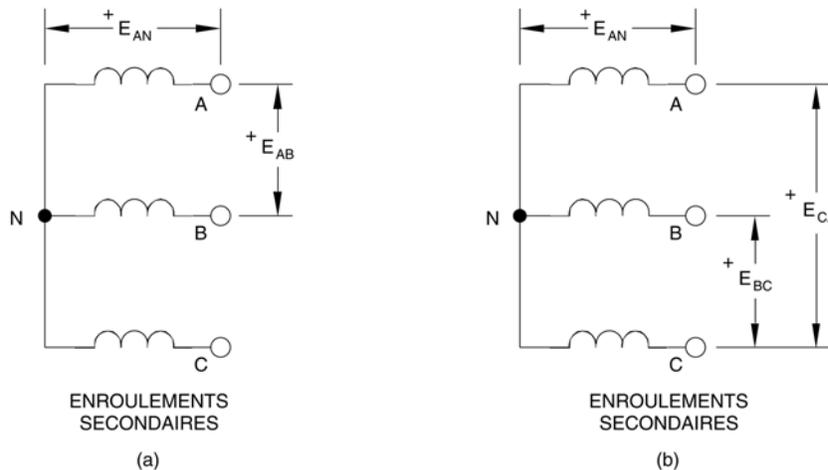


Figure 9-4. Vérification des relations de phase dans un secondaire raccordé en étoile.

Raccordement de transformateurs triphasés

Dans la configuration en triangle, les tensions E_{AB} , E_{BC} et E_{CA} du secondaire doivent être égales, sans quoi les raccords des enroulements doivent être inversés. Dans une configuration en triangle, pour vérifier si les phases sont adéquates, on mesure la tension aux bornes de deux enroulements raccordés en série, comme à la figure 9-5, afin de vérifier si elle est égale à la tension de ligne aux bornes de chacun des enroulements. Le troisième enroulement est ensuite raccordé en série et la tension aux bornes des trois enroulements raccordés en série est mesurée, afin de vérifier si elle est nulle avant la fermeture du triangle. **Cela est extrêmement important dans le cas d'une configuration en triangle, car il y aura circulation d'un courant de court-circuit très élevé si la tension à l'intérieur du triangle n'est pas nulle lors de sa fermeture.**

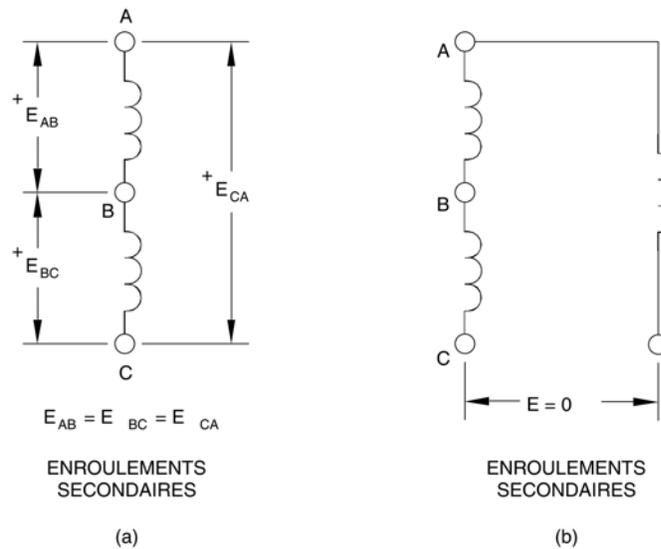


Figure 9-5. Vérification servant à déterminer si la tension à l'intérieur du triangle est nulle.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, et Transformateur triphasé dans le Poste de travail EMS.

Raccordement de transformateurs triphasés

- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-5 et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur d'alimentation 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES19-1.dai.
- 5. Raccordez le module Transformateur triphasé dans la configuration triangle-triangle illustrée à la figure 9-6.

ATTENTION!

Ne fermez pas le triangle du secondaire du transformateur avant que les tensions ne soient vérifiées.

- 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 obtenir la tension E_s indiquée à la figure 9-6. Utilisez l'appareil de mesure E1 pour mesurer les tensions des enroulements et notez les valeurs mesurées. Lorsque les valeurs mesurées sont enregistrées, tournez le bouton de commande de la tension vers la gauche, jusqu'au bout, puis mettez l'interrupteur principal du Bloc l'alimentation à la position O (arrêt).

$$E_{1-2} = \text{_____} \text{ V} \quad E_{1-7} = \text{_____} \text{ V} \quad E_{1-12} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{3-5} = \text{_____} \text{ V} \quad E_{3-10} = \text{_____} \text{ V} \quad E_{3-15} = \text{_____} \text{ V}$$

- 7. Les valeurs mesurées confirment-elles que les enroulements du secondaire sont raccordés dans la phase appropriée?

Oui Non

Raccordement de transformateurs triphasés

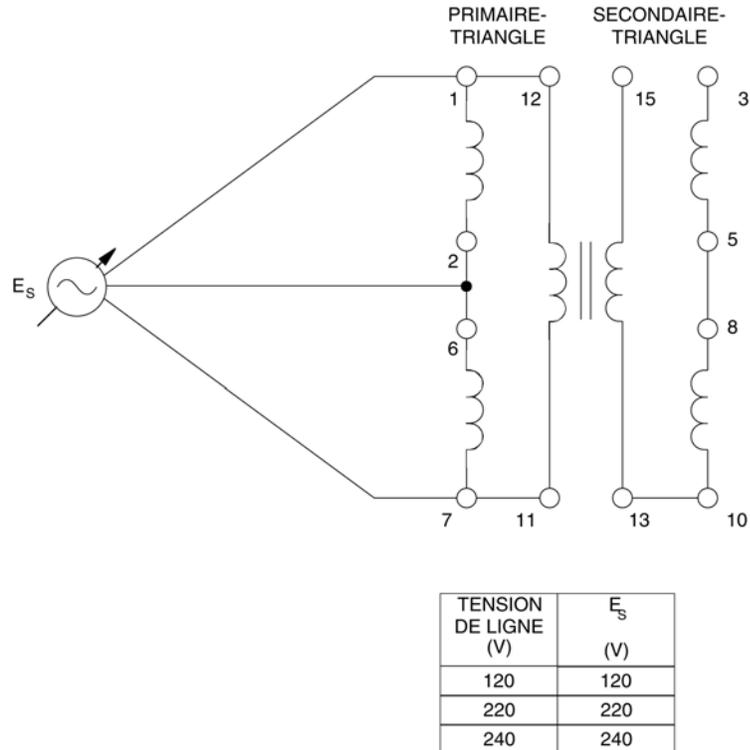


Figure 9-6. Transformateur triphasé raccordé en triangle-triangle.

8. Les tensions à l'intérieur du triangle du secondaire sont-elles égales à zéro, indiquant que l'on peut fermer le triangle en toute sécurité?
- Oui Non

Remarque : La tension E_{3-15} n'est pas exactement égale à zéro volt à cause des petits déséquilibres des tensions de ligne triphasées. Si elle est de plus de 5 V, les raccords des enroulements doivent être vérifiés attentivement.

9. Lorsque vous avez vérifié si les raccords des enroulements sont adéquats, fermez le triangle du secondaire du transformateur. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de ligne du secondaire. 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 obtenir la tension E_s utilisée à la manipulation 6. Il est à remarquer que le transformateur est raccordé selon le rapport 1:1, de façon à ce que les tensions du primaire et du secondaire soient égales.

Raccordement de transformateurs triphasés

10. La somme des trois tensions de ligne indiquée sur l'appareil de mesure programmable A est-elle presque égale à zéro?
- Oui Non
11. Observez les vecteurs de phase des tensions sur l'*Analyseur de vecteurs de phase*. Leur affichage confirme-t-il qu'ils sont égaux et déphasés de 120° ?
- Oui Non
12. Raccordez l'appareil de mesure E2 de façon à mesurer la tension de ligne E_{1-2} du primaire et comparez-en le vecteur de phase à celui de la tension E_{3-5} du secondaire. L'affichage sur l'*Analyseur de vecteurs de phase* montre-t-il que les tensions sont égales et en phase à une petite différence près, à cause de la réactance du transformateur?
- Oui Non
13. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et raccordez le module Transformateur triphasé dans la configuration étoile-étoile, comme à la figure 9-7.

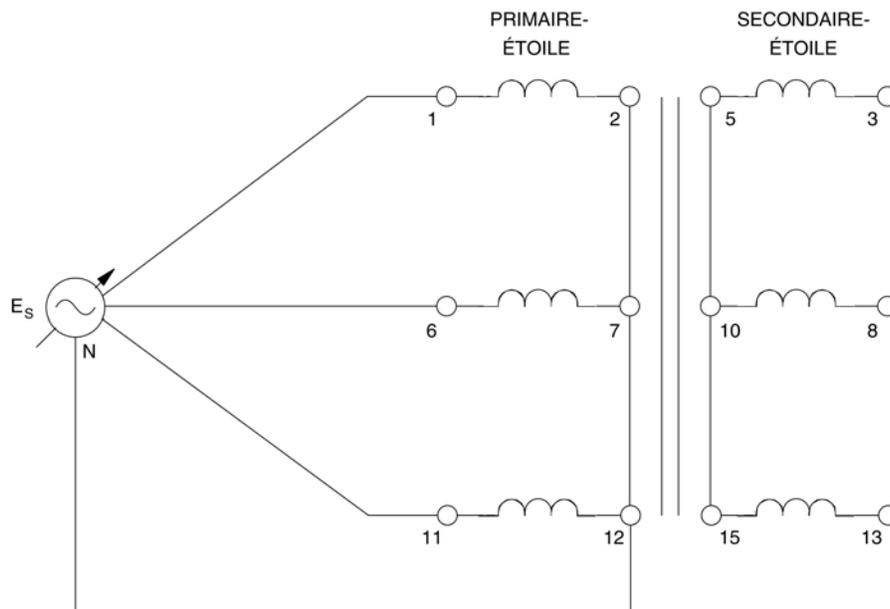


Figure 9-7. Transformateur triphasé raccordé en étoile-étoile.

Raccordement de transformateurs triphasés

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à la tension E_s utilisée à la manipulation 6. Utilisez l'appareil de mesure E1 pour mesurer les tensions des enroulements et notez les valeurs mesurées. Après avoir noté ces valeurs mesurées, 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).

$$E_{1-6} = \text{_____} V \quad E_{1-11} = \text{_____} V \quad E_{6-11} = \text{_____} V$$

$$E_{1-2} = \text{_____} V \quad E_{6-7} = \text{_____} V \quad E_{11-12} = \text{_____} V$$

$$E_{3-8} = \text{_____} V \quad E_{3-13} = \text{_____} V \quad E_{8-13} = \text{_____} V$$

$$E_{3-5} = \text{_____} V \quad E_{8-10} = \text{_____} V \quad E_{13-15} = \text{_____} V$$

15. Les valeurs mesurées confirment-elles que les enroulements du secondaire sont raccordés dans la phase appropriée?

Oui Non

16. Les tensions ligne à ligne du primaire et du secondaire du transformateur sont-elles $\sqrt{3}$ fois supérieures aux tensions ligne à neutre?

Oui Non

17. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de phase E_{3-5} , E_{8-10} et E_{13-15} du secondaire. Mettez le circuit sous tension et réglez la tension E_s aux environs de la valeur utilisée précédemment.

18. La somme des tensions triphasées indiquée sur l'appareil de mesure programmable A est-elle presque égale à zéro?

Oui Non

19. Observez les vecteurs de phase des tensions sur l'*Analyseur de vecteurs de phase*. Leur affichage confirme-t-il qu'ils sont égaux et qu'il y a un déphasage de 120° entre chacun d'eux?

Oui Non

Raccordement de transformateurs triphasés

20. Raccordez l'appareil de mesure E2 de façon à mesurer la tension de phase E_{1-2} du primaire et comparez-en le vecteur de phase à celui de la tension E_{3-5} du secondaire. L'affichage sur l'*Analyseur de vecteurs de phase* montre-t-il que ces tensions sont égales et en phase à une petite différence près, à cause de la réactance du transformateur?
- Oui Non
21. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez raccordé les enroulements d'un transformateur dans les configurations triphasées triangle-triangle et étoile-étoile, et mesuré les tensions des enroulements afin de vous assurer que les enroulements du secondaire étaient raccordés dans les relations de phase appropriées. Vous avez vérifié que la tension à l'intérieur d'un triangle était nulle avant sa fermeture et que les configurations triangle-triangle et étoile-étoile ne produisaient aucun déphasage entre les tensions d'entrée du primaire et les tensions de sortie du secondaire.

EXERCICES

- Pourquoi est-il extrêmement important de vérifier si la tension du triangle est égale à zéro avant de le fermer?
 - Pour s'assurer que la tension du secondaire ne devienne pas trop élevée.
 - Pour éviter les dommages dus à un courant élevé.
 - Pour éviter le court-circuitage de l'enroulement du primaire.
 - Pour maintenir la tension du secondaire à un niveau constant.
- Dans la configuration triangle-triangle, la tension de ligne du secondaire est
 - la même que celle du primaire.
 - $\sqrt{3}$ fois celle du primaire.
 - égale à la tension du primaire multipliée par le rapport des enroulements.
 - $1/\sqrt{3}$ fois la tension du primaire.
- Dans la configuration étoile-étoile, la tension aux bornes des deux enroulements doit être
 - égale à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - $\sqrt{3}$ fois la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - inférieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.

Raccordement de transformateurs triphasés

4. Dans la configuration triangle-triangle, la tension aux bornes des deux enroulements doit être
 - a. égale à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - b. $\sqrt{3}$ fois la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - c. inférieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - d. $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.

5. Un transformateur triphasé peut être
 - a. un seul dispositif comportant trois jeux d'enroulements triphasés séparés.
 - b. trois transformateurs monophasés raccordés ensemble.
 - c. un seul dispositif comportant un enroulement primaire et trois enroulements secondaires.
 - d. a ou b.

Rapport de tensions et de courants

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous vous serez familiarisé avec les rapports de tensions et de courants des transformateurs triphasés raccordés dans les configurations triangle-étoile et étoile-triangle. Les tensions primaires et secondaires mesurées vous démontreront que ces configurations créent un déphasage entre les tensions d'entrée et les tensions de sortie.

PRINCIPES

Comme vous l'avez vu au cours de l'expérience précédente, les tensions primaires et secondaires des configurations triangle-triangle et étoile-étoile sont en phase, et leur rapport est égal au rapport des enroulements. Cependant, dans les configurations triangle-étoile et étoile-triangle, il y a un déphasage de 30° entre la tension du primaire et la tension du secondaire. Aussi, le rapport des enroulements est augmenté ou diminué d'un facteur $\sqrt{3}$, c'est-à-dire d'un facteur supplémentaire entre le primaire et le secondaire. La configuration triangle-étoile est donc bien adaptée à l'élévation de tensions par un facteur $\sqrt{3}$ et la configuration étoile-triangle sert à abaisser les tensions par ce même facteur.

Le déphasage de 30° entre le primaire et le secondaire ne crée pas de problème au niveau des groupes de charges isolés raccordés aux lignes de sortie du secondaire. Cependant, si les lignes de sortie du transformateur triphasé doivent être raccordées en parallèle avec celles d'une autre source, il se peut que le déphasage rende impossible un tel raccord parallèle, même si les tensions de ligne sont identiques. Souvenez-vous que pour que des circuits et des sources triphasés soient raccordés en parallèle, les tensions de ligne doivent être égales, doivent posséder la même séquence de phase et doivent être en phase lors du raccordement en parallèle. La figure 9-8 montre un circuit à configuration triangle-étoile alimentant une charge triphasée.

La tension aux bornes de chaque enroulement primaire E_{PRI} est égale à la tension de ligne entrante, mais la tension de ligne sortante E_{SEC} est $\sqrt{3}$ fois la tension aux bornes de chaque enroulement du secondaire. Il est à remarquer que si le rapport d'élévation du transformateur triphasé était de 10, la tension de ligne du secondaire serait $10 \times \sqrt{3}$, car le rapport des enroulements est multiplié par le facteur $\sqrt{3}$. Le courant de ligne du secondaire est égal au courant de phase, mais le courant de ligne du primaire est $\sqrt{3}$ fois plus élevé que le courant de phase correspondant.

Rapport de tensions et de courants

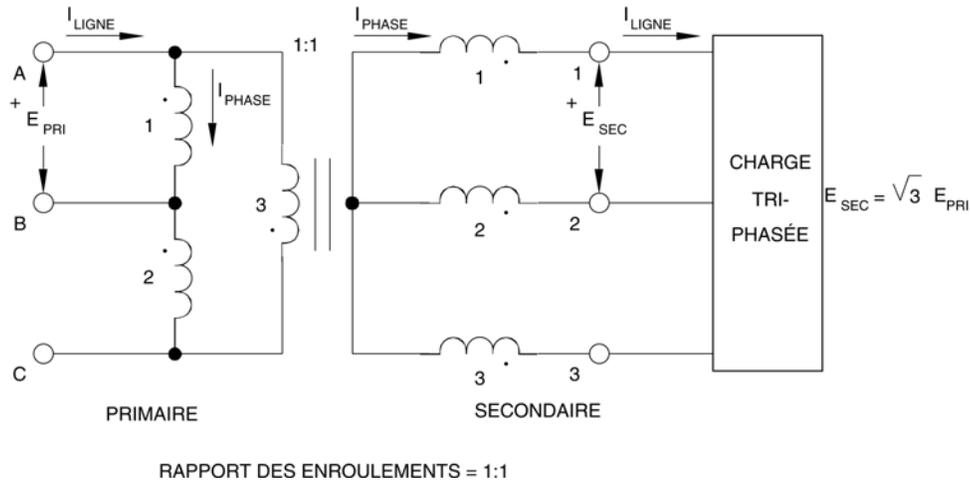


Figure 9-8. Configuration triphasée triangle-étoile.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive et Transformateur triphasé dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-5 et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur principal 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez l'installation du fichier de configuration CES19-2.dai.

Rapport de tensions et de courants

5. Raccordez le module Transformateur triphasé dans la configuration étoile-triangle illustrée à la figure 9-9. Assurez-vous que la tension à l'intérieur du triangle est nulle avant de le fermer.

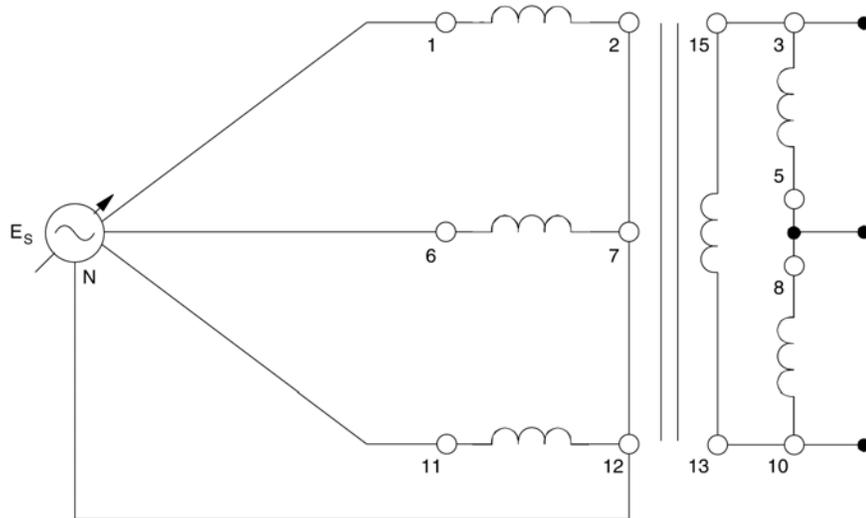


Figure 9-9. Transformateur triphasé raccordé dans la configuration étoile-triangle.

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 obtenir la tension E_s indiquée à la figure 9-9. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de ligne du primaire et notez les valeurs mesurées. Notez également la valeur moyenne de la tension de ligne indiquée sur l'appareil de mesure programmable B.

$$E_{1-6} = \text{_____ V} \quad E_{1-11} = \text{_____ V} \quad E_{6-11} = \text{_____ V}$$

$$\text{MOY. (E1, E2, E3)} = \text{_____ V}$$

7. La somme des trois tensions de ligne indiquée sur l'appareil de mesure programmable A est-elle presque égale à zéro?
- Oui Non

Rapport de tensions et de courants

8. Observez les vecteurs de phase des tensions sur l'*Analyseur de vecteurs de phase*. Sont-ils presque égaux et déphasés de 120°?

Oui Non

9. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de ligne du secondaire et notez les valeurs mesurées ainsi que la valeur moyenne.

$$E_{3-5} = \text{_____ V} \quad E_{8-10} = \text{_____ V} \quad E_{13-15} = \text{_____ V}$$

$$\text{MOY. (E1, E2, E3)} = \text{_____ V}$$

10. L'appareil de mesure programmable A montre-t-il que la somme des trois tensions de ligne est presque nulle?

Oui Non

11. Observez les vecteurs de phase des tensions sur l'*Analyseur de vecteurs de phase*. Leur affichage confirme-t-il qu'ils sont égaux et qu'il y a un déphasage de 120° entre eux?

Oui Non

12. Raccordez l'appareil de mesure E2 de façon à mesurer la tension de ligne E_{1-6} du primaire et comparez-en le vecteur de phase à celui de la tension E_{3-5} du secondaire. L'affichage sur l'*Analyseur de vecteurs de phase* confirme-t-il qu'il existe un déphasage d'environ 30° entre eux?

Oui Non

13. À l'aide des valeurs notées aux manipulations 6 et 9, calculez le rapport $\text{MOY. } E_{\text{SEC}} / \text{MOY. } E_{\text{PRI}}$. Est-il presque égal à $1/\sqrt{3}$?

Oui Non

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et raccordez le module Transformateur triphasé dans la configuration triangle-étoile, comme à la figure 9-10. Réglez le module Charge résistive

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

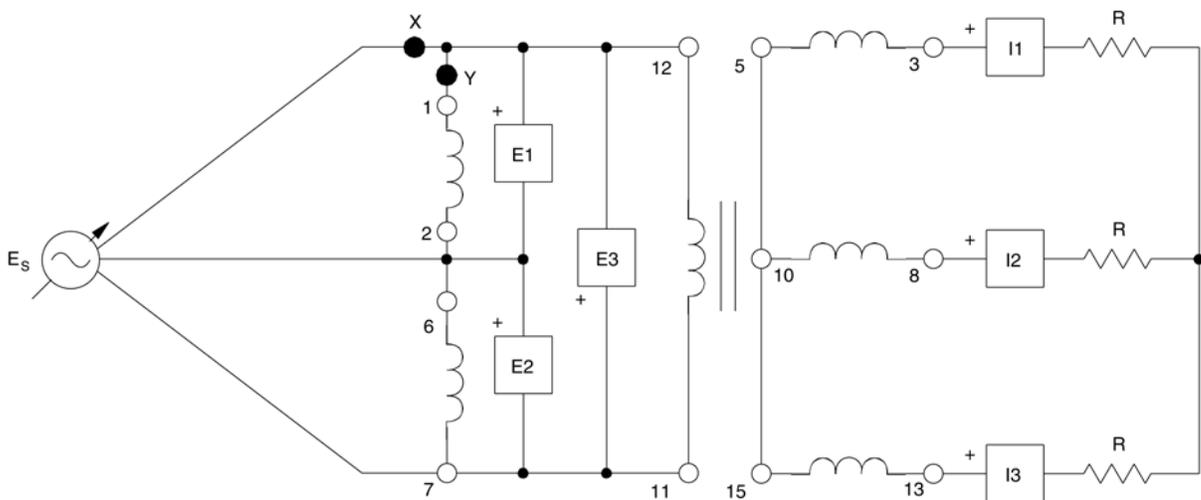
Rapport de tensions et de courants

aux valeurs R indiquées et raccordez les appareils de mesure I1, I2 et I3 de façon à mesurer les trois courants de ligne de la charge.

15. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de ligne du primaire, 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 obtenir la tension E_s indiquée. Notez les tensions de ligne ainsi que leur valeur moyenne.

$$E_{1-2} = \text{_____ V} \quad E_{6-7} = \text{_____ V} \quad E_{11-12} = \text{_____ V}$$

$$\text{MOY. (E1, E2, E3)} = \text{_____ V}$$



TENSION DE LIGNE (V)	E_s (V)	R (Ω)
120	70	300
220	125	1100
240	220	1200

Figure 9-10. Transformateur triphasé raccordé dans la configuration triangle-étoile.

16. Observez les vecteurs de phase des tensions et des courants sur l'Analyseur de vecteurs de phase. Leur affichage confirme-t-il que les vecteurs des tensions et des courants sont en phase?

Oui Non

17. Raccordez les appareils de mesure E1, E2 et E3 de façon à mesurer les tensions de ligne E_{3-8} , E_{8-13} et E_{3-13} du secondaire. L'affichage sur l'Analyseur de vecteurs de phase montre-t-il que les vecteurs de phase des tensions sont en avance de 30° sur les vecteurs de phase des courants?

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Rapport de tensions et de courants

Remarque : *Puisque les courants du secondaire sont en phase avec les tensions du primaire, l'affichage sur l'Analyseur de vecteurs de phase correspond à l'observation simultanée de tous les vecteurs de phase des tensions, si l'on ne tient pas compte de la différence d'échelle entre les paramètres.*

18. Retournez au menu *Appareils de mesure* et enregistrez les tensions de ligne mesurées au secondaire ainsi que leur valeur moyenne.

$$E_{3-8} = \text{_____} \text{ V} \quad E_{8-13} = \text{_____} \text{ V} \quad E_{3-13} = \text{_____} \text{ V}$$

$$\text{MOY. (E1, E2, E3)} = \text{_____} \text{ V}$$

19. À l'aide des valeurs notées aux manipulations 16 et 19, calculez le rapport $\text{MOY. } E_{\text{SEC}} / \text{MOY. } E_{\text{PRI}}$. Est-il presque égal à $\sqrt{3}$?

Oui Non

20. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et raccordez les appareils de mesure I1 et I2 de façon à mesurer les courants de ligne et de phase du primaire de la configuration triangle-étoile en ouvrant le circuit aux points X et Y, comme à la figure 9-10. N'oubliez pas de raccorder les résistances de charge au secondaire lorsque les appareils de mesure I1 et I2 sont débranchés.

21. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et calculez le rapport $I_{\text{LIGNE}} / I_{\text{PHASE}}$ du primaire. Est-il presque égal à $\sqrt{3}$?

Oui Non

22. Le courant de ligne du primaire est-il presque égal au courant de ligne du secondaire?

Oui Non

23. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Rapport de tensions et de courants

CONCLUSION

Vous avez raccordé un transformateur triphasé 1:1 dans les configurations étoile-triangle et triangle-étoile. Vous avez constaté que la tension entre le primaire et le secondaire augmente ou diminue d'un facteur $\sqrt{3}$ additionnel. Vous avez également vérifié si les tensions de ligne sortantes du secondaire étaient déphasées de 30° par rapport aux tensions de ligne entrantes du primaire.

EXERCICES

1. Les configurations triangle-étoile et étoile-triangle génèrent toutes deux
 - a. une augmentation des tensions et courants du secondaire.
 - b. une diminution des tensions et courants du secondaire.
 - c. un déphasage entre les tensions de ligne entrantes et sortantes.
 - d. une augmentation additionnelle d'un facteur $\sqrt{3}$ des tensions et courants du secondaire.
2. La tension de ligne du secondaire d'un transformateur 10:1 raccordé en étoile-triangle est
 - a. $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension de son primaire.
 - b. $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de son primaire.
 - c. $10\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension de son primaire.
 - d. $10\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension de son primaire.
3. La tension du secondaire d'un transformateur raccordé en triangle-étoile
 - a. est supérieure à celle d'un transformateur raccordé en étoile-triangle.
 - b. est inférieure à celle d'un transformateur raccordé en étoile-triangle.
 - c. est identique à celle d'un transformateur raccordé en étoile-triangle.
 - d. ne dépend que du rapport de ses enroulements.
4. La somme des tensions de phase de transformateurs raccordés en étoile et en triangle
 - a. dépend de la configuration.
 - b. est nulle lorsque les transformateurs sont raccordés adéquatement.
 - c. est égale à $\sqrt{3}$ fois le rapport des enroulements.
 - d. ne peut être déterminée que lorsqu'une charge est raccordée au secondaire.

Rapport de tensions et de courants

5. Avant la mise en service d'un transformateur triphasé,
 - a. la séquence de phase des lignes entrantes doit être vérifiée.
 - b. les raccords des enroulements doivent être vérifiés afin de respecter les polarités.
 - c. la charge doit être équilibrée.
 - d. le déphasage doit être mesuré.

Configuration en triangle ouvert

OBJECTIF

À la fin de cette expérience, vous serez en mesure de raccorder deux transformateurs dans la configuration triangle ouvert pour alimenter une charge triphasée équilibrée. Vous serez également en mesure de démontrer que la puissance de charge maximale d'un circuit en triangle ouvert est égale à 57,7% ($1/\sqrt{3}$) de la capacité d'une configuration triangle-triangle normale.

PRINCIPES

La configuration en triangle ouvert permet d'alimenter des charges triphasées équilibrées à l'aide de deux transformateurs seulement. Cette configuration est utile si la puissance de la charge n'est pas trop élevée ou lorsque l'un des trois transformateurs doit être mis hors service parce qu'il est endommagé, ou pour toute autre raison. La chose la plus importante à remarquer est que la capacité de puissance de la configuration en triangle ouvert est de 57,7% de la capacité totale d'une configuration triangle-triangle normale, ou 86,6% de la capacité des deux autres transformateurs. La raison en est fort simple et la figure 9-11 sera utilisée pour en illustrer l'explication.

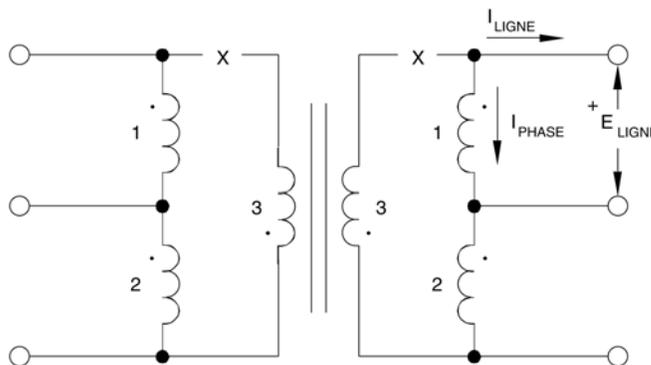


Figure 9-11. Configuration en triangle ouvert.

Dans une configuration en triangle standard, le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois supérieur au courant circulant dans l'enroulement de phase. Lorsque l'un des transformateurs est absent, tout le courant de ligne circule dans les enroulements de phase, puisque dans la configuration en triangle ouvert, le courant de ligne et le courant de phase sont les mêmes. Une importante augmentation de courant fait surchauffer les enroulements de phase et endommage le transformateur, à moins que la puissance de la charge ne soit réduite. Le courant de ligne doit donc être réduit d'un facteur $\sqrt{3}$, ce qui signifie que la puissance de la charge d'un circuit en triangle ouvert se limite à 57,7% de la capacité d'un circuit triangle-triangle normal. Souvenez-vous que la

Configuration en triangle ouvert

puissance est le produit de la tension par le courant. L'exemple suivant illustre le calcul de la puissance maximale. Lorsque trois transformateurs de 50 kVA sont raccordés en triangle, il est évident que la capacité totale du groupe correspond à la somme des tensions de chacun, soit 150 kVA. Pour deux transformateurs raccordés en triangle ouvert, $150/\sqrt{3} = 86,6$ kVA, ce qui est équivalent à 86,6% de la capacité totale des deux transformateurs ($0,866 \times 100 = 86,6$ kVA). Mathématiquement, cela peut être démontré si on se souvient que $(3S)(1/\sqrt{3}) = (2S)(\sqrt{3}/2)$, où S est la capacité d'un seul transformateur.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

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

MANIPULATIONS

AVERTISSEMENT!

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!

- 1. Montez les modules Bloc d'alimentation, Interface d'acquisition de données, Charge résistive et Transformateur triphasé dans le Poste de travail EMS.
- 2. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est réglé à la position O (arrêt) et que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout. Réglez le sélecteur du voltmètre à la position 4-5 et raccordez le Bloc d'alimentation à une prise murale triphasée.
- 3. Assurez-vous que l'entrée ALIMENTATION BASSE PUISSANCE de l'I.A.D. est raccordée au Bloc d'alimentation, que l'interrupteur 24 V CA est à la position I (marche) et que le câble port USB de l'ordinateur est raccordé à l'I.A.D.
- 4. Mettez l'ordinateur sous tension et affichez le menu *Appareils de mesure*. Choisissez Installation du fichier de configuration ES19-3.dai.
- 5. Raccordez le module Transformateur triphasé dans la configuration triangle-triangle, comme à la figure 9-12. Fermez les triangles aux bornes 7 et 11 (point X) du primaire et, ensuite, aux bornes 10 et 13 (point Y) du secondaire, puis utilisez des fils séparés pour les raccorder. Raccordez les appareils de mesure E1 et I1 au primaire et les appareils de mesure E2, E3, I2 et I3 au secondaire, tel qu'illustré. Assurez-vous que le courant circulant dans le triangle du secondaire est nul avant d'appliquer toute la tension au circuit.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Configuration en triangle ouvert

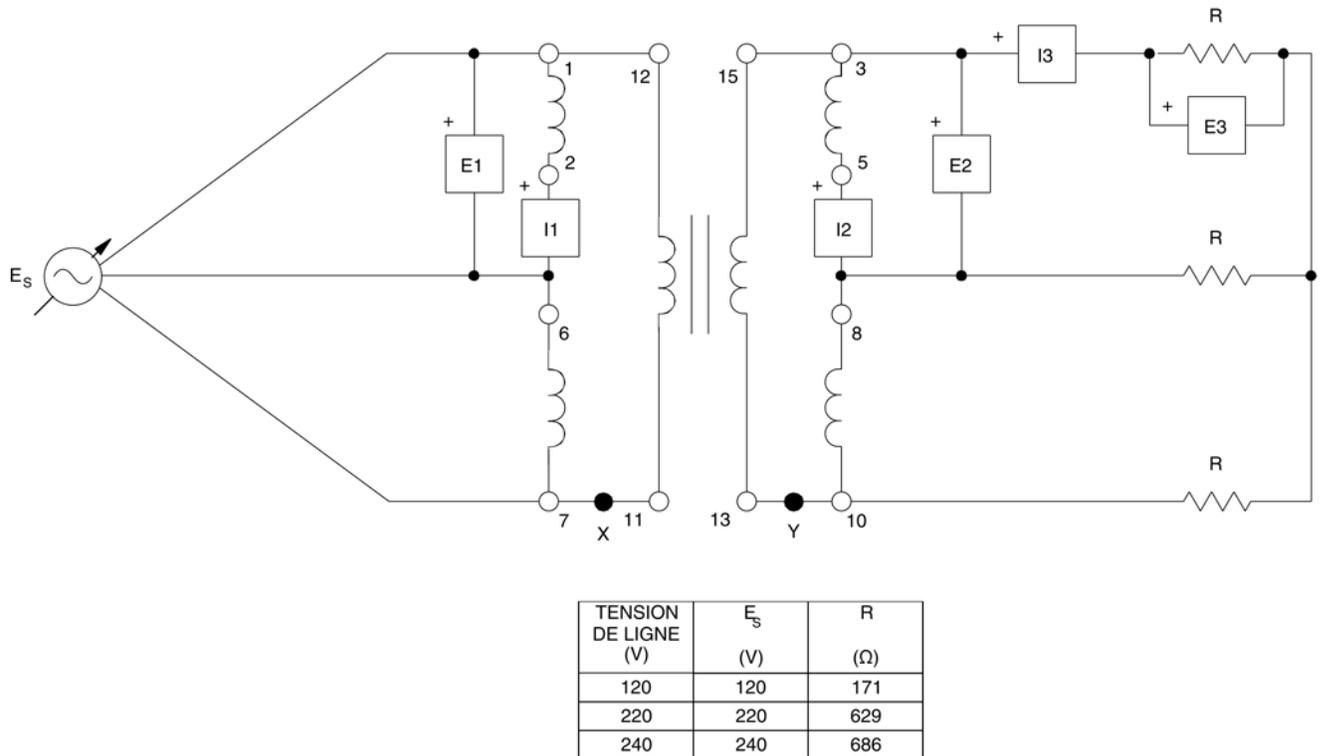


Figure 9-12. Exemple de configuration en triangle ouvert.

6. Raccordez le module Charge résistive tel qu'illustré et réglez la résistance R aux valeurs indiquées en plaçant tous les interrupteurs à la position I (marche). Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche) et réglez le bouton de commande de la tension à la tension E_s indiquée à la figure 9-12. Notez les valeurs de ligne et de phase (enroulement) indiquées sur les appareils de mesure.

$$E1 = \text{_____ V} \quad E2 = \text{_____ V} \quad E3 = \text{_____ V}$$

$$I1 = \text{_____ A} \quad I2 = \text{_____ A} \quad I3 = \text{_____ A}$$

$$S1 = \text{_____ VA} \quad S2 = \text{_____ VA} \quad S3 = \text{_____ VA}$$

7. Les appareils de mesure indiquent-ils que les tensions de ligne du primaire et du secondaire sont égales ($E1$, $E2$), et que le courant des enroulements du primaire est égal à celui circulant des les enroulements du secondaire ($I1$, $I2$)?

Oui Non

Configuration en triangle ouvert

8. Le courant de ligne de la charge, indiqué sur l'appareil de mesure I3, est-il presque $\sqrt{3}$ fois supérieur au courant de phase I2 de l'enroulement du secondaire?

Oui Non

Remarque : Vérifiez également si la tension de charge indiquée sur l'appareil de mesure E3 est $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension de ligne E2 du secondaire.

9. Ouvrez avec précaution le triangle du primaire au point X en débranchant le fil raccordé à la borne 11 du primaire et observez la variation des courants de ligne et de phase. Faites attention lorsque vous ouvrez le triangle, car le fil porte une tension élevée.

10. Les courants de phase (I1, I2) du primaire et du secondaire ainsi que les valeurs de S1 et de S2 augmentent-ils beaucoup?

Oui Non

11. Cette augmentation est-elle presque égale à $\sqrt{3}$?

Oui Non

12. Dans la configuration en triangle ouvert, le courant de phase du secondaire est-il égal au courant de ligne de la charge?

Oui Non

13. Fermez le triangle au point X et ouvrez le secondaire au point Y en débranchant le fil raccordé à la borne 13. Encore une fois, faites attention lors de l'ouverture du circuit. Les résultats observés sont-ils les mêmes qu'au cours des manipulations précédentes?

Oui Non

14. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt), sans réglez à nouveau le bouton de commande de la tension. Débranchez les fils reliant les bornes 7 et 11 du primaire et les bornes 10 et 13 du secondaire.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Configuration en triangle ouvert

15. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche). Puisque la puissance de la charge n'a pas changé, le courant des enroulements primaire et secondaire est-il toujours aussi élevé?

Oui Non

16. De combien la résistance de la charge doit-elle augmenter pour abaisser le courant des enroulements à la valeur mesurée à la manipulation 6? Il est à remarquer que l'augmentation de la résistance de charge abaisse le courant circulant dans la charge et, donc, la puissance de la charge.
-

17. Réglez les résistances de charge de façon à obtenir le courant d'enroulement mesuré à la manipulation 6. Quelle valeur obtenez-vous?
-

Remarque : *Initialement, le module Charge résistive était réglé de façon à ce que les trois résistances soient en parallèle et produisent une résistance équivalente de $171\ \Omega$ (629 ou 686 pour les autres tensions de ligne). Comme vous l'avez observé, la sélection de la plus petite valeur sur le module produit une résistance de charge augmentée d'un facteur $\sqrt{3}$. Le courant de l'enroulement est réduit de ce même facteur et il devrait être égal à son ancienne valeur.*

18. Notez la puissance apparente indiquée sur les appareils de mesure PQS1 et PQS3.

S1 = _____ VA S3 = _____ VA

19. La puissance apparente S3 est-elle presque de 57,7% inférieure à celle mesurée à la manipulation 6, confirmant ainsi que la puissance de la charge doit être réduite pour éviter un dépassement du courant nominal des enroulements du transformateur?

Oui Non

20. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position O (arrêt) et raccordez à nouveau les triangles aux bornes 7 et 11 ainsi qu'aux bornes 10 et 13. Raccordez les appareils de mesure E1, E2, E3, I1, I2 et I3 de façon à mesurer les tensions de ligne et les courants de ligne du secondaire.

Configuration en triangle ouvert

- 21. Mettez l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation à la position I (marche), puis utilisez l'Analyseur de vecteurs de phase pour observer les vecteurs de phase des tensions et des courants. Ouvrez à nouveau les triangles du primaire, puis ceux du secondaire, dans la même séquence qu'aux manipulations 9 à 13.

- 22. L'affichage sur l'Analyseur de vecteurs de phase confirme-t-il que les tensions et courants de charge triphasés ne varient pas?
 - Oui
 - Non

- 23. Assurez-vous que l'interrupteur principal du Bloc d'alimentation est à la position O (arrêt), que le bouton de commande de la tension est tourné vers la gauche, jusqu'au bout, et débranchez tous les fils et câbles.

CONCLUSION

Vous avez monté un transformateur à configuration en triangle ouvert et observé qu'il générerait des tensions et courants triphasés dans les relations de phase appropriées. Vous avez également démontré que la puissance de la charge devait être réduite de 57,7% ($1/\sqrt{3}$) pour éviter un dépassement du courant nominal des enroulements de phase.

EXERCICES

1. Une configuration en triangle ouvert
 - a. peut générer la même puissance de charge qu'une configuration triangle-triangle.
 - b. ne peut générer que 57,7% de la puissance générée par une configuration triangle-triangle.
 - c. ne peut générer que 86,6% de la puissance générée par une configuration triangle-triangle.
 - d. ne peut générer que 67% de la puissance générée par deux transformateurs.

2. Dans une configuration triangle-triangle, qu'arrive-t-il au courant des enroulements si l'un des transformateurs est débranché de la ligne?
 - a. Rien.
 - b. Il diminue.
 - c. Il augmente de 33,3%.
 - d. Il augmente à environ 1,73 fois sa valeur.

Configuration en triangle ouvert

3. Le principal avantage de la configuration en triangle ouvert
 - a. est qu'il permet l'alimentation de charges triphasées équilibrées, mais à puissance réduite.
 - b. est que seulement deux transformateurs sont nécessaires pour fournir la même puissance.
 - c. est qu'elle est plus facile à comprendre.
 - d. est que les tensions de ligne aux bornes de ses enroulements sont réduites de $\sqrt{3}$.

4. Une charge raccordée en étoile est alimentée dans une configuration en triangle ouvert. Les tensions aux bornes de chacune des branches de la charge sont
 - a. $\sqrt{3}$ fois supérieures à celles obtenues avec une configuration triangle-triangle.
 - b. $\sqrt{3}$ fois inférieures à celles obtenues avec une configuration triangle-triangle.
 - c. identiques à celles obtenues avec une configuration triangle-triangle.
 - d. identiques à celles obtenues avec une configuration étoile-triangle.

5. Deux transformateurs monophasés 7200 V : 1000 V de 100 kVA sont raccordés en triangle ouvert pour alimenter une charge triphasée. La puissance de charge maximale pouvant être fournie est
 - a. 100 kVA.
 - b. 200 kVA.
 - c. 300 kVA.
 - d. 173 kVA.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Questions récapitulatives

1. Pour que la tension de ligne du secondaire de la configuration triangle-étoile de la figure 9-1 soit de 208 V, la tension de ligne de son primaire doit être
 - a. 208 V.
 - b. 120 V.
 - c. 360 V.
 - d. 328 V.
2. Quel est l'élément le plus important à vérifier d'un transformateur triphasé raccordé en triangle?
 - a. Si la tension de son secondaire est nulle lorsque son primaire est débranché.
 - b. Si les fils de phase sont bien raccordés.
 - c. Si la tension à l'intérieur du triangle est égale à zéro avant qu'il ne soit fermé.
 - d. Si la tension de son primaire est appropriée.
3. Dans la configuration triangle-étoile, la tension de ligne du secondaire est
 - a. identique à la tension du primaire.
 - b. $\sqrt{3}$ fois la tension du primaire multipliée par le rapport des enroulements.
 - c. égale à la tension du primaire multipliée par le rapport des enroulements.
 - d. $1/\sqrt{3}$ fois la tension du primaire.
4. Dans une configuration étoile-triangle, la tension aux bornes des enroulements du secondaire doit être
 - a. égale à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - b. $\sqrt{3}$ fois supérieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - c. inférieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.
 - d. $\sqrt{3}$ fois inférieure à la tension aux bornes de chaque enroulement.
5. Quelle sera la tension de ligne du secondaire d'un transformateur raccordé en triangle-étoile dont le rapport des enroulements est 1:5 si une tension de 1000 V est appliquée à son primaire?
 - a. 8650 V
 - b. 5000 V
 - c. 1000 V
 - d. 200 V
6. Triangle-triangle, triangle-étoile, étoile-étoile et étoile-triangle sont
 - a. différents types de circuits monophasés.
 - b. différentes façons de raccorder des transformateurs triphasés.
 - c. différents types de circuits de mesure de phase.
 - d. a et b.

Questions récapitulatives (suite)

7. Une configuration triangle-triangle peut fournir
- trois fois plus de puissance de charge qu'une configuration en triangle ouvert.
 - $\sqrt{3}$ fois plus de puissance de charge qu'une configuration en triangle ouvert.
 - une puissance 86,6% plus élevée qu'une configuration en triangle ouvert.
 - une puissance 57,7% plus élevée qu'une configuration en triangle ouvert.
8. L'un des principaux avantages d'un primaire raccordé en triangle est
- le fait qu'il permet d'alimenter des charges triphasées équilibrées, mais à puissance réduite.
 - que seulement trois fils sont nécessaires pour distribuer les phases.
 - que le courant du fil neutre est minimisé.
 - que la tension de ligne aux bornes des enroulements est la même.
9. Une charge raccordée en triangle est alimentée à l'aide d'un transformateur en triangle ouvert. Les tensions aux bornes de chacune des branches de la charge sont
- $\sqrt{3}$ fois supérieures à celles d'un transformateur raccordé en triangle-triangle.
 - $\sqrt{3}$ fois inférieures à celles d'un transformateur raccordé en triangle-triangle.
 - identiques à celles d'un transformateur raccordé en triangle-triangle.
 - identiques à celles d'un transformateur raccordé en étoile-triangle.
10. Deux transformateurs monophasés 750 V : 175 V de 50 kVA sont raccordés en triangle ouvert pour alimenter une charge triphasée. La puissance maximale fournie à la charge est de
- 57,7 kVA.
 - 86,6 kVA.
 - 100 kVA.
 - 173 kVA.

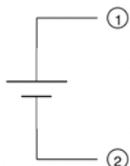
Symboles des schémas électriques

Introduction

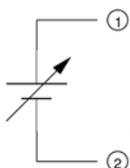
Différents symboles sont utilisés dans les nombreux schémas électriques des PRINCIPES et des MANIPULATIONS de ce manuel. Chaque symbole est une représentation fonctionnelle d'un élément utilisé en électrotechnique. Différents symboles représentent par exemple une alimentation c.a. monophasée à tension variable, un transformateur triphasé triangle-étoile 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 à l'aide de l'acquisition de données 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

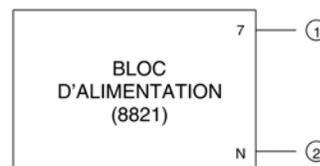
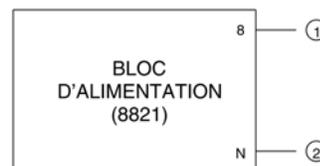


ALIMENTATION C.C.
À TENSION FIXE

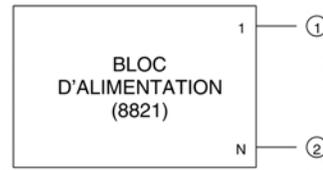
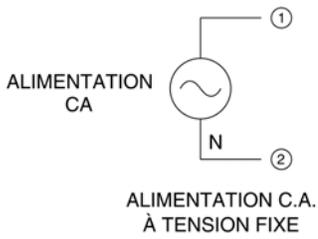


ALIMENTATION C.C.
À TENSION VARIABLE

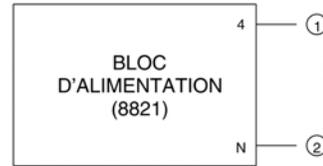
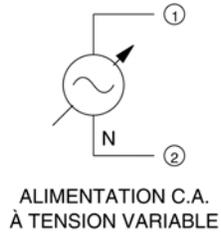
ÉQUIPEMENT ET CONNEXIONS



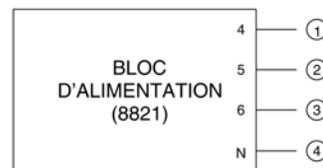
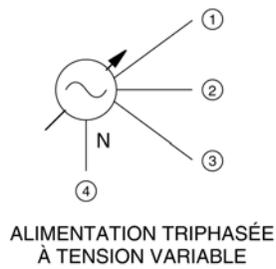
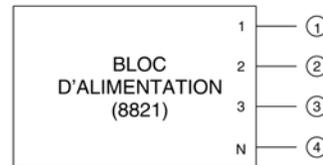
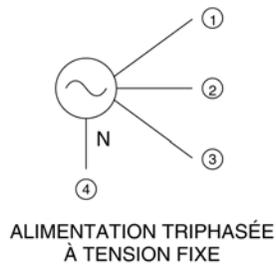
Symboles des schémas électriques (suite)



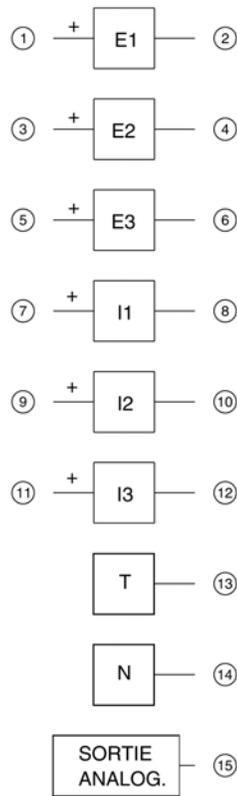
* Remarque: La borne 2 ou 3 peut aussi être utilisée.



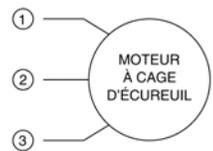
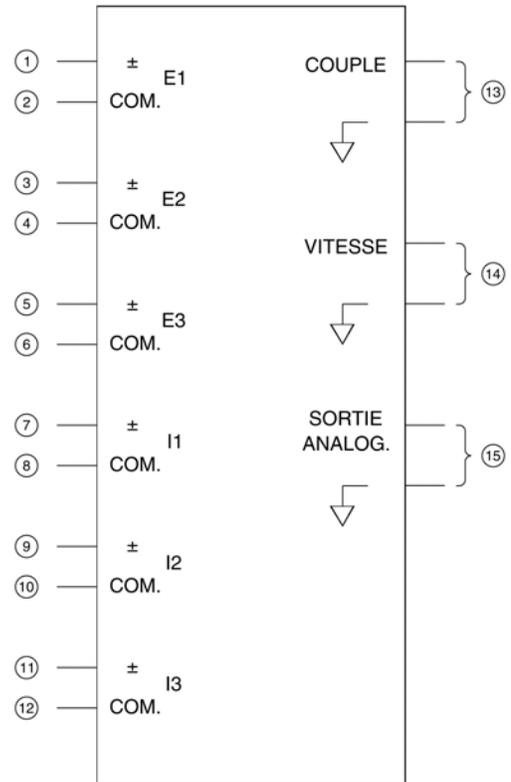
* Remarque: La borne 5 ou 6 peut aussi être utilisée.



Symboles des schémas électriques (suite)

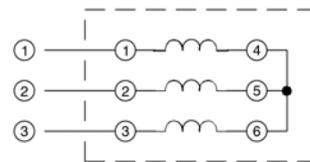


INTERFACE D'ACQUISITION DE DONNÉES
(9061 OU 9062)



MOTEUR À
CAGE D'ÉCUREUIL

MOTEUR À CAGE
À 4 PÔLES
(8221)



Symboles des schémas électriques (suite)

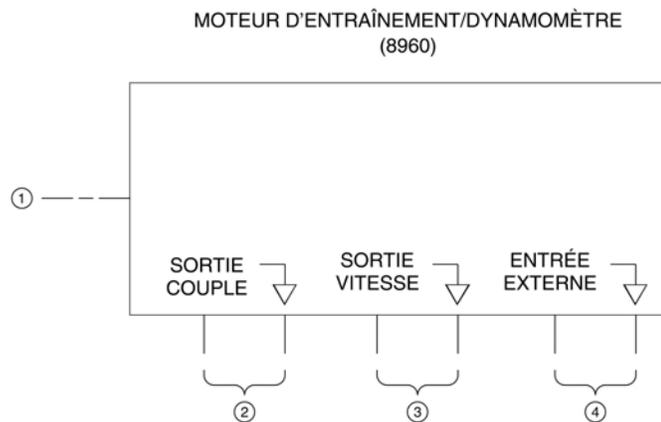
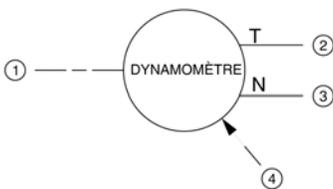
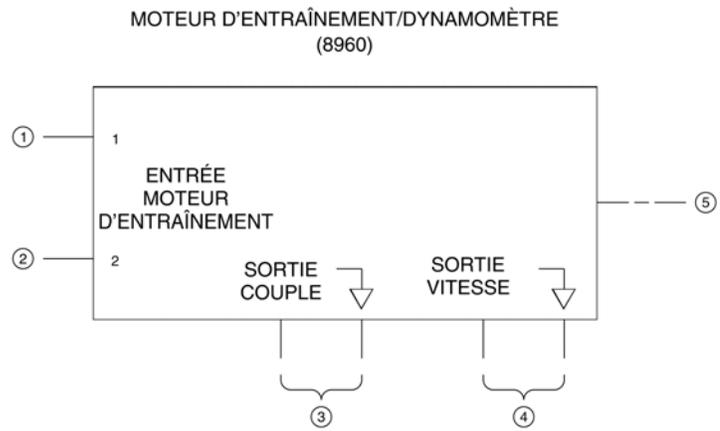
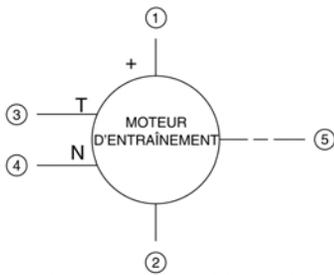
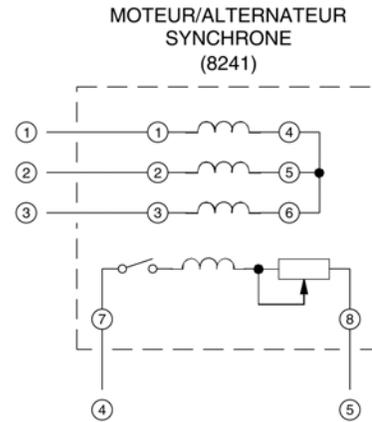
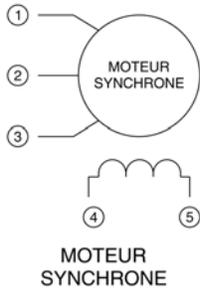


Tableau des impédances des modules de charge

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 (Ω)			POSITIONS DES COMMULATEURS DES ÉLÉMENTS DE CHARGE								
120 V 60 Hz	220 V 50 Hz	240 V 50Hz	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 (suite)

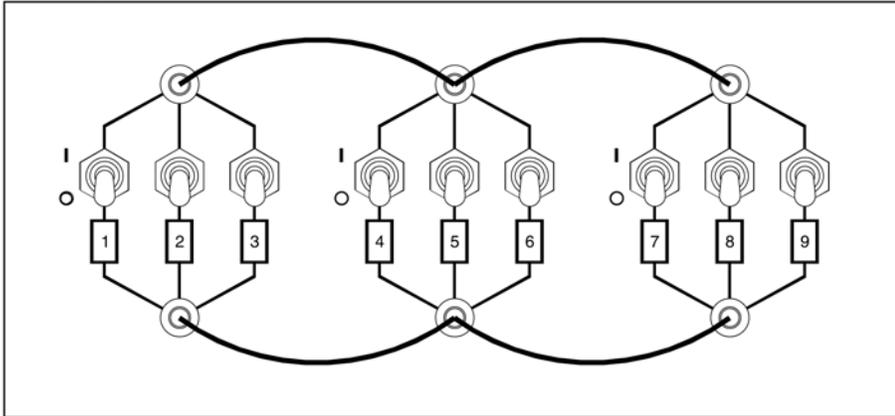


Figure B-1. Emplacement des éléments de charge.

Tableau des impédances des modules de charge (suite)

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 COMMULATEURS 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									
1,60	7,00	7,60									
0,80	3,50	3,80									
1,07	4,67	5,08									
0,64	2,80	3,04									
0,53	2,33	2,53									
0,46	2,00	2,17									
0,40	1,75	1,90									
0,36	1,56	1,69									
0,32	1,40	1,52									
0,29	1,27	1,38									
0,27	1,17	1,27									
0,25	1,08	1,17									
0,23	1,00	1,09									
0,21	0,93	1,01									
0,20	0,88	0,95									
0,19	0,82	0,89									
0,18	0,78	0,85									
0,17	0,74	0,80									
0,16	0,70	0,76									
0,15	0,67	0,72									

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.

ÉQUIPEMENT		EXPÉRIENCE									
MODÈLE	DESCRIPTION	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
8134	Poste de travail EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8311	Charge résistive	1	1	1	1	1		1			
8321	Charge inductive										
8331	Charge capacitive								1	1	1
8341	Transformateur monophasé										
8348	Transformateur triphasé										
8621	Module de synchronisation										
8821-2X	Bloc d'alimentation	1	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
9062	Interface d'acquisition de données	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ÉQUIPEMENT		EXPÉRIENCE									
MODÈLE	DESCRIPTION	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3	5-4	6-1	6-2	6-3
8134	Poste de travail EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8311	Charge résistive				1	1	1	1	1	1	1
8321	Charge inductive	1	1	1	1	1	1	1			1
8331	Charge capacitive				1	1	1	1		1	1
8341	Transformateur monophasé										
8348	Transformateur triphasé										
8621	Module de synchronisation										1
8821-2X	Bloc d'alimentation	1	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
9062	Interface d'acquisition de données	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau d'utilisation de l'équipement (suite)

ÉQUIPEMENT		EXPÉRIENCE								
MODÈLE	DESCRIPTION	7-1	7-2	7-3	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	9-3
8134	Poste de travail EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8311	Charge résistive			1	1	1	1		1	1
8321	Charge inductive			1			1			
8331	Charge capacitive			1						
8341	Transformateur monophasé	1	1	1	1		1			
8348	Transformateur triphasé					1		1	1	1
8621	Module de synchronisation									
8821-2X	Bloc d'alimentation	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8951	Câbles de raccord et accessoires	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9062	Interface d'acquisition de données	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Équipement additionnel

La réalisation des expériences de ce manuel nécessite un ordinateur IBM® 486 fonctionnant sous Windows.

Terminologie nouvelle

Addition des tensions – Technique consistant à raccorder les enroulements d'un transformateur de façon à ce que les tensions de ces enroulements s'additionnent. Lorsque cette technique est utilisée, une borne marquée du transformateur est raccordée en série avec une borne non marquée. Cela ressemble au raccord de piles c.c. en série, c'est-à-dire que la borne positive de l'une des piles est raccordée à la borne négative de l'autre.

Amplitude crête-à-crête – Amplitude entre les crêtes positive et négative d'un signal c.a. Si l'amplitude crête est E, l'amplitude crête-à-crête est 2E.

Autotransformateur – Type de transformateur à un seul enroulement. Cet unique enroulement sert de primaire et de secondaire. Parce qu'il ne comporte qu'un seul enroulement, l'autotransformateur ne permet aucune isolation entre le circuit raccordé au primaire et celui raccordé au secondaire.

Capacité (C) – Propriété d'un condensateur lui permettant d'emmagasiner de l'énergie dans le champ électrique créé entre ses plaques lorsqu'une tension est appliquée aux bornes de celles-ci. La capacité s'oppose aux variations de tension dans un circuit électrique.

Circuit parallèle – Circuit électrique dans lequel le courant de la source circule dans plus d'une branche.

Circuit série – Circuit électrique dans lequel le courant de la source circule dans une seule branche.

Circuit triphasé équilibré – Circuit c.a. triphasé comportant des impédances équivalentes dans chacune de ses trois branches. Les tensions triphasées qui alimentent le circuit sont d'amplitudes égales, mais elles sont déphasées de 120° entre elles.

Correction du facteur de puissance – Ajout d'une réactance à un circuit c.a. de façon à réduire la consommation de puissance apparente de sa source c.a. Cela provoque une augmentation, ou amélioration, du rapport de la puissance active sur la puissance apparente.

Couplage magnétique – Procédé par lequel des circuits physiquement séparés sont raccordés par des lignes de force magnétique. Le couplage magnétique permet un transfert d'énergie entre le primaire et le secondaire d'un transformateur.

Courant – Circulation de l'électricité dans un conducteur. Il est mesuré en ampères.

Courant alternatif (c.a.) – Courant dont le sens de circulation est périodiquement inversé et qui passe d'une valeur positive maximale (+E) à une valeur négative maximale (-E).

Terminologie nouvelle (suite)

Courant de ligne – Courant mesuré sur une ligne d'un bloc d'alimentation triphasé. Normalement, avec une charge équilibrée raccordée en triangle, le courant de ligne est $\sqrt{3}$ fois plus élevé que le courant de phase.

Courant de phase – Courant mesuré dans l'une des phases d'un bloc d'alimentation triphasé. Normalement, avec une charge équilibrée raccordée en triangle, le courant de phase est $\sqrt{3}$ fois plus faible que le courant de ligne.

Courant d'excitation – Courant circulant dans l'enroulement du primaire et nécessaire à la génération du champ magnétique dans le noyau du transformateur. Il est habituellement très faible, environ 2 à 5% du courant nominal du primaire, et on peut le calculer en mesurant le courant circulant dans l'enroulement du primaire d'un transformateur à vide, lorsque sa tension nominale est appliquée à l'enroulement de son primaire.

Déphasage capacitif – Déphasage provoqué par un condensateur entre la tension et le courant. Dans le cas d'un condensateur idéal, le courant est en avance de 90° sur la tension.

Déphasage inductif – Déphasage généré par une bobine entre la tension et le courant. Dans le cas d'une bobine idéale, le courant est en retard de 90° sur la tension.

Déphasage – Espace temporel entre deux signaux c.a. Il est souvent mesuré au moyen d'angles de phase

Enroulement du primaire – Côté d'un transformateur auquel la tension d'entrée c.a. est habituellement raccordée.

Enroulement du secondaire – Côté d'un transformateur auquel la charge est habituellement raccordée.

Étoile-étoile – Technique de raccordement des enroulements primaires et secondaires d'un transformateur triphasé. Dans la configuration étoile-étoile, les enroulements primaires et secondaires sont raccordés en étoile.

Étoile-triangle – Technique de raccordement des enroulements primaires et secondaires d'un transformateur triphasé. Dans la configuration étoile-triangle, les enroulements primaires sont raccordés en étoile et les enroulements secondaires, en triangle.

Facteur de puissance ($\cos \varphi$) – Rapport de la puissance active sur la puissance apparente fournies à la charge d'un circuit c.a. Équation: $\cos \varphi = P/S$.

Farad (F) – Unité de mesure de la capacité. Un farad est égal à une charge de 1 coulomb lorsqu'il y a une différence de potentiel de 1 volt aux bornes des plaques d'un condensateur.

Terminologie nouvelle (suite)

Force contre-électromotrice (f.c.é.m.) – Tension auto-induite dans une bobine. Elle est générée par le champ magnétique induit par la circulation du courant dans le fil de la bobine. Sa polarité est de signe opposé à celle de la tension de la source. Elle travaille donc contre la f.é.m. appliquée, ou la contre-carre.

Fréquence – Nombre de fois qu'un signal périodique est répété pendant un intervalle d'une seconde. La fréquence est mesurée en hertz (Hz).

Henry (H) – Unité de mesure de l'inductance. Un henry est égal à l'inductance obtenue lorsqu'un courant variant à un taux de 1 A par seconde génère une tension

Impédance – Opposition totale à la circulation d'un courant dans un circuit c.a. L'impédance, parfois appelée résistance complexe, comporte une composante résistive et une composante réactive pouvant être soit inductive, soit capacitive ($Z = R \pm jX$).

Inductance (L) – Propriété d'une bobine lui permettant d'emmagasiner de l'énergie dans le champ magnétique généré lors de la variation du courant circulant dans son enroulement. L'inductance crée une opposition aux variations de courant dans les circuits électriques.

Loi des courants de Kirchhoff – Énoncé selon lequel la somme de tous les courants entrant dans un noeud d'un circuit est égale à la somme des courants sortant de ce noeud.

Loi des tensions de Kirchhoff – Énoncé selon lequel la somme des chutes de tension d'une boucle fermée d'un circuit est égale à la tension de la source.

Loi d'Ohm – Relation entre la tension, le courant et la résistance. Elle est exprimée par la formule $E = IR$.

Opposition des tensions – Technique consistant à raccorder les enroulements d'un transformateur de façon à ce que les tensions de ces enroulements soient soustraites l'une de l'autre à cause du déphasage de 180° qui existe entre elles. Lorsque cette technique est utilisée, une borne marquée du transformateur est raccordée en série avec une autre borne marquée. Cela ressemble au raccord d'une borne négative d'une pile c.c. à la borne négative d'une autre pile. La tension résultante est la différence entre les tensions des deux piles.

Puissance active – Puissance réelle, en watts, consommée par une charge dans un circuit électrique.

Puissance apparente – Le produit de la tension par le courant est appelé puissance apparente et il est exprimé en voltampères (VA). Il est égal à la puissance active seulement lorsqu'il n'y a pas de déphasage entre la tension et le courant.

Puissance instantanée – Produit de la tension par le courant de signaux c.a. à un instant donné de leur période. Dans les circuits c.c., ce produit est toujours constant puisque le courant et la tension sont constants. Cependant, dans les circuits c.a., le résultat est une courbe de la puissance sinusoïdale instantanée.

Terminologie nouvelle (suite)

Puissance réactive capacitive – Puissance non active, en var, consommée par les condensateurs d'un circuit c.a. Le signe associé aux var capacitifs est négatif afin de permettre la distinction entre puissance réactive capacitive et puissance réactive inductive.

auto-induite de 1 V.

Puissance réactive inductive – Puissance non active, en var, consommée par les bobines d'un circuit c.a. Le signe associé aux var inductifs est positif, afin de permettre la distinction entre puissance réactive capacitive et puissance réactive inductive.

Puissance réactive – Puissance non active consommée par un composant réactif, comme un condensateur ou une bobine. Elle est exprimée en var (voltampères réactifs) et elle est égale à la puissance apparente lorsqu'il n'y a pas de résistance dans le circuit.

Puissance — Énergie que fournit une source à une charge par unité de temps. Elle est mesurée en watts.

Raccordement en étoile – Technique de raccordement d'un circuit triphasé par laquelle les trois branches de la charge sont raccordées à un point de jonction commun appelé neutre. Chacun des trois fils d'alimentation c.a est raccordé à une branche du circuit et un fil neutre peut être raccordé au neutre de la charge. Cependant, avec une charge triphasée équilibrée, aucun courant ne circule dans le fil neutre.

Raccordement en triangle – Technique de raccordement d'un circuit triphasé par laquelle les trois branches de la charge sont raccordées bout à bout et forment ainsi une boucle continue. Les trois fils d'alimentation c.a. sont raccordés aux trois noeuds de jonction du circuit. Il n'y a pas de noeud auquel un fil neutre peut être raccordé dans un circuit triphasé équilibré à raccordement en triangle.

Rapport des enroulements – Le rapport des enroulements d'un transformateur est le rapport du nombre de tours de fil de l'enroulement du primaire sur le nombre de tours de fil de l'enroulement du secondaire. Ce rapport détermine les valeurs de sortie d'un transformateur et il est exprimé par N_1 / N_2 , ou par N_p / N_s .

Réactance capacitive (X_C) – Opposition de la capacité à la circulation d'un courant alternatif. Elle est égale à E_C / I_C et, comme la résistance, elle est mesurée en Ohms. Cependant, elle dépend de la fréquence de la source et de la capacité du condensateur, comme l'indique la formule $X_C = 1/(2\pi fC)$.

Réactance inductive (X_L) – Opposition qu'offre l'inductance à la circulation d'un courant alternatif. Elle est égale à E_L / I_L et, comme la résistance, elle est mesurée en ohms. Cependant, comme le montre la formule $X_L = 2\pi fL$, elle dépend de la fréquence de la source et de l'inductance de la bobine.

Régulation du transformateur – Variation de la tension du secondaire du transformateur lorsqu'il passe de l'état à vide à l'état pleine charge. Le pourcentage de régulation d'un transformateur est égal à $100 (E_{NL} - E_{FL}) / E_{NL}$, où E_{NL} est la tension à vide et E_{FL} , la tension à pleine charge.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Terminologie nouvelle (suite)

Résistance – Opposition à la circulation d'un courant dans un circuit électrique. Elle est mesurée en ohms.

Séquence de phase – Dans un circuit triphasé, séquence dans laquelle les tensions de phase atteignent leur maximum. La forme abrégée habituelle servant à indiquer la séquence de phase est A-B-C, ce qui correspond aux séquences B-C-A et C-A-B. La séquence de phase inverse d'A-B-C est A-C-B (C-B-A, B-A-C).

Signal périodique – Signal qui se répète de façon périodique pendant un intervalle de temps fixe appelé période. La fréquence d'un signal périodique est égale à la réciproque de sa période.

Signal sinusoïdal – Signal périodique passant d'une valeur positive maximale à une valeur négative maximale pendant une période complète. Pendant une période, l'amplitude instantanée d'un signal sinusoïdal varie conformément à la fonction mathématique d'une sinusoïde et, sur une période complète, sa valeur moyenne est nulle.

Technique des deux wattmètres – Technique servant à mesurer la puissance triphasée en raccordant deux wattmètres monophasés aux bornes des trois lignes d'alimentation, de façon à ce que la puissance totale soit la somme algébrique des deux valeurs mesurées à l'aide des wattmètres. Par cette technique, les deux bobines de courant sont raccordées de façon à mesurer le courant circulant dans deux des lignes d'alimentation, alors que les deux bobines de tension mesurent la tension entre les deux lignes et l'autre ligne d'alimentation. La ligne neutre n'est pas raccordée.

Tension – Différence de potentiel, mesurée en volts, entre deux points d'un circuit électrique.

Tension de ligne – Tension mesurée entre deux phases d'un bloc d'alimentation triphasé. Normalement, la tension de ligne est $\sqrt{3}$ fois plus élevée que la tension de phase.

Tension de phase – Tension mesurée entre l'une des lignes et le neutre d'un bloc d'alimentation triphasé. Elle est normalement $\sqrt{3}$ fois plus faible que la tension de ligne.

Transformateur de distribution – Type de transformateur dans lequel les enroulements du secondaire sont raccordés en série, de façon à produire différentes tensions de charge.

Transformateur triphasé – Transformateur comportant trois jeux distincts d'enroulements primaires et secondaires permettant à une source de tension triphasée de faire fonctionner des circuits triphasés. Pour former un groupe de transformateurs triphasés, on peut raccorder trois transformateurs monophasés possédant des caractéristiques nominales identiques.

Terminologie nouvelle (suite)

Triangle ouvert – Technique consistant à fournir une tension triphasée à une charge équilibrée à l'aide de seulement deux des transformateurs habituellement utilisés dans la configuration triangle-triangle. Dans la configuration triangle ouvert, la capacité doit être réduite à 57,7% de la capacité habituelle d'un transformateur triphasé, afin d'empêcher que les tensions nominales des deux transformateurs ne soient dépassées.

Triangle-étoile – Technique de raccordement des enroulements primaires et secondaires d'un transformateur triphasé. Dans la configuration triangle-étoile, les enroulements primaires sont raccordés en triangle et les enroulements secondaires, en étoile.

Triangle-triangle – Technique de raccordement des enroulements primaires et secondaires d'un transformateur triphasé. Dans la configuration triangle-triangle, les enroulements primaires et les enroulements secondaires sont raccordés en triangle.

Valeur efficace – Tension c.c. équivalente produisant le même effet calorifique qu'une tension c.a. Pour les signaux sinusoïdaux, la valeur efficace correspond à 0,707 ($1/\sqrt{2}$) multiplié par la valeur crête.

Vecteur – Entité graphique comportant une amplitude et une orientation. En général, les vecteurs sont représentés dans le plan cartésien par des demi-droites dont la longueur correspond à l'amplitude de l'entité qu'ils représentent. L'orientation d'un vecteur est l'angle mesuré entre cette demi-droite et l'axe des X.

Vecteur de phase – Vecteur rotatif utilisé pour représenter les tensions et courants sinusoïdaux des circuits c.a.

Wattmètre – Instrument qui permet de mesurer la puissance électrique directement dans les circuits. Une valeur positive indique que l'énergie circule de l'entrée vers la sortie du wattmètre et inversement.

Bibliographie

Jackson, Herbert W. Introduction to Electric Circuits, 5th edition,
New Jersey: Prentice Hall, 1981.
ISBN 0-13-481432-0

Wildi, Theodore. Electrical Machines, Drives, and Power Systems, 2nd edition, New
Jersey: Prentice Hall, 1991.
ISBN 0-13-251547-4