

Circuits ca monophasés

FESTO

FESTO

Électricité et énergies
nouvelles

LabVolt Series

Manuel de l'étudiant



Allemagne

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

États-Unis

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

Canada

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

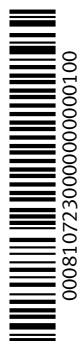
Manuel de l'étudiant

Circuits ca monophasés

www.festo-didactic.com

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic
fr
8107230



000810723000000000000100

Électricité et énergies nouvelles

Circuits ca monophasés

Manuel de l'étudiant

8107230

Numéro de cours : 8107230 (Version imprimée) 8107234 (Version électronique)
Première édition
Niveau de révision : 01/2020

Par l'équipe de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 2020

Internet : www.festo-didactic.com

Courriel : services.didactic@festo.com

Imprimé au Canada

Tous droits réservés

ISBN 978-2-89789-421-4 (Version imprimée)

ISBN 978-2-89789-422-1 (Version électronique)

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2020

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 2020

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 collègue 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'emménagement 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-divulgateion.






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

Symboles de sécurité et symboles communs

Les symboles de sécurité et les symboles communs suivants peuvent se trouver dans ce cours et sur l'équipement :

Symbole	Description
	DANGER indique un danger de haut niveau qui, s'il n'est pas évité, causera la mort ou des blessures sérieuses.
	AVERTISSEMENT indique un danger de niveau moyen qui, s'il n'est pas évité, pourrait causer la mort ou des blessures sérieuses.
	ATTENTION indique un danger de faible niveau qui, s'il n'est pas évité, pourrait causer des blessures mineures ou modérées.
	ATTENTION utilisé sans le symbole <i>Attention, danger</i>  , indique une situation potentiellement dangereuse qui, si elle n'est pas évitée, pourrait causer des dégâts matériels.
	Attention, danger. Consulter la documentation de l'utilisateur pertinente.
	Attention, risque de choc électrique
	Attention, risque de blessure lors du levage de charges
	Attention, surface chaude
	Attention, risque de feu
	Attention, risque d'explosion
	Attention, risque de coincement dans un entraînement par courroie
	Attention, risque de coincement dans un entraînement par chaîne
	Attention, risque de coincement dans un engrenage
	Attention, risque d'écrasement des mains
	Avertissement, rayonnement non ionisant

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Symboles de sécurité et symboles communs















Symbole	Description
	Consulter la documentation de l'utilisateur pertinente
	Courant continu
	Courant alternatif
	Courant continu et alternatif
	Courant alternatif triphasé
	Borne de mise à la terre
	Borne de conducteur de protection
	Borne du cadre ou du châssis
	Équipotentialité
	Allumé (bloc d'alimentation)
	Éteint (bloc d'alimentation)
	Équipement protégé par une double isolation ou par une isolation renforcée.
	Position actionnée d'un bouton-poussoir bistable
	Position non actionnée d'un bouton-poussoir bistable

Table des matières

Préface.....	XI
À propos de ce cours	XV
Unité 1 Courant alternatif.....	1
PRINCIPES FONDAMENTAUX.....	1
Circuits cc comparés à des circuits ca.....	1
Courant alternatif (ca) et tension ca.....	2
Courant alternatif et tension ca fournis par les services publics de distribution d'électricité	2
Règles de sécurité	3
Ex. 1-1 L'onde sinusoïdale	5
PRINCIPES.....	5
Relation entre un phaseur tournant et une onde sinusoïdale.....	5
Période et fréquence d'une tension ou d'un courant sinusoïdal	8
Amplitude et valeur instantanée d'une tension ou d'un courant sinusoïdal.....	8
Valeur efficace (rms) et capacité de chauffage	10
Valeur efficace (rms) d'une tension ou d'un courant sinusoïdal	10
MANIPULATIONS.....	11
Montage et câblage.....	11
Mesurer la tension, le courant et la fréquence dans un circuit ca	13
Relation entre la fréquence et la période	15
Mesurer la tension, le courant et la fréquence dans un circuit ca en série	16
CONCLUSION	18
QUESTIONS DE RÉVISION.....	18
Ex. 1-2 Angle de phase et décalage de phase.....	21
PRINCIPES.....	21
Angle de phase	21
Déphasage.....	23
MANIPULATIONS.....	25
Montage et câblage.....	26
Mesurer le déphasage entre deux formes sinusoïdales de tension dans un circuit résistance-bobine (RL).....	28
Mesurer le déphasage entre deux formes sinusoïdales de tension dans un circuit résistance-condensateur (RC)	30
CONCLUSION	32
QUESTIONS DE RÉVISION.....	32

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Table des matières

Ex. 1-3	Puissance instantanée et puissance moyenne	35
	PRINCIPES.....	35
	Puissance instantanée	35
	Puissance moyenne.....	36
	Raisonnement derrière les valeurs efficaces.....	37
	MANIPULATIONS.....	38
	Montage et câblage.....	38
	Mesures de la puissance moyenne	40
	Raisonnement derrière les valeurs efficaces.....	41
	CONCLUSION	43
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	43
Unité 2	Résistance, réactance et impédance	47
	PRINCIPES FONDAMENTAUX.....	47
	Introduction aux bobines et aux condensateurs	47
	Distinction entre résistance, réactance et impédance	49
Ex. 2-1	Réactance inductive	51
	PRINCIPES.....	51
	Bobines et réactance inductive	51
	Déphasage inductif	52
	MANIPULATIONS.....	52
	Montage et câblage.....	52
	Inductance et réactance inductive	54
	Effet de la fréquence sur la réactance inductive	56
	Mesurer le déphasage inductif.....	57
	CONCLUSION	59
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	59
Ex. 2-2	Réactance capacitive	61
	PRINCIPES.....	61
	Condensateurs et réactance capacitive.....	61
	Décalage capacitif.....	62
	MANIPULATIONS.....	62
	Montage et câblage.....	62
	Capacitance et réactance capacitive	64
	Effet de la fréquence sur la réactance capacitive	66
	Mesurer le déphasage capacitif	67
	CONCLUSION	69
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	69

Table des matières

Ex. 2-3	Impédance	71
	PRINCIPES.....	71
	Diagrammes de phaseurs associés aux résistances, bobines et condensateurs.....	71
	Diagramme de phaseurs associé à une résistance	71
	Diagramme de phaseurs associé à une bobine.....	72
	Diagramme de phaseurs associé à un condensateur	73
	Réactance équivalente de composants réactifs connectés en série	73
	Impédance de résistances, bobines et condensateurs connectés en série.....	75
	Impédance de résistances, bobines et condensateurs connectés en parallèle	77
	MANIPULATIONS.....	78
	Montage et câblage.....	79
	Réactance équivalente d'un circuit LC en série.....	80
	Impédance d'un circuit RL en série.....	83
	Impédance d'un circuit RC en série	84
	Impédance d'un circuit RLC en série	86
	Impédance d'un circuit RL en parallèle.....	87
	Impédance d'un circuit RC en parallèle	88
	CONCLUSION	90
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	90
Unité 3	Puissance dans les circuits ca	93
	PRINCIPES FONDAMENTAUX.....	93
	Introduction aux puissances active, réactive et apparente.....	93
Ex. 3-1	Puissance active et réactive	95
	PRINCIPES.....	95
	Puissance active dans une résistance.....	95
	Puissance réactive dans une bobine	96
	Puissance réactive dans un condensateur	97
	Appareil de mesure de puissance.....	98
	MANIPULATIONS.....	99
	Montage et câblage.....	99
	Puissance active dans une résistance.....	101
	Puissance réactive dans une bobine	103
	Puissance réactive dans un condensateur	105
	CONCLUSION	108
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	108

Table des matières

Ex. 3-2	La puissance apparente et le triangle des puissances	109
	PRINCIPES.....	109
	Diagrammes de phaseurs associés aux puissances active et réactive.....	109
	Diagramme de phaseurs associé à la puissance active dans une résistance.....	109
	Diagramme de phaseurs associé à la puissance réactive dans une bobine	110
	Diagramme de phaseurs associé à la puissance réactive dans un condensateur.....	111
	Puissance apparente	112
	Triangle des puissances	113
	Facteur de puissance.....	113
	MANIPULATIONS.....	114
	Montage et câblage.....	114
	Puissance réactive totale dans un circuit.....	116
	Puissance apparente, facteur de puissance et triangle des puissances	118
	CONCLUSION	121
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	121
Unité 4	Analyse de circuits ca.....	127
	PRINCIPES FONDAMENTAUX.....	127
	Introduction à l'analyse de circuit.....	127
	Méthode d'analyse de circuit.....	127
Ex. 4-1	Résolution de circuits ca simples à l'aide du calcul d'impédance de circuit.....	129
	PRINCIPES.....	129
	Résolution de circuits en parallèle simples.....	129
	Exemple	130
	Résolution de circuits en série simples.....	131
	Exemple	132
	MANIPULATIONS.....	133
	Montage et câblage.....	133
	Résolution d'un circuit ca en parallèle simple	135
	Résolution d'un circuit ca en série simple.....	136
	CONCLUSION	138
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	138

Table des matières

Ex. 4-2	Résolution de circuits ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances	141
	PRINCIPES.....	141
	Résolution de circuits ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances	141
	Exemple.....	143
	MANIPULATIONS.....	145
	Montage et câblage.....	145
	Résolution d'un circuit ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances	147
	CONCLUSION	149
	QUESTIONS DE RÉVISION.....	149
Annexe A	Tableau d'utilisation de l'équipement.....	155
Annexe B	Glossaire de la terminologie nouvelle.....	157
Annexe C	Tableau d'impédance pour les modules de charge.....	161
Annexe D	Calculs vectoriels	163
	Division vectorielle	164
	Multiplication vectorielle	165
Annexe E	Symboles des diagrammes de circuit.....	167
	Index de la terminologie nouvelle	173
	Bibliographie	175

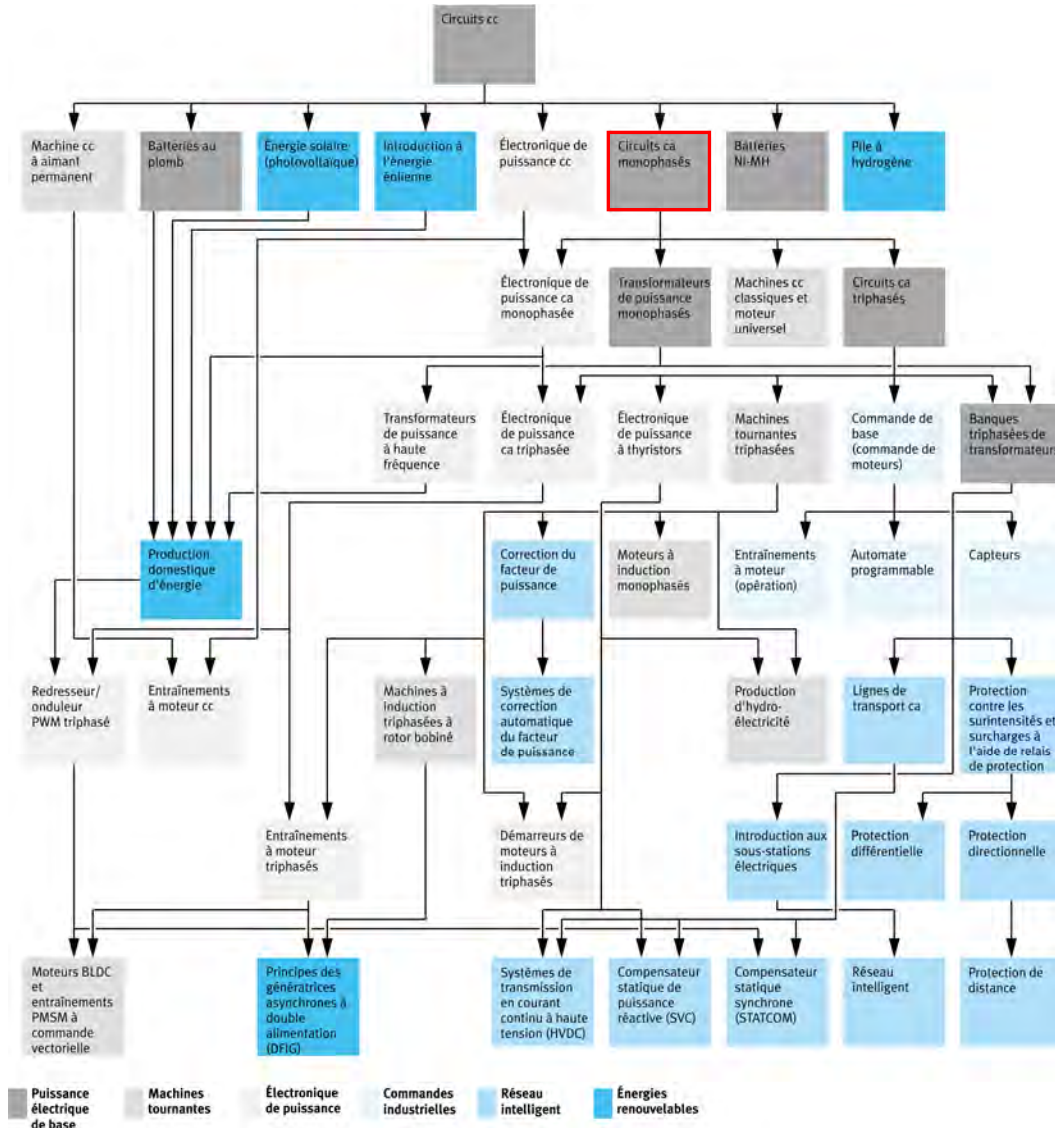
Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Préface

La production d'énergie à l'aide de ressources naturelles renouvelables telles que le vent, la lumière du Soleil, la pluie, les marées, la chaleur géothermique, etc. a beaucoup gagné en importance au cours des dernières années puisqu'il s'agit d'un moyen efficace de réduire l'émission de gaz à effet de serre (GES). La demande pour des technologies innovatrices afin de rendre le réseau électrique plus intelligent est émergée récemment en tant que tendance majeure, dû au fait que les réseaux électriques actuels ont de la difficulté à suffire à la demande accrue en électricité observée mondialement. De plus, des véhicules électriques (allant des vélos aux autos) sont maintenant développés et commercialisés avec succès dans plusieurs pays du monde.

Afin de répondre aux besoins en formation de plus en plus diversifiés dans le vaste domaine de l'énergie électrique, le Programme didactique en technologie de l'énergie électrique a été développé comme programme d'étude modulaire destiné aux instituts techniques, collèges et universités. Le programme est présenté ci-dessous sous forme d'organigramme, chaque boîte représentant un cours.

Préface



Le Programme didactique en technologie de l'énergie électrique.

Le programme débute avec une variété de cours couvrant de façon détaillée des sujets de base liés au domaine de l'énergie électrique, tels que les circuits cc et ca, les transformateurs de puissance, les machines tournantes, le transport d'énergie en courant alternatif et l'électronique de puissance. Le programme continue ensuite à partir des connaissances acquises par l'étudiant durant ces cours de base afin de fournir une formation dans des sujets plus avancés tels que la production domestique d'énergie à partir de ressources renouvelables (vent et lumière du Soleil), la production à grande échelle d'hydroélectricité, la production à grande échelle d'énergie électrique à partir de l'énergie éolienne (les technologies de l'alternateur à induction à double alimentation [DFIG], l'alternateur synchrone et l'alternateur à induction), les technologies de réseau électrique intelligent (SVC, STATCOM, transmission HVDC), l'emmagasinage d'énergie électrique dans des batteries, et les systèmes d'entraînement pour petits véhicules électriques et autos.

Préface

Nous invitons les lecteurs à nous faire part de leurs opinions, commentaires et suggestions d'amélioration du cours.

Veuillez les envoyer à services.didactic@festo.com.

Les auteurs et Festo Didactic sont en attente de vos commentaires.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

À propos de ce cours

Les systèmes d'alimentation en courant alternatif (ca) commencèrent à se développer rapidement vers la fin du 19^e siècle, à la suite de développements clés dans le domaine de l'électricité, principalement l'invention du système polyphasé de distribution électrique par le scientifique Nikola Tesla, et le développement de l'analyse mathématique de l'électricité par Charles Steinmetz, James Clerk Maxwell et William Thomson (Lord Kelvin).

L'avantage principal des systèmes d'alimentation ca est que de grandes quantités de puissance peuvent être transmises efficacement sur de longues lignes de transport. Les transformateurs élévateurs sont utilisés au point de génération de puissance ca pour augmenter la tension et diminuer le courant. La puissance perdue sous forme de chaleur dans la résistance d'une ligne de transport augmente avec le carré du courant. Par conséquent, la puissance ca est transmise à des tensions très élevées et à des courants faibles pour réduire au minimum les pertes de puissance dans la résistance de ligne. À l'extrémité réceptrice de la ligne, des transformateurs abaisseurs réduisent la tension et augmentent le courant à des niveaux compatibles avec les équipements résidentiels ou industriels.

Aujourd'hui, les systèmes d'alimentation ca sont utilisés partout dans le monde pour entraîner des moteurs et alimenter de l'équipement électrique dans les domaines du transport, du chauffage, de l'éclairage, des communications et de l'informatique.

Ce cours, *Circuits ca monophasés*, introduit les étudiants aux principes fondamentaux du courant alternatif, tels que l'onde sinusoïdale, la période et la fréquence, l'angle de phase et le décalage de phase, la puissance instantanée et moyenne, etc. Les étudiants deviennent ensuite familiers avec la bobine et le condensateur. Le cours continue avec des sujets plus avancés tels l'impédance, la puissance active, la puissance réactive, la puissance apparente et le triangle des puissances. Le cours conclut en enseignant aux étudiants comment résoudre les circuits d'alimentation ca à l'aide de la méthode de calcul d'impédance ou la méthode du triangle des puissances.

Préface



La plupart de l'éclairage dans les centres urbains est alimenté avec du courant alternatif monophasé.

Considérations de sécurité

Les symboles de sécurité pouvant être utilisés dans ce cours et sur l'équipement sont indiqués dans le tableau Symboles de sécurité et symboles communs se trouvant dans les premières pages de ce document.

Les consignes de sécurité se rapportant aux manipulations que vous devrez effectuer sont indiquées dans chaque exercice.

Assurez-vous de porter l'équipement de protection approprié lorsque vous effectuez les tâches requises dans les exercices pratiques. Vous ne devriez jamais effectuer une tâche si vous avez une raison de penser qu'une manipulation pourrait être dangereuse pour vous ou vos coéquipiers.

Prérequis

Comme prérequis à ce cours, vous devriez avoir complété le cours *Circuits cc*.

Systèmes d'unités

Les unités sont exprimées dans le Système international d'unités (SI), suivies par les unités exprimées dans le Système d'unités de mesure américaines (entre parenthèses).

Courant alternatif

OBJECTIF DE L'UNITÉ

Lorsque vous aurez complété cette unité, vous serez familier avec le courant alternatif (ca). Vous serez capable de définir, calculer et mesurer les divers paramètres des ondes sinusoïdales de la tension et du courant : l'amplitude, la valeur efficace (valeur RMS pour root-mean-square), la valeur instantanée, la période et la fréquence. Vous saurez comment mesurer la puissance moyenne dissipée dans une charge résistive connectée à une source d'alimentation ca.

SOMMAIRE DES PRINCIPES

Les Principes fondamentaux couvrent les points suivants :

- Circuits cc comparés à des circuits ca
- Courant alternatif (ca) et tension ca
- Courant alternatif et tension ca fournis par les services publics de distribution d'électricité
- Règles de sécurité

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Circuits cc comparés à des circuits ca

Dans un circuit en courant direct (cc), le courant ne circule que dans un sens : de la borne positive (+) de la source cc vers la borne négative (-) (sens conventionnel du courant). Cela est montré dans la figure 1-1a.

Dans un circuit en courant alternatif (ca), le courant change continuellement de sens parce que la tension aux bornes de la source ca change continuellement de polarité avec le temps, alternant entre positif et négatif. Cela est montré dans la figure 1-1b.

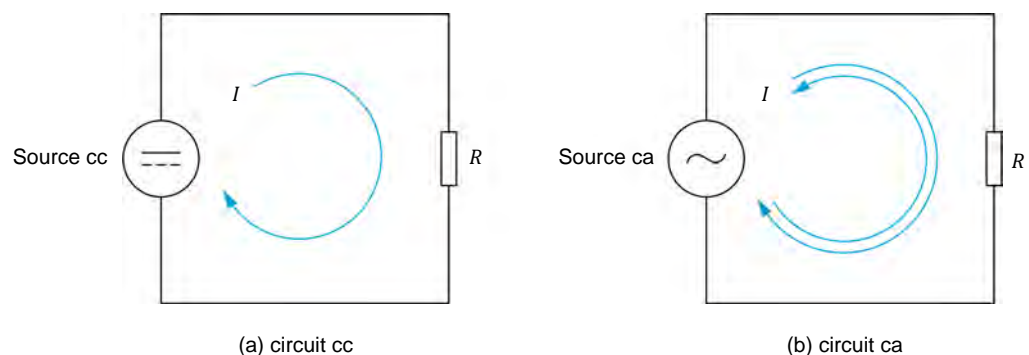


Figure 1-1. Circuit cc comparé à un circuit ca.

Courant alternatif (ca) et tension ca

Le courant alternatif (ca) change de sens plusieurs fois à chaque seconde. De façon similaire, la tension en courant alternatif change de polarité plusieurs fois à chaque seconde. La figure 1-2 montre trois différentes formes d'onde ca : une onde sinusoïdale, une onde rectangulaire et une onde triangulaire.

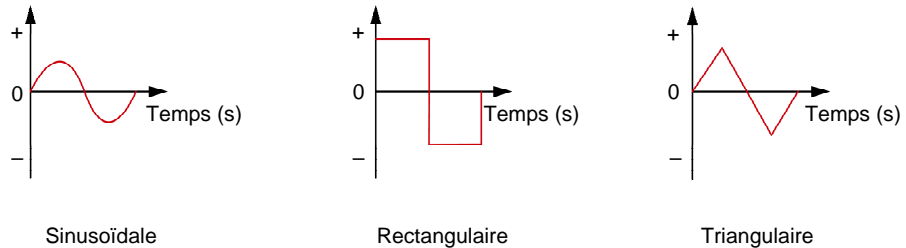


Figure 1-2. Formes d'onde en courant alternatif (ca).

Courant alternatif et tension ca fournis par les services publics de distribution d'électricité

Le courant alternatif est le type de courant fourni par les services publics de distribution d'électricité à des maisons et industries. Le courant alternatif est fourni par des machines tournantes telles que les alternateurs et les génératrices ca. Le courant alternatif et la tension ca produits par les alternateurs et génératrices ca sont tous deux sinusoïdaux. La figure 1-3 montre une tension ou un courant sinusoïdal représenté graphiquement dans le temps. La figure a les caractéristiques suivantes :

- La tension ou le courant change périodiquement d'une polarité à une autre.
- La valeur de la tension ou du courant change continuellement dans le temps. Cette valeur passe d'un maximum positif à un maximum négatif, puis à un autre maximum et ainsi de suite. La valeur de la tension ou du courant change rapidement près des valeurs de zéro et lentement aux maximums positifs et négatifs.
- La portion de l'onde durant laquelle la tension ou le courant est de polarité positive (+) s'appelle la **demi-onde positive**. La portion de l'onde durant laquelle la tension ou le courant est de polarité négative (-) s'appelle la **demi-onde négative**.
- La durée d'une demi-onde positive, plus la durée de la demi-onde négative subséquente forment un cycle complet de la forme d'onde.

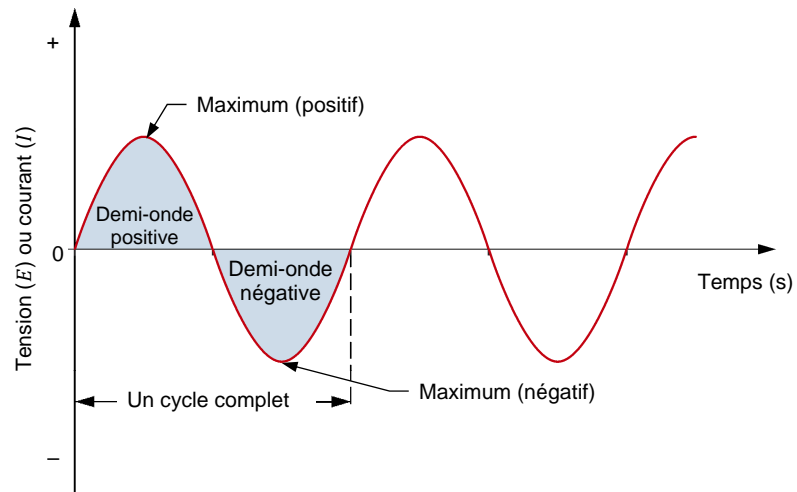


Figure 1-3. Onde sinusoïdale typique de la tension ou du courant dans le temps.

Le nombre de fois qu'un cycle se répète à chaque seconde se nomme la **fréquence** f . La fréquence est exprimée en hertz (Hz). En Amérique du Nord, la fréquence du courant fourni par les services publics de distribution d'électricité est de 60 Hz. En Europe, en Asie, en Afrique, en Russie, au Moyen-Orient et en Australie, cette fréquence est habituellement de 50 Hz. En Amérique du Sud et au Japon, cette fréquence peut être soit de 50 Hz ou de 60 Hz.

Comme mentionné précédemment, les ondes ca peuvent avoir des formes autres que sinusoïdales, par exemple rectangulaires et triangulaires. Cependant, la théorie et la pratique ont montré que les ondes sinusoïdales sont mieux adaptées pour alimenter la machinerie électrique. Les ondes sinusoïdales fournissent la meilleure efficacité des transformateurs, moteurs et génératrices, et assurent aussi un fonctionnement plus silencieux. Les ondes sinusoïdales simplifient également les calculs de tension et de courant dans les circuits électriques. Par exemple, la valeur d'un courant sinusoïdal ou d'une tension sinusoïdale à tout instant du cycle peut être calculée à l'aide de la fonction mathématique du sinus.

Règles de sécurité

Respectez les règles de sécurité suivantes lors de l'utilisation d'appareils électriques :

1. Assurez-vous toujours que la source d'alimentation ca soit éteinte lors de la connexion ou déconnexion des câbles ou composants.
2. Ne laissez jamais de câble électrique déconnecté. Toucher l'extrémité déconnectée d'un câble lorsque la source d'alimentation ca est allumée pourrait vous donner un choc. Un court-circuit pourrait également se produire si l'extrémité déconnectée d'un câble touche à une surface conductrice.
3. Lors de la connexion d'un circuit électrique, assurez-vous que les bornes de contact soient exemptes de saleté, d'huile et d'eau. La saleté et l'huile sont des isolants et nuisent à la connexion entre deux composants. L'eau est un conducteur et pourrait créer une connexion là où elle n'est pas désirée.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

L'onde sinusoïdale

OBJECTIF DE L'EXERCICE

Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous serez familier avec la notion d'une onde sinusoïdale et comment elle peut être exprimée sous forme de phaseur tournant autour du centre d'un cercle. Vous serez également familier avec les différents paramètres d'une onde sinusoïdale, tels que sa période, sa fréquence, son amplitude et ses valeurs instantanées. Vous verrez comment exprimer le courant et la tension dans les circuits cc sous forme d'ondes sinusoïdales. Vous serez introduit au concept des valeurs efficaces (rms) et saurez comment calculer la valeur efficace à partir de l'amplitude d'une onde sinusoïdale de tension ou de courant.



Les exercices pratiques dans ce cours nécessitent que vous soyez familier avec les instruments informatisés. Reportez-vous au guide de l'utilisateur nommé « Instruments informatisés pour EMS » afin de vous familiariser avec le fonctionnement et l'utilisation des instruments informatisés.

SOMMAIRE DES PRINCIPES

Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Relation entre un phaseur tournant et une onde sinusoïdale
- Période et fréquence d'une tension ou d'un courant sinusoïdal
- Amplitude et valeur instantanée d'une tension ou d'un courant sinusoïdal
- Valeur efficace (rms) et capacité de chauffage
- Valeur efficace (rms) d'une tension ou d'un courant sinusoïdal

PRINCIPES

Relation entre un phaseur tournant et une onde sinusoïdale

Une relation directe existe entre le mouvement circulaire et une onde sinusoïdale. Ainsi, une tension ou un courant sinusoïdal peut être représenté graphiquement à l'aide de la déviation sur l'axe vertical en fonction de la position angulaire α d'un **phaseur** tournant. Un phaseur est un **vecteur** dont l'origine est au centre (0, 0) sur un plan cartésien. Chaque cycle d'un signal sinusoïdal correspond à une révolution complète (un tour) du phaseur autour du cercle, ce qui est égal à 360° ou 2π radians. La figure 1-4 montre une onde sinusoïdale représentée graphiquement à l'aide de la déviation sur l'axe vertical en fonction de la position angulaire d'un phaseur tournant.

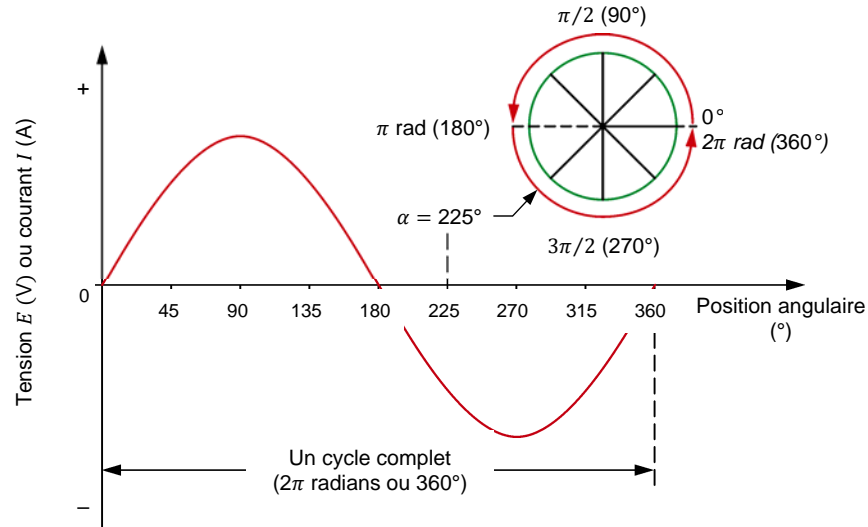


Figure 1-4. Onde sinusoïdale représentée graphiquement à l'aide de la déviation sur l'axe vertical en fonction de la position angulaire d'un phaseur tournant.

La figure 1-5 montre un exemple dans lequel un phaseur tourne dans le sens antihoraire autour du centre d'un cercle à une vitesse constante. Alors que le phaseur tourne, la distance verticale entre l'extrémité du phaseur et l'axe horizontal du cercle varie continuellement. Une projection graphique de la valeur de distance d sur le plan XY en fonction de la position angulaire α donne une onde sinusoïdale. Ce qui suit peut être observé dans la figure 1-5 :

- Initialement, le phaseur est à 0° (position horizontale), alors la distance verticale d entre le phaseur et l'axe horizontal est nulle.
- Lorsque le phaseur tourne de 0° à 90° , la distance verticale d entre l'extrémité du phaseur et l'axe horizontal augmente graduellement de zéro à une valeur positive maximale (crête).
- Lorsque le phaseur tourne de 90° à 180° , la distance verticale d entre l'extrémité du phaseur et l'axe horizontal diminue graduellement de la valeur positive maximale à zéro.
- Lorsque le phaseur tourne de 180° à 270° , la distance verticale d entre l'extrémité du phaseur et l'axe horizontal augmente de zéro à une valeur négative maximale (crête).
- Lorsque le phaseur tourne de 270° à 360° , la distance verticale d entre l'extrémité du phaseur et l'axe horizontal diminue de la valeur négative maximale à zéro.

Un tour complet du phaseur (c.-à-d. 360°) correspond à un cycle complet de l'onde sinusoïdale.

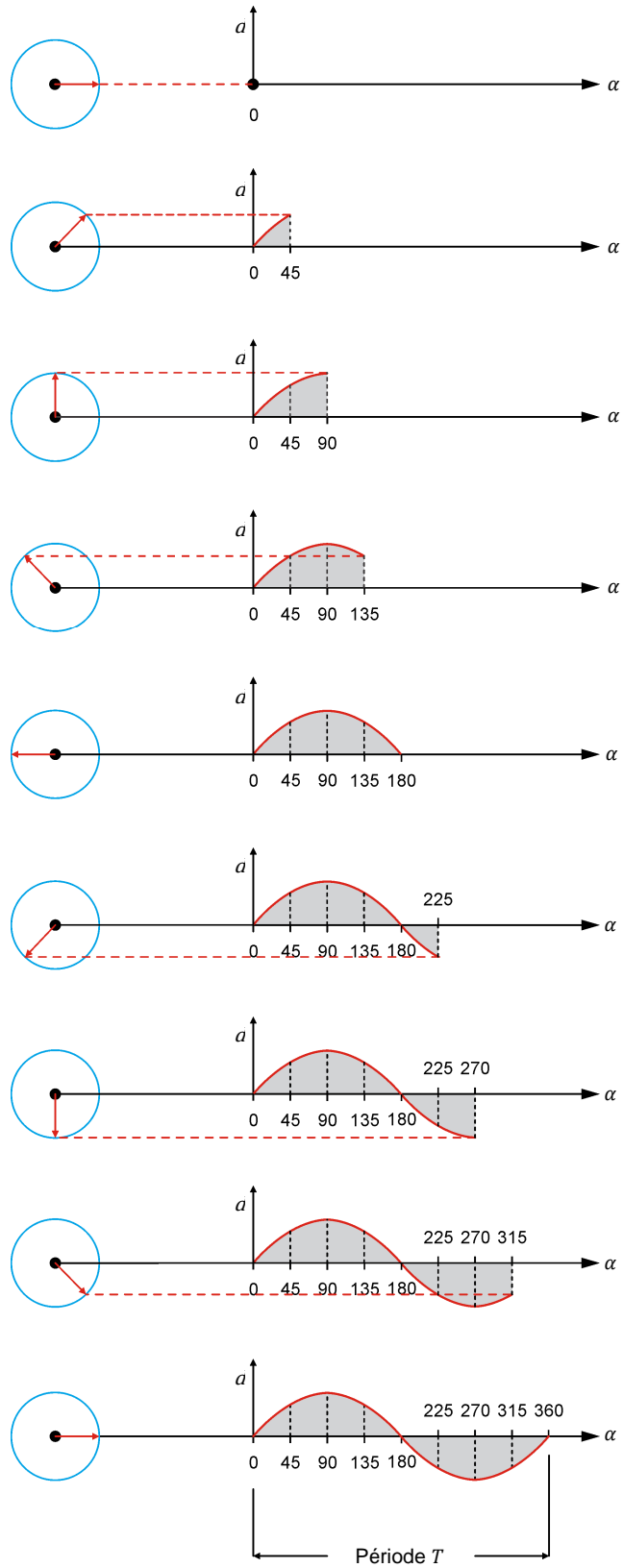


Figure 1-5. Relation entre un phaseur tournant et une onde sinusoïdale.

Property of Festo Didactic
 Sale and/or reproduction forbidden

Période et fréquence d'une tension ou d'un courant sinusoïdal

Le temps requis pour qu'un cycle complet d'une onde sinusoïdale se complète s'appelle la **période** T . Le nombre de cycles survenant en une seconde se nomme la fréquence f de l'onde sinusoïdale. La fréquence est mesurée en hertz (Hz), 1 Hz étant égal à 1 cycle par seconde.

L'équation utilisée pour calculer la fréquence est :

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

dans laquelle f est la fréquence de l'onde sinusoïdale, exprimée en hertz (Hz) ou en cycles par seconde (c/s).
 T est la période de l'onde sinusoïdale, exprimée en secondes (s).

La période est la réciproque de la fréquence :

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-2)$$

Dans un système d'alimentation ca à 60 Hz, le cycle de la tension et du courant sinusoïdaux se répète 60 fois par seconde. Par conséquent, la période T d'un cycle est de $1/60$ s = 16,7 ms.

Dans un système d'alimentation ca à 50 Hz, le cycle de la tension et du courant sinusoïdaux se répète 50 fois par seconde. Par conséquent, la période T d'un cycle est de $1/50$ s = 20 ms.

Amplitude et valeur instantanée d'une tension ou d'un courant sinusoïdal

L'équation d'une onde sinusoïdale est :

$$a(t) = A \sin(\alpha(t)) = A \sin(\omega t) \quad (1-3)$$

dans laquelle $a(t)$ est la valeur instantanée de l'onde sinusoïdale à un instant donné t .
 A est l'amplitude de la forme d'onde.
 $\alpha(t)$ est la position angulaire de l'onde sinusoïdale à un instant donné t , exprimée en degrés (°).
 ω est la vitesse angulaire, exprimée en radians par seconde (rad/s) du phaseur tournant. $\omega = 2\pi f$.
 t est le temps, exprimé en secondes (s).

L'**amplitude** A est la valeur maximale atteinte par l'onde sinusoïdale pendant son cycle. La valeur maximale est la même pour les demi-ondes positives et négatives du cycle, à l'exception de la polarité qui change de positive (+) à négative (-).

L'équation générale d'une onde sinusoïdale peut être utilisée pour décrire une tension sinusoïdale mathématiquement :

$$E(t) = E_{Max.} \sin(\alpha(t)) = E_{Max.} \sin(\omega t) \quad (1-4)$$

dans laquelle $E(t)$ est la valeur instantanée de la tension à un instant donné t du cycle, exprimée en volts (V).
 $E_{Max.}$ est l'amplitude de la tension sinusoïdale, exprimée en volts (V).

Par exemple, si l'amplitude (tension maximale) de la tension $E_{Max.}$ est de 100 V, la valeur instantanée de la tension $E(t)$ à la position angulaire $\alpha(t) = 45^\circ$ est :

$$E(t) = 100 \text{ V} \sin 45^\circ = 70,7 \text{ V}$$

La figure 1-6 montre le graphique de la forme d'onde de tension résultant de l'équation (1-4).

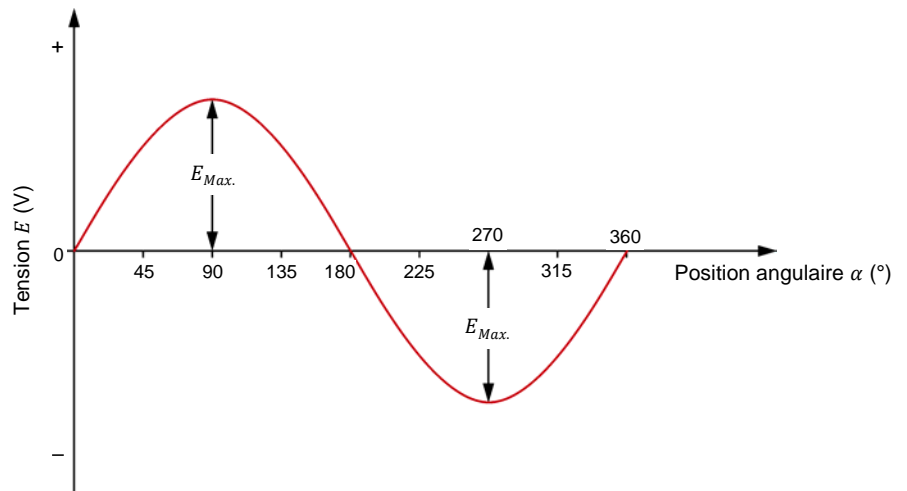


Figure 1-6. Onde sinusoïdale de la tension.

De même, l'équation générale d'une onde sinusoïdale peut être utilisée pour décrire un courant sinusoïdal mathématiquement :

$$I(t) = I_{Max.} \sin(\alpha(t)) = I_{Max.} \sin(\omega t) \quad (1-5)$$

dans laquelle $I(t)$ est la valeur instantanée du courant à un instant donné t du cycle, exprimée en ampères (A).
 $I_{Max.}$ est l'amplitude du courant sinusoïdal, exprimée en ampères (A).

Valeur efficace (rms) et capacité de chauffage

La valeur efficace (rms) d'une tension ca est liée à la chaleur produite par un élément résistif lorsque cette tension est appliquée. Par exemple, considérez une tension ca ayant une amplitude E_{Max} . appliquée sur une résistance de charge. La tension appliquée fait circuler un courant dans la résistance, ce qui a pour effet d'augmenter la température de la résistance jusqu'à ce qu'elle se stabilise à un certain niveau (température d'équilibre). La valeur efficace ou rms de cette tension ca peut être trouvée en appliquant une tension cc sur la résistance de charge, et en ajustant la tension cc jusqu'à ce que la résistance stabilise la température d'équilibre précédemment atteinte avec la tension ca. La valeur de cette tension cc correspond à la valeur efficace ou rms de la tension ca.

Valeur efficace (rms) d'une tension ou d'un courant sinusoïdal

La valeur effective (rms) d'une tension sinusoïdale E_{RMS} est calculée comme suit :

$$E_{RMS} = \frac{E_{Max.}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot E_{Max.} \quad (1-6)$$

De même, la valeur efficace (rms) d'un courant sinusoïdal I_{RMS} est calculée comme suit :

$$I_{RMS} = \frac{I_{Max.}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_{Max.} \quad (1-7)$$

Par exemple, la valeur efficace (rms) d'une tension sinusoïdale ayant une amplitude $E_{Max.}$ de 100 V est de 70,7 V ($0,707 \cdot 100$ V). Cela signifie qu'une onde sinusoïdale de tension ayant une amplitude $E_{Max.}$ de 100 V a la même capacité de chauffage qu'une tension cc de 70,7 V.

La figure 1-7 montre la valeur efficace E_{RMS} d'une onde sinusoïdale de tension en comparaison de sa valeur d'amplitude $E_{Max.}$.

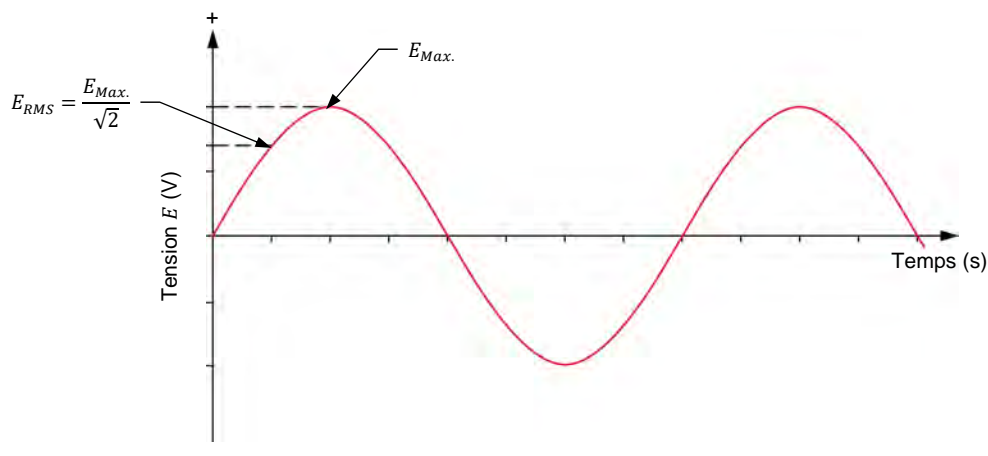


Figure 1-7. Valeur efficace (rms) d'une tension sinusoïdale.

Les instruments standards utilisés pour mesurer la tension et le courant ca indiquent normalement la valeur efficace (rms) directement sur leur affichage. Les valeurs efficaces de la tension et du courant sont utilisées pour calculer la puissance électrique dans les circuits ca. Le raisonnement derrière les valeurs efficaces sera expliqué en plus de détail dans l'Exercice 1-3.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Mesurer la tension, le courant et la fréquence dans un circuit ca
- Relation entre la fréquence et la période
- Mesurer la tension, le courant et la fréquence dans un circuit ca en série

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant une résistance et monterez l'équipement pour mesurer le courant et la tension du circuit en utilisant le logiciel [LVDAC-EMS](#). Vous déterminerez également la relation entre la fréquence f d'une onde sinusoïdale et sa période T .

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur [Mode de fonctionnement](#) à [Bloc d'alimentation](#). Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.
5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel LVDAC-EMS.

Dans la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS, assurez-vous que l'Interface d'acquisition de données et de commande et le Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'Interface d'acquisition de données et de commande est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton OK pour fermer la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS.

7. Montez le circuit montré dans la figure 1-8. Notez le symbole utilisé pour indiquer une source d'alimentation ca à tension variable dans ce circuit. Pour obtenir la valeur de résistance indiquée près de la résistance dans la figure 1-8, effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la Charge résistive.



Tout au long de ce cours, gardez en tête que les valeurs de résistance indiquées dans les figures sont des valeurs de résistance équivalente. Pour obtenir une valeur de résistance donnée avec la Charge résistive, vous pouvez avoir à connecter deux résistances ou plus d'une section de résistance en parallèle, de même qu'interconnecter des sections de résistance en parallèle. L'Annexe C indique les réglages des commutateurs à implémenter sur la Charge résistive pour obtenir diverses valeurs de résistance.

Utilisez les entrées I1 et E1 de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer le courant de source I_S et la tension E_R aux bornes de la résistance.

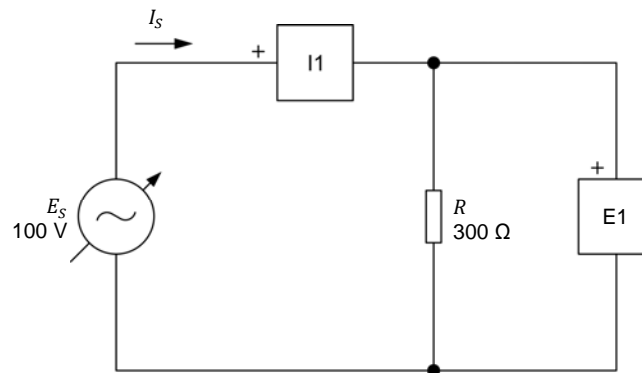


Figure 1-8. Circuit ca contenant une résistance.

8. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, puis effectuez les réglages suivants :
- Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*. Ce réglage fait fonctionner la source d'alimentation interne comme une source d'alimentation ca (c.-à-d. comme une source produisant une tension sinusoïdale).
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

- Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V. Cela règle la tension efficace sans charge de la source d'alimentation ca à 100 V.
- Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local. Cela rend la fréquence de la source d'alimentation ca égale à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
- Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.
- Remarquez que la paramètre *État* est réglé à *Arrêté*. Cela indique que la source d'alimentation ca est éteinte (c.-à-d. qu'elle ne produit plus de tension de sortie). La source d'alimentation ca sera allumée dans la prochaine section de la procédure.

Mesurer la tension, le courant et la fréquence dans un circuit ca

Dans cette section, vous mesurerez les valeurs efficaces des formes d'onde de tension et de courant dans le circuit ca. Vous mesurerez ensuite l'amplitude de ces formes d'onde et calculerez les valeurs efficaces correspondantes. Vous comparerez les valeurs efficaces mesurées et calculées. Finalement, vous comparerez l'apparence des formes d'onde de tension et de courant pour confirmer qu'elles atteignent leurs valeurs maximales et nulles au même moment.

9. Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, activez la source d'alimentation ca (c.-à-d. réglez le paramètre *État* à *En marche* ou cliquez sur le bouton *Marche/Arrêt*). La source d'alimentation ca fournit maintenant de la puissance à la charge *R*.



*Dans ce cours, par souci de concision, la valeur efficace est implicite dans la dénomination de la plupart des paramètres qui sont couramment mesurés comme valeurs efficaces (p. ex., E_S , I_S , E_R , valeur $E_{S,rms}$ moyenne, $I_{S,rms}$, $E_{R,rms}$). Un suffixe complémentaire, tel que *eff* ou *max*, n'est ajouté que lorsqu'une clarté et une précision supplémentaires sont nécessaires, comme dans des équations, par exemple.*

10. Dans *LVDAC-EMS*, ouvrez la fenêtre *Appareils de mesure*. Réglez les appareils de mesure *E1* et *I1* pour mesurer les valeurs efficaces de la tension de la résistance E_R et du courant de source I_S .



*Lorsque vous prenez des mesures dans la fenêtre *Appareils de mesure*, *Oscilloscope* ou *Analyseur de phaseurs*, sélectionnez toujours le mode *rafraîchissement continu*. Cela permet de voir les données mises à jour à l'écran en tout temps.*

Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*) soit égale à 100 V.

Notez ci-dessous les valeurs mesurées de la tension de la résistance E_R et du courant de source I_S (appareils de mesure $E1$ et $I1$, respectivement).

Tension de la résistance $E_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

11. Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'Oscilloscope et affichez E_R (entrée $E1$) et I_S (entrée $I1$) sur les voies 1 et 2, respectivement. Au besoin, réglez la base de temps pour afficher au moins deux cycles des ondes sinusoïdales.



Dans les réglages de l'Oscilloscope, vous pouvez activer l'option de filtrage pour améliorer la régularité des formes d'onde affichées.

12. Sur l'Oscilloscope, sélectionnez le mode rafraîchissement continu. Changez les échelles verticales de façon à pouvoir mesurer l'amplitude de la tension de la résistance E_R et du courant de source I_S . Notez les valeurs mesurées ci-dessous.



La valeur efficace, la valeur moyenne et la fréquence des signaux appliqués aux voies d'entrée de l'Oscilloscope sont affichées sous l'écran de l'Oscilloscope.



Pour obtenir une mesure précise, vous pouvez utiliser les curseurs horizontaux de l'Oscilloscope pour mesurer l'amplitude de la tension et du courant.

Tension de la résistance $E_{R,max.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de source $I_{S,max.} = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

13. Calculez les valeurs efficaces de E_R et I_S des amplitudes de tension et de courant mesurées à l'étape précédente.

Tension de la résistance $E_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

14. Comparez les valeurs efficaces obtenues à l'étape précédente avec les valeurs efficaces indiquées par les appareils de mesure (tel que noté à l'étape 10). Sont-elles approximativement égales ?

Oui Non

15. Comparez la forme d'onde du courant de source avec la forme d'onde de la tension de la charge résistive. Sont-elles toutes deux des formes d'onde ?

Oui Non

16. Quelle est la valeur instantanée de la tension de la résistance E_R à la position angulaire 225° ?

Tension de la résistance E_R at $225^\circ = \underline{\hspace{2cm}}$ V

17. Les formes d'onde de la tension de la résistance E_R et du courant de source I_S atteignent-elles la valeur positive maximale, les valeurs nulles et la valeur négative maximale en même temps ?

Oui Non



Lorsque des formes d'onde atteignent les valeurs maximales et nulles en même temps, les formes d'onde sont dites en phase, ce qui veut dire qu'il n'y a pas de décalage de phase entre elles. Cela est abordé plus en détail dans l'Exercice 1-2.

Relation entre la fréquence et la période

Dans cette section, vous déterminerez la relation entre la fréquence f et la période T d'une onde sinusoïdale. Vous ferez cela en réglant la fréquence de la source d'alimentation ca à diverses valeurs et en mesurant la période de la forme d'onde de tension à chaque réglage de fréquence. Vous calculerez ensuite la fréquence à partir de chaque période mesurée et la comparerez à la fréquence de la source d'alimentation ca .

18. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), réglez le paramètre [Fréquence](#) à 40 Hz. Cela change la fréquence de la source d'alimentation ca à 40 Hz.

19. À l'aide de l'[Oscilloscope](#), mesurez la période T de la forme d'onde de la tension de la résistance E_R . Notez la valeur de période dans la cellule correspondante du tableau 1-1.



Pour obtenir une mesure précise, utilisez les curseurs verticaux de l'[Oscilloscope](#) pour mesurer l'intervalle de temps entre deux points sur une forme d'onde.

Tableau 1-1. Relation entre la fréquence f et la période T .

Fréquence de la source (Hz)	Période T (ms)	Fréquence calculée de la source (Hz)
40		
50		
60		
70		

20. Répétez les étapes 18 et 19 pour chaque fréquence de la source d'alimentation ca indiquée dans le tableau 1-1. Notez vos résultats dans les cellules correspondantes.

21. À partir des valeurs de période mesurées dans le tableau 1-1, calculez les fréquences résultantes. Notez vos valeurs de fréquence de la source calculées dans la rangée correspondante du tableau 1-1.
22. Comparez les valeurs de fréquence de la source d'alimentation ca à vos valeurs de fréquence de la source calculées. Sont-elles virtuellement égales ?
- Oui Non
23. Cela confirme-t-il la relation ($f = 1/T$) entre la fréquence et la période ?
- Oui Non

Mesurer la tension, le courant et la fréquence dans un circuit ca en série

Dans cette section, vous calculerez les valeurs efficaces de la tension et du courant dans un circuit contenant deux résistances en série. Vous confirmerez que la loi d'Ohm s'applique aux circuits ca en mesurant les valeurs efficaces de la tension et du courant et en les comparant à celles que vous avez calculées. Vous confirmerez également la loi de Kirchhoff en vérifiant que $E_{R1} + E_{R2} = E_S$. Finalement, vous vérifierez que les formes d'onde de courant et de tension sont en phase l'une avec l'autre.

24. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), désactivez la source d'alimentation ca (c.-à-d. réglez le paramètre *État* à *Arrêt* ou cliquez sur le bouton *Marche/Arrêt*).
25. Montez le circuit montré dans la figure 1-9. Pour obtenir l'arrangement de résistances dans la figure 1-9, effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la [Charge résistive](#) (reportez-vous à l'Annexe C au besoin). Utilisez les entrées *I1*, *E1*, *E2* et *E3* de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) pour mesurer le courant de source I_S , la tension E_{R1} , la tension E_{R2} et la tension de source E_S , respectivement.

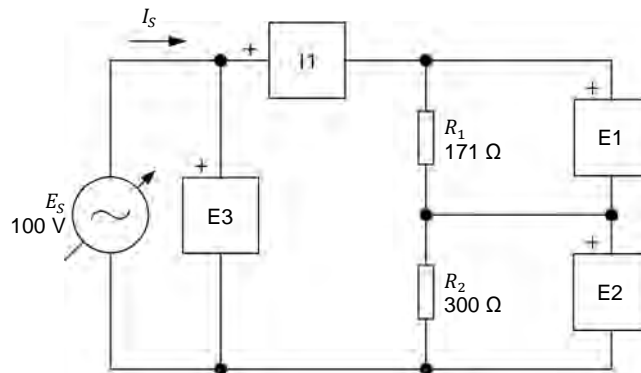


Figure 1-9. Circuit ca contenant deux résistances connectées en série.

- 26.** Calculez la résistance équivalente $R_{Eq.}$ des résistances du circuit. À l'aide de la loi d'Ohm, vous serez ensuite capable de calculer la valeur efficace du courant de source I_S .

Résistance équivalente $R_{Eq.} = R_1 + R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Courant de source $I_S = \frac{E_S}{R_{Eq.}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (A)}$

- 27.** Calculez les tensions E_{R1} et E_{R2} aux bornes de chaque résistance en utilisant la valeur du courant de source I_S obtenue à l'étape précédente.

Tension de la résistance $E_{R1} = I_S \cdot R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Tension de la résistance $E_{R2} = I_S \cdot R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

- 28.** Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), réglez le paramètre *Fréquence* de nouveau à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure [E3](#) dans la fenêtre [Appareils de mesure](#)) soit égale à 100 V.

- 29.** Dans la fenêtre [Appareil de mesure](#), réglez l'appareil *E2* afin qu'il mesure la valeur efficace de la tension de la résistance E_{R2} . Notez les tensions E_{R1} et E_{R2} et le courant de source I_S .

Tension de la résistance $E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Tension de la résistance $E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (A)}$

- 30.** Comparez les tensions E_{R1} et E_{R2} mesurées à l'étape précédente aux tensions calculées à l'étape 27. Sont-elles approximativement égales ?

Oui Non

La somme des tensions mesurées aux bornes des résistances ($E_{R1} + E_{R2}$) est-elle virtuellement égale à la tension de source E_S ?

Oui Non

- 31.** Comparez le courant de source I_S mesuré à l'étape 29 au courant de source I_S calculé à l'étape 26. Sont-elles approximativement égales ?

Oui Non

32. Calculez et comparez le rapport des tensions mesurées aux bornes des résistances au rapport des valeurs de résistance. Sont-elles approximativement égales ?

$$\frac{E_{R1}}{E_{R2}} = \text{_____} \quad \frac{R_1}{R_2} = \text{_____}$$

Oui Non

33. En vous basant sur les résultats obtenus aux étapes précédentes, les circuits ca peuvent-ils être résolus en utilisant les mêmes règles fondamentales que celles utilisées dans les circuits cc, c.-à-d. la loi d'Ohm, les lois sur la tension et le courant de Kirchhoff et les formules utilisées pour calculer la résistance équivalente ?

Oui Non

34. Sur l'Oscilloscope, affichez la tension E_{R1} (entrée E1), la tension E_{R2} (entrée E2) et le courant de source I_S (entrée I1) sur les voies 1, 2 et 3, respectivement. Assurez-vous que la base de temps soit réglée pour afficher au moins deux cycles des ondes sinusoïdales.

35. Comparez les formes d'onde des signaux affichées dans l'Oscilloscope. La forme d'onde du courant de source et les formes d'onde des tensions des résistances atteignent-elles la valeur positive maximale, les valeurs nulles et la valeur négative maximale en même temps, indiquant qu'elles sont en phase ?

Oui Non

36. Dans la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, désactivez la source d'alimentation ca.

37. Fermez LVDAC-EMS, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez été introduit à l'onde sinusoïdale et à comment exprimer une onde sinusoïdale à l'aide d'un phaseur tournant autour du centre d'un cercle. Vous avez appris comment calculer les différents paramètres d'une onde sinusoïdale, tels que la période, la fréquence, l'amplitude et la valeur instantanée. Vous avez été introduit au concept de la valeur efficace et appris comment calculer la valeur efficace à partir de l'amplitude d'une onde sinusoïdale.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Une onde sinusoïdale a une amplitude de 200 V. Calculez sa valeur efficace.

2. La période d'une onde sinusoïdale est de 0,02 s. Calculez sa fréquence.

3. Quel est l'effet sur le cycle d'une onde sinusoïdale d'augmenter sa fréquence.

4. Quelle position angulaire (en degrés ainsi qu'en radians) dans un cercle correspond à la valeur positive maximale d'une onde sinusoïdale de tension dont le cycle débute à l'origine ?

5. Quelle est la différence entre l'amplitude et la valeur efficace d'une onde sinusoïdale de tension ?

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Angle de phase et décalage de phase

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous saurez ce qu'est un angle de phase et comment l'angle de phase modifie le déplacement initial d'une onde sinusoïdale. Vous serez capable de déterminer le décalage de phase entre deux ondes sinusoïdales, en comparant leurs angles de phase ou en déterminant leur séparation dans le temps. Vous saurez également comment distinguer un déphasage en avance d'un déphasage en retard.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Angle de phase
- Déphasage

PRINCIPES

Angle de phase

Comme vous l'avez vu dans l'Exercice 1-1, la représentation graphique d'une onde sinusoïdale peut être exprimée par l'équation suivante :

$$a(t) = A \sin(\omega t) \quad (1-8)$$

dans laquelle	<p>$a(t)$ est la valeur instantanée de l'onde sinusoïdale à un instant donné t.</p> <p>A est l'amplitude de la forme d'onde.</p> <p>ω est la vitesse angulaire, exprimée en radians par seconde (rad/s).</p> <p>t est le temps, exprimé en secondes (s).</p>
------------------	--

Cette équation assume que le cycle de l'onde sinusoïdale commence au moment exact où $t = 0$ (tel que montré dans la figure 1-10). Comme vous le verrez plus tard, cela n'est pas toujours le cas. Pour représenter la position initiale de l'onde sinusoïdale, la notion d'**angle de phase** θ est introduite dans l'équation ci-dessous :

$$a(t) = A \sin(\omega t + \theta) \quad (1-9)$$

dans laquelle	<p>θ est l'angle de phase de l'onde sinusoïdale, exprimé en degrés ($^{\circ}$) ou en radians (rad).</p>
------------------	---

À partir de l'équation (1-9), il est facile d'observer que la valeur initiale (c.-à-d. la valeur à $t = 0$) de l'onde sinusoïdale dépend complètement de l'angle de phase θ parce que le terme ωt est égal à 0 à $t = 0$. En d'autres termes, l'angle de phase θ détermine par combien la valeur de l'onde sinusoïdale diffère de 0 au temps $t = 0$ et, par conséquent, la position dans le temps de l'onde sinusoïdale.

La figure 1-10 montre une onde sinusoïdale avec un angle de phase θ de 0° . La valeur initiale de cette onde sinusoïdale est de 0 parce que $A \sin(\omega \cdot 0 + 0) = 0$. Cette onde sinusoïdale est identique à celles vue dans l'Exercice 1-1, puisqu'un angle de phase de 0° était implicite en raison de l'absence de θ dans les équations données dans l'Exercice 1-1.

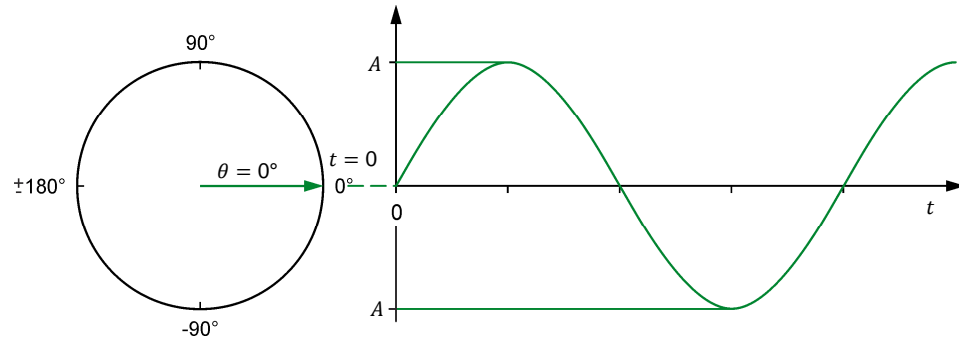


Figure 1-10. Onde sinusoïdale avec un angle de phase θ de 0° .

La figure 1-11 montre une onde sinusoïdale avec un angle de phase θ de 45° . Comme vous pouvez le voir dans la figure, un angle de phase positif (0° à 180°) résulte en une onde sinusoïdale ayant une valeur instantanée positive lorsque $t = 0$. En d'autres termes, un angle de phase positif déphase l'onde sinusoïdale vers la gauche, c.-à-d. avance l'onde sinusoïdale dans le temps.

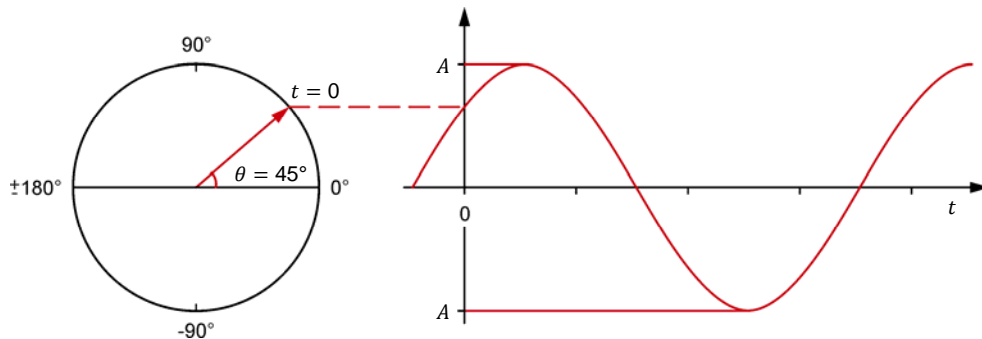


Figure 1-11. Onde sinusoïdale avec un angle de phase θ de 45° .

La figure 1-12 montre une onde sinusoïdale avec un angle de phase θ de -60° . Un angle de phase négatif (0° à -180°) résulte en une onde sinusoïdale ayant une valeur instantanée négative lorsque $t = 0$. En d'autres termes, un angle de phase négatif déphase l'onde sinusoïdale vers la droite, c.-à-d. recule l'onde sinusoïdale dans le temps.

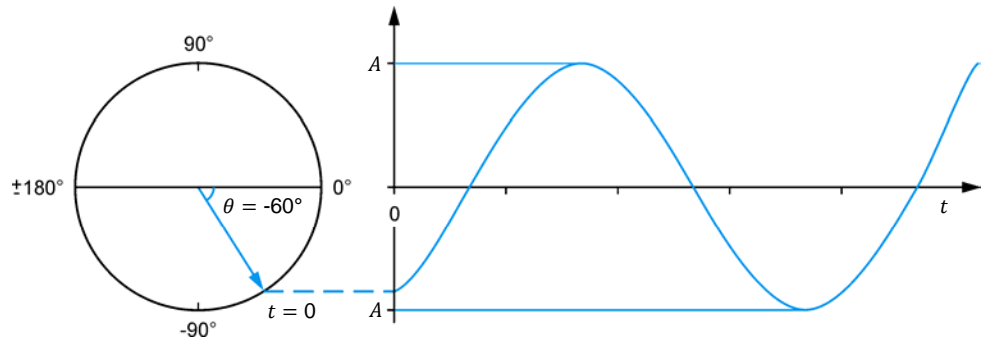


Figure 1-12. Onde sinusoïdale avec un angle de phase θ de -60° .

La figure 1-10 à la figure 1-12 montrent également les représentations de phaseur des ondes sinusoïdales au temps $t = 0$. Remarquez que, dans chaque figure, la distance verticale entre l'extrémité du phaseur tournant représentant l'onde sinusoïdale correspond à la valeur instantanée de l'onde sinusoïdale à $t = 0$.

Déphasage

Lors de la comparaison de deux formes d'onde ayant la même fréquence, la différence entre leurs angles de phase respectifs se nomme le **déphasage** et est exprimée en degrés ($^\circ$) ou en radians (rad). L'ampleur du déphasage indique l'étendue de la séparation dans le temps entre les deux ondes sinusoïdales, alors que la polarité du déphasage (positif ou négatif) indique la relation dans le temps entre les deux ondes sinusoïdales (**en avance** ou **en retard**). La valeur d'amplitude de l'onde sinusoïdale n'a pas d'effet sur le déphasage, puisqu'elle ne change pas la période ni la fréquence de l'onde sinusoïdale. Les ondes sinusoïdales avec des fréquences différentes et, par extension, des périodes différentes, ne peuvent pas être comparées en utilisant leurs angles de phase puisque leurs cycles ne correspondent pas.

Le déphasage entre les deux ondes sinusoïdales est exprimé comme un angle représentant une portion d'un cycle complet des ondes sinusoïdales. Une des deux ondes sinusoïdales est utilisée comme référence pour les mesures de déphasage. Le déphasage est calculé en soustrayant l'angle de phase $\theta_{Réf.}$ de l'onde sinusoïdale de référence de l'angle de phase θ de l'onde sinusoïdale d'intérêt. Cela est écrit sous forme d'équation ci-dessous.

$$\text{Déphasage} = \theta - \theta_{Réf.} \quad (1-10)$$

dans laquelle θ est l'angle de phase de l'onde sinusoïdale d'intérêt, exprimé en degrés ($^\circ$) ou en radians (rad).
 $\theta_{Réf.}$ est l'angle de phase de l'onde sinusoïdale de référence, exprimé en degrés ($^\circ$) ou en radians (rad).

La figure 1-13 est un exemple montrant comment le déphasage entre deux ondes sinusoïdales (X et Y) peut être calculé en utilisant leurs angles de phase.

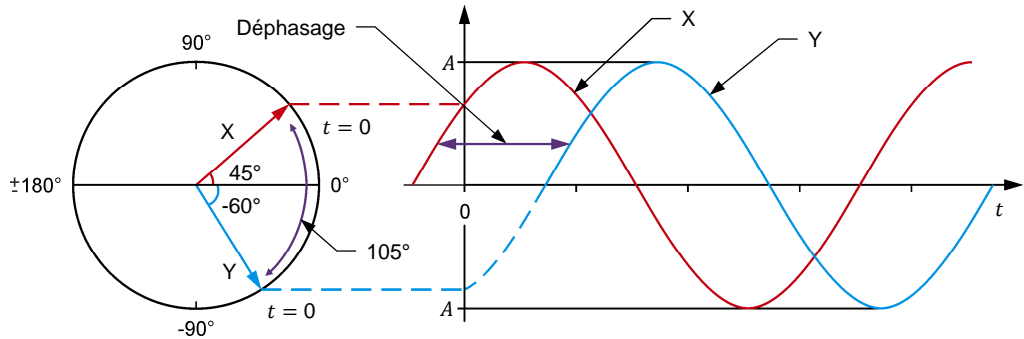


Figure 1-13. Déphasage entre deux ondes sinusoïdales avec des angles de phase de 45° et -60°.

Dans la figure, l'onde sinusoïdale X a un angle de phase θ de 45°, alors que l'onde sinusoïdale Y a un angle de phase θ de -60°. Selon l'onde sinusoïdale utilisée comme référence, le déphasage peut être de +105° ou -105°. Lorsque l'onde sinusoïdale X est considérée comme la référence, le déphasage de l'onde sinusoïdale Y par rapport à l'onde sinusoïdale X est de -105° ($-60^\circ - 45^\circ = -105^\circ$). Le signe moins dans cette valeur de déphasage indique que l'onde sinusoïdale Y est en retard par rapport à l'onde sinusoïdale X. Pour cette raison, cette valeur de déphasage peut également être exprimée en disant qu'elle est en retard de 105°. À l'inverse, lorsque l'onde sinusoïdale Y est considérée comme la référence, le déphasage de l'onde sinusoïdale X est de +105° ($45^\circ - (-60^\circ) = +105^\circ$). Le signe plus dans cette valeur de déphasage indique que l'onde sinusoïdale X est en avance par rapport à l'onde sinusoïdale Y. Pour cette raison, cette valeur de déphasage peut également être exprimée en disant qu'elle est en avance de 105°. Notez que lorsque deux ondes sinusoïdales ont des angles de phase différents, la valeur de déphasage n'est pas de zéro et, par conséquent, ces ondes sinusoïdales sont dites hors de phase.

Il est possible de déterminer le déphasage entre deux ondes sinusoïdales ayant la même fréquence sans connaître leurs angles de phase respectifs. L'équation suivante est utilisée :

$$\text{Déphasage} = \frac{d}{T} \times 360^\circ = \frac{d}{T} \times 2\pi \text{ rad} \quad (1-11)$$

dans laquelle d est l'intervalle de temps entre un point de référence donné sur chacune des deux ondes sinusoïdales, exprimé en secondes (s).

T est la période des ondes sinusoïdales, exprimée en secondes (s).

Cette équation montre de façon concrète pourquoi il n'est pas possible de calculer le déphasage entre deux ondes ayant des fréquences différentes f , puisqu'une période commune T ($T = 1/f$) est requise pour que l'équation soit valide.

Considérez, par exemple, les ondes sinusoïdales montrées dans la figure 1-14. En utilisant l'équation (1-11), le déphasage entre les deux ondes sinusoïdales est égal à :

$$\text{Déphasage} = \frac{d}{T} \times 360^\circ = \frac{3,33 \text{ ms}}{20,0 \text{ ms}} \times 360^\circ = 60^\circ$$

Lorsque l'onde sinusoïdale 1 est utilisée comme la référence, le déphasage est en retard parce que l'onde sinusoïdale 2 est en retard par rapport à l'onde sinusoïdale 1. À l'inverse, lorsque l'onde sinusoïdale 2 est considérée comme la référence, le déphasage est en avance parce que l'onde sinusoïdale 1 est en avance par rapport à l'onde sinusoïdale 2.

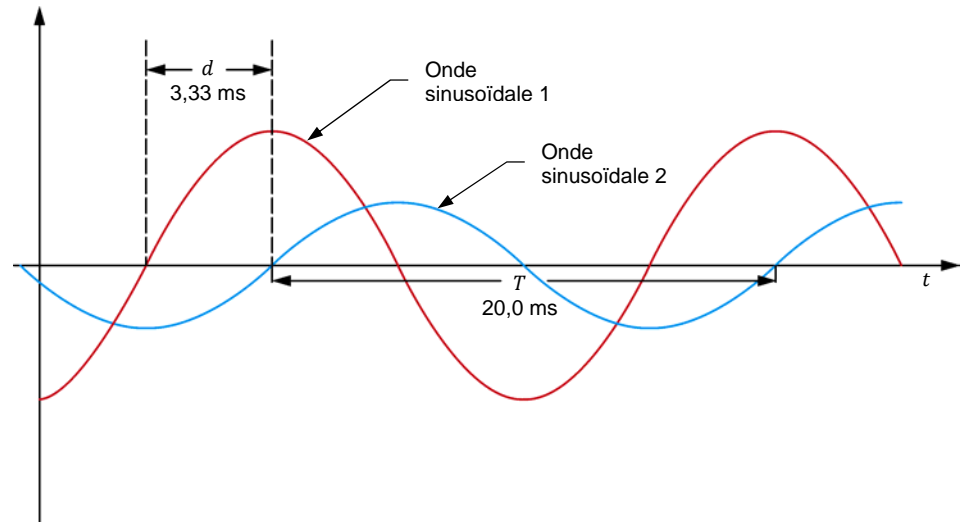


Figure 1-14. Décalage entre deux ondes sinusoïdales ayant la même fréquence.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Mesurer le déphasage entre deux formes sinusoïdales de tension dans un circuit résistance-bobine (RL)
- Mesurer le déphasage entre deux formes sinusoïdales de tension dans un circuit résistance-condensateur (RC)

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant une bobine et une résistance en série et monterez l'équipement pour mesurer la tension de source E_S , ainsi que la tension aux bornes de la résistance E_R .

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position *O* (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur [Mode de fonctionnement](#) à [Bloc d'alimentation](#). Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.
5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel [LVDAC-EMS](#).
7. Dans la fenêtre [Démarrage de LVDAC-EMS](#), assurez-vous que l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) et le [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) sont détectés. Assurez-vous que la fonction [Instrumentation informatisée](#) pour l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton [OK](#) pour fermer la fenêtre [Démarrage de LVDAC-EMS](#).
8. Montez le circuit montré dans la figure 1-15. Ce circuit contient une résistance R et une bobine L . Les bobines sont étudiées dans la prochaine unité de ce cours.

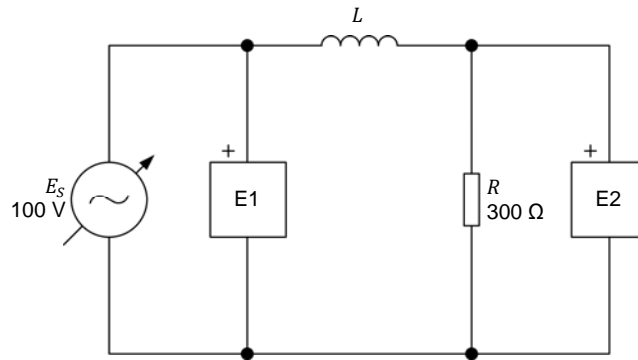


Figure 1-15. Circuit ca avec une résistance et une bobine.

La valeur de la bobine L dans le circuit de la figure 1-15 s'appelle l'inductance et est exprimée en henrys (H). La valeur d'inductance à utiliser dépend de la fréquence de la source d'alimentation ca, tel qu'indiqué dans le tableau 1-2.



Comme indiqué dans l'Annexe A, utilisez le module *Charge inductive* pour obtenir l'inductance requise lorsque la fréquence du réseau d'alimentation ca est de 60 Hz. Utilisez le module *Charges inductives et capacitives* pour obtenir l'inductance requise lorsque la fréquence du réseau d'alimentation ca est de 50 Hz.

Tableau 1-2. Valeurs d'inductance pour des fréquences de 50 et 60 Hz.

Fréquence de la source d'alimentation (Hz)	Inductance (H)
50	0,96
60	0,80

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la *Charge résistive* pour obtenir les valeurs de résistance requises.



L'Annexe C de ce cours indique les réglages des commutateurs à implémenter sur la *Charge résistive* pour obtenir diverses valeurs de résistance.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la *Charge inductive* (ou sur les *Charges inductives et capacitives*) pour obtenir la valeur d'inductance requise.



Si nécessaire, demandez à votre instructeur de vous aider à obtenir la valeur d'inductance requise.

Utilisez les entrées E1 et E2 de l'*Interface d'acquisition de données et de commande* pour mesurer la tension de source E_S et la tension E_R aux bornes de la résistance, respectivement.

9. Dans *LVDAC-EMS*, ouvrez la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, puis effectuez les réglages suivants :

- Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

- Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
- Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
- Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
- Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Mesurer le déphasage entre deux formes sinusoïdales de tension dans un circuit résistance-bobine (RL)

Dans cette section, vous observerez les formes d'onde (ondes sinusoïdales) de la tension de source E_S et de la tension de la résistance E_R , en utilisant l'Oscilloscope pour déterminer le déphasage entre les deux ondes sinusoïdales de tension. Puis, à l'aide de l'Analyseur de phaseurs, vous mesurerez le déphasage entre le phaseur de la tension de source et le phaseur de la tension de la résistance, et le comparerez au déphasage déterminé à partir des formes d'onde de tension.



Comme vous le verrez plus tard, en raison de la présence d'une bobine dans le circuit, le courant du circuit est en retard sur la tension de source. En conséquence, la tension E_R mesurée aux bornes de la résistance est déphasée par rapport à la tension de source E_S .

10. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre *Appareils de mesure*. Réglez les appareils de mesure *E1* et *E2* pour mesurer les valeurs efficaces de la tension de source E_S et de la tension E_R aux bornes de la résistance R , respectivement.

Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*) soit égale à 100 V.

11. Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'*Oscilloscope* et affichez E_S (entrée *E1*) et E_R (entrée *E2*) sur les voies 1 et 2, respectivement. Au besoin, réglez la base de temps pour afficher au moins deux cycles des ondes sinusoïdales. Placez les traces des deux voies à la même position verticale.
12. Mesurez la période T de la tension de source E_S à l'aide de l'*Oscilloscope* puis notez la valeur ci-dessous.



Pour obtenir une mesure précise, vous pouvez utiliser les curseurs verticaux de l'*Oscilloscope* pour mesurer la période ou tout autre intervalle de temps.

Période $T =$ _____ ms

13. Mesurez la période T de la tension de la résistance E_R à l'aide de l'Oscilloscope puis notez la valeur ci-dessous.

Période $T =$ _____ ms

14. Comparez la période T de la tension de la résistance E_R mesurée à l'étape précédente avec la période T de la tension de source E_S notée à l'étape 12. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

15. Mesurez l'intervalle de temps d entre les formes d'onde de la tension de source E_S et de la tension de la résistance E_R en utilisant l'Oscilloscope.

Intervalle de temps $d =$ _____ ms

16. En utilisant l'équation (1-11), calculez le déphasage entre la tension de source E_S et la tension de la résistance E_R . Considérez la forme d'onde de la tension de source comme la référence.

Déphasage = _____°

17. La tension E_R de la résistance est-elle en avance ou en retard sur la tension de la source E_S ?
-

18. Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'Analyseur de phaseurs et affichez la tension de source E_S (entrée $E1$) et la tension de la résistance E_R (entrée $E2$). Réglez le paramètre *Phaseur de référence* à $E1$. Mesurez les angles de phase θ_{ES} et θ_{ER} des phaseurs de tension.

Angle de phase $\theta_{ES} =$ _____°

Angle de phase $\theta_{ER} =$ _____°

À partir de ces valeurs, calculez le déphasage entre les phaseurs de la tension de source E_S et de la tension de la résistance E_R , en utilisant le phaseur de la tension de source comme référence.

Déphasage = _____°

19. Comparez le déphasage que vous avez déterminé à partir des ondes sinusoïdales de tension au déphasage que vous avez mesuré à partir des phaseurs de tension correspondants. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

Mesurer le déphasage entre deux formes sinusoïdales de tension dans un circuit résistance-condensateur (RC)

Dans cette section, vous remplacerez la bobine utilisée dans la section précédente par un condensateur. En utilisant l'Oscilloscope, vous déterminerez le déphasage entre les deux ondes sinusoïdales de tension. Puis, à l'aide de l'Analyseur de phaseurs, vous mesurerez le déphasage entre le phaseur de la tension de source et le phaseur de la tension de la résistance, et le comparerez au déphasage déterminé à partir des formes d'onde de tension.



Comme vous le verrez plus tard, en raison de la présence d'un condensateur dans le circuit, le courant du circuit est en avance sur la tension de source. En conséquence, la tension E_R de la résistance est déphasée par rapport à la tension de source E_S .

20. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

21. Modifiez le circuit afin qu'il soit tel que montré dans la figure 1-16 (remplacez la bobine par un condensateur). Ce circuit contient une résistance R et un condensateur C . Les condensateurs sont étudiés dans la prochaine unité de ce cours.

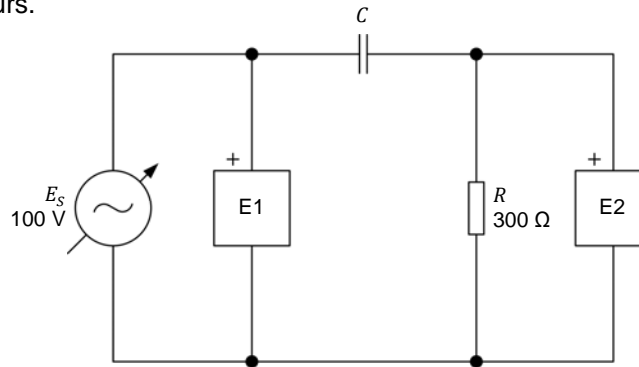


Figure 1-16. Circuit ca avec une résistance et un condensateur.

La valeur du condensateur C dans le circuit de la figure 1-16 s'appelle la capacitance et est exprimée en microfarads (μF). La valeur de capacitance à utiliser dépend de la fréquence de la source d'alimentation ca, tel qu'indiqué dans le tableau 1-3.



Comme indiqué dans l'Annexe A, utilisez le module **Charge capacitive** pour obtenir la capacitance requise lorsque la fréquence du réseau d'alimentation ca est de 60 Hz. Utilisez le module **Charges inductives et capacitives** pour obtenir la capacitance requise lorsque la fréquence du réseau d'alimentation ca est de 50 Hz.

Tableau 1-3. Valeurs de capacitance pour des fréquences de 50 et 60 Hz.

Fréquence de la source d'alimentation (Hz)	Capacitance (μF)
50	5,3
60	4,4

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** pour obtenir les valeurs de résistance requises.



*L'Annexe C de ce cours indique les réglages des commutateurs à implémenter sur la **Charge résistive** pour obtenir diverses valeurs de résistance.*

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge capacitive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir la valeur de capacitance requise.



Si nécessaire, demandez à votre instructeur de vous aider à obtenir la valeur de capacitance requise.

22. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca. Si nécessaire, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

23. Mesurez la période T de la tension de source à l'aide de l'**Oscilloscope** puis notez la valeur ci-dessous.

Période $T =$ _____ ms

24. Mesurez la période T de la tension de la résistance E_R à l'aide de l'**Oscilloscope** puis notez la valeur ci-dessous.

Période $T =$ _____ ms

25. Comparez la période T de la tension de la résistance E_R mesurée à l'étape précédente avec la période T de la tension de source E_S notée à l'étape 23. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

26. Mesurez l'intervalle de temps d entre les formes d'onde de la tension de source E_S et de la tension de la résistance E_R .

Intervalle de temps $d =$ _____ ms

27. En utilisant l'équation (1-11), calculez le déphasage entre la tension de source E_S et la tension de la résistance E_R . Considérez la forme d'onde de la tension de source comme la référence.

Déphasage = _____ °

28. La tension E_R de la résistance est-elle en avance ou en retard sur la tension de la source E_S ?

29. Dans l'Analyseur de phaseurs, mesurez les angles de phase θ_{ES} et θ_{ER} des phaseurs de tension.

Angle de phase $\theta_{ES} = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$

Angle de phase $\theta_{ER} = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$

À partir de ces valeurs, calculez le déphasage entre les phaseurs de la tension de source E_S et de la tension de la résistance E_R , en utilisant le phaseur de la tension de source comme référence.

Déphasage = $\underline{\hspace{2cm}}^\circ$

30. Comparez le déphasage que vous avez déterminé à partir des ondes sinusoïdales de tension au déphasage que vous avez mesuré à partir des phaseurs de tension correspondants. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

31. Dans la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, désactivez la source d'alimentation ca.

32. Fermez LVDAC-EMS, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez vu comment l'angle de phase modifie la valeur d'une onde sinusoïdale au temps $t = 0$ et, par conséquent, la position dans le temps de l'onde sinusoïdale. Vous avez observé les effets des angles de phase positifs et négatifs sur la position relative dans le temps d'une onde sinusoïdale. Vous avez été introduit à la notion de déphasage. Vous avez appris comment calculer et mesurer le déphasage entre deux ondes sinusoïdales et comment différencier un déphasage en avance d'un déphasage en retard.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Quel est l'effet de l'angle de phase sur la représentation graphique d'une onde sinusoïdale ?

2. Une onde sinusoïdale a un angle de phase θ de 72° . Cette onde sinusoïdale atteindra-t-elle sa valeur maximale avant, après ou au même moment que la deuxième forme d'onde ayant un angle de phase θ de -18° ?

3. Considérant les deux équations d'onde sinusoïdale suivantes :

$$E(t) = 8 \sin 20t + 78^\circ$$

$$E(t) = 40 \sin 20t + 43^\circ$$

Calculez le déphasage entre ces deux ondes sinusoïdales, en considérant la première onde sinusoïdale comme étant la référence. Indiquez également si la deuxième onde sinusoïdale est en retard ou en avance par rapport à l'onde sinusoïdale.

4. Lors du calcul du déphasage entre les deux ondes sinusoïdales, lequel ou lesquels des paramètres suivants les deux ondes sinusoïdales doivent-elles avoir en commun : angle de phase, amplitude, fréquence ou période ? Pourquoi ?

5. Considérez deux ondes sinusoïdales ayant la même fréquence. Elles ont toutes deux une période T de 50 ms. La deuxième onde sinusoïdale atteint sa valeur positive maximale 8 ms après la première. Calculez le déphasage entre les deux ondes sinusoïdales, en considérant la première comme étant la référence.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Puissance instantanée et puissance moyenne

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous saurez la différence entre la puissance instantanée et la puissance moyenne, et comment les calculer. Vous serez capable d'expliquer et de démontrer le concept de puissance instantanée dans les circuits ca. Vous serez également capable de déterminer la puissance moyenne dissipée dans une résistance lorsqu'elle est connectée à une source d'alimentation ca. Vous serez capable de démontrer la relation entre les valeurs efficaces et la puissance moyenne dans les circuits ca résistifs.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Puissance instantanée
- Puissance moyenne
- Raisonnement derrière les valeurs efficaces

PRINCIPES

Puissance instantanée

Lorsque de la puissance électrique est fournie à un moteur cc, une fraction de la puissance est convertie en énergie mécanique et le reste est converti en chaleur. Lorsque de la puissance est fournie à une batterie de stockage pendant la charge, une partie de la puissance est convertie en énergie chimique, alors que le reste est converti en chaleur. Cependant, lorsque de la puissance est fournie à une résistance, toute la puissance est convertie en chaleur. Cette conversion de puissance électrique en chaleur est un processus très efficace, et nous l'utilisons à tous les jours dans des grilles-pains, fours et domiciles à chauffage électrique.

Dans les circuits cc, la puissance P est le produit de la tension E et du courant I . La même chose est vraie pour les circuits ca. Cependant, dans le cas des circuits ca, il est important de connaître la différence entre la **puissance instantanée** et la **puissance moyenne**. À partir de ce qui a été vu jusqu'à maintenant, il devrait être clair que la puissance fournie à une charge connectée à une source ca varie avec le temps, puisque la tension et le courant du circuit sont des ondes sinusoïdales. La puissance instantanée P est égale au produit $E \times I$ calculé à chaque instant du cycle de l'onde sinusoïdale. La figure 1-17 montre un exemple de forme d'onde de puissance par rapport à des ondes sinusoïdales de tension et de courant. Comme vous pouvez le voir, dans la première moitié de leur cycle, les ondes sinusoïdales de tension et de courant ont des valeurs positives, tandis que dans la deuxième moitié, elles ont des valeurs négatives. Par conséquent, le produit $E \times I$ (c.-à-d. la forme d'onde de puissance) est toujours positif, que les ondes sinusoïdales de tension et de courant soient ou non dans la moitié positive ou négative du cycle. Par conséquent, la puissance nette fournie à la source est égale à la puissance fournie pendant la demi-onde positive combinée à la puissance fournie pendant la demi-onde négative.

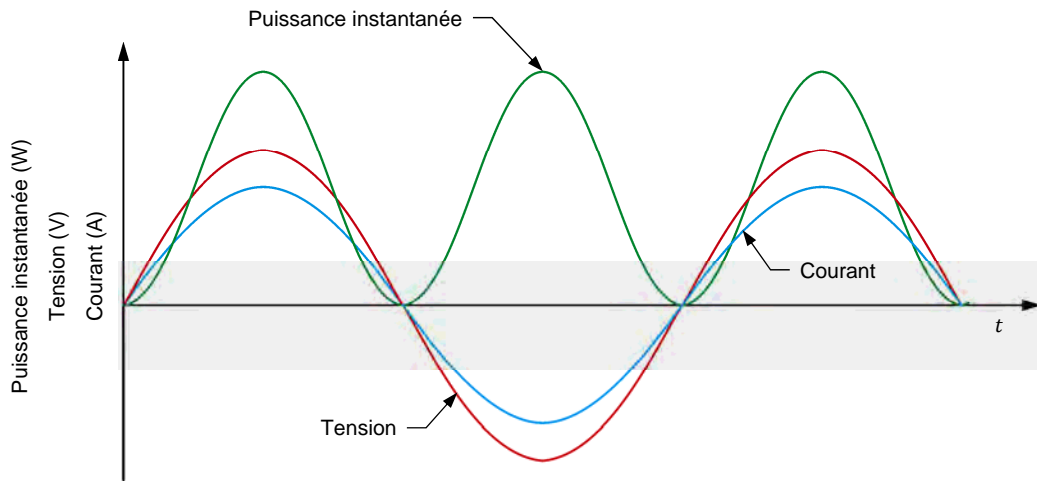


Figure 1-17. Formes d'onde de tension, de courant et de puissance instantanée pour une résistance.

Un wattmètre connecté pour mesurer la puissance fournie à la charge dans un simple circuit ca résistif indiquerait donc une valeur de puissance concrète autre que zéro, même si la puissance moyenne sur une période des formes d'onde de tension et de courant est de zéro.

Comme vous pouvez le voir à partir de la forme d'onde de puissance dans la figure 1-17, la fréquence de la forme d'onde de puissance instantanée est le double de celle de la source. Cela est dû au fait que lorsque les formes d'onde de tension et de courant commencent la moitié négative de leurs cycles, la forme d'onde de puissance commence un autre cycle qui est identique au précédent.

Puissance moyenne

Alors que la puissance instantanée varie avec le temps, la puissance moyenne $P_{Moy.}$ dissipée dans la résistance (ou valeur moyenne de la forme d'onde de puissance) reste constante dans le temps et correspond au produit de la tension efficace $E_{Eff.}$ et du courant efficace $I_{Eff.}$, tel que montré dans l'équation ci-dessous :

$$P_{Moy.} = E_{Eff.} \times I_{Eff.} \quad (1-12)$$

dans laquelle $P_{Moy.}$ est la puissance moyenne, exprimée en watts (W).

$E_{Eff.}$ est la tension efficace, exprimée en volts (V).

$I_{Eff.}$ est le courant efficace, exprimé en ampères (A).

La figure 1-18 montre la comparaison entre les représentations graphiques de la forme d'onde de la puissance instantanée et de la puissance moyenne. Notez que cette relation n'est valide que pour les circuits ca purement résistifs.

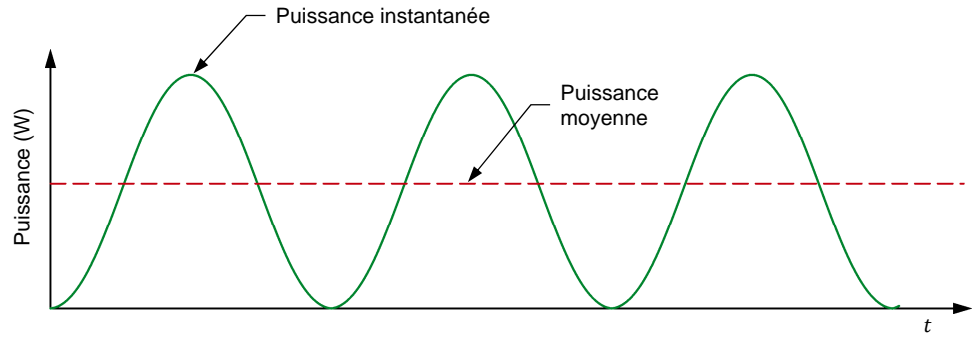


Figure 1-18. Puissance instantanée et puissance moyenne.

Raisonnement derrière les valeurs efficaces

Dans l'Exercice 1-1, le concept des valeurs efficaces a d'abord été introduit sans explication complète des raisons qui le sous-tendent. À l'aide du concept de la puissance moyenne, nous pouvons maintenant mieux comprendre la relation entre la tension efficace dans un circuit ca et la tension mesurée dans un circuit cc.

Considérez le circuit ca montré dans la figure 1-19a. Dans ce circuit, la source d'alimentation ca fournit une quantité donnée de puissance moyenne $P_{Moy.}$ à une résistance. Ainsi, pour fournir la même quantité de puissance P_{CC} à la même résistance dans le circuit cc montré dans la figure 1-19b, la source d'alimentation cc doit être réglée à une tension particulière E_{CC} . Cette tension E_{CC} est égale à la tension efficace $E_{Eff.}$ de la source d'alimentation ca. En d'autres termes, lorsque la puissance fournie à une charge résistive par une source d'alimentation ca est égale à la puissance fournie à une charge résistive équivalente par une source d'alimentation cc ($P_{Moy.} = P_{CC}$), la tension efficace de la source d'alimentation ca est égale à la tension de la source d'alimentation cc ($E_{Eff.} = E_{CC}$). Notez que, pour des raisons qui seront vues plus tard, cette relation n'est vraie que dans le cas de charges résistives et n'est pas valide lorsque d'autres composants (p. ex., des bobines et condensateurs) sont introduits dans un circuit.

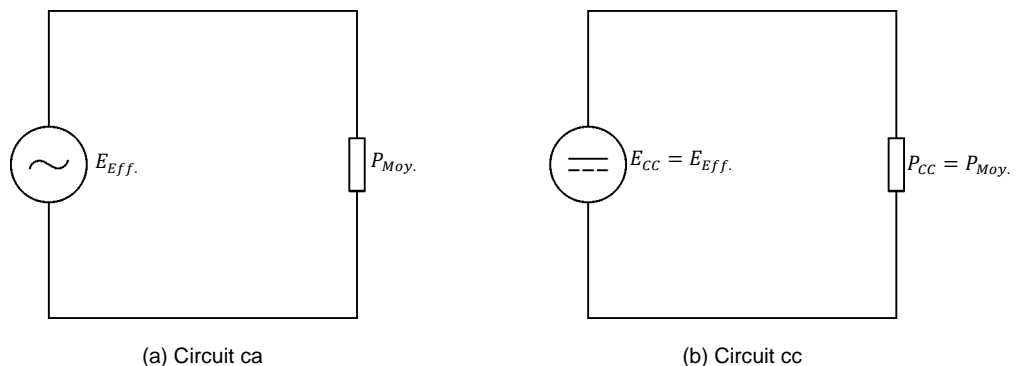


Figure 1-19. Circuits ca et cc équivalents fournissant la même tension et la même puissance.

Le raisonnement ci-dessus s'applique également aux valeurs efficaces du courant dans un circuit ca. Ainsi, lorsque le courant I_{CC} d'une source d'alimentation cc est égal à la valeur efficace du courant $I_{Eff.}$ dans un circuit ca, alors la puissance P_{CC} dissipée dans la résistance du circuit cc est égale à la puissance moyenne $P_{Moy.}$ dissipée dans la même résistance du circuit ca.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Mesures de la puissance moyenne
- Raisonnement derrière les valeurs efficaces

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant une résistance et monterez l'équipement pour mesurer la tension de source E_S , le courant de source I_S et la puissance P_S fournie à la résistance par la source.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur [Mode de fonctionnement](#) à [Bloc d'alimentation](#). Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.
5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel LVDAC-EMS.
7. Dans la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS, assurez-vous que l'Interface d'acquisition de données et de commande et le Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'Interface d'acquisition de données et de commande est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton OK pour fermer la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS.
8. Montez le circuit montré dans la figure 1-20.

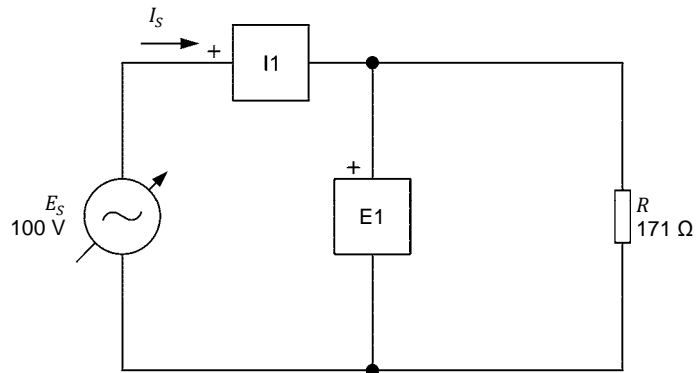


Figure 1-20. Circuit ca contenant une résistance, ainsi qu'un voltmètre et un ampèremètre pour des mesures de tension, courant et puissance.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la *Charge résistive* pour obtenir la valeur de résistance requise.

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension de source E_S et le courant de source I_S , respectivement.

9. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, puis effectuez les réglages suivants :
 - Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
 - Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Mesures de la puissance moyenne

Dans cette section, vous observerez les formes d'onde de la tension de source E_S , du courant de source I_S et de la puissance P_S que la source d'alimentation ca fournit à la résistance dans le circuit d'alimentation ca que vous avez monté dans la section précédente. Vous mesurerez la puissance moyenne $P_{S, moy}$ de la source, ainsi que les valeurs efficaces de la tension de source E_S et du courant de source I_S . Vous calculerez ensuite la puissance P_S de la source à partir des valeurs efficaces mesurées de la tension E_S et du courant I_S de source et comparerez le résultat avec le puissance mesurée P_S de la source.

10. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre **Appareils de mesure**. Réglez les appareils de mesure **E1** et **I1** pour mesurer les valeurs efficaces de la tension E_S de la source d'alimentation ca et du courant de source I_S , respectivement.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

11. Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'**Oscilloscope** et réglez les paramètres pour afficher la tension de source E_S , le courant de source I_S et la puissance P_S que la source d'alimentation ca fournit à la résistance sur les voies 1, 2 et 3, respectivement. Assurez-vous que la base de temps soit ajustée pour montrer au moins deux cycles complets des formes d'onde et sélectionnez des échelles verticales adéquates.

12. Sur l'**Oscilloscope**, déterminez la période T des formes d'onde de la tension de source E_S et du courant de source I_S , puis calculez la fréquence de la source f à partir de la période mesurée T .

Période $T =$ _____ ms

Fréquence $f = \frac{1}{T} =$ _____ Hz

13. Sur l'**Oscilloscope**, déterminez la période T de la forme d'onde de la puissance instantanée P_S , puis calculez la fréquence de la source f à partir de la période mesurée T .

Période $T =$ _____ ms

Fréquence $f = \frac{1}{T} =$ _____ Hz

14. Comment se compare la fréquence f de la forme d'onde de la puissance instantanée P_S obtenue à l'étape précédente avec la fréquence du courant I_S et de la tension E_S notée à l'étape 12 ?

15. Observez que la polarité de la forme d'onde de la puissance instantanée P_S est toujours positive Expliquez pourquoi.

16. Sur l'Oscilloscope, notez la valeur moyenne $P_{S,moy.}$ de la forme d'onde de la puissance de la source P_S .

Puissance moyenne $P_{S,moy.} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

17. Notez ci-dessous les valeurs efficaces de la tension de source E_S et du courant de source I_S , indiquées par les appareils de mesure *E1* et *I1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*, respectivement.

Tension de source $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}}$ A

18. Calculez la puissance P_S que la source fournit à la résistance de charge à l'aide des valeurs efficaces de E_S et I_S mesurées à l'étape précédente.

Puissance $P_S = I_S \times E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ W

19. Comparez la puissance P_S calculée à l'étape précédente avec la puissance moyenne $P_{S,moy.}$ notée à l'étape 16. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

20. Cela confirme-t-il que la puissance moyenne dissipée dans une résistance connectée à une source d'alimentation ca est égale au produit des valeurs efficaces de la tension et du courant de la résistance ?

Oui Non

Raisonnement derrière les valeurs efficaces

Dans cette section, vous réglerez le Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants afin qu'il fonctionne comme une source d'alimentation cc. Vous ajusterez ensuite la tension de la source cc jusqu'à ce que vous obteniez une puissance P_{CC} qui est égale à la puissance moyenne $P_{S,moy.}$ obtenue précédemment à l'aide de la source d'alimentation ca. Cela vous permettra de déterminer la relation entre la valeur de tension cc et la valeur de tension efficace lorsque la même quantité de puissance est fournie à une charge résistive.

21. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre **Fonction** à **Source de tension cc**. Cela change la source d'alimentation ca en source d'alimentation cc et règle automatiquement l'état du **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants** à **Arrêté**.

Le circuit est maintenant monté tel que montré dans la figure 1-21.

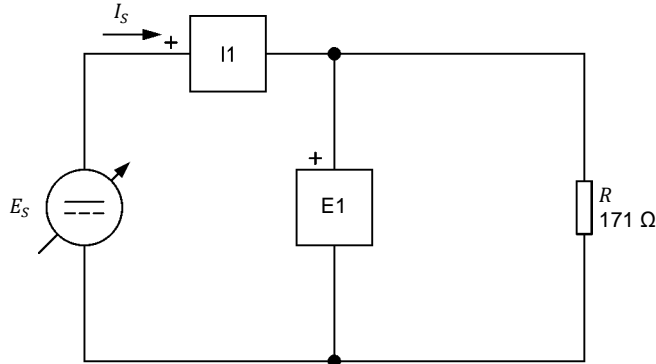


Figure 1-21. Circuit cc contenant une résistance, ainsi qu'un voltmètre et un ampèremètre pour des mesures de tension, courant et puissance.

22. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation cc, puis ajustez la tension de la source d'alimentation cc afin que la puissance P_{CC} fournie à la résistance (voir la valeur moyenne de la forme d'onde de tension dans la voie 3 indiquée sous l'affichage de l'Oscilloscope) soit égale à la puissance moyenne $P_{S,moy}$ fournie par la source d'alimentation ca à la section précédente (notée à l'étape 16). Notez la tension de la source cc E_{CC} ci-dessous :

Tension de la source cc $E_{CC} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

23. Comparez la tension mesurée E_{CC} de la source cc à la tension efficace E_S de la source d'alimentation ca utilisée dans la section précédente (notée à l'étape 17). Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

24. Que pouvez-vous conclure à propos de la valeur efficace de la tension (ou du courant) dans les circuits ca contenant une charge résistive ?

25. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation cc.

26. Fermez **LVDAC-EMS**, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez été introduit à la notion de puissance instantanée et de puissance moyenne et avez vu comment les différencier. Vous avez vu comment calculer la puissance instantanée dans un circuit ca ainsi que comment représenter graphiquement la puissance instantanée. Vous avez appris comment déterminer la puissance moyenne dissipée dans un circuit ca. Vous avez également appris la relation entre des valeurs de tension efficace et des valeurs de tension cc dans des circuits contenant des charges résistives.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Quelle est la différence entre la puissance moyenne et la puissance instantanée dans un circuit ca ?

2. Comment est-il possible de calculer la puissance moyenne dissipée dans un circuit ca ?

3. Quelle est la fréquence d'une forme d'onde de puissance en comparaison des ondes sinusoïdales de la tension et du courant correspondantes ? Expliquez pourquoi.

4. Quelle est la puissance moyenne $P_{S,moy}$ dissipée par une résistance de 100Ω lorsqu'elle est connectée à une source ca ayant une amplitude de 141 V ?

5. Une tension sinusoïdale ayant une période T de $20,0 \text{ ms}$ est appliquée à une charge résistive. Quelle est la fréquence de la forme d'onde de puissance à la résistance ?

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Test de l'unité

1. Quelle est la période d'une onde sinusoïdale ?
 - a. Le temps entre les demi-ondes positives et négatives de l'onde sinusoïdale.
 - b. Le nombre de fois que son cycle se répète en une seconde.
 - c. Le temps entre la valeur positive maximale et la valeur négative maximale.
 - d. Le temps requis pour qu'une onde sinusoïdale complète un cycle.

2. Quelle est la période d'une onde sinusoïdale dont la fréquence est de 120 Hz ?
 - a. 120 ms
 - b. 8,33 ms
 - c. 33,4 ms
 - d. 16,7 ms

3. La puissance ca produit un courant qui change de sens périodiquement et alterne entre un maximum positif et un maximum négatif.
 - a. Vrai
 - b. Faux
 - c. Elle dépend de la fréquence f .
 - d. Aucune de ces réponses

4. Quel est le déphasage entre la tension et le courant dans un circuit ne contenant qu'une charge résistive ?
 - a. 180°
 - b. 90°
 - c. Il n'y a pas de déphasage.
 - d. Il dépend de la puissance dissipée dans la charge.

5. Considérant les équations suivantes de tension ca : $E(t) = 15 \sin(30t + 25)$ et $E(t) = 5 \sin(30t - 55)$, calculez le déphasage entre elles. Considérez la deuxième comme la référence.
 - a. -30°
 - b. 80°
 - c. -80°
 - d. Il est impossible de calculer leur déphasage puisqu'elles n'ont pas la même fréquence.

6. L'angle de phase d'une onde sinusoïdale détermine :
 - a. la fréquence de l'onde sinusoïdale.
 - b. la valeur initiale de l'onde sinusoïdale.
 - c. les valeurs positives et négatives de l'onde sinusoïdale.
 - d. la durée des demi-ondes positives et négatives de l'onde sinusoïdale.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

7. Dans un circuit donné ne contenant qu'une résistance, une source d'alimentation ca dissipera plus de puissance qu'une source d'alimentation ca ayant une tension égale à l'amplitude de la forme d'onde de la tension ca.
- Vrai
 - Faux, puisque la valeur de puissance moyenne de la source d'alimentation ca est de zéro sur une période complète.
 - Faux, parce que l'amplitude d'une forme d'onde de tension ca est plus grande que sa valeur de tension efficace.
 - Vrai, parce que la puissance est égale au produit des valeurs de tension et de courant efficaces.
8. La forme d'onde de la puissance instantanée dans un circuit cc est la même que dans un circuit ca.
- Vrai
 - Faux, la puissance instantanée dans un circuit cc est constante.
 - Vrai, si elles ont la même fréquence.
 - Faux, la puissance instantanée n'existe pas dans les circuits cc.
9. Les valeurs positives et négatives d'une onde sinusoïdale sont déterminées par :
- l'angle de phase.
 - la période.
 - la fréquence.
 - l'amplitude.
10. Quelle est l'amplitude d'une forme d'onde de tension si elle produit la même puissance moyenne dans une résistance qu'une tension cc de 50,0 V ?
- 70,7 V
 - 141 V
 - 50,0 V
 - 35,5 V

Résistance, réactance et impédance

OBJECTIF DE L'UNITÉ

Lorsque vous aurez complété cette unité, vous saurez ce que sont une bobine et un condensateur. Vous serez capable de calculer la réactance inductive d'une bobine à partir de son inductance et la réactance capacitive d'un condensateur à partir de sa capacitance. Vous serez familier avec la relation entre la fréquence de la source et la réactance d'une bobine ou d'un condensateur. Vous connaîtrez également les effets d'introduire une bobine et un condensateur dans un circuit ca sur les formes d'onde de tension et de courant.

SOMMAIRE DES PRINCIPES

Les Principes fondamentaux couvrent les points suivants :

- Introduction aux bobines et aux condensateurs
- Distinction entre résistance, réactance et impédance

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Introduction aux bobines et aux condensateurs

La plupart des circuits étudiés jusqu'à maintenant ne contenaient que des composants résistifs. Les circuits ca typiques, cependant, contiennent deux autres types fondamentaux de composants : les **bobines** et les **condensateurs**. Dans l'Exercice 1-2, vous avez utilisé une bobine et un condensateur pour produire un déphasage entre les formes d'onde de tension et de courant dans un circuit ca. Cette unité couvre plus en détail les bobines et les condensateurs.

Les bobines sont couramment utilisées dans les circuits ca. En fait, les enroulements de transformateurs et de moteurs ca sont fondamentalement des bobines, ce qui veut dire que les enroulements ont le même effet qu'une bobine lorsqu'ils sont introduits dans un circuit ca. Les bobines peuvent aussi être délibérément ajoutées dans des circuits ca pour modifier les caractéristiques du circuit. La figure 2-1 montre certains des nombreux types de bobines disponibles. Une bobine consiste essentiellement d'un fil conducteur en forme de spirale. Le courant circulant dans le fil crée un fort champ magnétique à l'intérieur de la bobine.



Figure 2-1. Divers types de bobines.

Les condensateurs, comme les bobines, sont ajoutés aux circuits ca pour modifier les caractéristiques de base des circuits. Par exemple, un condensateur peut être connecté aux enroulements de certains moteurs à induction monophasés pour permettre aux moteurs de démarrer sans assistance externe lorsque l'alimentation est allumée. Les condensateurs ont généralement l'effet opposé des bobines dans les circuits ca. La figure 2-2 montre certains condensateurs de différentes dimensions et formes.



Figure 2-2. Divers types de condensateurs.

Distinction entre résistance, réactance et impédance

Comme les résistances, les bobines et condensateurs s'opposent au flux de courant dans les circuits électriques. Cependant, alors que l'opposition au flux de courant produite par les résistances se nomme résistance, l'opposition au flux de courant causée par les bobines et les condensateurs s'appelle **réactance**. Comme la résistance, la réactance est exprimée en ohms (Ω). La réactance d'une bobine est connue sous le nom de **réactance inductive** alors que la réactance d'un condensateur est connue sous le nom de **réactance capacitive**. La réactance est étudiée en détail dans les deux premiers exercices de cette unité.

L'opposition totale au flux de courant dans un circuit ca, c.-à-d. l'opposition au flux de courant due aux résistances, aux bobines et aux condensateurs dans le circuit est souvent appelée l'**impédance**. L'impédance, comme la résistance et la réactance, est exprimée en ohms (Ω). L'impédance est étudiée dans le troisième exercice de cette unité.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Réactance inductive

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous saurez ce qu'est une bobine. Vous serez capable de calculer la réactance inductive d'une bobine à partir de son inductance. Vous connaîtrez la relation entre la fréquence de la source et la réactance inductive d'une bobine. Vous connaîtrez également l'effet d'introduire une bobine dans un circuit ca sur les formes d'onde de tension et de courant.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Bobines et réactance inductive
- Déphasage inductif

PRINCIPES

Bobines et réactance inductive

Une bobine consiste principalement d'un bobinage de fil avec ou sans noyau de fer. Les bobines stockent de l'énergie dans le champ magnétique produit lorsque du courant circule dans le bobinage. Par conséquent, les bobines s'opposent aux variations de courant.

La caractéristique fondamentale d'une bobine est l'**inductance** L , qui est exprimée en henrys (H). L'inductance est un des facteurs principaux déterminant l'opposition au flux de courant d'une bobine, c.-à-d. la réactance inductive X_L . Comme pour la résistance, la réactance inductive est exprimée en ohms (Ω). L'équation pour la réactance inductive est donnée ci-dessous :

$$X_L = 2\pi fL \quad (2-1)$$

dans laquelle X_L est la réactance inductive de la bobine, exprimée en ohms (Ω).

f est la fréquence de la source d'alimentation ca, exprimée en hertz (Hz).

L est l'inductance de la bobine, exprimée en henrys (H).

L'équation (2-1) montre que la réactance inductive X_L d'une bobine est directement proportionnelle à l'inductance L de la bobine et à la fréquence f de la source d'alimentation ca.

Le courant circulant dans une résistance est égal à E/R . Remarquez la similitude avec l'équation pour le courant circulant dans une bobine.

La loi d'Ohm dicte que le courant I circulant dans une bobine est égal à E/X_L . Par conséquent, plus la réactance inductive de la bobine est élevée, plus le courant de la bobine est faible.

Déphasage inductif

Une autre caractéristique fondamentale d'une bobine est que l'onde sinusoïdale du courant circulant dans la bobine est en retard sur l'onde sinusoïdale de la tension aux bornes de la bobine de 90° . La figure 2-3 montre les formes d'onde de tension et de courant typiques associées à une bobine et aux phaseurs correspondants.

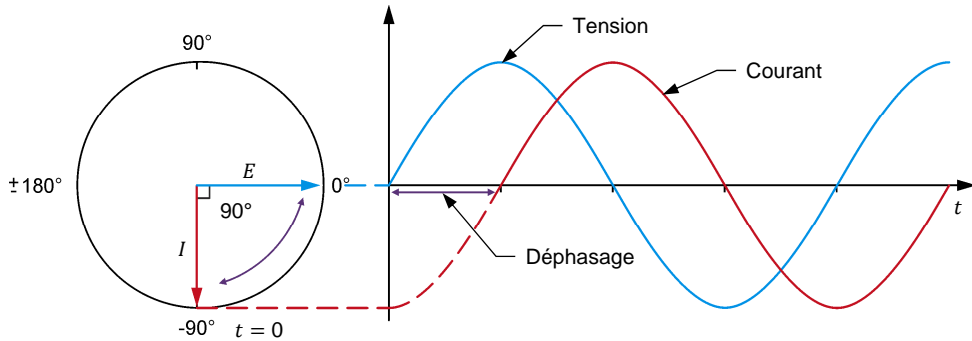


Figure 2-3. Formes d'onde de la tension et du courant associées à une bobine et phaseurs correspondants.

Le décalage de 90° entre les formes d'onde de tension et de courant associées à une bobine n'est vrai que pour les bobines idéales. Pour des bobines réelles, le courant est en retard sur la tension par un peu moins de 90° . Cela est dû au fait que le fil de la bobine lui-même a une certaine résistance. Cette résistance s'ajoute à l'opposition au flux de courant dans la bobine, c.-à-d. que l'opposition totale au flux de courant créée par la bobine est égale à la réactance inductive plus la résistance du bobinage de fil. La relation exacte entre l'inductance et la résistance est expliquée dans l'Exercice 2-3 de ce cours.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Inductance et réactance inductive
- Effet de la fréquence sur la réactance inductive
- Mesurer le déphasage inductif

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant une bobine et monterez l'équipement pour mesurer la tension E_L aux bornes de la bobine et le courant I_L circulant dans la bobine.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position *O* (éteint), puis connectez son *Alimentation* à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'*Alimentation* de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur *Mode de fonctionnement* à *Bloc d'alimentation*. Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.
5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel [LVDAC-EMS](#).
7. Dans la fenêtre [Démarage de LVDAC-EMS](#), assurez-vous que l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) et le [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton *OK* pour fermer la fenêtre [Démarage de LVDAC-EMS](#).

8. Montez le circuit montré dans la figure 2-4.

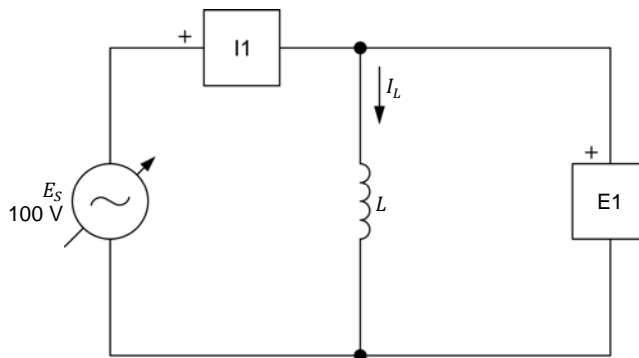


Figure 2-4. Circuit ca contenant une bobine.

La valeur de l'inductance L à utiliser dans le circuit de la figure 2-4 dépend de la fréquence de la source d'alimentation ca, tel qu'indiqué dans le tableau 2-1.

Tableau 2-1. Première et deuxième valeurs d'inductance pour des fréquences de 50 Hz et de 60 Hz.

Fréquence de la source d'alimentation (Hz)	Inductance L (H)	
	Première valeur	Deuxième valeur
50	0,96	1,92
60	0,80	1,60

Utilisez les entrées $E1$ et $I1$ de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension E_L et le courant I_L de la bobine, respectivement.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la Charge inductive (ou sur les Charges inductives et capacitives) pour obtenir la première valeur d'inductance requise (reportez-vous au tableau 2-1).



Si nécessaire, demandez à votre instructeur de vous aider à obtenir la valeur d'inductance requise.

9. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, puis effectuez les réglages suivants :
 - Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
 - Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Inductance et réactance inductive

Dans cette section, vous calculerez la réactance inductive X_L de la bobine pour la première valeur d'inductance L dans le tableau 2-1. Vous mesurerez la tension E_L et le courant I_L de la bobine. Vous déterminerez la réactance inductive X_L de la bobine à partir de la tension E_L et du courant I_L mesurés de la bobine et comparerez le résultat à la réactance inductive calculée X_L . Vous doublerez la valeur de l'inductance L pour déterminer l'effet de la réactance inductive X_L de la bobine.

10. Calculez la réactance inductive X_L de la bobine pour la première valeur d'inductance L dans le tableau 2-1 et notez le résultat ci-dessous.

Réactance inductive calculée $X_L = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

11. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca.
12. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez la fenêtre **Appareils de mesure**. Réglez les appareils de mesure **E1** et **I1** pour mesurer les valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine, respectivement.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

Notez ci-dessous les valeurs mesurées de la tension E_L et du courant I_L de la bobine (appareils de mesure **E1** et **I1**, respectivement).

Tension de la bobine $E_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant de la bobine $I_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

13. Calculez la réactance inductive X_L de la bobine à l'aide de la tension E_L et du courant I_L de la bobine mesurés à l'étape précédente.

Réactance inductive $X_L = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

14. Comparez la réactance inductive X_L obtenue à l'étape précédente avec la réactance inductive calculée X_L notée à l'étape 10. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

15. Réglez l'inductance L de la bobine à la deuxième valeur indiquée dans le tableau 2-1 en effectuant les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge inductive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**).



Si nécessaire, demandez à votre instructeur de vous aider à obtenir la valeur d'inductance requise.

16. Calculez la réactance inductive X_L de la bobine pour la deuxième valeur d'inductance L dans le tableau 2-1 et notez le résultat dans la deuxième colonne du tableau 2-2 (voir la prochaine section de procédure).

Indiquez la fréquence (50 ou 60 Hz) de votre réseau d'alimentation ca local dans la première colonne du tableau 2-2.

17. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)*, si nécessaire, afin que la tension de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.
18. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine. Notez les valeurs dans les cellules appropriées des troisième et quatrième colonnes dans le tableau 2-2.
19. Calculez la réactance inductive X_L de la bobine à l'aide de la tension E_L et du courant I_L de la bobine mesurés à l'étape précédente. Notez le résultat dans la cinquième colonne du tableau 2-2.
20. Comparez la réactance inductive X_L obtenue à l'étape précédente avec la réactance inductive calculée X_L notée à l'étape 16. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

21. Comparez la réactance inductive X_L de la bobine pour la première valeur d'inductance à la réactance inductive X_L pour la deuxième valeur d'inductance. Qu'arriva-t-il à la réactance inductive X_L de la bobine lorsque vous avez doublé l'inductance L ? Décrivez la relation entre l'inductance L et la réactance inductive X_L d'une bobine.

Effet de la fréquence sur la réactance inductive

Dans cette section, vous calculerez la réactance inductive X_L de la bobine à l'aide de la deuxième valeur d'inductance L dans le tableau 2-1, pour des fréquences de la source d'alimentation ca de 40 Hz et 70 Hz. Pour chacune de ces deux fréquences, vous mesurerez la tension E_L et le courant I_L de la bobine, calculerez la réactance inductive X_L de la bobine à partir de la tension et du courant mesurés, et la comparerez à la réactance inductive calculée X_L correspondante. En utilisant les valeurs de réactance inductive calculées à partir des tensions et courants de la bobine mesurés, vous déterminerez la relation entre la fréquence de la source f et la réactance inductive X_L .

22. Calculez la réactance inductive X_L de la bobine (à l'aide de la deuxième valeur d'inductance L indiquée dans le tableau 2-1) à des fréquences de 40 Hz et 70 Hz. Notez les résultats dans les cellules appropriées de la deuxième colonne du tableau 2-2.

Tableau 2-2. Réactance inductive calculée et tension E_L , courant I_L et réactance inductive mesurés pour diverses fréquences.

Fréquence de la source d'alimentation (Hz)	Réactance inductive calculée X_L (Ω)	Tension de la bobine E_L (V)	Courant de la bobine I_L (A)	Réactance inductive X_L (Ω)
40				
50 ou 60				
70				

- 23.** Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre *Fréquence* à 40 Hz.
- 24.** Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine. Notez les valeurs dans les cellules appropriées des troisième et quatrième colonnes dans le tableau 2-2.
- 25.** Calculez la réactance inductive X_L de la bobine à l'aide de la tension E_L et du courant I_L de la bobine mesurés à l'étape précédente. Notez le résultat dans la cellule appropriée de la cinquième colonne du tableau 2-2.
- 26.** Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre *Fréquence* à 70 Hz, puis répétez les étapes 24 à 25.
- 27.** Déterminez la relation entre la réactance inductive X_L d'une bobine et la fréquence de la source d'alimentation ca à l'aide des valeurs notées dans le tableau 2-2.

Mesurer le déphasage inductif

Dans cette section, vous observerez les formes d'onde de la tension et du courant de la bobine en utilisant l'Oscilloscope pour déterminer le déphasage entre ces paramètres. Puis, à l'aide de l'Analyseur de phaseurs, vous mesurerez le déphasage entre le phaseur de la tension de la bobine et le phaseur du courant de la bobine, et comparerez le résultat au déphasage déterminé à partir des formes d'onde de tension et de courant.

- 28.** Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.

29. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez l'**Oscilloscope** et affichez la tension et le courant de la bobine sur les voies 1 et 2, respectivement. Si nécessaire, réglez la base de temps pour afficher au moins deux cycles des formes d'onde. Sélectionnez la voie 1 (tension de la bobine) comme source de déclenchement puis réglez le niveau de déclenchement à 0 V.

Remarquez que l'amplitude de la forme d'onde de la tension de la bobine est équivalente à la valeur efficace de la tension E_L de la bobine indiquée dans la fenêtre **Appareils de mesure**. Remarquez également que l'amplitude de la forme d'onde du courant de la bobine est équivalente à la valeur efficace du courant I_L de la bobine indiquée dans la fenêtre **Appareils de mesure**.

30. L'onde sinusoïdale du courant de la bobine est-elle en retard sur l'onde sinusoïdale de la tension de la bobine ?

Oui Non

31. À l'aide de l'**Oscilloscope**, déterminez la période T des formes d'onde de la tension de la bobine et du courant de la bobine. Notez la valeur ci-dessous.

Période $T =$ _____ ms

32. À l'aide de l'**Oscilloscope**, déterminez l'intervalle de temps d entre la tension de la bobine et du courant de la bobine, puis calculez le déphasage entre les deux formes d'onde.

Considérez la forme d'onde de la tension de la bobine comme la référence.

Intervalle de temps $d =$ _____ ms

Déphasage $= \frac{d}{T} \cdot 360 =$ _____ °

33. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez l'**Analyseur de phaseurs** et affichez la tension E_L (entrée **E1**) et le courant I_L (entrée **I1**) de la bobine. Réglez le paramètre **Phaseur de référence** à la tension E_L (entrée **E1**) de la bobine. Notez le déphasage entre le phaseur de la tension de la bobine et le phaseur du courant de la bobine ci-dessous, en considérant le phaseur de la tension comme la référence. Sachant que les phaseurs tournent dans le sens antihoraire, indiquez si le phaseur du courant I_L de la bobine est en avance ou en retard sur le phaseur de la tension E_L de la bobine.



*Remarquez que les longueurs du phaseur de la tension et du phaseur du courant de la bobine correspondent aux valeurs de la tension et du courant indiquées dans la fenêtre **Appareils de mesure**.*

Déphasage $=$ _____ °

34. Comparez le déphasage que vous avez déterminé à partir des formes d'onde de la tension et du courant de la bobine au déphasage mesuré à partir des phaseurs de la tension et du courant de la bobine. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

35. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

36. Fermez **LVDAC-EMS**, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez appris ce qu'est une bobine. Vous avez également appris comment calculer la réactance inductive d'une bobine à partir de son inductance. Vous avez vu la relation entre la fréquence de la source et la réactance inductive d'une bobine. Vous avez vérifié le décalage entre la tension et le courant associés à une bobine.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Un circuit d'alimentation ca contenant une bobine a une tension de source E_S de 150 V et un courant de source I_S de 0,5 A. Calculez la réactance inductive X_L de la bobine.

2. Considérez un circuit d'alimentation ca ayant une fréquence de source f et contenant une seule bobine. Qu'arrive-t-il à la réactance inductive X_L de la bobine lorsque la fréquence de la source f diminue à la moitié de sa valeur initiale ?

3. Comment varie la réactance inductive X_L en fonction de l'inductance L ?

4. Considérez un circuit ca contenant une bobine idéale. Déterminez le déphasage entre les formes d'onde de la tension et du courant de la bobine. Considérez la tension de la bobine comme la référence.

5. Comment la résistance du fil du bobinage dans une bobine réelle affecte-t-elle le déphasage entre la tension et le courant de la bobine ?

Réactance capacitive

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous saurez ce qu'est un condensateur. Vous serez capable de calculer la réactance capacitive d'un condensateur à partir de sa capacitance. Vous connaîtrez la relation entre la fréquence de la source et la réactance capacitive d'un condensateur. Vous connaîtrez également l'effet d'introduire un condensateur dans un circuit ca sur les formes d'onde de tension et de courant.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Condensateurs et réactance capacitive
- Décalage capacitif

PRINCIPES

Remarquez les différences : les bobines stockent de l'énergie dans un champ magnétique et s'opposent aux variations de courant. Les condensateurs stockent de l'énergie dans un champ électrique et s'opposent aux variations de tension.

Condensateurs et réactance capacitive

Un condensateur consiste principalement de deux plaques d'un matériau conducteur (généralement un métal) séparées par un matériau isolant. Une paire de bornes sur le condensateur donne accès aux plaques de métal. Lorsque du courant circule dans un condensateur, le condensateur stocke de l'énergie dans le champ électrique qui se forme entre les plaques de métal. Par conséquent, les condensateurs s'opposent aux variations de tension.

La caractéristique fondamentale de tout condensateur est la **capacitance** C , qui est exprimée en farads (F). La capacitance est un des facteurs principaux déterminant l'opposition au flux de courant du condensateur, c.-à-d. la **réactance capacitive** X_C . Comme la résistance et la réactance inductive, la réactance capacitive est exprimée en ohms (Ω). L'équation pour la réactance capacitive est donnée ci-dessous :

En pratique, la capacitance C d'un condensateur est généralement exprimée en μF . $1 \mu\text{F} = 0,000001 \text{ F}$.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2-2)$$

dans laquelle X_C est la réactance capacitive du condensateur, exprimée en ohms (Ω).
 f est la fréquence de la source d'alimentation ca, exprimée en hertz (Hz).
 C est la capacitance du condensateur, exprimée en farads (F).

L'équation (2-2) montre que la réactance capacitive X_C d'un condensateur est inversement proportionnelle à la capacitance C et à la fréquence f de la source d'alimentation ca.

La loi d'Ohm dicte que le courant I circulant dans un condensateur est égal à E/X_C . Par conséquent, plus la réactance capacitive du condensateur est élevée, plus le courant du condensateur est faible.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Décalage capacitif

Une autre caractéristique fondamentale d'un condensateur est que l'onde sinusoïdale du courant circulant dans le condensateur est en avance sur l'onde sinusoïdale de la tension aux bornes du condensateur de 90° . La figure 2-5 montre les formes d'onde de tension et de courant typiques associées à un condensateur et aux phaseurs correspondants.

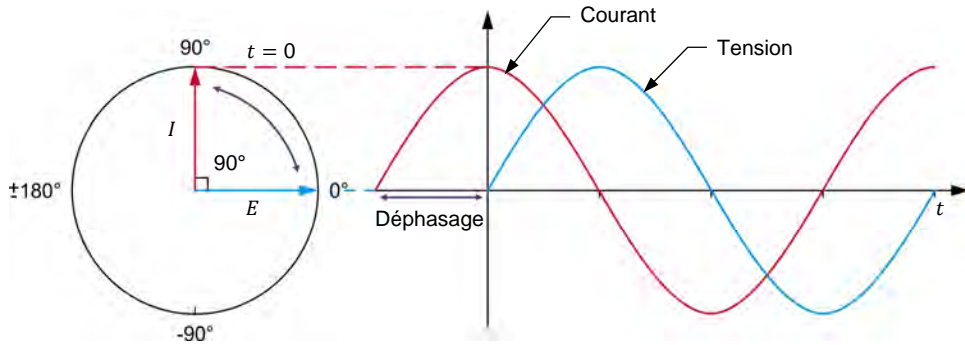


Figure 2-5. Formes d'onde de la tension et du courant associées à un condensateur et phaseurs correspondants.

Contrairement aux bobines, la différence entre un condensateur idéal et un condensateur réel est négligeable. Cela est dû au fait que la résistance des plaques et bornes formant un condensateur est très faible et n'a que peu d'influence sur le déphasage entre les formes d'onde de la tension et du courant du condensateur. Le déphasage réel entre les formes d'onde de la tension et du courant du condensateur est donc très près de 90° .

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Capacitance et réactance capacitive
- Effet de la fréquence sur la réactance capacitive
- Mesurer le déphasage capacitif

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant un condensateur et monterez l'équipement pour mesurer la tension E_c aux bornes du condensateur et le courant I_c circulant dans le condensateur.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants** est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son **Alimentation** à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'**Alimentation** de l'**Interface d'acquisition de données et de commande** à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le **Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants** puis réglez l'interrupteur **Mode de fonctionnement** à **Bloc d'alimentation**. Ce réglage permet au **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants** de fonctionner comme un bloc d'alimentation.
5. Connectez le port USB de l'**Interface d'acquisition de données et de commande** à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants** à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel **LVDAC-EMS**.
7. Dans la fenêtre **Démarrage de LVDAC-EMS**, assurez-vous que l'**Interface d'acquisition de données et de commande** et le **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants** sont détectés. Assurez-vous que la fonction **Instrumentation informatisée** pour l'**Interface d'acquisition de données et de commande** est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton **OK** pour fermer la fenêtre **Démarrage de LVDAC-EMS**.
8. Montez le circuit montré dans la figure 2-6.

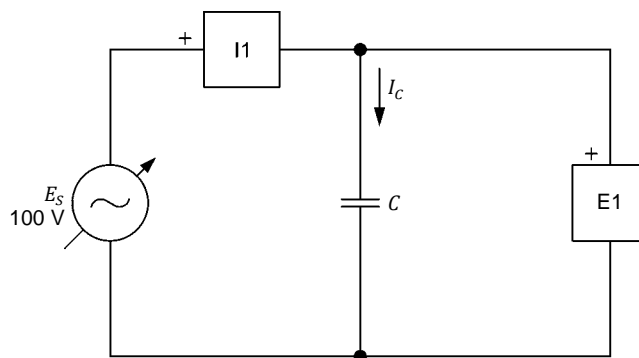


Figure 2-6. Circuit ca contenant un condensateur.

La valeur de la capacitance C à utiliser dans le circuit de la figure 2-6 dépend de la fréquence de la source d'alimentation ca, tel qu'indiqué dans le tableau 2-3.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Tableau 2-3. Première et deuxième valeurs de capacitance pour des fréquences de 50 Hz et de 60 Hz.

Fréquence de la source d'alimentation (Hz)	Capacitance C (μF)	
	Première valeur	Deuxième valeur
50	10,6	5,3
60	8,8	4,4

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension E_C et le courant I_C du condensateur, respectivement.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la Charge capacitive (ou sur les Charges inductives et capacitives) pour obtenir la première valeur de capacitance requise (reportez-vous au tableau 2-3).



Si nécessaire, demandez à votre instructeur de vous aider à obtenir la valeur de capacitance requise.

9. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, puis effectuez les réglages suivants :
 - Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
 - Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Capacitance et réactance capacitive

Dans cette section, vous calculerez la réactance capacitive X_C du condensateur pour la première valeur de capacitance C dans le tableau 2-3. Vous mesurerez la tension E_C et le courant I_C du condensateur. Vous déterminerez la réactance capacitive X_C du condensateur à partir de la tension E_C et du courant I_C mesurés du condensateur et comparerez le résultat à la réactance capacitive calculée X_C . Vous diminuerez la capacitance C à la moitié de sa valeur initiale pour déterminer l'effet sur la réactance capacitive X_C du condensateur.

10. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur pour la première valeur de capacitance C dans le tableau 2-3 et notez le résultat ci-dessous.

Réactance capacitive calculée $X_C =$ _____ Ω

11. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca.
12. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez la fenêtre **Appareils de mesure**. Réglez les appareils de mesure **E1** et **I1** pour mesurer les valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur, respectivement.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

Notez ci-dessous les valeurs mesurées de la tension E_C et du courant I_C du condensateur (appareils de mesure **E1** et **I1**, respectivement).

Tension du condensateur $E_C = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant du condensateur $I_C = \underline{\hspace{2cm}}$ A

13. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur à l'aide de la tension E_C et du courant I_C du condensateur mesurés à l'étape précédente.

Réactance capacitive $X_C = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω

14. Comparez la réactance capacitive X_C obtenue à l'étape précédente avec la réactance capacitive calculée X_C notée à l'étape 10. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

15. Réglez la capacitance C du condensateur à la deuxième valeur indiquée dans le tableau 2-3 en effectuant les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge capacitive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**).



Si nécessaire, demandez à votre instructeur de vous aider à obtenir la valeur de capacitance requise.

16. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur pour la deuxième valeur de capacitance C dans le tableau 2-3 et notez le résultat dans la cellule appropriée de la deuxième colonne du tableau 2-4 (voir la prochaine section de procédure).

Indiquez la fréquence (50 Hz ou 60 Hz) de votre réseau d'alimentation ca local dans la première colonne du tableau 2-4.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)**, si nécessaire, afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

17. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur. Notez les valeurs dans les cellules appropriées des troisième et quatrième colonnes dans le tableau 2-4.

18. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur à l'aide de la tension E_C et du courant I_C du condensateur mesurés à l'étape précédente. Notez le résultat dans la cellule appropriée de la cinquième colonne du tableau 2-4.

19. Comparez la réactance capacitive X_C obtenue à l'étape précédente avec la réactance capacitive calculée X_C notée à l'étape 16. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

20. Comparez la réactance capacitive X_C du condensateur obtenue avec la première valeur de capacitance à la réactance capacitive X_C obtenue avec la deuxième valeur de capacitance. Qu'est-il arrivé à la réactance capacitive X_C du condensateur lorsque avez diminué la capacitance C à la moitié de sa valeur initiale ? Décrivez la relation entre la capacitance C et la réactance capacitive X_C d'un condensateur.

Effet de la fréquence sur la réactance capacitive

Dans cette section, vous calculerez la réactance capacitive X_C du condensateur à l'aide de la deuxième valeur de capacitance C dans le tableau 2-3, pour des fréquences de la source d'alimentation ca de 40 Hz et 70 Hz. Pour chacune de ces deux fréquences, vous mesurerez la tension E_C et le courant I_C du condensateur, calculerez la réactance capacitive X_C du condensateur à partir de ces valeurs mesurées, et comparerez les résultats à la réactance capacitive calculée X_C correspondante. En utilisant les valeurs de réactance capacitive calculées à partir des tensions et courants du condensateur mesurés, vous déterminerez la relation entre la fréquence de la source f et la réactance capacitive X_C .

21. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur (à l'aide de la deuxième valeur de capacitance C indiquées dans le tableau 2-3) à des fréquences de 40 Hz et 70 Hz. Notez les résultats dans les cellules appropriées de la deuxième colonne du tableau 2-4.

Tableau 2-4. Réactance capacitive calculée et tension E_C , courant I_C et réactance capacitive mesurés pour diverses fréquences.

Fréquence de la source d'alimentation (Hz)	Réactance capacitive calculée X_C (Ω)	Tension du condensateur E_C (V)	Courant du condensateur I_C (A)	Réactance capacitive X_C (Ω)
40				
50 ou 60				
70				

22. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre *Fréquence* à 40 Hz.
23. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur. Notez les valeurs dans les cellules appropriées des troisième et quatrième colonnes du tableau 2-4.
24. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur à l'aide de la tension E_C et du courant I_C du condensateur mesurés à l'étape précédente. Notez le résultat dans la cellule appropriée de la cinquième colonne du tableau 2-4.
25. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre *Fréquence* à 70 Hz, puis répétez les étapes 23 à 24.
26. Déterminez la relation entre la réactance capacitive X_C d'un condensateur et la fréquence de la source d'alimentation ca à l'aide des valeurs notées dans le tableau 2-4.

Mesurer le déphasage capacitif

Dans cette section, vous observerez les formes d'onde de la tension et du courant du condensateur en utilisant l'Oscilloscope pour déterminer le déphasage entre ces paramètres. Puis, à l'aide de l'Analyseur de phaseurs, vous mesurerez le déphasage entre le phaseur de la tension du condensateur et le phaseur du courant du condensateur, et comparerez le résultat au déphasage déterminé à partir des formes d'onde de tension et de courant.

27. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.

28. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez l'**Oscilloscope** et affichez la tension et le courant du condensateur sur les voies 1 et 2, respectivement. Si nécessaire, réglez la base de temps pour afficher au moins deux cycles des formes d'onde. Sélectionnez la voie 1 (tension du condensateur) comme source de déclenchement puis réglez le niveau de déclenchement à 0 V.

Remarquez que l'amplitude de la forme d'onde de la tension du condensateur est équivalente à la valeur efficace de la tension E_C du condensateur indiquée dans la fenêtre **Appareils de mesure**. Remarquez également que l'amplitude de la forme d'onde du courant du condensateur est équivalente à la valeur efficace du courant I_C du condensateur indiquée dans la fenêtre **Appareils de mesure**.

29. L'onde sinusoïdale du courant du condensateur est-elle en avance sur l'onde sinusoïdale de la tension du condensateur ?

Oui Non

30. À l'aide de l'**Oscilloscope**, déterminez la période T des formes d'onde de la tension du condensateur et du courant du condensateur. Notez la valeur ci-dessous.

Période $T =$ _____ ms

31. À l'aide de l'**Oscilloscope**, déterminez l'intervalle de temps d entre la tension du condensateur et du courant du condensateur, puis calculez le déphasage entre les deux formes d'onde.

Considérez la forme d'onde de la tension du condensateur comme la référence.

Intervalle de temps $d =$ _____ ms

Déphasage $= \frac{d}{T} \times 360 =$ _____ °

32. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez l'**Analyseur de phaseurs** et affichez la tension E_C (entrée **E1**) et le courant I_C (entrée **I1**) du condensateur. Réglez le paramètre **Phaseur de référence** à la tension E_C (entrée **E1**) du condensateur. Notez le déphasage entre le phaseur de la tension du condensateur et le phaseur du courant du condensateur ci-dessous, en considérant le phaseur de la tension comme la référence. Sachant que les phaseurs tournent dans le sens antihoraire, indiquez si le phaseur du courant I_C du condensateur est en avance ou en retard sur le phaseur de la tension E_C du condensateur.

Déphasage $=$ _____ °

33. Comparez le déphasage que vous avez déterminé à partir des formes d'onde de la tension et du courant du condensateur au déphasage mesuré à partir des phaseurs de la tension et du courant du condensateur. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

34. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

35. Fermez **LVDAC-EMS**, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez appris ce qu'est un condensateur. Vous avez également appris comment calculer la réactance capacitive d'un condensateur à partir de sa capacitance. Vous avez vu la relation entre la fréquence de la source et la réactance capacitive d'un condensateur. Vous avez vérifié le décalage entre la tension et le courant associés à un condensateur.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Un circuit ca contenant un condensateur ($C = 12 \mu\text{F}$) a une fréquence de source f de 60 Hz. Calculez la réactance capacitive X_C du condensateur.

2. Considérez un circuit d'alimentation ca ayant une fréquence de source f et contenant un seul condensateur. Qu'arrive-t-il à la réactance capacitive X_C du condensateur lorsque la fréquence de la source f diminue à la moitié de sa valeur initiale ?

3. Comment varie la réactance capacitive X_C avec la capacitance C ?

4. Considérez un circuit ca contenant un condensateur. Déterminez le déphasage entre les formes d'onde de la tension et du courant du condensateur. Considérez la tension du condensateur comme référence.

5. Un circuit ca contenant un condensateur a une tension de source E_S de 120 V, un courant de source I_S de 1,5 A et une fréquence f de la source d'alimentation de 60 Hz. Calculez la capacitance C du condensateur.

Impédance

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous serez familier avec les diagrammes de phaseurs associés à une résistance, à une bobine et à un condensateur. Vous serez capable de calculer la réactance équivalente des composants réactifs dans les circuits ca en série et de représenter la réactance équivalente sur un diagramme de phaseurs. Vous saurez également comment calculer l'impédance de circuits ca en série et en parallèle et représenter l'impédance équivalente sur un diagramme de phaseurs.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Diagrammes de phaseurs associés aux résistances, bobines et condensateurs
- Réactance équivalente de composants réactifs connectés en série
- Impédance de résistances, bobines et condensateurs connectés en série
- Impédance de résistances, bobines et condensateurs connectés en parallèle

PRINCIPES

Diagrammes de phaseurs associés aux résistances, bobines et condensateurs

Chaque paramètre dans un circuit ca (p. ex., la tension, le courant, la puissance, etc.) peut être représenté par un phaseur, c.-à-d. un vecteur ayant son départ à l'origine (0, 0) d'un plan cartésien. La longueur du phaseur est déterminée par l'amplitude du paramètre que le phaseur représente, alors que la position angulaire (direction) du phaseur est déterminée par l'angle de phase du paramètre. L'axe horizontal du plan s'appelle l'axe des réels, alors que l'axe vertical du plan s'appelle l'axe des imaginaires. Les diagrammes de phaseurs associés aux composants de base, c.-à-d. la résistance, la bobine et le condensateur, sont introduits ci-dessous.

Diagramme de phaseurs associé à une résistance

Le courant circulant dans une résistance est en phase avec la tension aux bornes de la résistance (voir la figure 1-17 dans l'Exercice 1-3). Par conséquent, une résistance ($R = E_R / I_R$) peut être représentée par un phaseur qui est en phase avec les phaseurs de la tension et du courant associés à cette résistance, tel que montré dans la figure 2-7.



Les calculs vectoriels associés aux phaseurs sont expliqués plus en détail dans l'Annexe D.

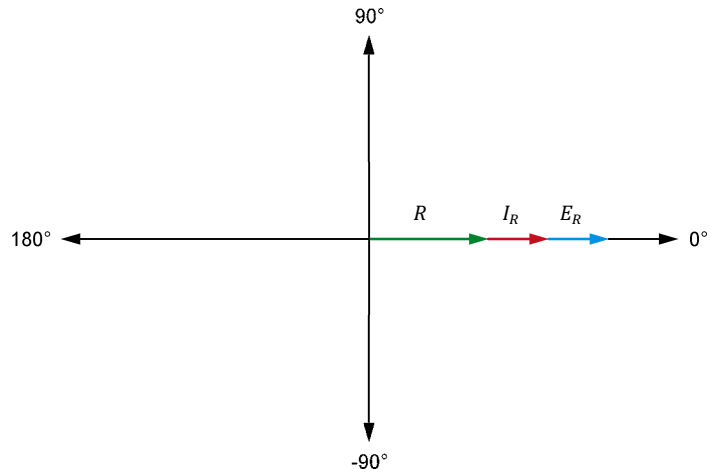


Figure 2-7. Diagramme de phaseurs de la tension E_R , du courant I_R et de la résistance R associés à une résistance.

Diagramme de phaseurs associé à une bobine

Le courant circulant dans une bobine idéale est en retard de 90° sur la tension aux bornes de la bobine (tel que vu dans l'Exercice 2-1). La réactance inductive d'une bobine peut être déterminée à l'aide de calculs vectoriels pour résoudre l'équation $X_L = E_L / I_L$. Le résultat de ce calcul (c.-à-d. la réactance inductive X_L) est un phaseur qui est en avance de 90° sur le phaseur de la tension E_L de la bobine et qui est déphasé de 180° par rapport au courant I_L de la bobine, tel que montré dans la figure 2-8.

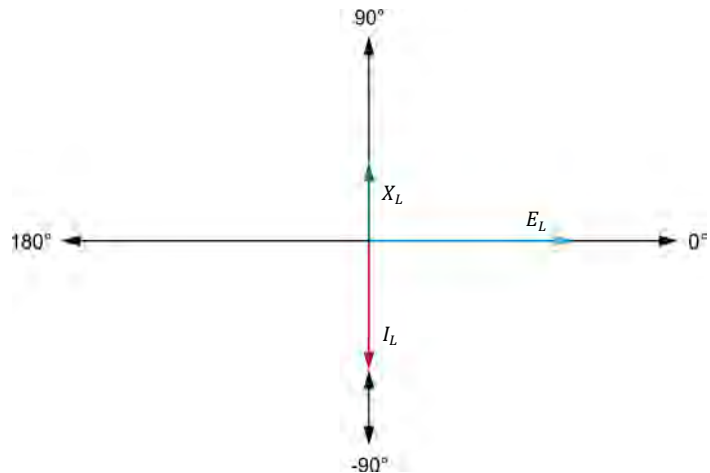


Figure 2-8. Diagramme de phaseurs de la tension E_L , du courant I_L et de la réactance inductive X_L associés à une bobine.

Diagramme de phaseurs associé à un condensateur

Le courant circulant dans un condensateur est en avance de 90° sur la tension aux bornes du condensateur (tel que vu dans l'Exercice 2-2). La réactance capacitive d'un condensateur peut être déterminée à l'aide de calculs vectoriels pour résoudre l'équation $X_C = E_C / I_C$. Le résultat de ce calcul (c.-à-d. la réactance capacitive X_C) est un phaseur qui est en avance de 90° sur le phaseur de la tension E_C du condensateur et qui est déphasé de 180° par rapport au courant I_C du condensateur, tel que montré dans la figure 2-9.

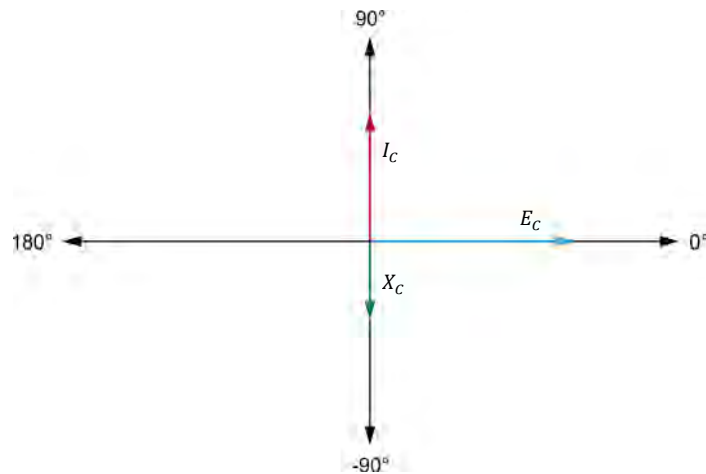


Figure 2-9. Diagramme de phaseurs de la tension E_C , du courant I_C et de la réactance capacitive X_C associés à un condensateur.

Réactance équivalente de composants réactifs connectés en série

La différence principale entre le diagramme de phaseurs associé à une bobine et celui associé à un condensateur est la direction du phaseur de réactance. La réactance inductive X_L et la réactance capacitive X_C sont toutes deux sur l'axe des imaginaires (axe vertical du diagramme) mais de polarités opposées. Par conséquent, lorsqu'une bobine est en série avec un condensateur dans un circuit ca, les valeurs de réactance inductive et capacitive s'annulent l'une l'autre. La réactance équivalente $X_{Eq.}$ d'une bobine et d'un condensateur en série est donc déterminée à l'aide de l'équation suivante :

$$X_{Eq.} = X_L - X_C \quad (2-3)$$

dans laquelle	$X_{Eq.}$	est la réactance équivalente de la bobine et du condensateur, exprimée en ohms (Ω).
	X_L	est la réactance inductive de la bobine, exprimée en ohms (Ω).
	X_C	est la réactance capacitive du condensateur, exprimée en ohms (Ω).

L'équation (2-3) montre que, dans un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur, si la réactance inductive X_L de la bobine a une valeur plus élevée que la réactance capacitive X_C du condensateur, la réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur est positive et est dite inductive. Considérez, par exemple, un circuit ca en série contenant une bobine ($X_L = 300 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 100 \Omega$). La réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur est de $+200 \Omega$ ($300 \Omega - 100 \Omega$), ou 200Ω inductive, ce qui signifie que la bobine et le condensateur connectés en série sont équivalents à une seule bobine ayant une réactance inductive X_L de 200Ω . L'onde sinusoïdale du courant I_X circulant dans les composants réactifs est donc en retard de 90° sur l'onde sinusoïdale de la tension E_X aux bornes des composants réactifs. La figure 2-10 montre le diagramme de phaseurs associé à un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur, et ayant une réactance équivalente inductive.

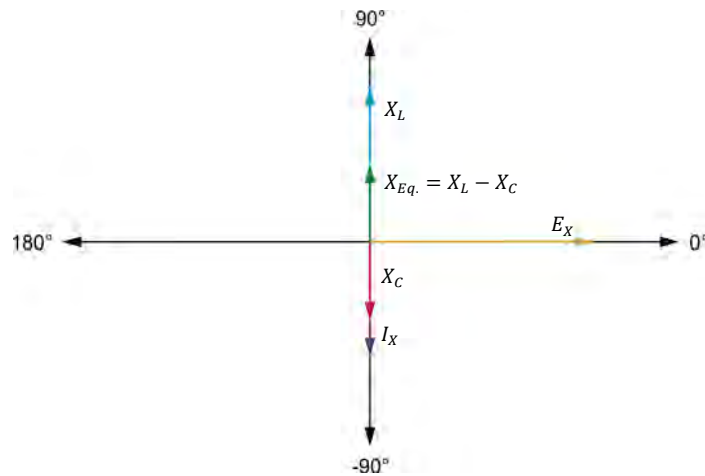


Figure 2-10. Diagramme de phaseurs associé à un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur, et ayant une réactance équivalente inductive.

À l'inverse, l'équation (2-3) montre que, dans un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur, si la réactance capacitive X_C du condensateur a une valeur plus élevée que la réactance inductive X_L de la bobine, la réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur est négative et est dite capacitive. Considérez, par exemple, un circuit ca en série contenant une bobine ($X_L = 150 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 250 \Omega$). La réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur est de -100Ω ($150 \Omega - 250 \Omega$), ou 100Ω capacitive, ce qui signifie que la bobine et le condensateur connectés en série sont équivalents à un seul condensateur ayant une réactance capacitive X_C de 100Ω . L'onde sinusoïdale du courant I_X circulant dans les composants réactifs est donc en avance de 90° sur l'onde sinusoïdale de la tension E_X aux bornes des composants réactifs. La figure 2-11 montre le diagramme de phaseurs associé à un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur, et ayant une réactance équivalente capacitive.

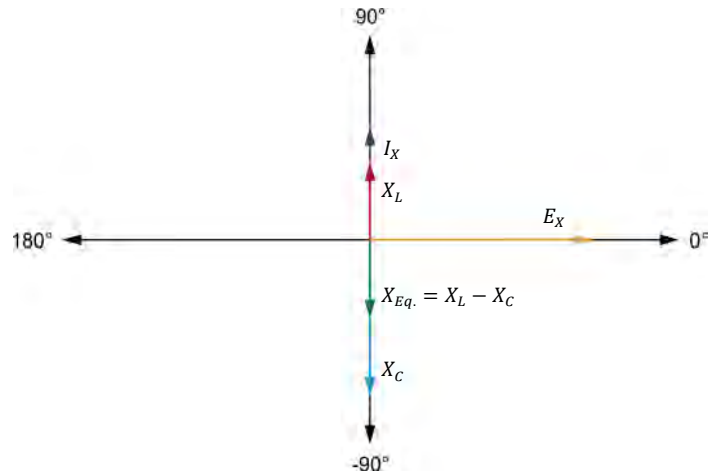


Figure 2-11. Diagramme de phaseurs associé à un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur, et ayant une réactance équivalente capacitive.

Impédance de résistances, bobines et condensateurs connectés en série

Lorsqu'une résistance et un composant réactif (bobine ou condensateur) sont connectés en série, l'opposition totale au flux de courant dans le circuit, qui se nomme l'impédance Z , est égale à la somme vectorielle de la valeur de résistance R de la résistance et de la réactance X des composants réactifs. La figure 2-12 montre le diagramme de phaseurs associé à l'impédance Z d'une résistance et d'une bobine connectées en série.

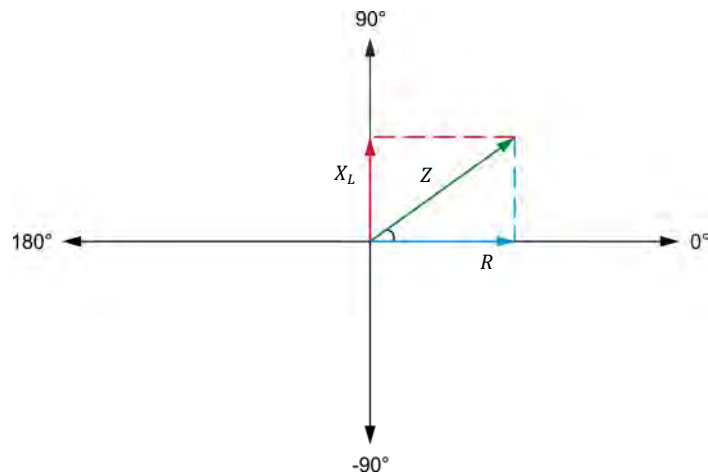


Figure 2-12. Diagramme de phaseurs montrant l'impédance Z d'une résistance et d'une bobine connectées en série.

La figure 2-12 montre clairement que l'impédance Z est le résultat de l'addition du phaseur de la résistance R au phaseur de la réactance inductive X_L . En fait, le phaseur de l'impédance Z est la diagonale du rectangle formé par les phaseurs de la résistance R et de la réactance inductive X_L . Par conséquent, selon le théorème de Pythagore, l'impédance Z d'une résistance en série avec un composant réactif peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2-4)$$

- dans laquelle
- Z est l'impédance de la résistance et du composant réactif connectés en série, exprimée en ohms (Ω).
 - R est la valeur de résistance de la résistance, exprimée en ohms (Ω).
 - X est la réactance du composant réactif, exprimée en ohms (Ω).

L'équation (2-4) est valide pour les bobines et les condensateurs. La figure 2-13 montre un exemple de l'impédance Z résultante d'une résistance et d'un condensateur connectés en série.

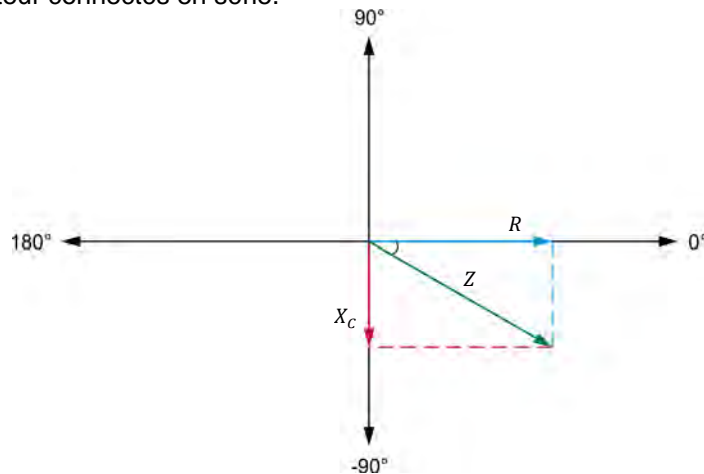
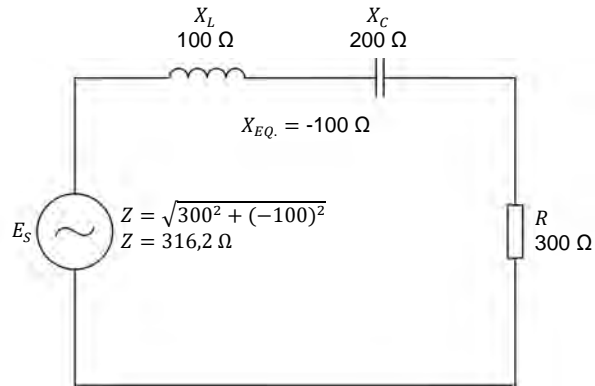
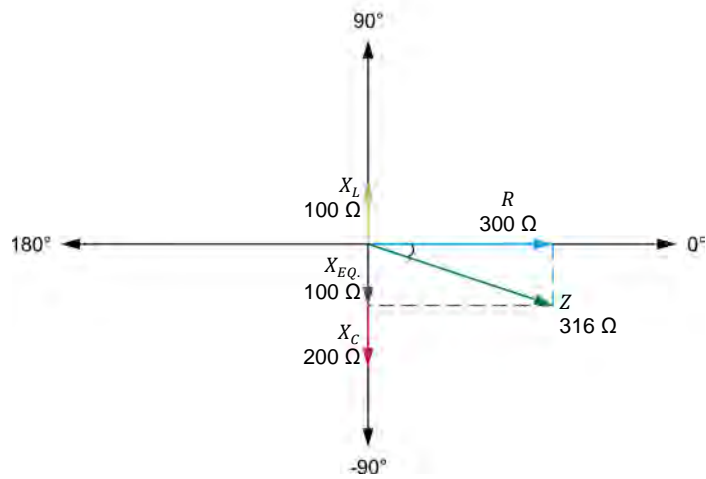


Figure 2-13. Diagramme de phaseurs montrant l'impédance Z d'une résistance et d'un condensateur connectés en série.

Lorsque plusieurs composants réactifs sont connectés en série avec une résistance, il est nécessaire de calculer la réactance équivalente X_{Eq} du circuit avant de calculer l'impédance Z à l'aide de l'équation (2-4). Considérez par exemple le circuit ca montré dans la figure 2-14a. La réactance équivalente X_{Eq} de la bobine et du condensateur est de -100Ω ($100 \Omega - 200 \Omega$). L'impédance Z est donc égale à 316Ω ($\sqrt{300^2 + (-100)^2}$). La figure 2-14b montre le diagramme de phaseurs correspondant.



(a) Circuit ca contenant une résistance, une bobine et un condensateur connectés en série.



(b) Diagrammes de phaseurs associés à l'impédance Z d'un circuit ca contenant une résistance, une bobine et un condensateur.

Figure 2-14. Circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur, et le diagramme de phaseurs résultant.

Impédance de résistances, bobines et condensateurs connectés en parallèle

La résistance équivalente $R_{Eq.}$ de deux résistances en parallèle est égale à :

$$R_{Eq.} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2-5)$$

L'équation (2-5) peut également être utilisée pour calculer l'impédance d'une résistance en parallèle avec un composant réactif. L'équation pour calculer l'impédance Z devient donc : $Z = (R \cdot X)/(R + X)$. Cependant, puisque la valeur de résistance R de la résistance et la réactance X du composant réactif sont toutes deux des phaseurs, la somme vectorielle de R et de X (c.-à-d. le terme $[R + X]$) dans l'équation (2-5) doit être remplacée par le terme $\sqrt{R^2 + X^2}$. L'équation résultante pour calculer l'impédance Z de composants résistifs et réactifs connectés en parallèle est donnée ci-dessous :

$$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (2-6)$$

dans laquelle Z est l'impédance de la résistance et du composant réactif connectés en parallèle, exprimée en ohms (Ω).

Par exemple, considérez le circuit ca contenant une résistance et une bobine montré dans la figure 2-15. L'impédance Z de ce circuit est égale à :

$$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{250 \cdot 400}{\sqrt{250^2 + 400^2}} = 212 \Omega$$

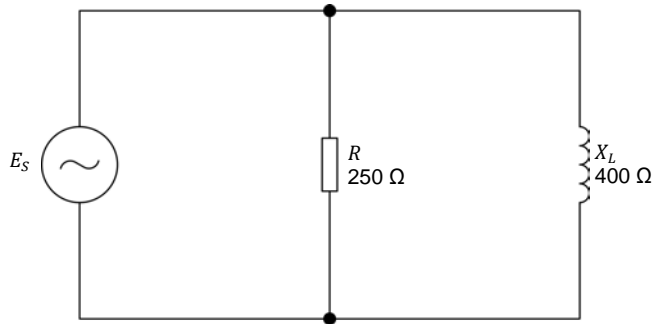


Figure 2-15. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Réactance équivalente d'un circuit LC en série
- Impédance d'un circuit RL en série
- Impédance d'un circuit RC en série
- Impédance d'un circuit RLC en série
- Impédance d'un circuit RL en parallèle
- Impédance d'un circuit RC en parallèle

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur et monterez l'équipement pour mesurer la tension E_x et le courant I_x associés à ces composants.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position *O* (éteint), puis connectez son *Alimentation* à une sortie d'alimentation ca.

3. Connectez l'*Alimentation* de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.

4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur *Mode de fonctionnement* à *Bloc d'alimentation*. Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.

5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel [LVDAC-EMS](#).

7. Dans la fenêtre [Démarrage de LVDAC-EMS](#), assurez-vous que l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) et le [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton *OK* pour fermer la fenêtre [Démarrage de LVDAC-EMS](#).

8. Montez le circuit montré dans la figure 2-16.

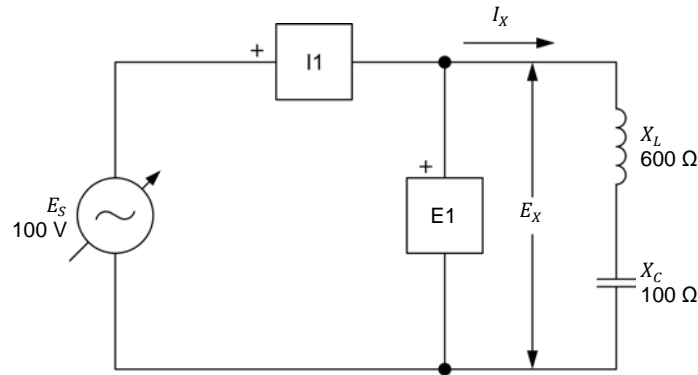


Figure 2-16. Circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la [Charge inductive](#) et sur la [Charge capacitive](#) (ou sur les [Charges inductives et capacitives](#)) pour obtenir les valeurs de réactance inductive et capacitive requises. La tension E_x est la tension aux bornes de la bobine et du condensateur et le courant I_x est le courant circulant dans la bobine et le condensateur.

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) pour mesurer la tension E_x et le courant I_x du condensateur, respectivement.

9. Dans [LVDAC-EMS](#), ouvrez la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), puis effectuez les réglages suivants :
- Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
 - Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Réactance équivalente d'un circuit LC en série

Dans cette section, vous calculerez la réactance équivalente X_{Eq} des composants réactifs dans le circuit de la figure 2-16. Vous mesurerez la tension E_x et le courant I_x et calculerez la réactance équivalente X_{Eq} à partir de ces valeurs. En utilisant l'Oscilloscope, vous déterminerez la relation de phase entre la tension E_x et le courant I_x et si la réactance équivalente est inductive ou capacitive. Vous interchangez ensuite les valeurs de réactance inductive et capacitive dans le circuit et répétez les manipulations précédentes. Vous déterminerez la relation entre la polarité de la réactance équivalente X_{Eq} des composants réactifs et la nature de la réactance équivalente (inductive ou capacitive).

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

10. Calculez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ des composants réactifs.

Réactance équivalente $X_{Eq.} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

11. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca.
12. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez la fenêtre **Appareils de mesure**. Réglez les appareils de mesure **E1** et **I1** pour mesurer les valeurs efficaces de la tension E_X et du courant I_X , respectivement.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

Notez ci-dessous les valeurs efficaces de la tension E_X et du courant I_X (appareils de mesure **E1** et **I1**, respectivement).

Tension $E_X = \underline{\hspace{2cm}}$ V Courant $I_X = \underline{\hspace{2cm}}$ A

13. Calculez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur à l'aide de la tension E_X et du courant I_X mesurés à l'étape précédente.

Réactance équivalente $X_{Eq.} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

14. Comparez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ obtenue à l'étape précédente avec la réactance équivalente calculée $X_{Eq.}$ notée à l'étape 10. Les valeurs sont-elles égales ?

Oui Non

15. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez l'**Oscilloscope** et affichez la tension E_X et le courant I_X sur les voies 1 et 2, respectivement. Réglez la base de temps pour afficher au moins deux cycles des formes d'onde. Sélectionnez la voie 1 (tension E_X) comme source de déclenchement, puis réglez le niveau de déclenchement à 0 V.

16. En utilisant l'**Oscilloscope**, vous déterminerez la relation de phase entre la tension E_X et le courant I_X . La réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur est-elle inductive ou capacitive ?

17. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

18. Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la Charge inductive et sur la Charge capacitive (ou sur les Charges inductives et capacitives) pour obtenir les valeurs de réactance inductive X_L et de réactance capacitive X_C indiquées dans le circuit de la figure 2-17.

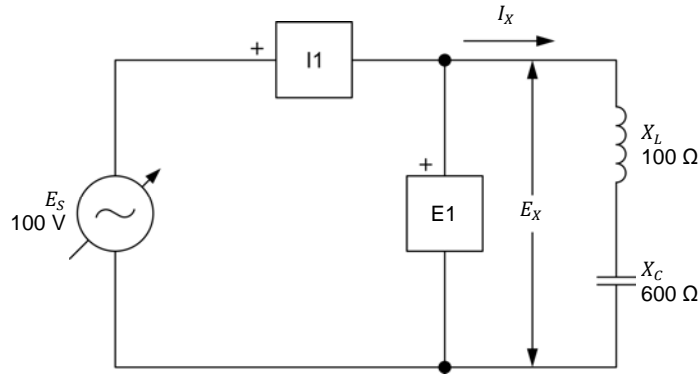


Figure 2-17. Circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur.

19. Calculez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur.

Réactance équivalente $X_{Eq.} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

20. Dans la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, réajustez la valeur du paramètre Tension (V sans charge) afin que la tension E_s de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure E1 dans la fenêtre Appareils de mesure) soit égale à 100 V.

21. Dans la fenêtre Appareils de mesure, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_x et du courant I_x , et notez les valeurs ci-dessous.

Tension $E_x = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant $I_x = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

22. Calculez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ de la bobine et du condensateur à l'aide de la tension E_x et du courant I_x mesurés à l'étape précédente.

Réactance équivalente $X_{Eq.} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

23. Comparez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ obtenue à l'étape précédente avec la réactance équivalente calculée $X_{Eq.}$ notée à l'étape 19. Les valeurs sont-elles égales ?



Pour répondre à cette question, ne tenez pas compte de la polarité de la réactance équivalente $X_{Eq.}$ notée à l'étape 19.

Oui Non

24. En utilisant l'Oscilloscope, vous déterminerez la relation de phase entre la tension E_x et le courant I_x . La réactance équivalente X_{Eq} de la bobine et du condensateur est-elle inductive ou capacitive ?

25. Vos observations dans cette section confirment-elles la relation entre la polarité de la réactance équivalente calculée X_{Eq} et la nature de la réactance équivalente (inductive ou capacitive) ? Expliquez pourquoi.

Impédance d'un circuit RL en série

Dans cette section, vous monterez un circuit ca en série contenant une résistance et une bobine. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et de la bobine. Vous mesurerez ensuite la tension E_Z et le courant I_Z associés à ces composants. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et de la bobine à partir de la tension et du courant mesurés, puis comparerez le résultat avec l'impédance calculée Z .

26. Dans la fenêtre Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, désactivez la source d'alimentation ca.

27. Montez le circuit montré dans la figure 2-18.

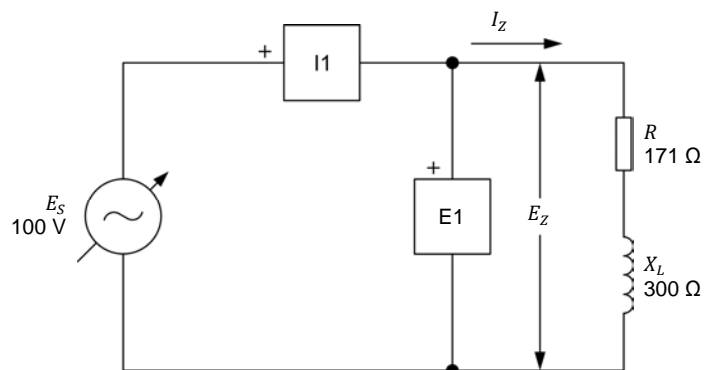


Figure 2-18. Circuit ca en série contenant une résistance et une bobine.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la Charge résistive et sur la Charge inductive (ou sur les Charges inductives et capacitives) pour obtenir les valeurs de résistance et de réactance inductive requises.

Utilisez les entrées E1 et I1 de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension E_Z et le courant I_Z du condensateur, respectivement.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

28. Calculez l'impédance Z de la résistance et de la bobine.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

29. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre [Appareils de mesure](#)) soit égale à 100 V.

30. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), mesurez les valeurs efficaces de la tension E_Z et du courant I_Z , et notez les valeurs ci-dessous.

Tension $E_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant $I_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

31. Calculez l'impédance Z de la résistance et de la bobine à l'aide de la tension E_Z et du courant I_Z mesurés à l'étape précédente.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

32. Comparez l'impédance Z obtenue à l'étape précédente avec l'impédance calculée Z notée à l'étape 28. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

Impédance d'un circuit RC en série

Dans cette section, vous monterez un circuit ca en série contenant une résistance et un condensateur. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et du condensateur. Vous mesurerez ensuite la tension E_Z et le courant I_Z associés à ces composants. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et du condensateur à partir de la tension et du courant mesurés, puis comparerez le résultat avec l'impédance calculée Z .

33. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), désactivez la source d'alimentation ca.

34. Montez le circuit montré dans la figure 2-19.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la [Charge résistive](#) et sur la [Charge capacitive](#) (ou sur les [Charges inductives et capacitatives](#)) pour obtenir les valeurs de résistance et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension E_Z et le courant I_Z du condensateur, respectivement.

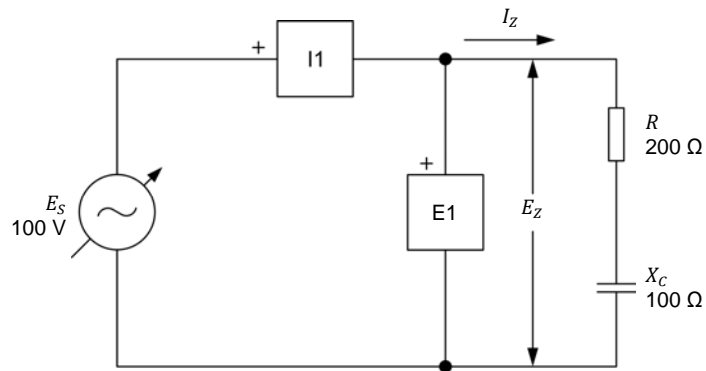


Figure 2-19. Circuit ca en série contenant une résistance et un condensateur.

35. Calculez l'impédance Z de la résistance et du condensateur.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

36. Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_s de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*) soit égale à 100 V.

37. Dans la fenêtre *Appareils de mesure*, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_Z et du courant I_Z , et notez les valeurs ci-dessous.

Tension $E_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant $I_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

38. Calculez l'impédance Z de la résistance et du condensateur à l'aide de la tension E_Z et du courant I_Z mesurés à l'étape précédente.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

39. Comparez l'impédance Z obtenue à l'étape précédente avec l'impédance calculée Z notée à l'étape 35. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

Impédance d'un circuit RLC en série

Dans cette section, vous monterez un circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance, de la bobine et du condensateur. Vous mesurerez ensuite la tension E_Z et le courant I_Z associés à ces composants. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance, de la bobine et du condensateur à partir de la tension et du courant mesurés, puis comparerez le résultat avec l'impédance calculée Z .

40. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

41. Montez le circuit montré dans la figure 2-20.

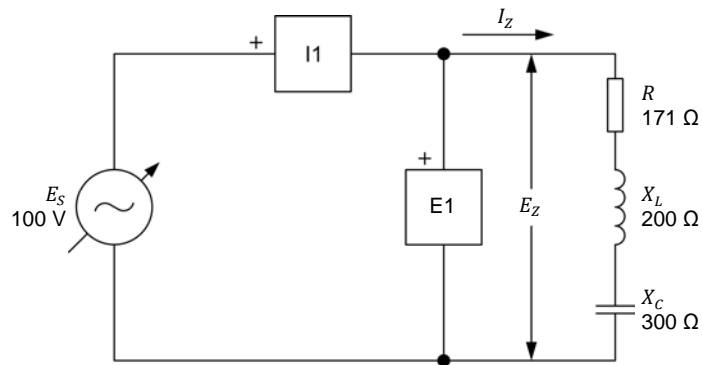


Figure 2-20. Circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive**, ainsi que sur la **Charge inductive** et la **Charge capacitive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir les valeurs de résistance, de réactance inductive et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées **E1** et **I1** de l'**Interface d'acquisition de données et de commande** pour mesurer la tension E_Z et le courant I_Z du condensateur, respectivement.

42. Calculez l'impédance Z de la résistance, de la bobine et du condensateur.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

43. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_s de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

44. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_Z et du courant I_Z , et notez les valeurs ci-dessous.

Tension $E_Z = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant $I_Z = \underline{\hspace{2cm}}$ A

45. Calculez l'impédance Z de la résistance, de la bobine et du condensateur à l'aide de la tension E_Z et du courant I_Z mesurés à l'étape précédente.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω

46. Comparez l'impédance Z obtenue à l'étape précédente avec l'impédance calculée Z notée à l'étape 42. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

Impédance d'un circuit RL en parallèle

Dans cette section, vous monterez un circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et de la bobine. Vous mesurerez ensuite la tension E_Z et le courant I_Z associés à ces composants. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et de la bobine à partir de la tension et du courant mesurés, puis comparerez le résultat avec l'impédance calculée Z .

47. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

48. Montez le circuit montré dans la figure 2-21.

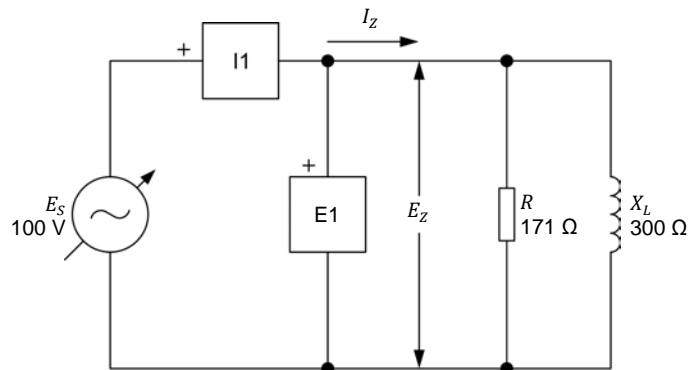


Figure 2-21. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** et sur la **Charge inductive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir les valeurs de résistance et de réactance inductive requises.

Utilisez les entrées **E1** et **I1** de l'**Interface d'acquisition de données et de commande** pour mesurer la tension E_Z et le courant I_Z du condensateur, respectivement.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

49. Calculez l'impédance Z de la résistance et de la bobine.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

50. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre [Appareils de mesure](#)) soit égale à 100 V.

51. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), mesurez les valeurs efficaces de la tension E_Z et du courant I_Z , et notez les valeurs ci-dessous.

Tension $E_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant $I_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

52. Calculez l'impédance Z de la résistance et de la bobine à l'aide de la tension E_Z et du courant I_Z mesurés à l'étape précédente.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

53. Comparez l'impédance Z obtenue à l'étape précédente avec l'impédance calculée Z notée à l'étape 49. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

Impédance d'un circuit RC en parallèle

Dans cette section, vous monerez un circuit ca en parallèle contenant une résistance et un condensateur. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et du condensateur. Vous mesurerez ensuite la tension E_Z et le courant I_Z associés à ces composants. Vous calculerez l'impédance Z de la résistance et du condensateur à partir de la tension et du courant mesurés, puis comparerez le résultat avec l'impédance calculée Z .

54. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), désactivez la source d'alimentation ca.

55. Montez le circuit montré dans la figure 2-22.

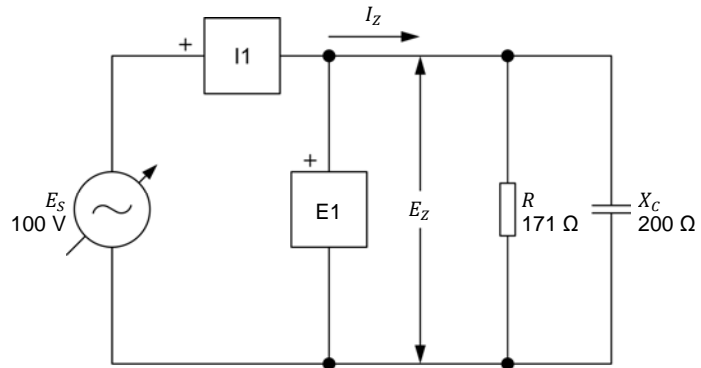


Figure 2-22. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et un condensateur.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** et sur la **Charge capacitive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir les valeurs de résistance et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées **E1** et **I1** de l'**Interface d'acquisition de données et de commande** pour mesurer la tension E_Z et le courant I_Z du condensateur, respectivement.

- 56.** Calculez l'impédance Z de la résistance et du condensateur.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

- 57.** Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_s de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

- 58.** Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension E_Z et du courant I_Z , et notez les valeurs ci-dessous.

Tension $E_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant $I_Z = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

- 59.** Calculez l'impédance Z de la résistance et du condensateur à l'aide de la tension E_Z et du courant I_Z mesurés à l'étape précédente.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

- 60.** Comparez l'impédance Z obtenue à l'étape précédente avec l'impédance calculée Z notée à l'étape 56. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

61. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.
62. Fermez **LVDAC-EMS**, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous deviendrez familier avec les diagrammes de phaseurs associés à une résistance, à une bobine et à un condensateur. Vous avez appris comment calculer la réactance équivalente des composants réactifs dans les circuits ca en série et représenter la réactance équivalente sur un diagramme de phaseurs. Vous avez également appris comment calculer l'impédance de circuits ca en série et en parallèle et représenter l'impédance sur un diagramme de phaseurs.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Définissez l'impédance.

2. Considérez un circuit ca en série contenant une bobine et un condensateur. Sachant que la réactance équivalente X_{Eq} des composants réactifs a une valeur négative, déterminez la relation de phase entre la tension et le courant de source. La réactance équivalente est-elle inductive ou capacitive ?

3. Déterminez l'impédance totale Z d'un circuit ca en série contenant une résistance ($R = 250 \Omega$), une bobine ($X_L = 150 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 200 \Omega$).

4. Déterminez l'impédance totale Z d'un circuit ca contenant une résistance ($R = 350 \Omega$) connectée en parallèle avec deux composants réactifs connectés en série : une bobine ($X_L = 300 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 150 \Omega$).

5. Dans un circuit ca contenant un composant réactif, quelle est la relation de phase entre le phaseur de la réactance X et le phaseur du courant de source I_s ?

Test de l'unité

1. Dans un circuit ca contenant une bobine idéale, le courant de la bobine :
 - a. est en retard de 90° sur la tension de la bobine.
 - b. est en avance de 180° sur la tension de la bobine.
 - c. est en retard de 180° sur la tension de la bobine.
 - d. est en avance de 90° sur la tension de la bobine.

2. Considérant un circuit ca en parallèle contenant une résistance ($R = 200 \Omega$) et une bobine ($X_C = 350 \Omega$), calculez l'impédance Z du circuit.
 - a. $Z = 127 \Omega$
 - b. $Z = 403 \Omega$
 - c. $Z = 265 \Omega$
 - d. $Z = 174 \Omega$

3. La réactance X_L d'une bobine est directement proportionnelle :
 - a. à la fréquence f de la source d'alimentation ca et à l'inductance L .
 - b. au courant I et à la tension E .
 - c. à l'impédance Z du circuit et à l'impédance L .
 - d. à la fréquence f de la source d'alimentation ca et à la tension E .

4. Quelle équation détermine la réactance X_C d'un condensateur ?
 - a. $X_C = E/2\pi I$
 - b. $X_C = 2\pi f C$
 - c. $X_C = 1/2\pi f C$
 - d. $X_C = \sqrt{R^2 + C^2}$

5. Dans un circuit ca contenant un condensateur, le courant du condensateur :
 - a. est en retard de 90° sur la tension du condensateur.
 - b. est en avance de 180° sur la tension du condensateur.
 - c. est en retard de 180° sur la tension du condensateur.
 - d. est en avance de 90° sur la tension du condensateur.

6. L'impédance Z d'un circuit ca détermine :
 - a. La réactance équivalente X_{EQ} du circuit.
 - b. L'opposition totale aux variations de tension du circuit.
 - c. L'opposition totale au flux de courant du circuit.
 - d. Toutes ces réponses.

7. Considérant un circuit ca en série contenant une bobine ($X_L = 250 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 150 \Omega$), calculez la réactance équivalente $X_{Eq.}$ du circuit.
- $X_{Eq.} = -100 \Omega$
 - $X_{Eq.} = 400 \Omega$
 - $X_{Eq.} = 100 \Omega$
 - $X_{Eq.} = -400 \Omega$
8. Dans un circuit ca contenant une bobine idéale, le phaseur du courant de la bobine :
- est en avance de 90° sur le phaseur de la réactance inductive.
 - est en retard de 180° sur le phaseur de la réactance inductive.
 - est en retard de 90° sur le phaseur de la réactance inductive.
 - est en avance de 180° sur le phaseur de la réactance inductive.
9. Considérant un circuit ca en série contenant une résistance ($R = 400 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 250 \Omega$), calculez l'impédance Z du circuit.
- $Z = 150 \Omega$
 - $Z = 316 \Omega$
 - $Z = 650 \Omega$
 - $Z = 472 \Omega$
10. Quelle équation détermine la réactance X_L d'une bobine ?
- $X_L = E/2\pi L$
 - $X_L = 2\pi fL$
 - $X_L = 1/2\pi fL$
 - $X_L = \sqrt{R^2 + L^2}$

Puissance dans les circuits ca

OBJECTIF DE L'UNITÉ

Lorsque vous aurez complété cette unité, vous saurez ce que sont les puissances active, réactive et apparente et comment calculer leurs valeurs. Vous serez familier avec les diagrammes de phaseurs associés aux puissances active, réactive et apparente dans un circuit. Vous serez capable de calculer la puissance réactive dans un circuit contenant plusieurs éléments réactifs. Vous saurez ce qu'est le facteur de puissance d'un circuit et comment calculer sa valeur. Vous serez également capable de dessiner le triangle des puissances d'un circuit.

SOMMAIRE DES PRINCIPES

Les Principes fondamentaux couvrent les points suivants :

- Introduction aux puissances active, réactive et apparente

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Introduction aux puissances active, réactive et apparente

Dans l'Exercice 1-3, vous avez vu que les formes d'onde de la tension et du courant associées à une résistance sont en phase. Vous avez également vu que la forme d'onde de la puissance dissipée dans une résistance a une fréquence qui est le double de la fréquence de la source et qui est toujours positive, la valeur moyenne de cette forme d'onde de puissance correspondant à la quantité de puissance dissipée dans la résistance. Vous verrez plus tard dans cette unité que la puissance dissipée dans des résistances est connue sous le nom de **puissance active**.

Dans l'Unité 2, vous avez vu qu'il y a un décalage de phase de 90° entre les formes d'onde de tension et de courant associées à un composant réactif. Vous verrez plus tard dans cette unité que la forme d'onde de la puissance associée à un composant réactif a également une fréquence du double de la fréquence de la source mais a une valeur moyenne nulle, ce qui signifie qu'aucune puissance n'est dissipée dans le composant réactif mais qu'elle est simplement échangée avec la source. Vous verrez que la puissance associée aux composants réactifs est connue sous le nom de **puissance réactive**. Finalement, vous apprendrez que la somme vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive dans un circuit permet de déterminer la **puissance apparente** dans le circuit. Vous verrez dans l'Unité 4 que calculer les puissances active, réactive et apparente dans un circuit (c.-à-d. déterminer le **triangle des puissances** du circuit) est souvent nécessaire pour résoudre des circuits ca complexes.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Puissance active et réactive

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous saurez ce que sont la puissance active et la puissance réactive. Vous saurez également comment calculer la puissance active et la puissance réactive d'un circuit ca.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Puissance active dans une résistance
- Puissance réactive dans une bobine
- Puissance réactive dans un condensateur
- Appareil de mesure de puissance

PRINCIPES

Puissance active dans une résistance

La figure 3-1 affiche la tension, le courant, la puissance instantanée et la puissance moyenne associés à une résistance.

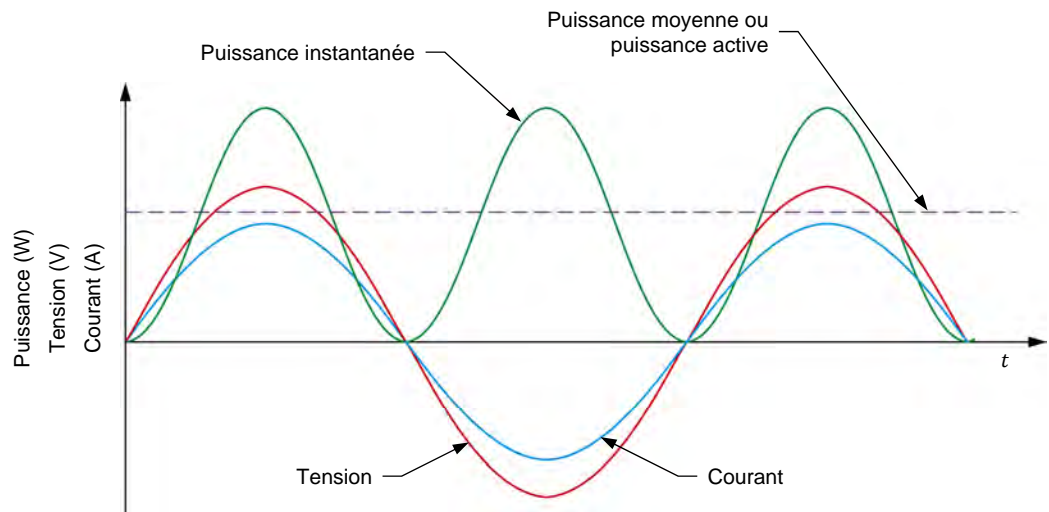


Figure 3-1. Tension, courant, puissance instantanée et puissance moyenne associés à une résistance.

La figure 3-1 montre que la forme d'onde de puissance associée à une résistance ne change jamais de polarité, c.-à-d. qu'elle est toujours positive. Cela indique que la résistance reçoit de la puissance de la source d'alimentation ca et utilise toute cette puissance pour produire de la chaleur. En d'autres termes, la résistance reçoit de la puissance de la source sans retourner de puissance à la source.

La puissance utilisée par une résistance pour produire de la chaleur est appelée puissance active P (exprimée en watts [W]) parce qu'elle est utilisée pour effectuer du travail (la production de chaleur est une forme de travail). La quantité de puissance active P dissipée dans une résistance est égale à la puissance moyenne de la forme d'onde de puissance et peut être déterminée à partir des valeurs efficaces de la tension aux bornes de la résistance et du courant circulant dans la résistance. L'équation pour calculer la puissance active dissipée dans une résistance est donnée ci-dessous :

$$P = E_R \cdot I_R \quad (3-1)$$

dans laquelle

- P est la puissance active dissipée dans la résistance, exprimée en watts (W).
- E_R est la valeur efficace de la tension aux bornes de la résistance, exprimée en volts (V).
- I_R est la valeur efficace du courant circulant dans la résistance, exprimée en ampères (A).

Puissance réactive dans une bobine

La figure 3-2 affiche la tension, le courant, la puissance instantanée et la puissance moyenne associés à une bobine.

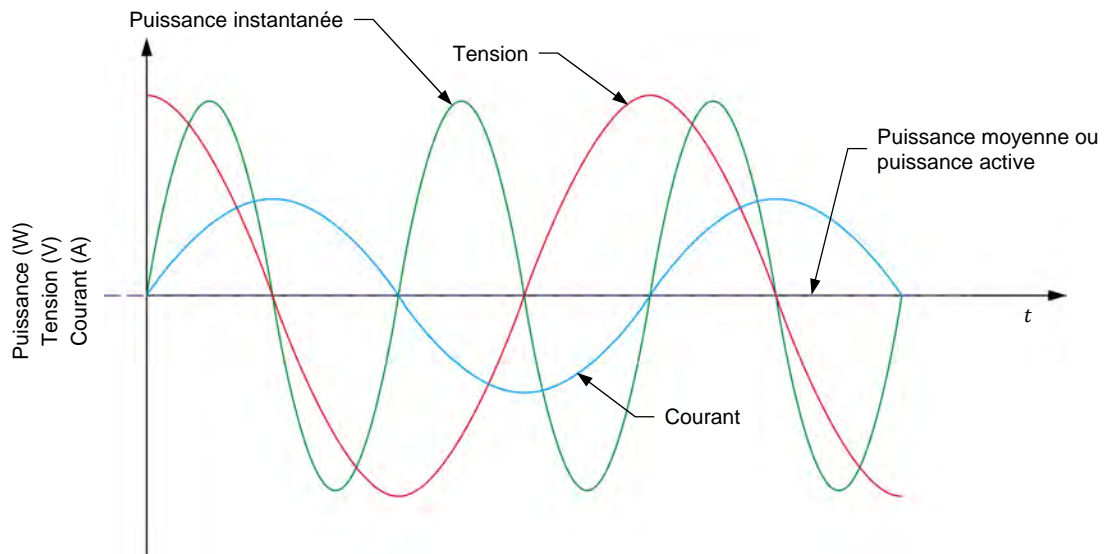


Figure 3-2. Tension, courant, puissance instantanée et puissance moyenne associés à une bobine.

La figure 3-2 montre que la forme d'onde de puissance associée à une bobine est une onde sinusoïdale ayant deux fois la fréquence de la source d'alimentation ca, qui est similaire à la forme d'onde de puissance associée à une résistance. Cependant, la polarité de la forme d'onde de puissance associée à une bobine alterne, c.-à-d. qu'elle est positive la moitié du temps et négative l'autre moitié du temps. Lorsque la polarité de la forme d'onde de puissance est positive, la source fournit de la puissance à la bobine. À l'inverse, lorsque la polarité de la forme d'onde est négative, c'est la bobine qui fournit de la

puissance à la source, c.-à-d. que la bobine retourne la puissance à la source. Par conséquent, aucune puissance n'est dissipée dans une bobine idéale et aucun travail n'est effectué. En d'autres termes, la puissance active dans une bobine idéale est nulle. Cela est confirmé par le fait que la valeur moyenne de la forme d'onde de puissance associée à une bobine (voir la figure 3-2) est égale à 0.

La puissance dans une bobine est appelée la puissance réactive Q_L (exprimée en volts-ampères réactifs [var]) parce que cette puissance n'est pas utilisée pour effectuer du travail. La puissance réactive indique simplement que de la puissance est échangée entre la source et la bobine.

Comme la puissance active P dissipée dans une résistance, la puissance réactive Q_L dans une bobine peut être déterminée à partir des valeurs efficaces de la tension aux bornes de la bobine et du courant circulant dans la bobine. L'équation pour calculer la puissance réactive Q_L dans une bobine est donnée ci-dessous :

$$Q_L = E_L \cdot I_L \quad (3-2)$$

dans laquelle	Q_L est la puissance réactive de la bobine, exprimée en volts-ampères réactifs (var).
	E_L est la valeur efficace de la tension aux bornes de la bobine, exprimée en volts (V).
	I_L est la valeur efficace du courant circulant dans la bobine, exprimée en ampères (A).

Cette relation n'est vraie que pour les bobines idéales. Dans les bobines réelles, une petite quantité de puissance active est dissipée dans le fil du solénoïde de la bobine et, par conséquent, n'est pas retournée à la source. Pour cette raison, la quantité mesurée de puissance réactive d'une bobine réelle est légèrement inférieure à la valeur de la puissance réactive Q_L de la bobine calculée à partir de l'équation (3-2).

Puissance réactive dans un condensateur

La figure 3-3 affiche la tension, le courant, la puissance instantanée et la puissance moyenne associés à un condensateur.

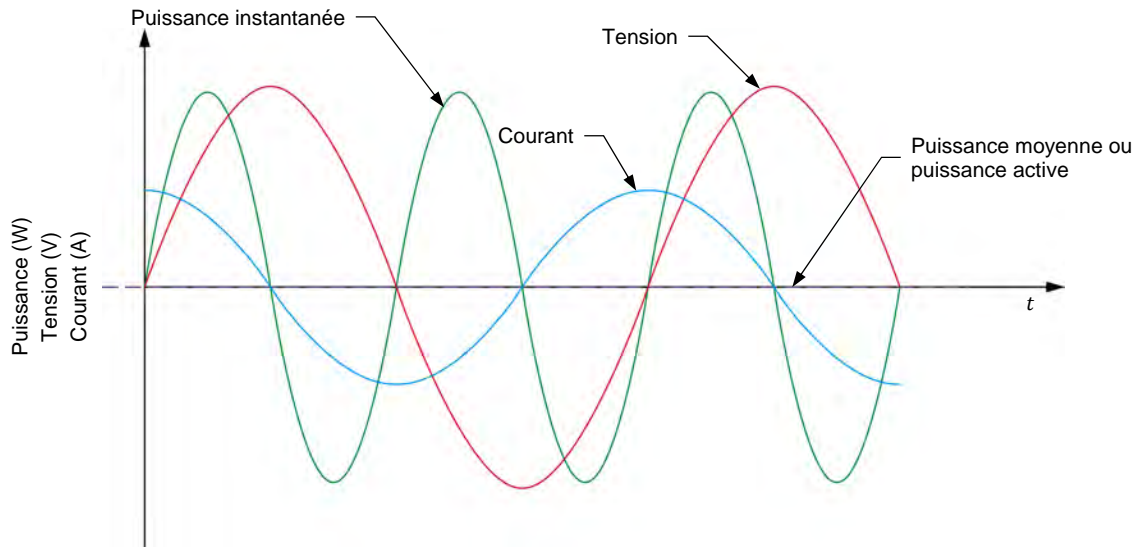


Figure 3-3. Tension, courant, puissance instantanée et puissance moyenne associés à un condensateur.

La figure 3-3 montre que la forme d'onde de puissance associée à un condensateur est très similaire à la forme d'onde de puissance associée à une bobine. Par conséquent, toutes les observations sur la puissance d'une bobine s'appliquent également à la puissance d'un condensateur. L'équation pour calculer la puissance réactive Q_C dans un condensateur est donnée ci-dessous :

$$Q_C = E_C \cdot I_C \quad (3-3)$$

- dans laquelle
- Q_C est la puissance réactive du condensateur, exprimée en volts-ampères réactifs (var).
 - E_C est la valeur efficace de la tension aux bornes du condensateur, exprimée en volts (V).
 - I_C est la valeur efficace du courant circulant dans le condensateur, exprimée en ampères (A).

Appareil de mesure de puissance

Des instruments commerciaux sont disponibles pour mesurer la puissance active et la puissance réactive directement. Ces instruments sont connus sous le nom d'appareils de mesure de puissance. Un sélecteur sur l'appareil lui permet généralement de mesurer la puissance active ou réactive. Un appareil de mesure de puissance détermine la puissance en mesurant la tension aux bornes d'un composant et le courant circulant dans le composant. Tous les appareils de mesure de puissance ont donc généralement au moins une entrée de tension et une entrée de courant pour mesurer la tension et le courant du circuit. La figure 3-4 montre les connexions typiques d'un appareil de mesure de puissance.

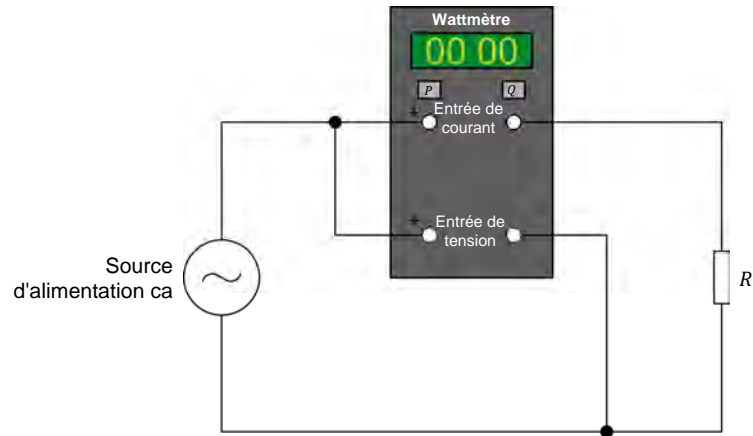


Figure 3-4. Diagramme de circuit ca montrant les connexions d'un appareil de mesure de puissance.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Puissance active dans une résistance
- Puissance réactive dans une bobine
- Puissance réactive dans un condensateur

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant une résistance et monterez l'équipement pour mesurer la tension E_R aux bornes de la résistance et le courant I_R circulant dans la résistance.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

4. Allumez le Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants puis réglez l'interrupteur *Mode de fonctionnement* à *Bloc d'alimentation*. Ce réglage permet au Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants de fonctionner comme un bloc d'alimentation.

5. Connectez le port USB de l'Interface d'acquisition de données et de commande à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel LVDAC-EMS.

7. Dans la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS, assurez-vous que l'Interface d'acquisition de données et de commande et le Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'Interface d'acquisition de données et de commande est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton *OK* pour fermer la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS.

8. Montez le circuit montré dans la figure 3-5.

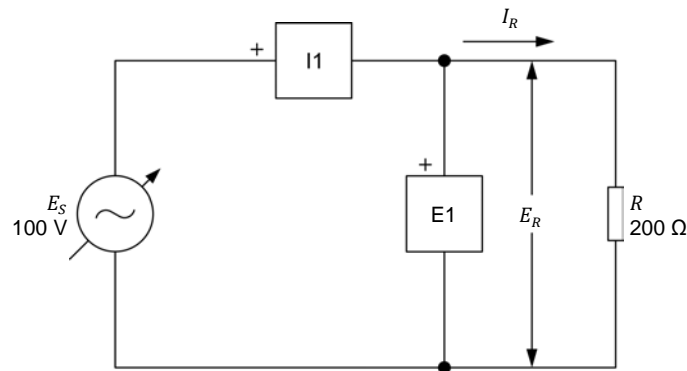


Figure 3-5. Circuit ca contenant une résistance et installé pour des mesures de puissance.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la *Charge résistive* pour obtenir la valeur de résistance requise.

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension E_R et le courant I_R de la résistance, respectivement.

9. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, puis effectuez les réglages suivants :

- Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.

- Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
- Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
- Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
- Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Puissance active dans une résistance

Dans cette section, vous calculerez la puissance active P dissipée dans la résistance. En utilisant l'Oscilloscope, vous observerez les formes d'onde de la tension, du courant et de la puissance de la résistance. Vous noterez la valeur moyenne de la forme d'onde de la puissance et la comparerez à la puissance active calculée P . Vous déterminerez également la puissance active P de la résistance à partir des valeurs efficaces de la tension E_R et du courant I_R de la résistance mesurées sur l'Oscilloscope et dans la fenêtre Appareils de mesure, et comparerez le résultat avec la puissance active calculée P . Finalement, vous mesurerez la puissance réactive de la résistance pour vérifier qu'il n'y a virtuellement pas de puissance réactive dans une résistance.

- 10.** Calculez la puissance active P dissipée dans la résistance du circuit montré dans la figure 3-5.

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

- 11.** Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre *Appareils de mesure*. Réglez les appareils de mesure *E1* et *I1* pour mesurer les valeurs efficaces de la tension E_R (*E1*) et du courant I_R (*I1*) de la résistance, respectivement.

Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*) soit égale à 100 V.

- 12.** Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'*Oscilloscope* et affichez la tension, le courant et la puissance sur les voies 1, 2 et 3, respectivement. Au besoin, réglez la base de temps pour afficher au moins deux cycles des ondes sinusoïdales.

- 13.** Observez la forme d'onde de la puissance affichée sur l'*Oscilloscope*. La polarité de la forme d'onde de la puissance est-elle toujours positive ? Expliquez pourquoi.

14. Notez la valeur moyenne de la forme d'onde de la puissance indiquée sur l'Oscilloscope.

Puissance moyenne $P_{Moy.} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

15. Comparez la puissance moyenne $P_{Moy.}$ obtenue à l'étape précédente avec la puissance active calculée P notée à l'étape 10. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

16. Notez les valeurs efficaces de la tension E_R et du courant I_R de la résistance indiquées sur l'Oscilloscope.

Tension de la résistance $E_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de la résistance $I_R = \underline{\hspace{2cm}}$ A

17. Calculez la puissance active P dissipée dans la résistance à partir des valeurs efficaces de la tension E_R et du courant I_R de la résistance mesurés à l'étape précédente.

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

18. Comparez la puissance active P obtenue à l'étape précédente avec la puissance active calculée P notée à l'étape 10. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

19. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), réglez un appareil pour mesurer la puissance active P de la résistance à partir des valeurs efficaces de la tension E_R (entrée *E1*) et du courant I_R (entrée *I1*) de la résistance. Notez ci-dessous la puissance active P indiquée par l'appareil de mesure.

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

20. Comparez la puissance active P obtenue à l'étape précédente avec la puissance active calculée P notée à l'étape 10. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

21. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, réglez un appareil pour mesurer la puissance réactive Q de la résistance à partir des valeurs efficaces de la tension E_R et du courant I_R de la résistance. Notez ci-dessous la puissance réactive Q indiquée par l'appareil de mesure.

Puissance réactive $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

22. Les valeurs de la puissance réactive Q obtenue à l'étape précédente et de la puissance active P notée à l'étape 19 confirment-elles que virtuellement toute la puissance fournie à une résistance est dissipée dans la résistance et n'est pas retournée à la source (c.-à-d. qu'il n'y a que de la puissance active dans une résistance) ?

Oui Non

Puissance réactive dans une bobine

Dans cette section, vous monterez un circuit ca contenant une bobine. Vous calculerez la puissance réactive Q_L de la bobine. En utilisant l'Oscilloscope, vous observerez les formes d'onde de la tension, du courant et de la puissance de la bobine, et confirmerez que la forme d'onde de la puissance a une valeur moyenne virtuellement nulle. Vous déterminerez la puissance réactive Q_L de la bobine à partir des valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine mesurées sur l'Oscilloscope et dans la fenêtre **Appareils de mesure**, et comparerez le résultat avec la puissance réactive calculée Q_L . Finalement, vous mesurerez la puissance active P de la bobine pour vérifier que la puissance active d'une bobine a une valeur virtuellement nulle.

23. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

24. Montez le circuit montré dans la figure 3-6.

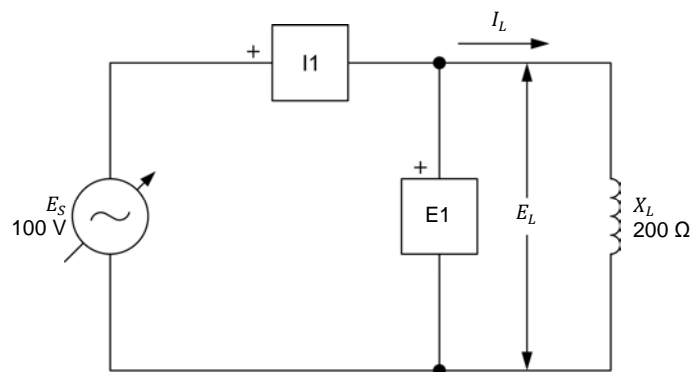


Figure 3-6. Circuit ca contenant une bobine et installé pour des mesures de puissance.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge inductive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir la valeur de réactance inductive requise.

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension E_L aux bornes de la bobine et le courant I_L circulant dans la bobine, respectivement.

- 25.** Calculez la puissance réactive Q_L de la bobine.

Puissance réactive $Q_L = \underline{\hspace{2cm}}$ var

- 26.** Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*) soit égale à 100 V.

- 27.** Observez la forme d'onde de la puissance de la bobine affichée sur l'*Oscilloscope*. La polarité de la forme d'onde de la puissance alterne-t-elle ? Expliquez pourquoi.

- 28.** La forme d'onde de la puissance de la bobine a-t-elle une valeur moyenne virtuellement nulle ? Expliquez pourquoi.

- 29.** Notez les valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine indiquées sur l'*Oscilloscope*.

Tension de la bobine $E_L = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de la bobine $I_L = \underline{\hspace{2cm}}$ A

- 30.** Calculez la puissance réactive Q_L de la bobine à l'aide des valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine mesurées à l'étape précédente.

Puissance réactive $Q_L = \underline{\hspace{2cm}}$ var

31. Comparez la puissance réactive Q_L obtenue à l'étape précédente avec la puissance réactive calculée Q_L notée à l'étape 25. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

32. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, réglez un appareil pour mesurer la puissance active P de la bobine à partir des valeurs efficaces de la tension E_L (entrée **E1**) et du courant I_L (entrée **I1**) de la bobine. Notez la puissance active P indiquée par l'appareil de mesure.

Puissance active $P =$ _____ W

33. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, réglez un appareil pour mesurer la puissance réactive Q_L de la bobine à partir des valeurs efficaces de la tension E_L et du courant I_L de la bobine. Notez la puissance réactive Q_L indiquée par l'appareil de mesure.

Puissance réactive $Q_L =$ _____ var

34. Les valeurs de la puissance réactive Q_L obtenue à l'étape précédente et de la puissance active P notée à l'étape 32 confirment-elles que virtuellement toute la puissance fournie à une bobine est retournée à la source et que très peu de puissance est dissipée dans la bobine (c.-à-d. qu'une bobine a principalement de la puissance réactive) ?

Oui Non

Puissance réactive dans un condensateur

*Dans cette section, vous monterez un circuit ca contenant un condensateur. Vous calculerez la puissance réactive Q_C du condensateur. En utilisant l'Oscilloscope, vous observerez les formes d'onde de la tension, du courant et de la puissance du condensateur, et confirmerez que la valeur moyenne de la forme d'onde de la puissance est nulle. Vous calculerez la puissance réactive Q_C du condensateur à partir des valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur mesurées sur l'Oscilloscope et dans la fenêtre **Appareils de mesure**, et comparerez le résultat avec la puissance réactive calculée Q_C . Finalement, vous mesurerez la puissance active P du condensateur pour vérifier que la puissance active d'un condensateur a une valeur virtuellement nulle.*

35. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

36. Montez le circuit montré dans la figure 3-7.

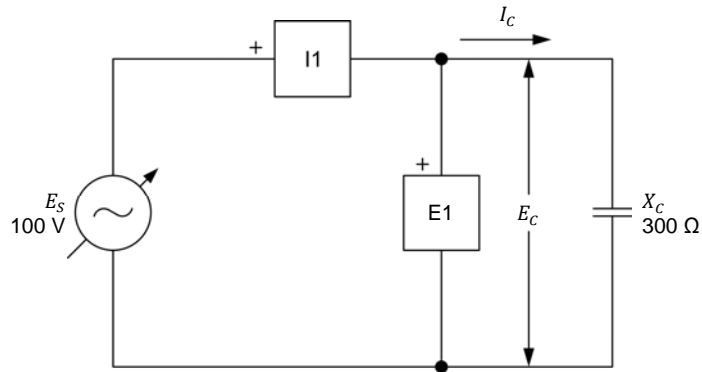


Figure 3-7. Circuit ca contenant un condensateur et installé pour des mesures de puissance.

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la [Charge capacitive](#) (ou sur les [Charges inductives et capacitives](#)) pour obtenir la valeur de réactance capacitive requise.

Utilisez les entrées *E1* et *I1* de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) pour mesurer la tension E_c aux bornes du condensateur et le courant I_c circulant dans le condensateur, respectivement.

37. Calculez la puissance réactive Q_c du condensateur.

Puissance réactive $Q_c =$ _____ var

38. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), activez la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_s de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre [Appareils de mesure](#)) soit égale à 100 V.

39. Observez la forme d'onde de la puissance du condensateur affichée sur l'[Oscilloscope](#). La polarité de la forme d'onde de la puissance alterne-t-elle ?

Oui Non

40. La valeur moyenne de la forme d'onde de la puissance du condensateur est-elle nulle ? Expliquez pourquoi.

41. Notez les valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur indiquées sur l'Oscilloscope.

Tension du condensateur $E_C =$ _____ V

Courant du condensateur $I_C =$ _____ A

42. Calculez la puissance réactive Q_C du condensateur à l'aide des valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur mesurées à l'étape précédente.

Puissance réactive $Q_C =$ _____ var

43. Comparez la puissance réactive Q_C obtenue à l'étape précédente avec la puissance réactive calculée Q_C notée à l'étape 37. Les deux valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

44. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), réglez un appareil pour mesurer la puissance active P du condensateur à partir des valeurs efficaces de la tension E_C (entrée *E1*) et du courant I_C (entrée *I1*) du condensateur. Notez la puissance active P indiquée par l'appareil de mesure.

Puissance active $P =$ _____ W

45. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), réglez un appareil pour mesurer la puissance réactive Q_C du condensateur à partir des valeurs efficaces de la tension E_C et du courant I_C du condensateur. Notez la puissance réactive Q_C indiquée par l'appareil de mesure.

Puissance réactive $Q_C =$ _____ var

46. Les valeurs de la puissance réactive Q_C obtenue à l'étape précédente et de la puissance active P notée à l'étape 44 confirment-elles que virtuellement toute la puissance fournie à un condensateur est retournée à la source et que très peu de puissance est dissipée dans le condensateur (c.-à-d. qu'il n'y a que de la puissance réactive dans un condensateur) ?

Oui Non

47. Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), désactivez la source d'alimentation ca.

48. Fermez [LVDAC-EMS](#), puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez appris ce que sont la puissance active et la puissance réactive. Vous avez également appris comment calculer la puissance active et la puissance réactive d'un circuit ca.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Quelle est la différence principale entre la puissance active et la puissance réactive.

2. Quelle est la différence entre la forme d'onde de la puissance associée à une résistance (forme d'onde de la puissance active) et la forme d'onde de la puissance (forme d'onde de la puissance réactive) associée à un composant réactif ?

3. Considérez un circuit ca contenant un condensateur ($X_C = 300 \Omega$) et ayant une tension de source E_S de 100 V. Calculez la puissance réactive Q_C du condensateur.

4. Considérez un circuit ca contenant une bobine ($X_L = 200 \Omega$). Calculez la tension de source E_S , sachant que la puissance réactive Q_L de la bobine est égale à 70 var.

5. Considérez un circuit ca contenant une résistance et ayant une tension de source E_S de 100 V. Calculez la valeur de résistance R de la résistance, sachant que la puissance active P dissipée dans la résistance est égale à 75 W.

La puissance apparente et le triangle des puissances

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous serez familier avec les diagrammes de phaseurs montrant la puissance active, la puissance réactive et la puissance apparente dans un circuit. Vous saurez ce qu'est le facteur de puissance d'un circuit et comment calculer sa valeur. Vous saurez également comment calculer la puissance réactive totale et la puissance apparente dans un circuit ca. Vous serez capable de représenter les puissances active, réactive et apparente dans un circuit sous la forme d'un triangle des puissances.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Diagrammes de phaseurs associés aux puissances active et réactive
- Puissance apparente
- Triangle des puissances
- Facteur de puissance

PRINCIPES

Diagrammes de phaseurs associés aux puissances active et réactive

Diagramme de phaseurs associé à la puissance active dans une résistance

Lorsqu'une résistance est connectée à une source d'alimentation ca, le courant circulant dans la résistance est en phase avec la tension aux bornes de la résistance (voir la figure 3-8). La puissance active P dissipée dans la résistance peut être déterminée à l'aide de calculs vectoriels pour résoudre l'équation $P = E_R \angle 0^\circ \times I_R \angle 0^\circ$. Le résultat de ces calculs est un phaseur ayant deux fois la fréquence de la source d'alimentation ca et un angle de phase de 0° , comme le montre la figure ci-dessous.

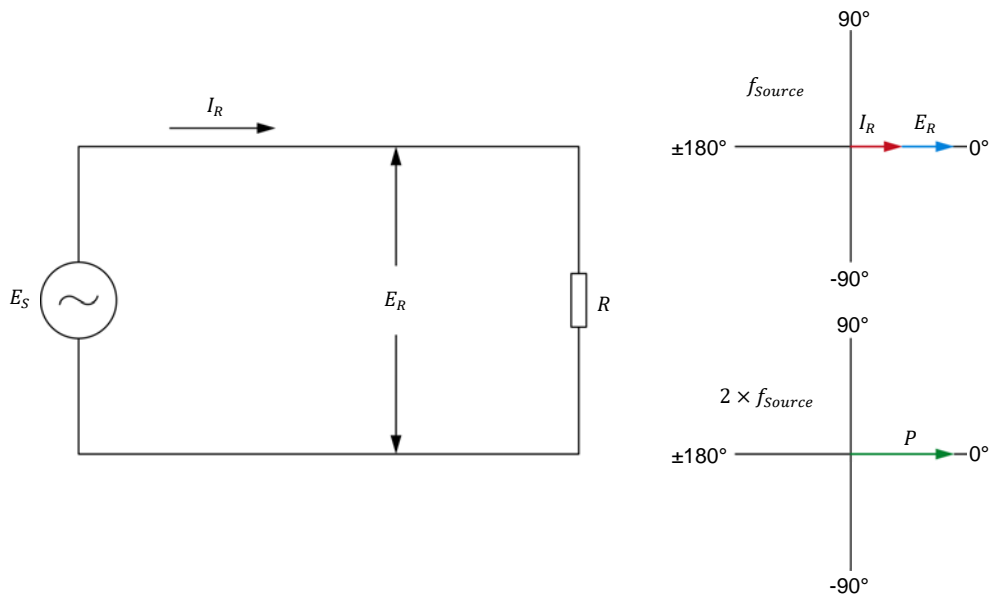


Figure 3-8. Circuit ca contenant une résistance et diagrammes de phaseurs correspondants montrant la tension E_R , le courant I_R et la puissance active P de la résistance.

Diagramme de phaseurs associé à la puissance réactive dans une bobine

Lorsqu'une bobine idéale est connectée à une source d'alimentation ca, le courant circulant dans la bobine est en retard de 90° sur la tension aux bornes de la bobine (voir la figure 3-9). La puissance réactive Q_L de la bobine peut être déterminée à l'aide de calculs vectoriels pour résoudre l'équation $Q_L = E_L \angle 0^\circ \times I_L \angle -90^\circ$. Le résultat de ces calculs est un phaseur ayant deux fois la fréquence de la source d'alimentation ca et un angle de phase de -90° , comme le montre la figure ci-dessous.

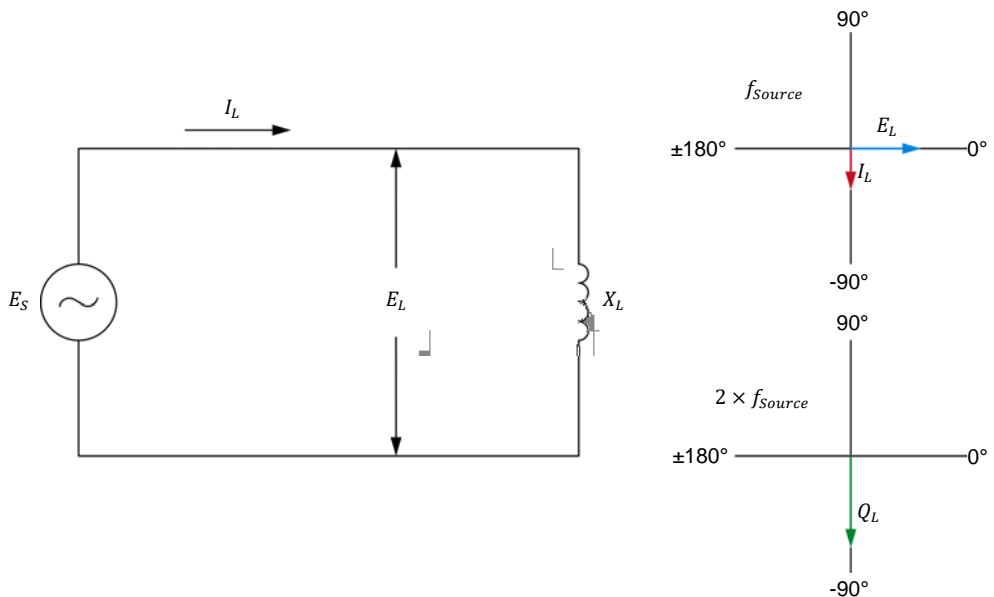


Figure 3-9. Circuit ca contenant une bobine et diagrammes de phaseurs correspondants montrant la tension E_L , le courant I_L et la puissance réactive Q_L de la bobine.

Diagramme de phaseurs associé à la puissance réactive dans un condensateur

De même, lorsqu'un condensateur est connecté à une source d'alimentation ca, le courant circulant dans le condensateur est en avance de 90° sur la tension aux bornes du condensateur (voir la figure 3-10). Comme pour les bobines, la puissance réactive Q_C dans un condensateur peut être déterminée à l'aide de calculs vectoriels pour résoudre l'équation $Q_C = E_C \angle 0^\circ \times I_C \angle 90^\circ$. Le résultat de ces calculs est un phaseur ayant le double de la fréquence de la source d'alimentation ca et un angle de phase de 90° , comme le montre la figure ci-dessous.

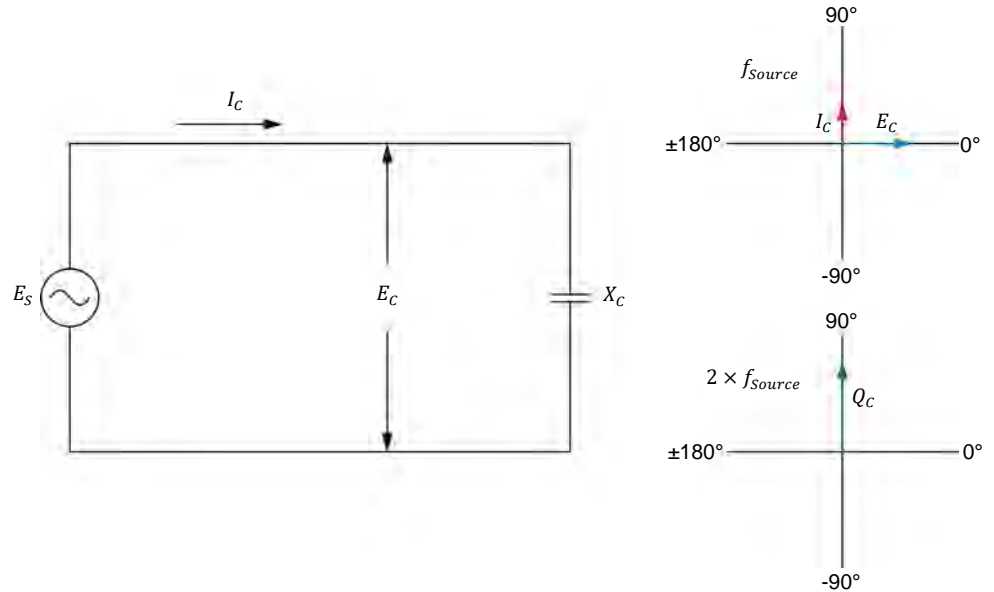


Figure 3-10. Circuit ca contenant un condensateur et diagrammes de phaseurs correspondants montrant la tension E_C , le courant I_C et la puissance réactive Q_C du condensateur.

Comparer la figure 3-9 et la figure 3-10 montre que le phaseur de la puissance réactive Q_L d'une bobine est déphasé de 180° par rapport au phaseur de la puissance réactive Q_C d'un condensateur. Par conséquent, lorsqu'une bobine et un condensateur sont tous deux présents dans un circuit ca, la puissance réactive totale Q dans le circuit est égale à $Q_L - Q_C$. Cette relation est valide que les composants réactifs soient connectés en série ou en parallèle. La puissance réactive totale Q est en fait la puissance réactive que la source échange avec la bobine et le condensateur. Lorsque Q_L a une valeur plus élevée que Q_C , la puissance réactive totale Q est positive. À l'inverse, lorsque Q_C a une valeur plus élevée que Q_L , la puissance réactive totale Q est négative. La figure 3-11 montre un exemple de la puissance réactive totale Q lorsque la puissance réactive Q_L excède la puissance réactive Q_C dans un circuit ca contenant une bobine et un condensateur.

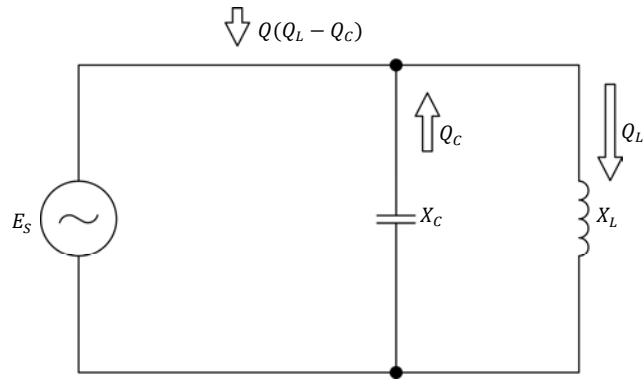


Figure 3-11. Puissance réactive totale Q dans un circuit ca contenant une bobine et un condensateur ($Q_L > Q_C$).

Puissance apparente

Lorsqu'une source d'alimentation ca est connectée à un circuit contenant une résistance et des composants réactifs, la source fournit de la puissance active P à la résistance et échange de la puissance réactive Q avec les composants réactifs. Cela est illustré dans la figure 3-12.

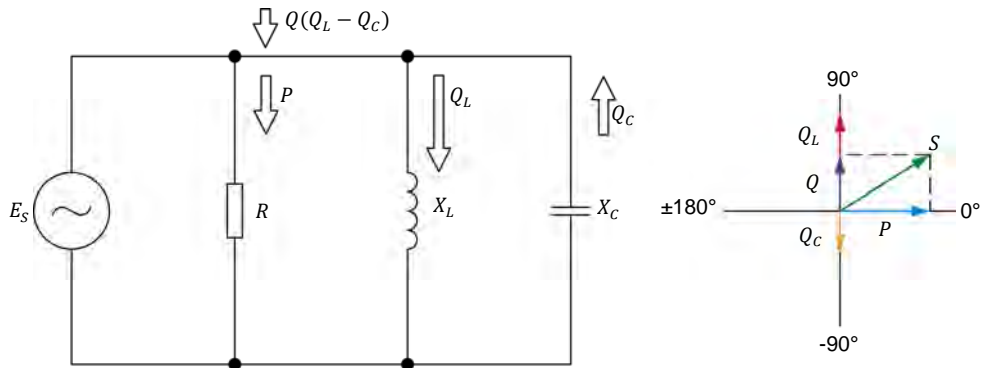


Figure 3-12. Circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur, et diagramme de phaseurs correspondant montrant les puissances active, réactive et apparente dans le circuit.

Le diagramme de phaseurs dans la figure 3-12 montre que la puissance apparente S , qui correspond à la puissance totale dans un circuit ca, est égale à la somme vectorielle de la puissance active P dans la résistance et de la puissance réactive totale Q dans les composants réactifs. Par conséquent, selon le théorème de Pythagore, la puissance apparente S dans un circuit peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3-4)$$

- dans laquelle
- S est la puissance apparente ou la puissance totale dans le circuit, exprimée en volts-ampères (VA).
 - P est la puissance active totale dissipée dans le circuit, exprimée en watts (W).
 - Q est la puissance réactive totale dans le circuit, exprimée en volts-ampères réactifs (var).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

L'équation (3-4) est valide pour les circuits en parallèle (comme dans la figure 3-12), les circuits en série et les circuits en série-parallèle. La puissance apparente S dans un circuit ca peut aussi être déterminée en multipliant les valeurs efficaces de la tension E_S et du courant I_S de source, comme le montre l'équation suivante :

$$S = E_S \cdot I_S \quad (3-5)$$

Triangle des puissances

Les phaseurs représentant la puissance active P , la puissance réactive Q et la puissance apparente S dans un circuit ca forment un triangle. Ce triangle est connu sous le nom de triangle des puissances. Un exemple de triangle des puissance est montré dans la figure 3-13.

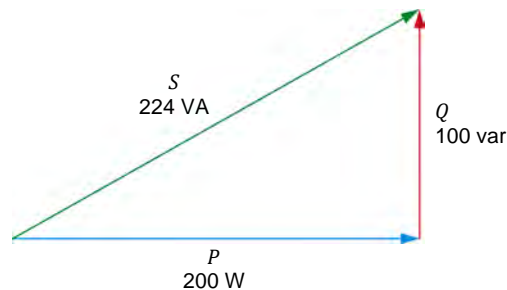


Figure 3-13. Triangle des puissances.

Facteur de puissance

Lors de l'analyse d'un circuit, il est souvent important de savoir quelle portion du courant circulant dans le circuit est utilisé pour effectuer du travail réel (c.-à-d. pour acheminer de la puissance active) et quelle portion du courant circulant dans le circuit est simplement utilisée pour l'échange de puissance entre les composants réactifs et la source. Ces portions peuvent être évaluées en déterminant le **facteur de puissance** du circuit.

Le facteur de puissance PF d'un circuit est le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S dans le circuit. Il peut donc être déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$PF = P/S \quad (3-6)$$

dans laquelle PF est le facteur de puissance du circuit.

Le facteur de puissance est le rapport entre deux termes exprimé en unités de puissance (1 W = 1 VA). Par conséquent, il s'agit d'une quantité sans dimension.

Le facteur de puissance PF d'un circuit peut varier entre 0 (circuit purement réactif) et 1 (circuit purement résistif). Plus la valeur du facteur de puissance est élevée, plus un circuit est efficace dans son utilisation de la puissance électrique pour effectuer du travail utile (chauffage, faire avancer un véhicule, etc.). Cela signifie que, pour la même quantité de puissance active fournie à une charge, un circuit ayant un facteur de puissance faible tirera plus de courant (plus de puissance réactive sera échangée dans le circuit) qu'un circuit ayant un facteur de puissance élevé. Un système d'alimentation électrique ayant un facteur de

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

puissance faible nécessite des fils plus gros et perd plus d'énergie dans le système de distribution pour effectuer la même quantité de travail qu'un système d'alimentation électrique ayant un facteur de puissance élevé.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Puissance réactive totale dans un circuit
- Puissance apparente, facteur de puissance et triangle des puissances

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca en parallèle contenant une bobine et un condensateur, et monterez l'équipement pour mesurer les tensions et courants associés à ces composants.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur [Mode de fonctionnement](#) à [Bloc d'alimentation](#). Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.
5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel [LVDAC-EMS](#).

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

7. Dans la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS, assurez-vous que l'Interface d'acquisition de données et de commande et le Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'Interface d'acquisition de données et de commande est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton **OK** pour fermer la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS.
8. Montez le circuit montré dans la figure 3-14.

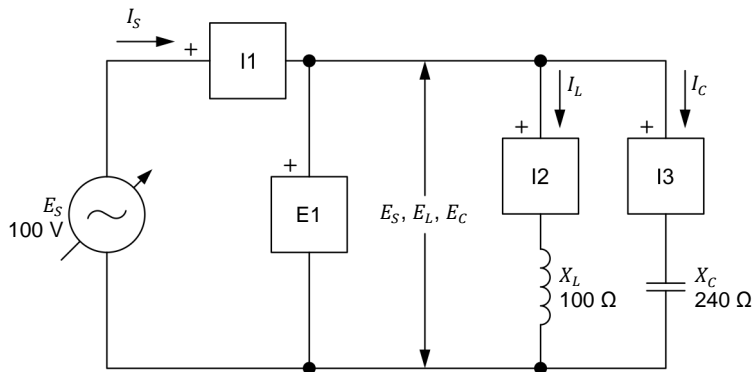


Figure 3-14. Circuit ca contenant une bobine et un condensateur, et installé pour mesurer la puissance réactive dans chaque composant.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la *Charge inductive* et sur la *Charge capacitive* (ou sur les *Charges inductives et capacitives*) pour obtenir les valeurs de réactance inductive et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées *E1*, *I1*, *I2* et *I3* de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension de source E_S ($E_S = E_L = E_C$), le courant de source I_S , le courant de la bobine I_L et le courant du condensateur I_C , respectivement.

9. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, puis effectuez les réglages suivants :
 - Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
 - Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Puissance réactive totale dans un circuit

Dans cette section, vous calculerez la puissance réactive Q_L de la bobine, la puissance réactive Q_C du condensateur et la puissance réactive totale Q dans le circuit. Vous utiliserez la fenêtre *Appareils de mesure* pour mesurer la tension de source E_S , le courant de source I_S , le courant de la bobine I_L et le courant du condensateur I_C . Vous déterminerez ensuite à partir de ces valeurs la puissance réactive Q_L de la bobine, la puissance réactive Q_C du condensateur et la puissance réactive totale Q dans le circuit, et comparerez les résultats avec les valeurs calculées. Vous déterminerez également la puissance réactive totale Q à partir des valeurs efficaces mesurées de la tension E_S et du courant I_S de source, et comparerez le résultat avec la puissance réactive totale calculée. Vous utiliserez la fenêtre *Appareils de mesure* pour mesurer la puissance réactive totale Q directement et comparerez le résultat avec la puissance réactive totale calculée.

- 10.** Calculez la puissance réactive Q_L de la bobine, la puissance réactive Q_C du condensateur et la puissance réactive totale Q dans le circuit.

Puissance réactive $Q_L =$ _____ var

Puissance réactive $Q_C =$ _____ var

Puissance réactive totale $Q =$ _____ var

- 11.** Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez la fenêtre **Appareils de mesure**. Réglez l'appareil de mesure **E1** pour mesurer la valeur efficace de la tension E_S ($E_S = E_L = E_C$) de la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

- 12.** Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, réglez les appareils **11**, **12** et **13** pour mesurer les valeurs efficaces du courant de source I_S , du courant de la bobine I_L et du courant du condensateur I_C , respectivement. Notez les valeurs efficaces des tensions et courants du circuit dans les espaces ci-dessous.

$E_S =$ _____ V

$I_S =$ _____ A

$E_L =$ _____ V

$I_L =$ _____ A

$E_C =$ _____ V

$I_C =$ _____ A

13. Déterminez la puissance réactive Q_L de la bobine et la puissance réactive Q_C du condensateur à l'aide des valeurs de tension et de courant mesurées à l'étape précédente. Puis, déterminez la puissance réactive totale Q dans le circuit à l'aide de la puissance réactive Q_L de la bobine et de la puissance réactive Q_C du condensateur.

Puissance réactive $Q_L =$ _____ var

Puissance réactive $Q_C =$ _____ var

Puissance réactive totale $Q =$ _____ var

14. Comparez la puissance réactive Q_L de la bobine, la puissance réactive Q_C du condensateur et la puissance réactive totale Q dans le circuit obtenues à l'étape précédente avec les valeurs calculées que vous avez notées à l'étape 10. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

15. Déterminez la puissance réactive totale Q dans le circuit à l'aide des valeurs efficaces de la tension E_S et du courant I_S de source que vous avez mesurées à l'étape 12. Notez le résultat ci-dessous.

Puissance réactive totale $Q =$ _____ var

16. Comparez la puissance réactive totale Q obtenue à l'étape précédente avec les valeurs de puissance réactive calculées aux étapes 10 et 13. Les valeurs sont-elles proches l'une de l'autre ?

Oui Non

17. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), réglez un appareil de mesure pour mesurer la puissance réactive totale Q dans le circuit. Notez la valeur ci-dessous.

Puissance réactive totale $Q =$ _____ var

18. La puissance réactive totale Q mesurée à l'étape précédente confirme-t-elle les autres valeurs de puissance réactive totale que vous avez obtenues jusqu'à maintenant ?

Oui Non

Puissance apparente, facteur de puissance et triangle des puissances

Dans cette section, vous monterez un circuit ca en parallèle contenant une résistance, une bobine et un condensateur. Vous calculerez la puissance active P dissipée dans la résistance, la puissance réactive totale Q dans le circuit, la puissance apparente S dans le circuit et le facteur de puissance PF du circuit. En utilisant la fenêtre *Appareils de mesure*, vous mesurerez la tension de source E_S , le courant de source I_S , le courant de la résistance I_R et le courant I_X circulant dans la bobine et le condensateur. Vous déterminerez à partir de ces valeurs mesurées la puissance active P , la puissance réactive Q et la puissance apparente S dans le circuit, ainsi que le facteur de puissance PF du circuit. En utilisant la fenêtre *Appareils de mesure*, vous mesurerez ensuite la puissance active P , la puissance réactive Q , la puissance apparente S et le facteur de puissance PF directement, et comparerez les résultats avec les valeurs que vous avez obtenues à partir des valeurs de tension et de courant mesurées. Finalement, vous dessinerez le triangle des puissance du circuit.

19. Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, désactivez la source d'alimentation ca.

20. Montez le circuit montré dans la figure 3-15.

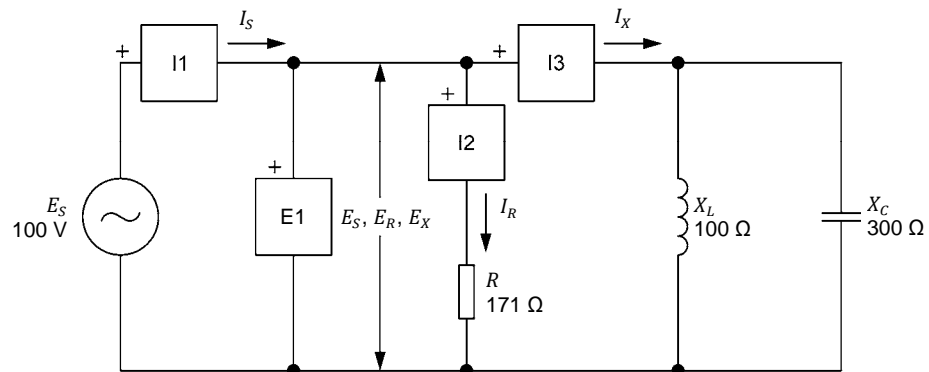


Figure 3-15. Circuit ca en parallèle contenant une résistance, une bobine et un condensateur, et installé pour des mesures de puissance.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la *Charge résistive*, ainsi que sur la *Charge inductive* et la *Charge capacitive* (ou sur les *Charges inductives et capacitatives*) pour obtenir les valeurs de résistance, de réactance inductive et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées *E1*, *I1*, *I2* et *I3* de l'*Interface d'acquisition de données et de commande* pour mesurer la tension E_S et le courant I_S de source, le courant de la résistance I_R et le courant I_X circulant dans la bobine et le condensateur connectés en parallèle, respectivement.

21. Calculez la puissance active P , la puissance réactive totale Q et la puissance apparente S dans le circuit, ainsi que le facteur de puissance PF du circuit. Notez les valeurs ci-dessous.

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance réactive totale $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

22. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension de source E_S (indiquée par l'appareil de mesure **E1** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

23. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez les valeurs efficaces de la tension de source E_S ($E_S = E_R = E_X$), le courant de la résistance I_R et le courant I_X . Notez les valeurs ci-dessous.

$E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

$E_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V

$I_R = \underline{\hspace{2cm}}$ A

$E_X = \underline{\hspace{2cm}}$ V

$I_X = \underline{\hspace{2cm}}$ A

24. Déterminez la puissance active P de la résistance, la puissance réactive totale Q dans le circuit, la puissance apparente S dans le circuit et le facteur de puissance PF du circuit à l'aide des valeurs de tension et de courant mesurées à l'étape précédente.

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance réactive $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

25. Comparez la puissance active P de la résistance, la puissance réactive totale Q dans le circuit, la puissance apparente S dans le circuit et le facteur de puissance PF du circuit obtenus à l'étape précédente aux valeurs que vous avez calculées à l'étape 21. Les valeurs sont-elles proches les unes des autres ?

Oui Non

26. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, mesurez la valeur efficace du courant de source I_S . Notez la valeur ci-dessous.

Courant de source $I_S =$ _____ (A)

27. Déterminez la puissance apparente S dans le circuit à partir des valeurs efficaces mesurées de la tension E_S et du courant I_S de source (notées aux étapes 23 et 26, respectivement). Notez le résultat ci-dessous.

Puissance apparente $S =$ _____ VA

28. Comparez la puissance apparente S obtenue à l'étape précédente aux valeurs de la puissance apparente S notées aux étapes 21 et 24. Toutes les valeurs sont-elles proches les unes des autres ?

Oui Non

29. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, réglez trois appareils pour mesurer la puissance dans le circuit à partir des valeurs efficaces de la tension E_S (entrée **E1**) et du courant I_S (entrée **I1**) de source. Réglez le premier appareil pour mesurer la puissance active P , le deuxième appareil pour mesurer la puissance réactive totale Q et le troisième appareil pour mesurer la puissance apparente S . Réglez un quatrième appareil pour mesurer le facteur de puissance PF du circuit. Notez les résultats ci-dessous.

Puissance active $P =$ _____ W

Puissance réactive totale $Q =$ _____ var

Puissance apparente $S =$ _____ VA

Facteur de puissance $PF =$ _____

30. Les valeurs de puissance active P , de puissance réactive totale Q , de puissance apparente S et de facteur de puissance PF mesurées à l'étape précédente confirment-elles les valeurs de puissance active, de puissance réactive totale, de puissance apparente et de facteur de puissance que vous avez obtenues jusqu'à maintenant ?

Oui Non

31. Dessinez le triangle des puissances à l'aides des valeurs de puissance active P , de puissance réactive totale Q et de puissance apparente S mesurées à l'étape 29.

Triangle des puissances du circuit dans la figure 3-15.

32. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.
33. Fermez **LVDAC-EMS**, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous êtes devenu familier avec les diagrammes de phaseurs montrant la puissance active, la puissance réactive et la puissance apparente dans un circuit. Vous avez appris ce qu'est le facteur de puissance d'un circuit et comment calculer sa valeur. Vous avez également appris comment calculer la puissance réactive totale et la puissance apparente dans un circuit ca. Vous avez vu comment représenter les puissances active, réactive et apparente dans un circuit sous la forme d'un triangle des puissances.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Est-il possible de déterminer la relation de phase entre un phaseur de puissance et les phaseurs de tension et de courant correspondants ? Expliquez pourquoi.

2. Quelle est la relation de phase entre la puissance réactive dans une bobine et la puissance réactive dans un condensateur ?

3. Quelles sont les différences entre la puissance active P , la puissance réactive Q et la puissance apparente S ?

4. Un circuit ca en parallèle ayant une tension de source E_S de 100 V contient une bobine idéale ($X_L = 150 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 350 \Omega$). Calculez la puissance réactive totale résultante Q dans le circuit. Indiquez la relation de phase entre le courant de source I_S et la tension de source E_S .

5. Un circuit ca en parallèle ayant une tension de source E_S de 150 V contient une résistance ($R = 200 \Omega$) et une bobine ($X_L = 50 \Omega$). Calculez la puissance apparente S et le facteur de puissance PF du circuit.

Test de l'unité

1. Complétez la phrase suivante : La puissance active est utilisée par
 - a. les composants résistifs pour effectuer du travail, alors que la puissance réactive est échangée entre la source et les composants réactifs sans effectuer de travail.
 - b. les composants réactifs pour effectuer du travail, alors que la puissance réactive est échangée entre la source et les composants résistifs sans effectuer de travail.
 - c. les composants résistifs et est retournée à la source sans effectuer de travail, alors que la puissance réactive est échangée entre la source et les composants réactifs pour effectuer du travail.
 - d. les composants résistifs pour effectuer du travail et diminuer le facteur de puissance du circuit.

2. Laquelle des phrases suivantes est vraie par rapport aux formes d'onde de la puissance active et de la puissance réactive ?
 - a. La forme d'onde de la puissance active a une valeur moyenne de zéro et une fréquence qui est le double de la fréquence de la source d'alimentation ca.
 - b. La forme d'onde de la puissance réactive est déphasée par rapport aux formes d'onde du courant et de la tension et a une fréquence qui est égale à la fréquence de la source d'alimentation ca.
 - c. La forme d'onde de la puissance réactive a une valeur moyenne positive et une fréquence qui est le double de la fréquence de la source d'alimentation ca.
 - d. La forme d'onde de la puissance active a une valeur moyenne positive et une fréquence qui est le double de la fréquence de la source d'alimentation ca.

3. Étant donné un circuit ca en parallèle ayant une tension de source E_S de 100 V et contenant une bobine idéale ($X_L = 150 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 300 \Omega$). Calculez la puissance réactive totale Q dans le circuit.
 - a. $Q = 100 \text{ var}$
 - b. $Q = 33,3 \text{ var}$
 - c. $Q = -33,3 \text{ var}$
 - d. $Q = 66,6 \text{ var}$

4. Étant donné un circuit ca ayant une tension de source E_S de 140 V et contenant une résistance ($R = 200 \Omega$). Calculez la puissance active P et la puissance réactive Q dans la résistance.
 - a. $P = -98,0 \text{ W}, Q = 0,00 \text{ var}$
 - b. $P = 98,0 \text{ W}, Q = 98,0 \text{ var}$
 - c. $P = 0,00 \text{ W}, Q = 98,0 \text{ var}$
 - d. $P = 98,0 \text{ W}, Q = 0,00 \text{ var}$

5. La puissance active P dissipée dans un condensateur est égale
 - a. au produit des valeurs instantanées de la tension et du courant du condensateur.
 - b. à la valeur instantanée de la forme d'onde de la puissance du condensateur.
 - c. à la valeur moyenne de la forme d'onde de la puissance du condensateur.
 - d. à la somme vectorielle des puissance réactive et apparente dans le circuit.

6. Complétez la phrase suivante se rapportant aux moitiés positive et négative de la forme d'onde associée à un composant réactif : Pendant la moitié positive de la forme d'onde de puissance, le composant réactif
 - a. absorbe de la puissance de la source, alors que, durant la moitié négative de la forme d'onde de puissance, le composant réactif retourne de la puissance à la source.
 - b. transforme la puissance reçue de la source en puissance active, alors que, durant la moitié négative de la forme d'onde de puissance, le composant réactif convertit la puissance en puissance réactive.
 - c. transforme la puissance reçue de la source en puissance réactive, alors que, durant la moitié négative de la forme d'onde de puissance, le composant réactif convertit la puissance en puissance active.
 - d. retourne de la puissance à la source, alors que, durant la moitié négative de la forme d'onde de puissance, le composant réactif absorbe de la puissance de la source.

7. Quelle est la relation entre la polarité de la puissance réactive totale Q dans un circuit ca et la nature du circuit (inductif ou capacitif) ?
 - a. Un circuit ca ayant une puissance réactive totale Q positive est capacitif, alors qu'un circuit ca ayant une puissance réactive totale Q négative est inductif.
 - b. Un circuit ca ayant une puissance réactive totale Q positive est inductif, alors qu'un circuit ca ayant une puissance réactive totale Q négative est capacitif.
 - c. Un circuit ca ayant une puissance réactive totale Q positive est à la fois inductif et capacitif, alors qu'un circuit ca ayant une puissance réactive totale Q négative n'est ni inductif ni capacitif.
 - d. La polarité de la puissance réactive totale Q ne peut pas être utilisée pour déterminer si un circuit ca est inductif ou capacitif.

8. Complétez la phrase suivante : La puissance réactive Q_L dans une bobine idéale
 - a. est en avance de 180° sur la puissance réactive Q_C dans un condensateur.
 - b. est en avance de 90° sur la puissance réactive Q_C dans un condensateur.
 - c. est en retard de 180° sur la puissance réactive Q_C dans un condensateur.
 - d. est en retard de 90° sur la puissance réactive Q_C dans un condensateur.

9. Le facteur de puissance PF d'un circuit ca détermine
- la fréquence de la forme d'onde de puissance.
 - le rapport entre les puissances inductive et capacitive dans un circuit.
 - le rapport entre la puissance active et la puissance apparente dans le circuit.
 - le rapport entre le nombre de composants résistifs et le nombre de composants réactifs dans un circuit.
10. Considérez un circuit ca en parallèle contenant une résistance ($R = 100 \Omega$) et une bobine idéale ($X_L = 250 \Omega$). Calculez la puissance apparente S dans le circuit, sachant que la puissance active P de la résistance est égale à 75 W.
- $S = 80,8 \text{ VA}$
 - $S = 269 \text{ VA}$
 - $S = 150 \text{ VA}$
 - $S = 158 \text{ VA}$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Analyse de circuits ca

OBJECTIF DE L'UNITÉ

Lorsque vous aurez complété cette unité, vous serez capable de résoudre des circuits ca simples à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance du circuit. Vous serez également capable de résoudre des circuits ca complexes à l'aide de la méthode du triangle des puissances.

SOMMAIRE DES PRINCIPES

Les Principes fondamentaux couvrent les points suivants :

- Introduction à l'analyse de circuit
- Méthode d'analyse de circuit

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Introduction à l'analyse de circuit

L'analyse de circuit comporte le calcul de tous les paramètres électriques lorsqu'un circuit (c.-à-d. un arrangement de composants électriques) est connecté à une source d'alimentation ca ayant une certaine tension E_S . Plus spécifiquement, l'analyse de circuit consiste de déterminer (par des calculs) la tension aux bornes de chaque composant, le courant circulant dans chaque branche du circuit, le courant total du circuit (c.-à-d. le courant de source I_S), la puissance dans chaque composant, ainsi que la puissance active P , la puissance réactive Q et la puissance apparente S dans le circuit et, enfin, le facteur de puissance PF du circuit.

Méthode d'analyse de circuit

Deux méthodes ou approches différentes pour résoudre des circuits ca sont discutées dans cette unité. La première méthode implique le calcul de l'impédance du circuit et peut être utilisée pour résoudre rapidement des circuits ca simples. La deuxième méthode est basée sur le triangle des puissances et peut être utilisée pour résoudre presque tout circuit ca. Ces deux méthodes n'utilisent que de simples calculs algébriques et aucun calcul vectoriel.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Résolution de circuits ca simples à l'aide du calcul d'impédance de circuit

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous serez capable de résoudre des circuits ca en parallèle et en série simples à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance du circuit.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Résolution de circuits en parallèle simples
- Résolution de circuits en série simples

PRINCIPES

Résolution de circuits en parallèle simples

La figure 4-1 montre un circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine.

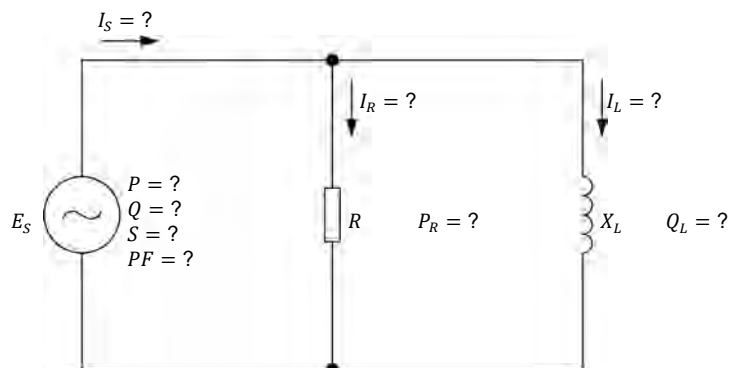


Figure 4-1. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine.

La séquence pas à pas pour résoudre le circuit ca montré dans la figure 4-1 à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance est donnée ci-dessous. La tension de source E_S , la valeur de résistance R de la résistance et la réactance inductive X_L de la bobine sont les seules valeurs connues dans le diagramme de circuit ci-dessus. Le circuit est résolu à l'aide des opérations suivantes :

$$Z = (R \cdot X_L) / \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$I_S = E_S / Z$$

$$S = E_S \cdot I_S$$

$$I_R = E_S / R$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

$$P_R = P = E_S \cdot I_R$$

$$I_L = E_S / X_L$$

$$Q_L = Q = E_S \cdot I_L$$

$$PF = P / S$$

Comme l'indique le nom de la méthode, la clé pour résoudre le circuit à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance du circuit est de déterminer l'impédance du circuit Z . Lorsque l'impédance du circuit Z est déterminée, les autres calculs suivent logiquement.

Exemple

Considérez le circuit ca suivant :

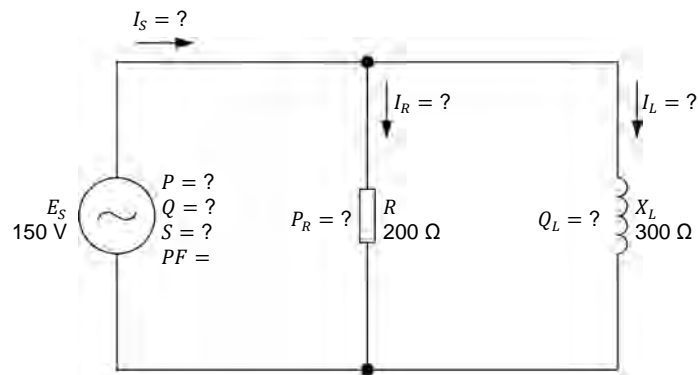


Figure 4-2. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine.

La séquence pas à pas pour résoudre le circuit montré dans la figure 4-2 à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance est donnée ci-dessous :

$$Z = (R \cdot X_L) / \sqrt{R^2 + X_L^2} = (200 \Omega \cdot 300 \Omega) / \sqrt{(200 \Omega)^2 + (300 \Omega)^2} = 166 \Omega$$

$$I_S = E_S / Z = 150 \text{ V} / 166 \Omega = 0,90 \text{ A}$$

$$S = E_S \cdot I_S = 150 \text{ V} \cdot 0,90 \text{ A} = 135 \text{ VA}$$

$$I_R = E_S / R = 150 \text{ V} / 200 \Omega = 0,75 \text{ A}$$

$$P_R = P = E_S \cdot I_R = 150 \text{ V} \cdot 0,75 \text{ A} = 113 \text{ W}$$

$$I_L = E_S / X_L = 150 \text{ V} / 300 \Omega = 0,50 \text{ A}$$

$$Q_L = Q = E_S \cdot I_L = 150 \text{ V} \cdot 0,50 \text{ A} = 75,0 \text{ var}$$

$$PF = P / S = 113 \text{ W} / 135 \text{ VA} = 0,84$$

Résolution de circuits en série simples

La figure 4-3 montre un circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur.

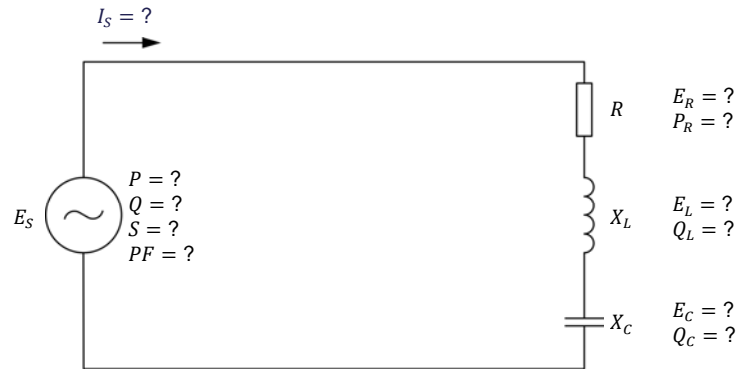


Figure 4-3. Circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur.

La méthode de calcul de l'impédance utilisée pour résoudre les circuits ca en parallèle peut aussi être utilisée pour résoudre le circuit ca en série montré dans la figure 4-3. Étant donné les valeurs de la tension de source E_S , de la valeur de la résistance R de la résistance, de la réactance inductive X_L de la bobine et de la réactance capacitive X_C du condensateur, les valeurs des autres paramètres peuvent être déterminées comme suit :

$$X = X_L - X_C$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$I_S = E_S / Z$$

$$S = E_S \cdot I_S$$

$$E_R = I_S \cdot R$$

$$P_R = P = E_R \cdot I_S$$

$$E_L = I_S \cdot X_L$$

$$Q_L = I_S \cdot E_L$$

$$E_C = I_S \cdot X_C$$

$$Q_C = I_S \cdot E_C$$

$$Q = Q_L - Q_C$$

$$PF = P / S$$

Comme pour les circuits ca en parallèle, la clé pour résoudre le circuit est de déterminer l'impédance du circuit Z . Le reste des calculs sont de simples opérations algébriques dérivant de la valeur de l'impédance du circuit Z .

Exemple

Considérez le circuit ca suivant :



Figure 4-4. Circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur.

La séquence pas à pas pour résoudre le circuit montré dans la figure 4-4 à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance est donnée ci-dessous :

$$X = X_L - X_C = 300 \Omega - 200 \Omega = 100 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(100 \Omega)^2 + (100 \Omega)^2} = 141 \Omega$$

$$I_S = E_S / Z = 150 \text{ V} / 141 \Omega = 1,06 \text{ A}$$

$$S = E_S \cdot I_S = 150 \text{ V} \cdot 1,06 \text{ A} = 159 \text{ VA}$$

$$E_R = I_S \cdot R = 1,06 \text{ A} \cdot 100 \Omega = 106 \text{ V}$$

$$P_R = P = E_R \cdot I_S = 106 \text{ V} \cdot 1,06 \text{ A} = 112 \text{ W}$$

$$E_L = I_S \cdot X_L = 1,06 \text{ A} \cdot 300 \Omega = 318 \text{ V}$$

$$Q_L = I_S \cdot E_L = 1,06 \text{ A} \cdot 318 \text{ V} = 337 \text{ var}$$

$$E_C = I_S \cdot X_C = 1,06 \text{ A} \cdot 200 \Omega = 212 \text{ V}$$

$$Q_C = I_S \cdot E_C = 1,06 \text{ A} \cdot 212 \text{ V} = 225 \text{ var}$$

$$Q = Q_L - Q_C = 337 \text{ var} - 225 \text{ var} = 112 \text{ var}$$

$$PF = P / S = 112 \text{ W} / 159 \text{ VA} = 0,70$$

Comme vous pouvez le voir, résoudre les circuits ca tant en parallèle qu'en série à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance du circuit n'implique aucun calcul vectoriel. Cette méthode permet la résolution de circuits ca à l'aide de simples calculs algébriques.

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Résolution d'un circuit ca en parallèle simple
- Résolution d'un circuit ca en série simple

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca en parallèle contenant une résistance et un condensateur, et monterez l'équipement pour mesurer tous les paramètres du circuit.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.

3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.

4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur [Mode de fonctionnement](#) à [Bloc d'alimentation](#). Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.

5. Connectez le port USB de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

6. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel [LVDAC-EMS](#).

7. Dans la fenêtre **Démarrage de LVDAC-EMS**, assurez-vous que l'**Interface d'acquisition de données et de commande** et le **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants** sont détectés. Assurez-vous que la fonction **Instrumentation informatisée** pour l'**Interface d'acquisition de données et de commande** est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton **OK** pour fermer la fenêtre **Démarrage de LVDAC-EMS**.
8. Montez le circuit montré dans la figure 4-5.

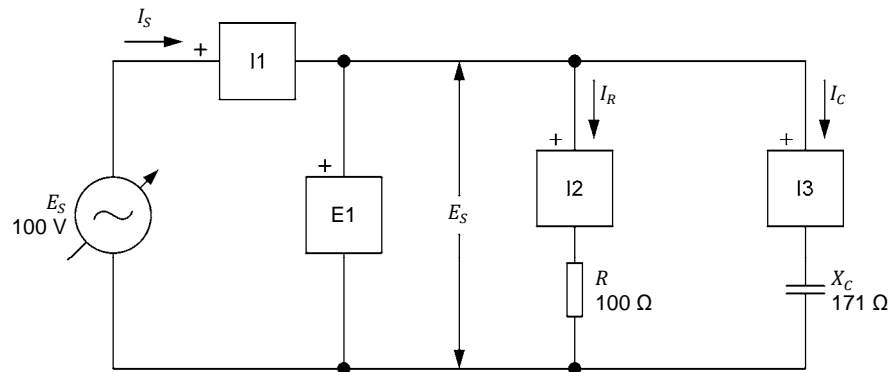


Figure 4-5. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et un condensateur, et monté pour l'analyse de circuit.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** et sur la **Charge capacitive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir les valeurs de résistance et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées **E1**, **I1**, **I2** et **I3** de l'**Interface d'acquisition de données et de commande** pour mesurer la tension de source E_S ($E_S = E_R = E_C$), le courant de source I_S , le courant de la résistance I_R et le courant du condensateur I_C , respectivement.

9. Dans **LVDAC-EMS**, ouvrez la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, puis effectuez les réglages suivants :
 - Réglez le paramètre **Fonction** à **Source d'alimentation ca**.
 - Assurez-vous que le paramètre **Commande de tension** est réglé à **Bouton**. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre **Tension (V sans charge)** à 100 V.
 - Réglez le paramètre **Fréquence** à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Résolution d'un circuit ca en parallèle simple

Dans cette section, vous utiliserez la méthode de calcul de l'impédance pour résoudre le circuit que vous avez monté dans les étapes précédentes. Vous mesurerez ensuite les paramètres du circuit et comparerez les résultats aux paramètres du circuit calculés.

10. Résolvez le circuit en entier montré dans la figure 4-5 à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance.

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (A)}$

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$

Courant de la résistance $I_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

Puissance active $P_R = P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$

Courant du condensateur $I_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

Puissance réactive $Q_C = Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

11. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre [Appareils de mesure](#). Réglez l'appareil de mesure [E1](#) pour mesurer la valeur efficace de la tension E_S de la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#), activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre [Tension \(V sans charge\)](#) afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure [E1](#) dans la fenêtre [Appareils de mesure](#)) soit égale à 100 V.

12. Dans la fenêtre [Appareils de mesure](#), réglez les appareils de mesure afin de mesurer les paramètres suivants :

Tension de source $E_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (A)}$

Courant de la résistance $I_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

Courant du condensateur $I_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$

Puissance de la résistance $P_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$

Puissance réactive $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance réactive du condensateur $Q_C = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

13. Comparez les paramètres du circuit mesurés à l'étape précédente aux valeurs que vous avez calculées à l'étape 10. Les valeurs sont-elles proches les unes des autres ?

Oui Non

Résolution d'un circuit ca en série simple

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur. Vous utiliserez la méthode de calcul de l'impédance pour résoudre le circuit. Vous mesurerez ensuite les paramètres du circuit et comparerez les résultats aux paramètres du circuit calculés.

14. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

15. Montez le circuit montré dans la figure 4-6.

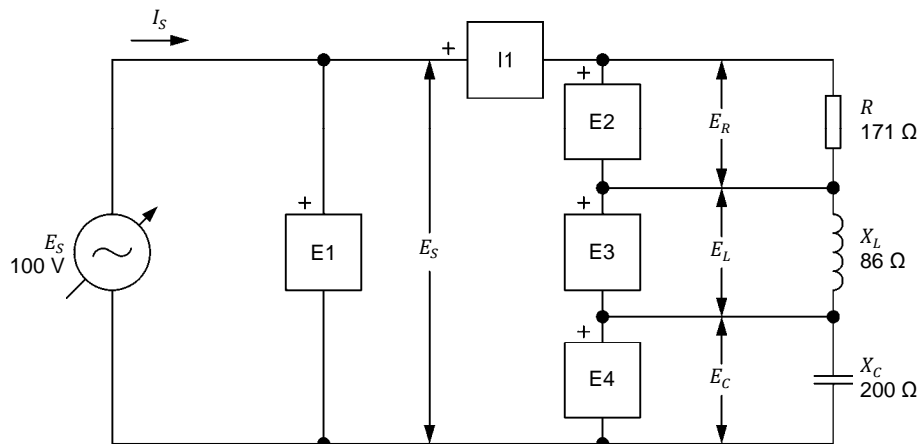


Figure 4-6. Circuit ca en série contenant une résistance, une bobine et un condensateur, et monté pour l'analyse de circuit.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive**, ainsi que sur la **Charge inductive** et la **Charge capacitive** (ou sur les **Charges inductives et capacitives**) pour obtenir les valeurs de résistance, de réactance inductive et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées *E1*, *E2*, *E3*, *E4* et *I1* de l'Interface d'acquisition de données et de mesure pour mesurer la tension de source E_S , la tension de la résistance E_R , la tension de la bobine E_L , la tension du condensateur E_C et le courant de source I_S ($I_S = I_R = I_L = I_C$), respectivement.

- 16.** Résolvez le circuit en entier montré dans la figure 4-6 à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance.

Réactance équivalente $X_{EQ.} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Impédance $Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Tension de la résistance $E_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Puissance active $P_R = P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Tension de la bobine $E_L = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Puissance réactive $Q_L = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Tension du condensateur $E_C = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Puissance réactive $Q_C = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance réactive totale $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

- 17.** Dans la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, activez la source d'alimentation ca.

Réajustez la valeur du paramètre *Tension (V sans charge)* afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure *E1* dans la fenêtre *Appareils de mesure*) soit égale à 100 V.

- 18.** Dans la fenêtre *Appareils de mesure*, réglez les appareils de mesure afin de mesurer les paramètres suivants :

Tension de source $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension de la résistance $E_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension de la bobine $E_L = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension du condensateur $E_C = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance de la résistance $P_R = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance réactive de la bobine $Q_L = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance réactive du condensateur $Q_C = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance réactive totale $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

19. Comparez les paramètres du circuit mesurés à l'étape précédente aux valeurs que vous avez calculées à l'étape 16. Les valeurs sont-elles proches les unes des autres ?

Oui Non

20. Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, désactivez la source d'alimentation ca.

21. Fermez **LVDAC-EMS**, puis éteignez tout l'équipement. Déconnectez tous les câbles et retournez-les à leur emplacement de rangement.

CONCLUSION

Dans cet exercice, vous avez appris comment résoudre des circuits ca en parallèle et en série simples à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance du circuit.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Un circuit ca en parallèle contient une résistance ($R = 150 \Omega$) et une bobine ($X_L = 250 \Omega$). Sachant que la tension de source E_S est égale à 150 V, calculez la puissance apparente S dans le circuit à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance.

2. Un circuit ca en série contient une résistance ($R = 100 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 225 \Omega$). Sachant que la tension de source E_S est égale à 100 V, calculez le facteur de puissance PF du circuit à l'aide de la méthode de calcul de l'impédance.

3. Un circuit ca en parallèle contient une résistance ($R = 200 \Omega$), une bobine et un condensateur. Sachant que la tension de source E_S est égale à 100 V et que la puissance réactive totale Q dans le circuit est de 70,0 var, calculez l'impédance du circuit Z .

4. Un circuit ca en série contient une résistance ($R = 150 \Omega$), une bobine ($X_L = 250 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 200 \Omega$). Sachant que la puissance active P dissipée dans le circuit est égale à 100 W, calculez la puissance apparente S dans le circuit.

5. Un circuit ca en série contient une résistance ($R = 250 \Omega$), une bobine ($X_L = 100 \Omega$) et un condensateur ($X_C = 300 \Omega$). Sachant que la tension de source E_S est égale à 150 V, calculez le facteur de puissance PF du circuit.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Résolution de circuits ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez complété cet exercice, vous serez capable de résoudre des circuits ca complexes à l'aide de la méthode du triangle des puissances.

SOMMAIRE DES PRINCIPES Les Principes de cet exercice couvrent les points suivants :

- Résolution de circuits ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances

PRINCIPES

Résolution de circuits ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances

La figure 4-7 montre un circuit ca contenant une résistance, une bobine et deux condensateurs.

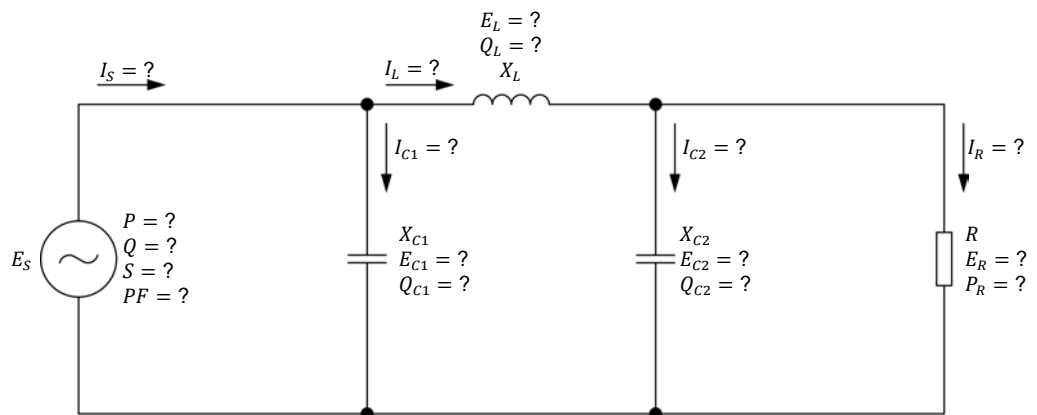


Figure 4-7. Circuit ca contenant une résistance, une bobine et deux condensateurs.

La séquence pas à pas pour résoudre le circuit ca montré dans la figure 4-7 à l'aide de la méthode du triangle des puissances est donnée ci-dessous. Les valeurs de la tension de source E_S , de la valeur de résistance R de la résistance, de la réactance inductive X_L de la bobine et des réactances capacitives X_{C1} et X_{C2} des condensateurs sont connues à partir du diagramme de circuit. Pour résoudre le circuit à l'aide de la méthode du triangle des puissances, il est nécessaire d'assumer une certaine valeur de tension (déterminée arbitrairement) aux bornes d'un des composants. Dans cet exemple, la tension E_R ($E_R = E_{C2}$) aux bornes de la résistance est assumée comme étant égale à x V. Cela a pour résultat :

$$I_R = E_R/R = x/R$$

$$P_R = E_R \cdot I_R = x \cdot I_R$$

$$I_{C2} = E_{C2}/X_{C2} = x/X_{C2}$$

$$Q_{C2} = E_{C2} \cdot I_{C2} = x \cdot I_{C2}$$

$$S_{R-C2} = \sqrt{P_R^2 + Q_{C2}^2}$$

$$I_L = S_{R-C2}/E_R = S_{R-C2}/x$$

$$E_L = I_L \cdot X_L$$

$$Q_L = E_L \cdot I_L$$

$$S_{R-L-C2} = \sqrt{P_R^2 + (Q_L - Q_{C2})^2}$$

$$E_S = S_{R-L-C2}/I_L$$

$$I_{C1} = E_S/X_{C1}$$

$$Q_{C1} = E_S \cdot I_{C1}$$

$$P = P_R$$

$$Q = Q_L - (Q_{C1} + Q_{C2})$$

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

$$I_S = S/E_S$$

$$PF = P/S$$

Les résultats des calculs ci-dessus ne sont valides que lorsque la tension de source réelle est égale à la tension de source E_S calculée ci-dessus ($E_{S,assumée}$) avec la valeur assumée de la tension de la résistance E_R . Cependant, tous les paramètres du circuit peuvent facilement être recalculés pour toute tension de source réelle E_S en appliquant un facteur de $E_{S,réelle}/E_{S,assumée}$ à toutes les valeurs de tension et de courant calculées ci-dessus.

Comme la démonstration ci-dessus le montre, il est absolument nécessaire à certains points dans les calculs d'avoir recours au triangle des puissances pour résoudre le circuit ca complètement sans calcul vectoriel. Par conséquent, en utilisant la méthode du triangle des puissances, le triangle des puissances est la clé pour compléter la résolution du circuit sans utiliser de calcul vectoriel.

Exemple

La figure 4-8 montre un circuit ca contenant une résistance, une bobine et deux condensateurs.

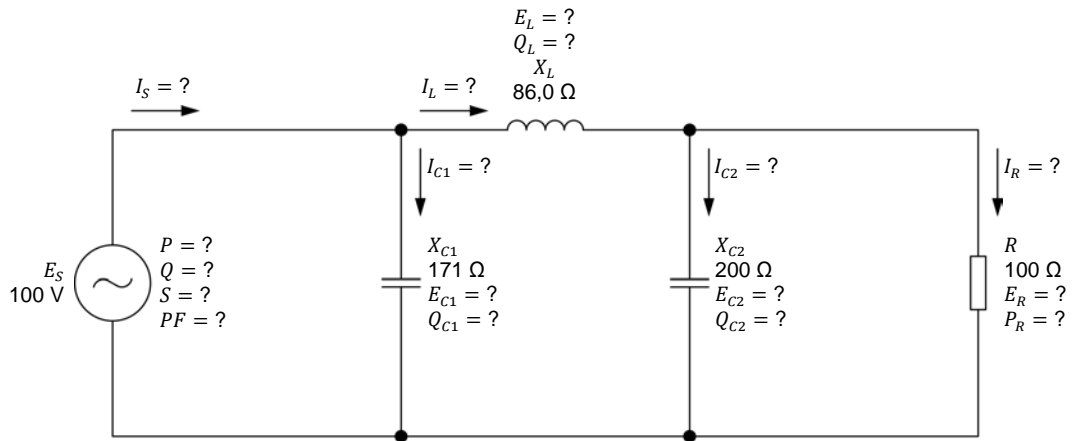


Figure 4-8. Circuit ca contenant une résistance, une bobine et deux condensateurs.

La séquence pas à pas pour résoudre le circuit ca montré dans la figure 4-8 est donnée ci-dessous. Dans les calculs, il est assumé que la tension E_R ($E_R = E_{C2}$) mesurée aux bornes de la résistance est égale à 40,0 V.

$$I_R = E_R / R = 40,0 \text{ V} / 100 \Omega = 0,40 \text{ A}$$

$$P_R = E_R \cdot I_R = 40,0 \text{ V} \cdot 0,40 \text{ A} = 16,0 \text{ W}$$

$$I_{C2} = E_{C2} / X_{C2} = 40,0 \text{ V} / 200 \Omega = 0,20 \text{ A}$$

$$Q_{C2} = E_{C2} \cdot I_{C2} = 40,0 \text{ V} \cdot 0,20 \text{ A} = 8,00 \text{ var}$$

$$S_{R-C2} = \sqrt{P_R^2 + Q_{C2}^2} = \sqrt{(16,0 \text{ W})^2 + (8,00 \text{ var})^2} = 17,9 \text{ VA}$$

$$I_L = S_{R-C2} / E_R = 17,9 \text{ VA} / 40,0 \text{ V} = 0,45 \text{ A}$$

$$E_L = I_L \cdot X_L = 0,45 \text{ A} \cdot 86,0 \Omega = 38,7 \text{ V}$$

$$Q_L = E_L \cdot I_L = 38,7 \text{ V} \cdot 0,45 \text{ A} = 17,4 \text{ var}$$

$$S_{R-L-C2} = \sqrt{P_R^2 + (Q_L - Q_{C2})^2} = \sqrt{(16,0 \text{ W})^2 + (17,4 \text{ var} - 8,00 \text{ var})^2} = 18,6 \text{ VA}$$

$$E_S = S_{R-L-C2} / I_L = 18,6 \text{ VA} / 0,45 \text{ A} = 41,3 \text{ V}$$

$$I_{C1} = E_S / X_{C1} = 41,3 \text{ V} / 171 \Omega = 0,24 \text{ A}$$

$$Q_{C1} = E_S \cdot I_{C1} = 41,3 \text{ V} \cdot 0,24 \text{ A} = 9,91 \text{ var}$$

$$P = P_R = 16,0 \text{ W}$$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

$$Q = Q_L - (Q_{C1} + Q_{C2}) = 17,4 \text{ var} - (9,91 \text{ var} + 8,00 \text{ var}) = -0,51 \text{ var}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(16,0 \text{ W})^2 + (0,51 \text{ var})^2} = 16,0 \text{ VA}$$

$$I_S = S/E_S = 16,0 \text{ VA}/41,3 \text{ V} = 0,39 \text{ A}$$

$$PF = P/S = 16,0 \text{ W}/16,0 \text{ VA} = 1,00$$

Les valeurs calculées ci-dessus ne sont valides que si la tension de source E_S est de 41,3 V. Sachant que la tension de source E_S réelle est de 100 V, la tension de la résistance E_R assumée doit être multipliée par le rapport $E_{S,réelle}/E_{S,assumée}$ pour obtenir la valeur réelle de la tension de la résistance E_R . La tension de la résistance E_R réelle est donc égale à :

$$E_R = E_{R,assumée} \cdot (E_{S,réelle}/E_{S,assumée}) = 40,0 \text{ V} \cdot (100 \text{ V}/41,3 \text{ V}) = 96,9 \text{ V}$$

Le circuit en entier peut ensuite être résolu en utilisant la valeur de la tension E_R réelle.

$$I_R = E_R/R = 96,9 \text{ V}/100 \Omega = 0,97 \text{ A}$$

$$P_R = E_R \cdot I_R = 96,9 \text{ V} \cdot 0,97 \text{ A} = 94,0 \text{ W}$$

$$I_{C2} = E_{C2}/X_{C2} = 96,9 \text{ V}/200 \Omega = 0,48 \text{ A}$$

$$Q_{C2} = E_{C2} \cdot I_{C2} = 96,9 \text{ V} \cdot 0,48 \text{ A} = 46,5 \text{ var}$$

$$S_{R-C2} = \sqrt{P_R^2 + Q_{C2}^2} = \sqrt{(94,0 \text{ W})^2 + (46,5 \text{ var})^2} = 105 \text{ VA}$$

$$I_L = S_{R-C2}/E_R = 105 \text{ VA}/96,9 \text{ V} = 1,08 \text{ A}$$

$$E_L = I_L \cdot X_L = 1,08 \text{ A} \cdot 86 \Omega = 92,9 \text{ V}$$

$$Q_L = E_L \cdot I_L = 92,9 \text{ V} \cdot 1,08 \text{ A} = 100 \text{ var}$$

$$S_{R-L-C2} = \sqrt{P_R^2 + (Q_L - Q_{C2})^2} = \sqrt{(94,0 \text{ W})^2 + (100 \text{ var} - 46,5 \text{ var})^2} = 108 \text{ VA}$$

$$E_S = S_{R-L-C2}/I_L = 108 \text{ VA}/1,08 \text{ A} = 100 \text{ V}$$

La valeur de la tension de source E_S obtenue à l'étape précédente confirme que la tension de source E_S réelle est effectivement égale à 100 V lorsque la tension de la résistance E_R est de 96,9 V. Les paramètres du circuit restants peuvent ensuite être calculés :

$$I_{C1} = E_S/X_{C1} = 100 \text{ V}/171 \Omega = 0,58 \text{ A}$$

$$Q_{C1} = E_S \cdot I_{C1} = 100 \text{ V} \cdot 0,58 \text{ A} = 58,0 \text{ var}$$

$$P = P_R = 94,0 \text{ W}$$

$$Q = Q_L - (Q_{C1} + Q_{C2}) = 100 \text{ var} - (58,0 \text{ var} + 46,5 \text{ var}) = -4,50 \text{ var}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(94,0 \text{ W})^2 + (-4,50 \text{ var})^2} = 94,1 \text{ VA}$$

$$I_S = S/E_S = 94,1 \text{ VA}/100 \text{ V} = 0,94 \text{ A}$$

$$PF = P/S = 94,0 \text{ W}/94,1 \text{ VA} = 1,00$$

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Résolution d'un circuit ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances

MANIPULATIONS



Des tensions élevées sont présentes dans cet exercice de laboratoire. Ne faites ou modifiez pas de connexion de prise banane lorsque le système est sous tension, sauf indication contraire.

Montage et câblage

Dans cette section, vous connecterez un circuit ca contenant deux résistances, une bobine et un condensateur, et monterez l'équipement pour mesurer tous les paramètres du circuit.

1. Reportez-vous au Tableau d'utilisation de l'équipement dans l'Annexe A afin d'obtenir la liste de l'équipement requis afin d'effectuer cet exercice.

Installez l'équipement requis dans le [Poste de travail](#).

2. Assurez-vous que l'interrupteur principal d'alimentation du [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) est réglé à la position **O** (éteint), puis connectez son [Alimentation](#) à une sortie d'alimentation ca.
3. Connectez l'[Alimentation](#) de l'[Interface d'acquisition de données et de commande](#) à un bloc d'alimentation ca de 24 V. Allumez le bloc d'alimentation ca de 24 V.
4. Allumez le [Bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants](#) puis réglez l'interrupteur [Mode de fonctionnement](#) à [Bloc d'alimentation](#). Ce réglage permet au [Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants](#) de fonctionner comme un bloc d'alimentation.

- Connectez le port USB de l'Interface d'acquisition de données et de commande à un port USB de l'ordinateur hôte.

Connectez le port USB du Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants à un port USB de l'ordinateur hôte à l'aide du câble USB.

- Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel LVDAC-EMS.
- Dans la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS, assurez-vous que l'Interface d'acquisition de données et de commande et le Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants sont détectés. Assurez-vous que la fonction *Instrumentation informatisée* pour l'Interface d'acquisition de données et de commande est disponible. Sélectionnez la tension et la fréquence du réseau qui correspondent à la tension et la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local, puis cliquez sur le bouton OK pour fermer la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS.

- Montez le circuit montré dans la figure 4-9.

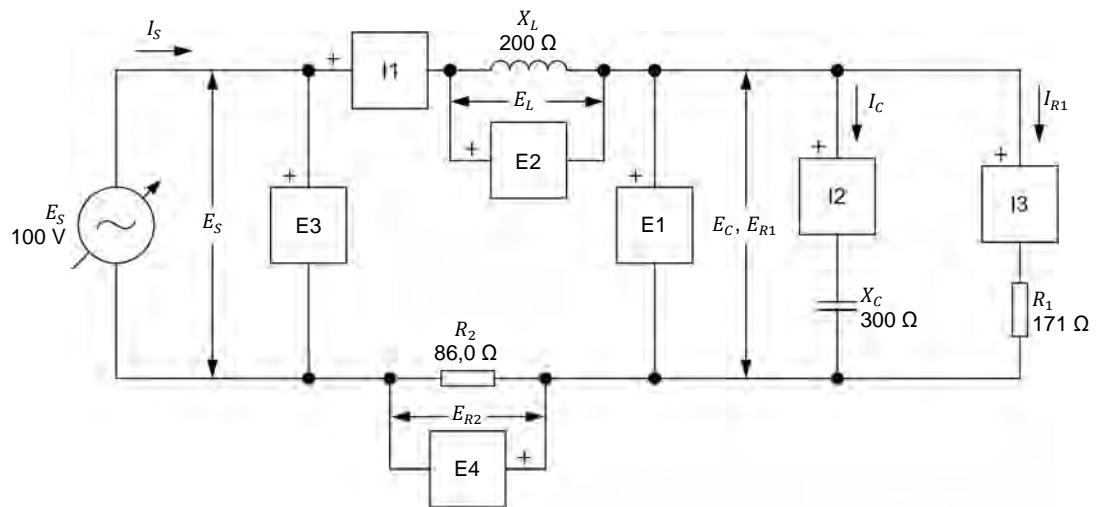


Figure 4-9. Circuit ca contenant deux résistances, une bobine et un condensateur, et monté pour l'analyse de circuit.

Effectuez les connexions et réglages des commutateurs nécessaires sur la Charge résistive, ainsi que sur la Charge inductive et la Charge capacitive (ou sur les Charges inductives et capacitatives) pour obtenir les valeurs de résistance, de réactance inductive et de réactance capacitive requises.

Utilisez les entrées E1, E2, E3 et E4 de l'Interface d'acquisition de données et de commande pour mesurer la tension de source E_S, la tension de la bobine E_L, la tension du condensateur E_C (E_C = E_{R1}) et la tension E_{R2} aux bornes de la résistance R₂, respectivement. Utilisez les entrées I1, I2 et I3 pour mesurer le courant de source I_S (I_S = I_L = I_{R2}), le courant du condensateur I_C et le courant I_{R1} circulant dans la résistance R₁, respectivement.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

9. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre *Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants*, puis effectuez les réglages suivants :
 - Réglez le paramètre *Fonction* à *Source d'alimentation ca*.
 - Assurez-vous que le paramètre *Commande de tension* est réglé à *Bouton*. Cela permet de commander la source d'alimentation ca manuellement.
 - Réglez le paramètre *Tension (V sans charge)* à 100 V.
 - Réglez le paramètre *Fréquence* à la fréquence de votre réseau d'alimentation ca local.
 - Laissez les autres paramètres réglés tels qu'ils sont.

Résolution d'un circuit ca à l'aide de la méthode du triangle des puissances

Dans cette section, vous utiliserez la méthode du triangle des puissances pour résoudre le circuit que vous avez monté dans les étapes précédentes. Vous mesurerez ensuite les paramètres du circuit et comparerez les résultats avec les paramètres du circuit calculés.

10. Résolvez le circuit en entier de la figure 4-9 à l'aide de la méthode du triangle des puissances. Assumez que la tension du condensateur E_C ($E_C = E_{R1}$) est égale à 50,0 V.

Courant de la résistance $I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Puissance active $P_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Courant du condensateur $I_C = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Puissance réactive $Q_C = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S_{R1-C} = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Courant de source $I_S = I_L = I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

Tension de la bobine $E_L = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Puissance réactive $Q_L = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Tension de la résistance $E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Puissance active $P_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance réactive $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Tension de source $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

11. Dans LVDAC-EMS, ouvrez la fenêtre **Appareils de mesure**. Réglez l'appareil de mesure **E3** pour mesurer la valeur efficace de la tension E_S de la source d'alimentation ca.

Dans la fenêtre **Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants**, activez la source d'alimentation ca. Réajustez la valeur du paramètre **Tension (V sans charge)** afin que la tension E_S de la source d'alimentation ca (indiquée par l'appareil de mesure **E3** dans la fenêtre **Appareils de mesure**) soit égale à 100 V.

12. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, réglez les appareils de mesure afin de mesurer les paramètres suivants :

Tension de la résistance $E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension du condensateur $E_C = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension de la bobine $E_L = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension de source $E_S = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tension de la résistance $E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Courant de source $I_S = \underline{\hspace{2cm}}$ (A)

Courant du condensateur $I_C = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Courant de la résistance $I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Puissance active $P_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance active $P_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance réactive $Q_L = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance réactive $Q_C = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance active $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Puissance réactive $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ var

Puissance apparente $S = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

Facteur de puissance $PF = \underline{\hspace{2cm}}$

13. Comparez les paramètres du circuit mesurés à l'étape précédente aux paramètres du circuit que vous avez calculés à l'étape 10. Les valeurs sont-elles proches les unes des autres ?

Oui Non

2. Calculez la tension de la source E_S dans le circuit ca de la figure 4-10, en assumant que la tension de la résistance E_R est encore égale à 60 V.

3. Calculez la puissance réactive totale Q réelle dans le circuit ca de la figure 4-10 à l'aide des valeurs des paramètres que vous avez calculées dans les questions précédentes.

4. Calculez la tension de source E_S réelle dans le circuit ca de la figure 4-10 à l'aide des valeurs des paramètres que vous avez calculées dans les questions précédentes.

5. Calculez le facteur de puissance PF du circuit ca de la figure 4-10 à l'aide des valeurs des paramètres que vous avez calculées dans les questions précédentes.

Test de l'unité

Pour les trois premières questions de ces questions récapitulatives, reportez-vous à la figure suivante:

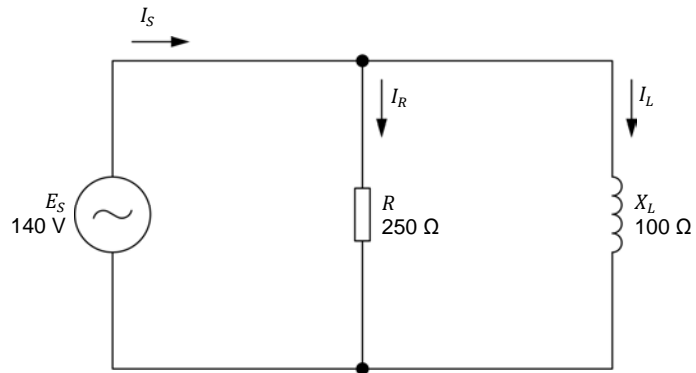


Figure 4-11. Circuit ca en parallèle contenant une résistance et une bobine.

1. Calculez la puissance active P dissipée dans la résistance du circuit de la figure 4-11.
 - a. $P = 56,0 \text{ W}$
 - b. $P = 92,8 \text{ W}$
 - c. $P = 78,4 \text{ W}$
 - d. $P = 140 \text{ W}$
2. Calculez l'impédance Z dans le circuit de la figure 4-11.
 - a. $Z = 92,8 \Omega$
 - b. $Z = 269 \Omega$
 - c. $Z = 250 \Omega$
 - d. $Z = 78,4 \Omega$
3. Calculez la puissance apparente S dans le circuit de la figure 4-11.
 - a. $S = 196 \text{ VA}$
 - b. $S = 78,4 \text{ VA}$
 - c. $S = 350 \text{ VA}$
 - d. $S = 211 \text{ VA}$

Pour les questions 4 à 10 de ces questions récapitulatives, reportez-vous à la figure suivante :

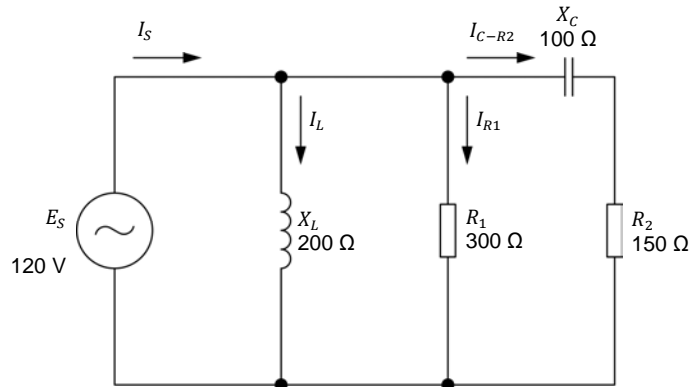


Figure 4-12. Circuit ca contenant deux résistances, une bobine et un condensateur.

4. Calculez la puissance active P_{R_2} dissipée dans la deuxième résistance (R_2) du circuit de la figure 4-12.
 - a. $P_{R_2} = 66,5 \text{ W}$
 - b. $P_{R_2} = 33,3 \text{ W}$
 - c. $P_{R_2} = 44,4 \text{ W}$
 - d. $P_{R_2} = 48,2 \text{ W}$

5. Calculez la puissance apparente S_{C-R_2} du condensateur et de la deuxième résistance (R_2) dans le circuit de la figure 4-12.
 - a. $S_{C-R_2} = 44,4 \text{ VA}$
 - b. $S_{C-R_2} = 79,9 \text{ VA}$
 - c. $S_{C-R_2} = 120 \text{ VA}$
 - d. $S_{C-R_2} = 160 \text{ VA}$

6. Calculez la puissance active P_{R_1} dissipée dans la première résistance (R_1) du circuit de la figure 4-12.
 - a. $P_{R_1} = 66,6 \text{ W}$
 - b. $P_{R_1} = 115 \text{ W}$
 - c. $P_{R_1} = 12,0 \text{ W}$
 - d. $P_{R_1} = 48,0 \text{ W}$

7. Calculez la puissance réactive totale Q dans le circuit de la figure 4-12.
 - a. $Q = 44,4 \text{ var}$
 - b. $Q = 72,2 \text{ var}$
 - c. $Q = 27,7 \text{ var}$
 - d. $Q = 118 \text{ var}$

8. Calculez la puissance apparente S dans le circuit de la figure 4-12.
- $S = 29,5 \text{ VA}$
 - $S = 118 \text{ VA}$
 - $S = 164 \text{ VA}$
 - $S = 80,1 \text{ VA}$
9. Calculez le courant de source I_S dans le circuit de la figure 4-12.
- $I_S = 0,98 \text{ A}$
 - $I_S = 0,40 \text{ A}$
 - $I_S = 0,67 \text{ A}$
 - $I_S = 0,60 \text{ A}$
10. Calculez le facteur de puissance PF du circuit montré dans la figure 4-12.
- $PF = 0,24$
 - $PF = 0,85$
 - $PF = 0,97$
 - $PF = 0,67$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Tableau d'utilisation de l'équipement

L'équipement suivant est requis afin d'effectuer les exercices dans ce cours.

Équipement		Exercice									
Modèle	Description	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	4-1	4-2
30004-2	Bloc d'alimentation ca de 24 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8951-L	Câbles de connexion	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8331 ⁽¹⁾	Charge capacitive		1			1	1	1	1	1	1
8321 ⁽¹⁾	Charge inductive		1		1		1	1	1	1	1
8311 ⁽²⁾	Charge résistive	1	1	1			1	1	1	1	1
8333 ⁽³⁾	Charges inductives et capacitives		1		1	1	1	1	1	1	1
8960-C ⁽⁴⁾	Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9063-B ⁽⁵⁾	Interface d'acquisition de données et de commande	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8990	Ordinateur hôte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8131 ⁽⁶⁾	Poste de travail	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(1) La Charge inductive, modèle 8321, et la Charge capacitive, modèle 8331, ne sont utilisées que lorsque le réseau d'alimentation ca local est de 120 V - 60 Hz.

(2) Appareil de Charge résistive ayant une valeur de tension nominale correspondant à la tension de votre réseau d'alimentation ca local (variante de modèle 8311-0).

(3) Le module Charges inductives et capacitives, modèle 8333, n'est utilisé que lorsque le réseau d'alimentation ca est de 220 V – 50 Hz, 240 V – 50 Hz ou 220 V – 60 Hz.

(4) Le modèle 8960-C consiste du Dynamomètre/Bloc d'alimentation à quatre quadrants, modèle 8960-2, avec l'ensemble de Fonctions standards (commande manuelle), modèle 8968-1 et l'ensemble de Fonctions standards (commande informatisée), modèle 8968-2.

(5) Le modèle 9063-B consiste de l'Interface d'acquisition de données et de commande, modèle 9063, avec l'ensemble de fonctions d'Instrumentation informatisée, modèle 9069-1.

(6) Le Poste de travail mobile, modèle 8110, et le Poste de travail, modèle 8134, peuvent également être utilisés.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Glossaire de la terminologie nouvelle

amplitude	L'amplitude A d'une onde sinusoïdale est la valeur maximale atteinte par l'onde sinusoïdale pendant son cycle. La valeur maximale est la même pour les demi-ondes positives et négatives du cycle, à l'exception de la polarité qui change de positive (+) à négative (-).
angle de phase	L'angle de phase θ d'une onde sinusoïdale détermine la valeur initiale (c.-à-d. la valeur à $t = 0$) de l'onde sinusoïdale. En d'autres termes, l'angle de phase θ détermine de combien la valeur d'une onde sinusoïdale diffère de 0 au temps $t = 0$ et, par conséquent, la position dans le temps de l'onde sinusoïdale.
bobine	Une bobine consiste principalement d'un bobinage de fil enroulé autour d'un noyau de fer. Les bobines, tout comme les condensateurs, s'opposent au flux de courant dans les circuits ca. L'opposition au flux de courant d'une bobine est déterminée par son inductance. Le courant circulant dans une bobine est en retard d'environ 90° sur la tension mesurée aux bornes de la bobine.
capacitance	La caractéristique fondamentale d'un condensateur est sa capacitance C , exprimée en microfarads (μF). La capacitance est un des facteurs principaux déterminant l'opposition au flux de courant d'un condensateur, c.-à-d. sa réactance capacitive X_C .
condensateur	Un condensateur consiste principalement de deux plaques d'un matériau conducteur (généralement un métal) séparées par un matériau isolant. Les condensateurs, tout comme les bobines, s'opposent au flux de courant dans les circuits ca. L'opposition au flux de courant d'un condensateur est déterminée par sa capacitance. Le courant circulant dans un condensateur est en avance de 90° sur la tension aux bornes du condensateur.
demi-onde négative	La demi-onde négative du cycle d'une onde sinusoïdale est la portion de l'onde sinusoïdale ayant une polarité négative (-).
demi-onde positive	La demi-onde positive du cycle d'une onde sinusoïdale est la portion de l'onde sinusoïdale ayant une polarité positive (+).
déphasage	Le déphasage entre deux ondes sinusoïdales ayant la même fréquence mesure la différence entre l'angle de phase de chaque onde sinusoïdale. Le déphasage indique l'étendue de la séparation dans le temps entre les deux ondes sinusoïdales, ainsi que la relation entre les ondes sinusoïdales, c.-à-d. en avance, en retard ou en phase.
en avance	Une onde sinusoïdale en avance est une onde sinusoïdale dont l'angle de phase est supérieur à celui de la forme d'onde de référence. En d'autres termes, une forme d'onde en avance a lieu avant la forme d'onde de référence. Une forme d'onde en avance est décalée vers la gauche de la forme d'onde de référence sur un graphique ou sur l'affichage d'un oscilloscope.

en retard	Une onde sinusoïdale en retard est une onde sinusoïdale dont l'angle de phase est inférieur à celui de la forme d'onde de référence. En d'autres termes, une forme d'onde en retard a lieu après la forme d'onde de référence. Une forme d'onde en retard est décalée vers la droite de la forme d'onde de référence sur un graphique ou sur l'affichage d'un oscilloscope.
facteur de puissance	Le facteur de puissance PF d'un circuit est le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S dans le circuit ($PF = P/S$). Le facteur de puissance PF d'un circuit est une quantité sans dimension qui varie entre 0 (indiquant un circuit purement réactif) et 1 (indiquant un circuit purement résistif).
fréquence	La fréquence f d'une onde sinusoïdale, exprimée en hertz (Hz), indique le nombre de fois que le cycle d'une onde sinusoïdale se répète en une seconde. La fréquence d'une onde sinusoïdale est inversement proportionnelle à la période de l'onde sinusoïdale ($f = 1/T$).
impédance	L'impédance Z est l'opposition totale au flux de courant causée par des composants résistifs et réactifs dans un circuit ca. L'impédance est mesurée en ohms Ω .
inductance	La caractéristique fondamentale d'une bobine est son inductance L , exprimée en henrys (H). L'inductance est un des facteurs principaux déterminant l'opposition au flux de courant d'une bobine, c.-à-d. sa réactance inductive X_L .
période	La période T d'une onde sinusoïdale, exprimée en seconde (s), indique le temps requis pour un cycle complet d'onde sinusoïdale. La période d'une onde sinusoïdale est inversement proportionnelle à la fréquence de l'onde sinusoïdale ($T = 1/f$).
phaseur	Un phaseur est un vecteur dont l'origine est au centre (0, 0) sur un plan cartésien. Un phaseur est utilisé pour représenter une onde sinusoïdale dont l'amplitude A , l'angle de phase θ et la fréquence f ne varient pas dans le temps (p. ex., la tension, le courant ou la puissance associés à un composant de circuit).
puissance active	La puissance dissipée dans un composant résistif est appelée la puissance active P , exprimée en watts (W). La puissance active, contrairement à la puissance réactive, est utilisée par le composant résistif pour effectuer du travail et n'est pas retournée à la source. La quantité de puissance active dans un composant est égale à la valeur moyenne de la forme d'onde de puissance et peut être déterminée en multipliant les valeurs efficaces de la tension et du courant associées à ce composant.
puissance apparente	La puissance apparente S dans un circuit ca est égale à la somme vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive dans le circuit. La puissance apparente S est exprimée en volts-ampères (VA) et peut être calculée à l'aide de l'équation suivante : $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

puissance instantanée	La puissance instantanée P est le produit des valeurs efficaces de la tension et du courant associés à un composant de circuit à chaque instant d'un cycle d'onde sinusoïdale. La forme d'onde de la puissance instantanée P (ou onde de forme de puissance) est une onde sinusoïdale au carré ayant une fréquence du double de la fréquence de la source.
puissance moyenne	La puissance moyenne P_{Moy} , fournie à un composant de circuit correspond à la valeur moyenne de la forme d'onde de puissance associée à ce composant et est égale à la puissance active dissipée dans ce composant. Par conséquent, dans un composant purement résistif, la puissance moyenne est égale au produit des valeurs efficaces de la tension et du courant associées au composant. Dans le cas de composants purement réactifs, la puissance moyenne est nulle.
puissance réactive	La puissance d'un composant réactif (une bobine ou un condensateur) est appelée la puissance réactive Q , exprimée en volts-ampères réactifs (var). La puissance réactive, contrairement à la puissance active, n'est pas utilisée par le composant réactif pour effectuer du travail et est retournée à la source. La quantité de puissance réactive dans un composant peut être déterminée en multipliant les valeurs efficaces de la tension et du courant associées à ce composant.
réactance	Dans un circuit ca, la réactance X d'un composant détermine son opposition au flux de courant. La réactance peut être de deux types, inductive et capacitive, et est exprimée en ohms (Ω).
réactance capacitive	La réactance capacitive X_C d'un condensateur détermine l'opposition au flux de courant du condensateur dans les circuits ca et est exprimée en ohms. La réactance capacitive X_C est inversement proportionnelle à la capacitance C du condensateur et à la fréquence f de la source d'alimentation ca ($X_C = 1/2\pi fC$).
réactance inductive	La réactance inductive X_L d'une bobine détermine l'opposition au flux de courant de la bobine et est exprimée en ohms. La réactance inductive X_L est directement proportionnelle à l'inductance L de la bobine et à la fréquence f de la source d'alimentation ca ($X_L = 2\pi fL$).
triangle des puissances	Le triangle des puissances associé à un circuit ca est une représentation trigonométrique de la relation entre la puissance active P , la puissance réactive Q et la puissance apparente S (le côté adjacent, le côté opposé et l'hypoténuse d'un triangle à angle droit, respectivement) dans le circuit. En utilisant les lois de la trigonométrie, il est possible de calculer la longueur de n'importe quel côté lorsque celles des deux autres sont connues.
vecteur	Un vecteur est la représentation graphique d'une quantité ayant une amplitude et une direction.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Tableau d'impédance pour les modules de charge

Le tableau suivant donne les valeurs d'impédance pouvant être obtenues à l'aide de la Charge résistive, modèle 8311, la Charge inductive, modèle 8321, et la Charge capacitive, modèle 8331. La figure C-1 montre les éléments de charge ainsi que les connexions. D'autres combinaisons en parallèle peuvent être utilisées afin d'obtenir les mêmes valeurs d'impédance indiquées.

Tableau C-1. Tableau d'impédance pour les modules de charge.

Impédance (Ω)			Position des commutateurs								
120 V 60 Hz	220/230 V 50 Hz/60 Hz	240 V 50 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1200	4400	4800									
600	2200	2400									
300	1100	1200									
400	1467	1600									
240	880	960									
200	733	800									
171	629	686									
150	550	600									
133	489	533									
120	440	480									
109	400	436									
100	367	400									
92	338	369									
86	314	343									
80	293	320									
75	275	300									
71	259	282									
67	244	267									
63	232	253									
60	220	240									
57	210	229									

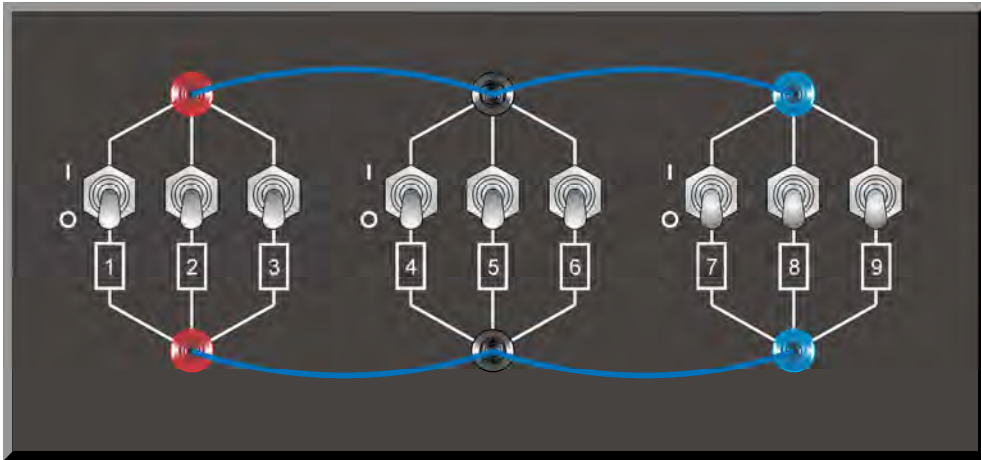


Figure C-1. Emplacement des éléments de charge sur la Charge résistive, la Charge inductive et la Charge capacitive, modèles 8311, 8321 et 8331, respectivement.

Calculs vectoriels

Comme il a été dit à l'Exercice 2-3, chaque paramètre d'un circuit ca (p. ex., la tension, le courant, la puissance, etc.) peut être représenté par un phaseur, c.-à-d. un vecteur ayant son départ à l'origine (0, 0) d'un plan cartésien. La longueur du phaseur est déterminée par l'amplitude du paramètre que le phaseur représente, alors que la position angulaire (direction) du phaseur est déterminée par l'angle de phase du paramètre. L'axe horizontal du plan cartésien s'appelle l'axe des réels, alors que l'axe vertical du plan s'appelle l'axe des imaginaires.

Pour effectuer les opérations mathématiques sur un phaseur ou plus (comme il est requis à l'Exercice 2-3 et Exercice 3-2), il est nécessaire de représenter les phaseurs sous forme polaire. Sous forme polaire, un phaseur P est exprimé comme suit :

$$P = C \angle \theta$$

dans laquelle P est le phaseur.

C est l'amplitude scalaire du phaseur (correspondant à la valeur du paramètre que le phaseur représente).

θ est l'angle du phaseur par rapport à l'axe horizontal, exprimé en degrés ($^{\circ}$).

Par exemple, considérez la figure ci-dessous montrant les phaseurs de la résistance R , de la réactance inductive X_L et de l'impédance Z associés à une résistance et à une bobine connectés en série.

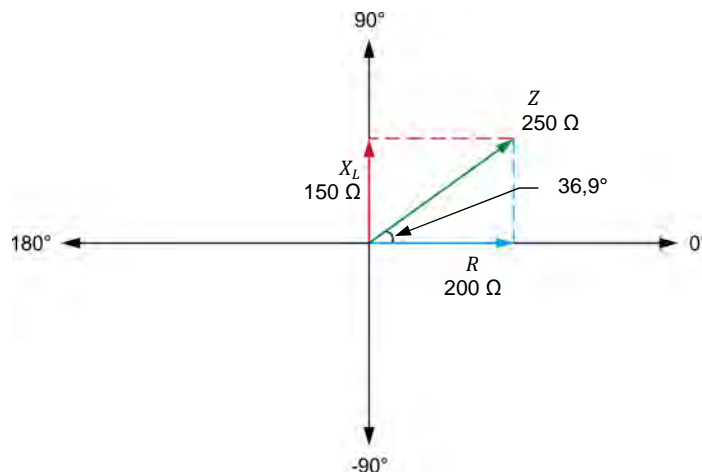


Figure D-1. Diagramme de phaseurs montrant la résistance R , la réactance inductive X_L et l'impédance Z associés à une résistance et à une bobine connectés en série.

Dans la figure D-1, la forme polaire du phaseur de la résistance R est $200 \angle 0^{\circ}$, alors que la forme polaire du phaseur de la réactance inductive X_L est $150 \angle 90^{\circ}$. L'angle θ de l'impédance Z peut être calculé à l'aide du théorème de Pythagore [$\theta = \tan^{-1}(150/200) = 36,9^{\circ}$]. La forme polaire du phaseur de l'impédance Z est donc $250 \angle 36,9^{\circ}$.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Lorsque la valeur de l'angle θ d'un phaseur est négative, elle indique que le phaseur a une valeur négative sur l'axe vertical. La notation polaire de la réactance capacitive X_C d'un condensateur est donc $X_C \angle -90^\circ$.

Division vectorielle

Dans l'Exercice 2-3, il est nécessaire de diviser les phaseurs afin d'obtenir les diagrammes de phaseurs associés à une résistance, une bobine et un condensateur. Lors de la division de deux phaseurs $P_1 (C \angle \theta_1)$ et $P_2 (D \angle \theta_2)$, l'équation suivante est utilisée :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{C \angle \theta_1}{D \angle \theta_2} = \frac{C}{D} \angle (\theta_1 - \theta_2)$$

La figure D-2 montre le diagramme de phaseurs associé à une bobine idéale dans un circuit ca.

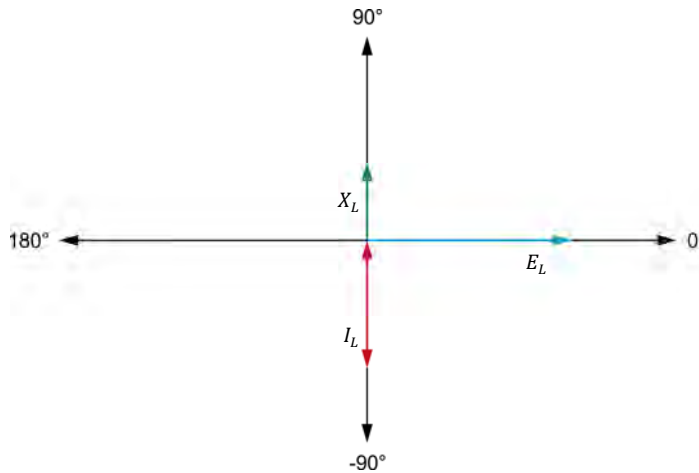


Figure D-2. Diagramme de phaseurs de la tension E_L , du courant I_L et de la réactance inductive X_L associés à une bobine.

La figure D-2 montre que le phaseur de la réactance inductive X_L est déphasé de 180° par rapport au courant I_L de la bobine. Cela est dû au fait que la réactance inductive X_L est le résultat de la division du phaseur de la tension de la bobine par le phaseur du courant de la bobine, tel que montré dans les calculs ci-dessous.

$$X_L = \frac{E_L}{I_L} = \frac{E_L \angle 0^\circ}{I_L \angle -90^\circ} = \frac{E_L}{I_L} \angle 0^\circ - (-90^\circ)$$

$$X_L = \frac{E_L}{I_L} \angle 90^\circ$$

De même, le phaseur de la réactance capacitive X_C d'un condensateur est également déphasé de 180° par rapport au courant du condensateur I_C , tel que montré dans les calculs ci-dessous.

$$X_C = \frac{E_C}{I_C} = \frac{E_C \angle 0^\circ}{I_C \angle 90^\circ} = \frac{E_C}{I_C} \angle 0^\circ - (90^\circ)$$

$$X_C = \frac{E_C}{I_C} \angle -90^\circ$$

Multiplication vectorielle

Dans l'Exercice 3-2, il est nécessaire de multiplier des phaseurs pour obtenir les diagrammes de phaseurs associés à la puissance active et à la puissance réactive dans un circuit ca. Lors de la multiplication de deux phaseurs $P_1 (C \angle \theta_1)$ et $P_2 (D \angle \theta_2)$, l'équation suivante est utilisée :

$$P_1 \times P_2 = C \angle \theta_1 \times D \angle \theta_2 = (C \times D) \angle (\theta_1 + \theta_2)$$

La figure D-3 montre un circuit ca contenant un condensateur et les diagrammes de phaseurs associés au condensateur.

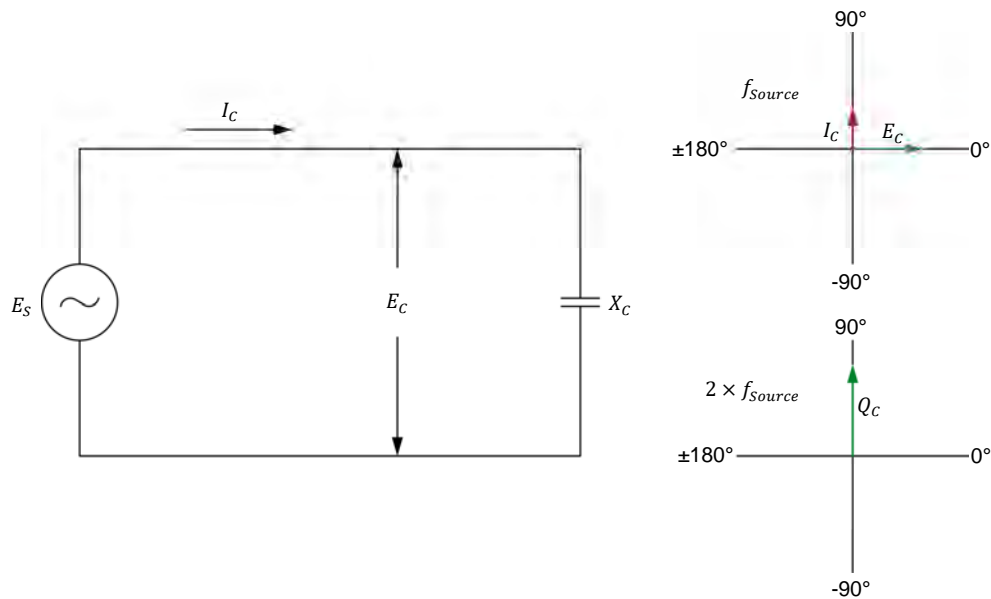


Figure D-3. Circuit ca contenant un condensateur et les diagrammes de phaseurs associés au condensateur.

La figure D-3 montre que l'angle de phase (90°) du phaseur représentant la puissance réactive Q_C dans le condensateur a la même valeur que celui du phaseur représentant le courant I_C du condensateur. Cela est dû au fait que la puissance réactive Q_C est le résultat de la multiplication des phaseurs de la tension E_C et du courant I_C du condensateur, tel que montré dans les calculs ci-dessous.

$$Q_C = E_C \times I_C = E_C \angle 0^\circ \times I_C \angle 90^\circ = (E_C \times I_C) \angle (0^\circ + 90^\circ)$$

$$Q_C = (E_C \times I_C) \angle 90^\circ$$

De même, l'angle de phase (-90°) du phaseur représentant la puissance réactive Q_L dans une bobine a la même valeur que celui du phaseur représentant le courant de la bobine I_L , tel que montré dans les calculs ci-dessous.

$$Q_L = E_L \times I_L = E_L \angle 0^\circ \times I_L \angle -90^\circ = (E_L \times I_L) \angle [0^\circ + (-90^\circ)]$$

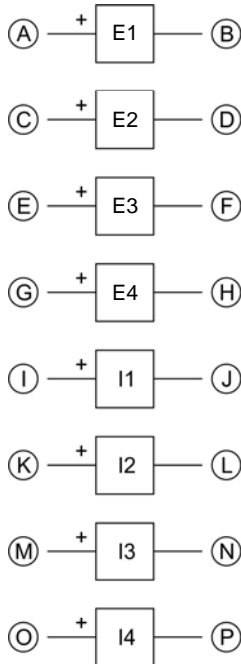
$$Q_L = (E_L \times I_L) \angle -90^\circ$$

Symboles des diagrammes de circuit

Divers symboles sont utilisés dans les diagrammes de circuit de ce cours. Chaque symbole est une représentation fonctionnelle d'un dispositif électrique particulier pouvant être implémenté à l'aide de l'équipement. L'utilisation de ces symboles simplifie grandement le nombre d'interconnexions devant être montrées dans le diagramme de circuit, rendant ainsi plus facile la compréhension du fonctionnement du circuit.

Pour chaque symbole autre que ceux des sources d'alimentation, des résistances, des bobines et des condensateurs, cette annexe donne le nom du dispositif représenté par le symbole, ainsi que l'équipement et les connexions requis afin de connecter correctement le dispositif à un circuit. Remarquez que les bornes de chaque symbole sont identifiées à l'aide de lettres encadrées. Les mêmes lettres encadrées identifient les bornes correspondantes dans le diagramme Équipement et connexions. Remarquez également que les nombres (lorsque présents) dans les diagrammes Équipement et connexions correspondent à la numérotation des bornes sur l'équipement réel.

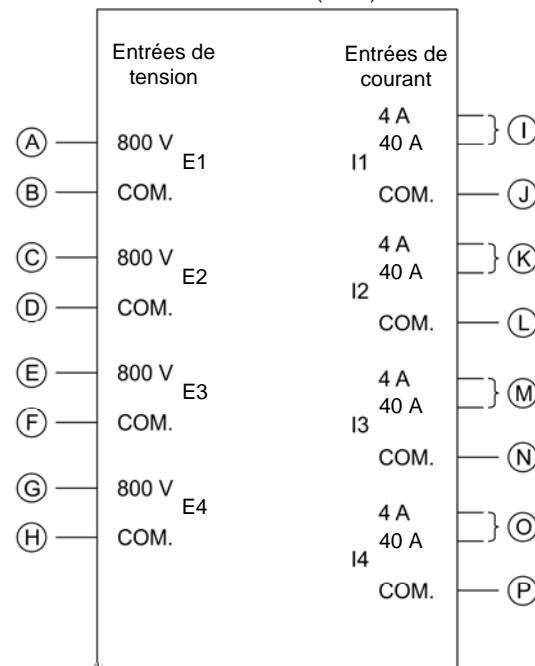
Symbole



Entrées de mesure de tension
et de courant isolées

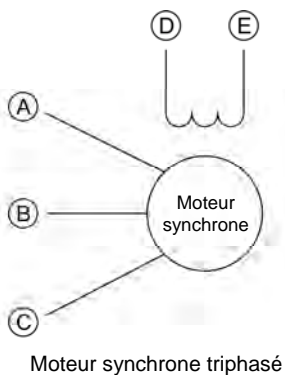
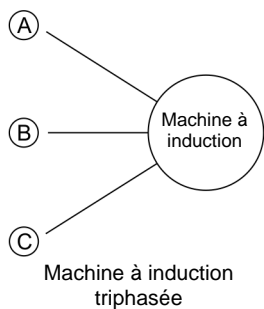
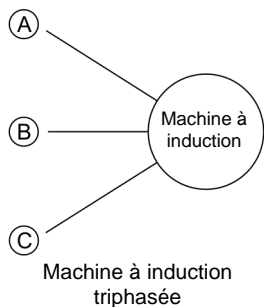
Équipement et connexions

Interface d'acquisition de données et
de commande (9063)

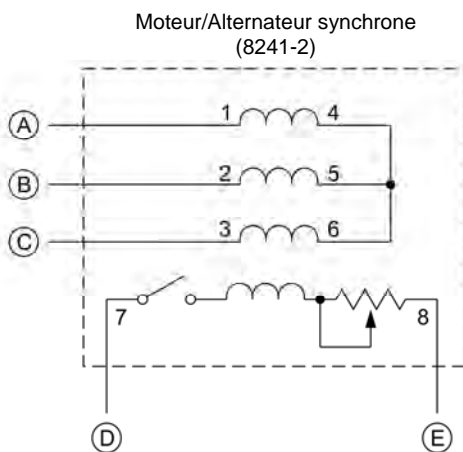
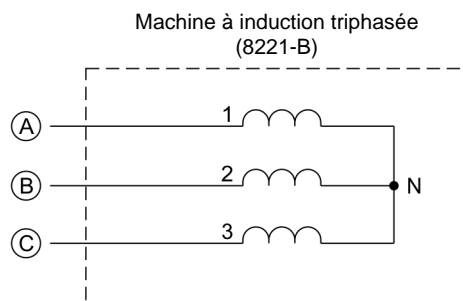
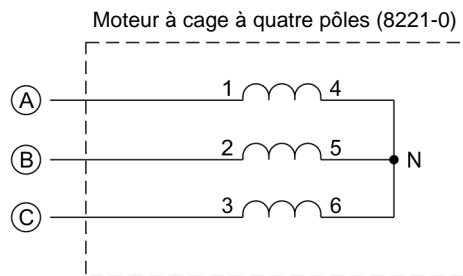


Lorsque le courant aux entrées I1, I2, I3 ou I4 excède 4 A (de façon permanente ou momentanément), utilisez la borne d'entrée de 40 A correspondante et réglez le paramètre Plage de l'entrée correspondante à Élevée dans la fenêtre Réglages d'acquisition de données et de commande de LVDAC-EMS.

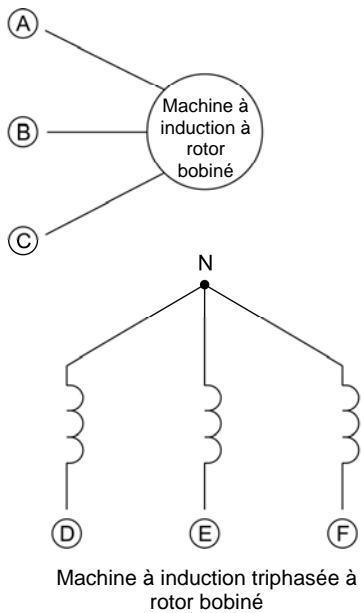
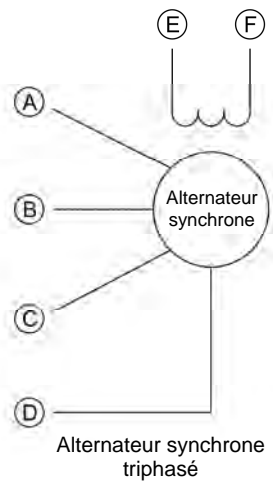
Symbole



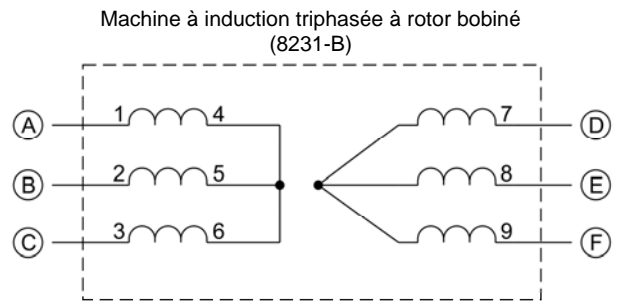
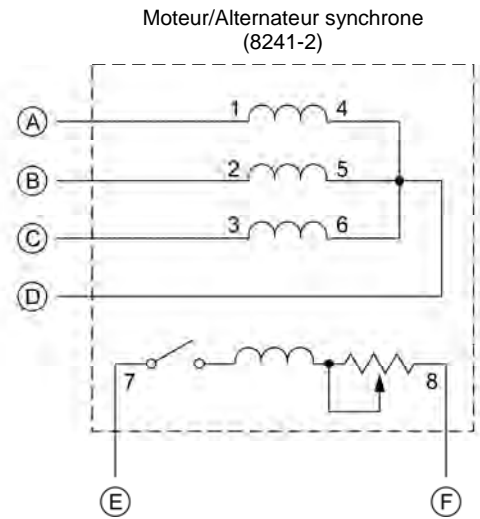
Équipement et connexions



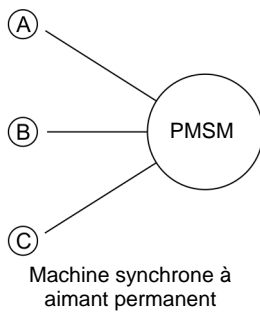
Symbole



Équipement et connexions

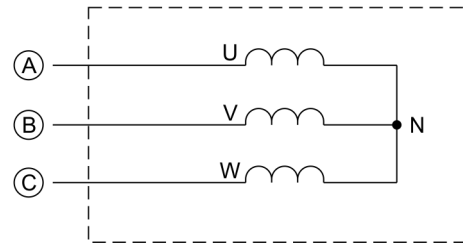


Symbole

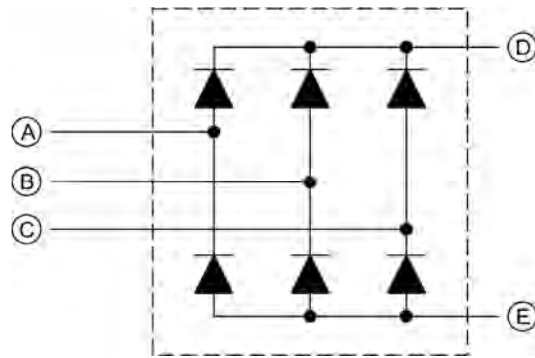


Équipement et connexions

Machine synchrone à aimant permanent (8245)

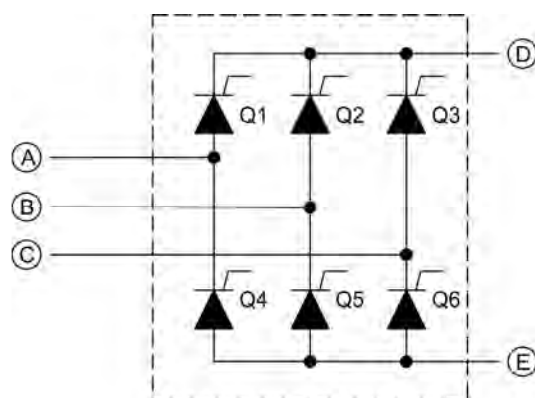


Redresseur et condensateurs de filtrage (8842-A)



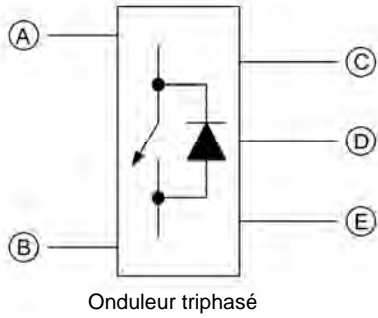
Redresseur pleine onde triphasé à diodes de puissance

Thyristors de puissance (8841)

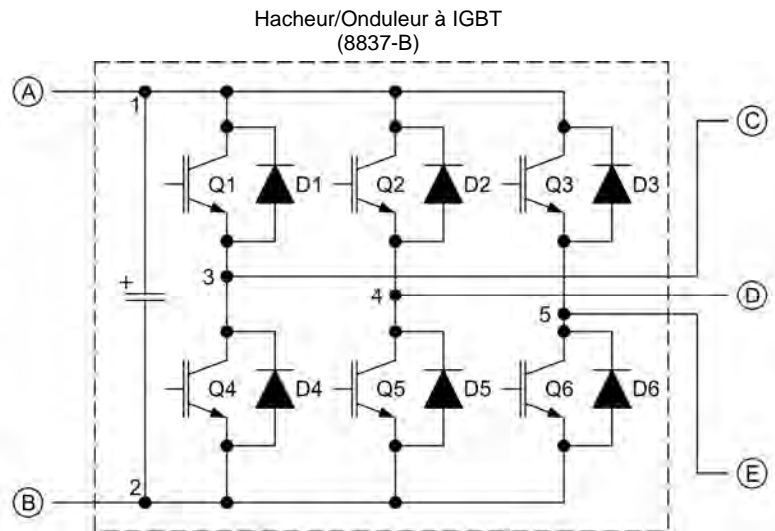


Pont de thyristors de puissance triphasé

Symbole



Équipement et connexions



La représentation d'un interrupteur d'électronique de puissance utilisée dans le symbole d'onduleur triphasé ci-dessus n'est ni un symbole IEC ni un symbole ANSI.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Index de la terminologie nouvelle



Le numéro de page en gras indique l'entrée principale. Reportez-vous au Glossaire de la terminologie nouvelle pour les définitions des nouveaux termes.

amplitude.....	1, 5, 8 , 9, 10, 23, 71
angle de phase.....	21 , 22, 23, 24, 71, 111, 112, 113
bobines.....	37, 47 , 48, 49, 51, 52, 61, 62, 76, 99, 113
capacitance.....	47, 61
condensateurs.....	37, 47 , 48, 49, 61, 71, 76, 145, 147
demi-onde négative.....	2 , 35
demi-onde positive.....	2 , 35
déphasage.....	21, 23 , 24, 25, 47, 62
en avance.....	21, 23 , 24, 25, 62, 72, 73, 74, 113
en retard.....	21, 23 , 24, 25, 52, 72, 74, 112
facteur de puissance.....	95, 111, 115 , 116, 131
fréquence.....	1, 3 , 5, 8, 23, 24, 36, 47, 51, 61, 95, 98, 111, 112, 113
impédance.....	47, 49 , 71, 75, 76, 78, 131, 133, 134, 135, 136
inductance.....	47, 51 , 52
période.....	1, 5, 8 , 23, 24, 36
phaseur.....	5 , 6, 23, 71, 72, 73, 76, 111, 112, 113
puissance active.....	95 , 97, 98, 99, 100, 111, 114, 115, 116, 131
puissance apparente.....	95 , 111, 115, 116, 131
puissance instantanée.....	35 , 36, 97, 98, 99
puissance moyenne.....	1, 35 , 36, 37, 38, 97, 98, 99
puissance réactive.....	95 , 97, 99, 100, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 131
réactance.....	47, 49 , 51, 52, 61, 62, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 133, 135, 145
réactance capacitive.....	47, 49 , 61, 62, 73, 74, 135
réactance inductive.....	47, 49 , 51, 52, 61, 72, 73, 74, 76, 133, 135, 145
triangle des puissances.....	95 , 111, 115, 131, 145, 146
vecteur.....	5 , 71

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Bibliographie

Boylestad, Robert L., *Introductory Circuit Analysis*, 11e éd., Upper Saddle River : Prentice Hall, 2006, ISBN 978-0131730441.

Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 6e éd., Upper Saddle River : Prentice Hall, 2005, ISBN 978-0131776913.