

Banque triphasées de transformateurs

FESTO

Électricité et énergies
nouvelles

LabVolt Series

Manuel de l'étudiant

FESTO

Allemagne

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

États-Unis

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

Canada

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

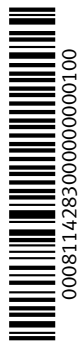
Manuel de l'étudiant

Banque triphasées de transformateurs



Property of Festo Didactic
www.festo-didactic.com
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic
fr
8114283



000811428300000000000100

Électricité et énergies nouvelles

Banque triphasées de transformateurs

Manuel de l'étudiant

8114283

Numéro de cours : 8114283 (Version imprimée) 8114284 (Version électronique)
Première édition
Niveau de révision : 03/2020

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 978-2-89789-627-0 (Version imprimée)

ISBN 978-2-89789-628-7 (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'emmagasinement et au traitement dans des systèmes électroniques, que ce soit entièrement ou en partie, requiert préalablement la permission de Festo Didactic.

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















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

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

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

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.....	VII
À propos de ce cours.....	XI
Introduction Banques triphasées de transformateurs.....	1
OBJECTIF DU COURS.....	1
PRINCIPES FONDAMENTAUX.....	1
Introduction aux transformateurs de puissance triphasés.....	1
Types de transformateurs de puissance triphasés.....	2
Connecter les enroulements de banques triphasées de transformateurs en étoile et en triangle.....	3
Enroulements secondaires connectés en étoile.....	3
Enroulements secondaires connectés en triangle.....	4
Exercice 1 Configurations triphasées de transformateurs.....	7
PRINCIPES.....	7
Configurations triphasées de transformateurs communes.....	7
Relations de tension, courant et phase des quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes.....	9
Configurations étoile-étoile et triangle-triangle.....	9
Configuration étoile-triangle.....	9
Configuration triangle-étoile.....	9
Résumé des caractéristiques des quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes.....	10
Utilisation des banques triphasées de transformateurs.....	11
MANIPULATIONS.....	12
Montage et câblage.....	12
Relations de tension, de courant et de phase en configuration étoile-étoile.....	14
Relations de tension, de courant et de phase dans une configuration étoile-triangle.....	16
Relations de tension, de courant et de phase en configuration triangle-triangle.....	18
Relations de tension, de courant et de phase en configuration triangle-étoile.....	21
CONCLUSION.....	25
QUESTIONS DE RÉVISION.....	26
Annexe A Tableau d'utilisation de l'équipement.....	29
Annexe B Glossaire de la terminologie nouvelle.....	31
Annexe C Tableau d'impédance pour les modules de charge.....	33

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Table des matières

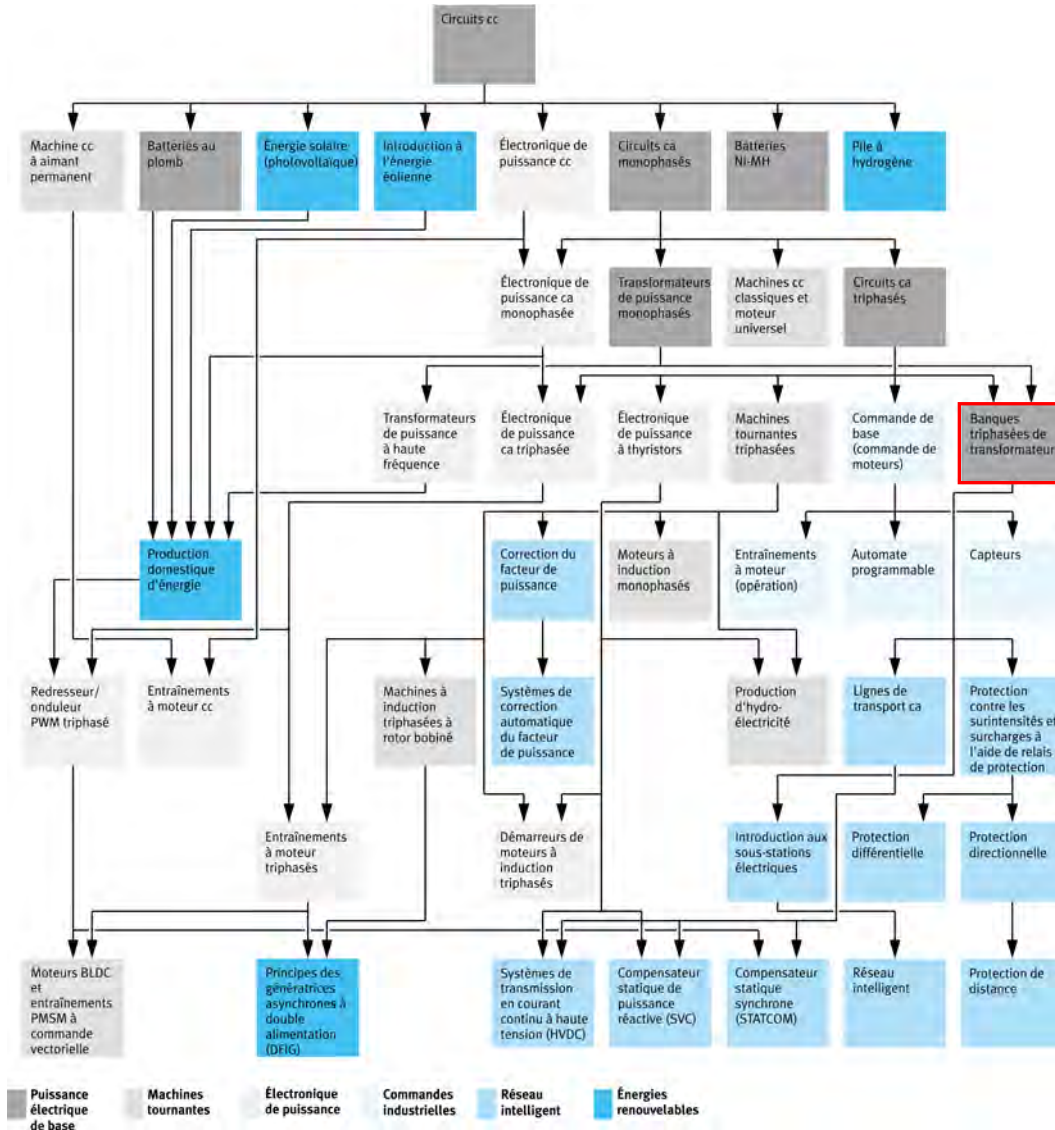
Annexe D	Symboles des diagrammes de circuit.....	35
	Index de la terminologie nouvelle	41
	Bibliographie	43

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 banques triphasées de transformateurs ont la même fonction dans les circuits triphasés que les transformateurs monophasés dans les circuits monophasés. Cela signifie que les banques triphasées de transformateurs sont principalement utilisées pour élever la tension des enroulements primaires aux enroulements secondaires ou pour réduire la tension des enroulements primaires aux enroulements secondaires. Puisque la puissance ca triphasée est largement utilisée dans le monde entier pour la transmission et la distribution d'énergie, les banques triphasées de transformateurs sont l'un des composants électriques les plus courants et sont essentiels à tout réseau d'alimentation ca triphasé.

Plusieurs configurations triphasées de transformateurs sont possibles lors de la connexion des enroulements primaires et secondaires d'une banque triphasée de transformateurs. Chaque configuration présente différentes caractéristiques. Lors de la connexion d'une banque triphasée de transformateurs dans un circuit, il est donc important de déterminer quelles caractéristiques sont avantageuses au circuit, et de choisir la configuration triphasée de transformateurs appropriée. Les quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes sont les configurations étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile.

Le présent cours, *Banques triphasées de transformateurs*, enseigne les concepts de base des banques triphasées de transformateurs. Les étudiants sont introduits aux différentes caractéristiques des banques triphasées de transformateurs. Ils apprennent comment connecter les enroulements de banques triphasées de transformateurs en étoile ou en triangle. Les étudiants sont également introduits aux quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes : étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile. Les étudiants déterminent les relations de tension, de courant et de phase entre les enroulements primaires et secondaires des banques triphasées de transformateurs pour chacune de ces configurations. Ils apprennent comment garantir des relations de phase correctes entre les enroulements de phase. Les étudiants vérifient également la théorie présentée dans ce cours en effectuant des mesures et calculs de circuit.

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.

À propos de ce cours



Banque triphasée de transformateurs utilisée pour la distribution d'énergie.

Prérequis

Comme prérequis à ce cours, vous devriez avoir terminé les cours suivants : *Circuits cc*, *Circuits ca monophasés*, *Transformateurs de puissance monophasés* et *Circuits ca triphasés*.

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).

Banques triphasées de transformateurs

OBJECTIF DU COURS

Lorsque vous aurez terminé ce cours, vous serez familier avec le fonctionnement des banques triphasées de transformateurs. Vous saurez comment connecter les enroulements d'une banque triphasée de transformateurs en étoile ou en triangle. Vous saurez aussi comment connecter une banque triphasée de transformateurs en configuration étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle ou triangle-étoile. Vous connaîtrez les relations de tension, de courant et de phase entre les enroulements primaires et secondaires pour chacune de ces configurations. Finalement, vous serez familier avec les différentes utilisations des banques triphasées de transformateurs dans les circuits ca triphasés.

SOMMAIRE DES PRINCIPES

Les Principes fondamentaux couvrent les points suivants :

- Introduction aux transformateurs de puissance triphasés
- Types de transformateurs de puissance triphasés
- Connecter les enroulements de banques triphasées de transformateurs en étoile et en triangle

PRINCIPES FONDAMENTAUX

Introduction aux transformateurs de puissance triphasés

Les transformateurs de puissance triphasés ont la même fonction dans les circuits triphasés que les transformateurs monophasés dans les circuits monophasés. Cela signifie que les transformateurs de puissance triphasés sont principalement utilisés pour élever la tension des enroulements primaires aux enroulements secondaires ou pour réduire la tension des enroulements primaires aux enroulements secondaires. Les transformateurs de puissance triphasés accomplissent cela de la même façon que les transformateurs de puissance monophasés, c.-à-d. par induction électromagnétique entre les enroulements primaires et les enroulements secondaires. Les transformateurs de puissance triphasés, tout comme les transformateurs de puissance monophasés, sont des appareils bidirectionnels et assurent une isolation entre les enroulements primaires et les enroulements secondaires.

Les rapports de tension et de courant des transformateurs de puissance triphasés dépendent du rapport de tours (c.-à-d. du rapport entre le nombre de tours de fil au primaire et le nombre de tours de fil au secondaire), comme pour les transformateurs de puissance monophasés. Lorsque le nombre de tours au primaire d'un transformateur de puissance triphasé est inférieur au nombre de tours au secondaire, le transformateur fonctionne comme un transformateur élévateur. À l'inverse, lorsque le nombre de tours au primaire d'un transformateur de puissance triphasé est supérieur au nombre de tours au secondaire, le transformateur fonctionne comme un transformateur abaisseur.

Chaque enroulement (au primaire ou au secondaire) d'un transformateur de puissance triphasé a une polarité particulière à tout instant donné, relativement à la polarité des autres enroulements, comme pour les transformateurs de puissance monophasés. La polarité de tout enroulement d'un transformateur de

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

puissance triphasé peut être déterminée de la même façon que pour les transformateurs de puissance monophasés. Il est très important de connaître la polarité de chaque enroulement d'un transformateur de puissance triphasé lors de la connexion de l'enroulement à d'autres enroulements.

La puissance nominale d'un transformateur de puissance triphasé est égale à la somme des puissances nominales des enroulements primaires (cette somme est égale à la somme des puissances nominales des enroulements secondaires), comme pour les transformateurs de puissance monophasés. Les pertes de puissance (c.-à-d. les pertes de cuivre et les pertes de fer) survenant dans un transformateur de puissance triphasé sont très similaires à celles survenant dans les transformateurs de puissance monophasés. L'efficacité d'un transformateur de puissance triphasé est affectée par les pertes de puissance de la même façon que pour les transformateurs de puissance monophasés. Les transformateurs de puissance triphasés, comme tous les transformateurs de puissance, sont des appareils très efficaces.

La saturation se produisant dans les transformateurs de puissance triphasés est affectée de la même façon que pour les transformateurs de puissance monophasés. Par conséquent, plus la fréquence de fonctionnement d'un transformateur de puissance triphasé est élevée, moins il est saturé. Aussi, les valeurs nominales de tension, de courant et de puissance des transformateurs de puissance triphasés sont ajustées pour garder leur saturation à un niveau acceptable, comme pour les transformateurs de puissance monophasés. Cela signifie que, plus la fréquence de fonctionnement d'un transformateur de puissance triphasé est élevée, plus les valeurs nominales de tension, de courant et de puissance du transformateur sont élevées pour un niveau donné de saturation.

Types de transformateurs de puissance triphasés

Il existe deux types de base de transformateurs de puissance triphasés : les **transformateurs de puissance triphasés simples** et les **banques triphasées de transformateurs**. Les transformateurs de puissance triphasés simples sont construits en enroulant trois transformateurs de puissance monophasés autour d'un seul noyau. D'autre part, les banques triphasées de transformateurs consistent de trois transformateurs de puissance monophasés individuels qui sont rassemblés. Pour une puissance nominale donnée, les transformateurs de puissance triphasés simples sont plus petits, nécessitent moins de matériaux et sont moins coûteux que les banques triphasées de transformateurs. Les banques triphasées de transformateurs, cependant, sont plus faciles à entretenir que les transformateurs de puissance triphasés simples parce que, lorsqu'un des enroulements est défectueux, le transformateur défectueux correspondant dans la banque peut être remplacé individuellement à la place de remplacer l'unité en entier.

Notez que, puisque ce cours couvre les banques triphasées de transformateurs, les transformateurs de puissance triphasés seront appelés simplement des banques triphasées de transformateurs pour le reste de ce cours. Cependant, les principes de fonctionnement de base des transformateurs de puissance triphasés simples sont les mêmes que ceux des banques triphasées de transformateurs. La théorie présentée dans le reste de ce cours est donc valide pour les deux types de transformateurs de puissance triphasés.

Connecter les enroulements de banques triphasées de transformateurs en étoile et en triangle

Lors de la connexion des enroulements primaires ou secondaires de banques triphasées de transformateurs, la séquence de phase doit toujours être respectée pour que la relation de phase entre les tensions au primaire et au secondaire soit telle qu'attendue. Par exemple, lorsque l'enroulement primaire d'un des transformateurs dans une banque triphasée de transformateurs est connecté à la phase 1 de la source d'alimentation ca, l'enroulement secondaire de ce transformateur devrait être considéré comme la phase 1 du système. Aussi, lors de la connexion des enroulements primaires ou secondaires des transformateurs utilisés dans une banque triphasée de transformateurs, la polarité des enroulements doit toujours être respectée. Cela garantit que la relation de phase des tensions aux enroulements secondaires est telle qu'attendue.

Puisque toute erreur dans les connexions des enroulements primaires ou secondaires de banques triphasées de transformateurs changera probablement la relation de phase des diverses tensions aux enroulements secondaires, certaines précautions supplémentaires doivent être prises avant que la banque triphasée de transformateurs ne puisse être mise en service. Cela est discuté dans les prochaines sous-sections de cette introduction.

Enroulements secondaires connectés en étoile

Pour monter les enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs en étoile, il est nécessaire de connecter les trois enroulements ensemble à un point commun pour l'interconnexion avec le fil neutre, et ensuite de connecter l'autre extrémité de chaque enroulement à trois fils de ligne. Une fois que cela est fait, la relation de phase des tensions aux enroulements secondaires peut être vérifiée en confirmant que toutes les tensions de ligne au secondaire sont $\sqrt{3}$ fois plus élevées que les tensions de phase. Cela peut être effectué à l'aide de la procédure suivante.

1. Mesurez la tension de ligne entre deux enroulements (p. ex., la tension de ligne E_{A-B}) pour confirmer qu'elle est $\sqrt{3}$ fois plus élevée que la tension de phase aux bornes de l'un ou l'autre des deux enroulements (p. ex., la tension de phase E_{A-N}). Cela est montré dans la figure 1a.
2. Mesurez les tensions de ligne entre le troisième enroulement et les autres enroulements (p. ex., les tensions de ligne E_{C-A} et E_{B-C}) pour confirmer que les deux tensions de ligne sont $\sqrt{3}$ fois plus élevées que la tension de phase mesurée à la première étape (p. ex., la tension de phase E_{A-N}). Cela est montré dans la figure 1b.

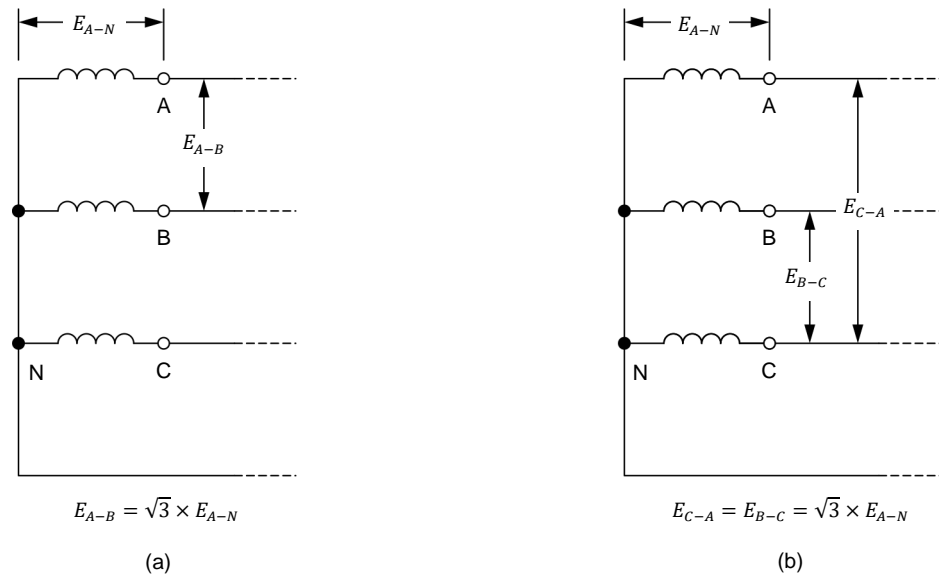


Figure 1. Connecter les enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs en étoile.

Enroulements secondaires connectés en triangle

Pour monter les enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs en triangle, il est nécessaire de connecter le premier enroulement en série avec le deuxième, le deuxième avec le troisième et le troisième en série avec le premier pour fermer la boucle en triangle. Les trois fils de ligne sont ensuite connectés séparément à chaque jonction de la boucle en triangle. Cependant, lors de la connexion des enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs dans une configuration en triangle, il est important de vérifier que les relations de phase des tensions aux enroulements secondaires sont correctes avant de fermer la boucle en triangle. Cela est dû au fait que, si la polarité des enroulements de la banque triphasée de transformateurs n'est pas respectée, un courant de court-circuit très élevé circulera dans les enroulements secondaires. Cela peut sérieusement endommager la banque triphasée de transformateurs. Il est donc nécessaire de suivre la procédure suivante lors de la connexion des enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs en triangle.

1. Mesurez la tension aux bornes de deux enroulements connectés en série (p. ex., la tension E_{C-A}) pour confirmer qu'elle est égale à la tension aux bornes d'un enroulement ou de l'autre (p. ex., les tensions E_{A-B} et E_{B-C}). Cela est montré dans la figure 2a.
2. Connectez le troisième bobinage en série, tel que montré dans la figure 2b.
3. Mesurez la tension aux bornes des trois enroulements connectés en série (p. ex., la tension E_{C-D}) pour confirmer qu'elle est égale à zéro. Cela est montré dans la figure 2b.

4. Une fois que vous avez confirmé que la polarité des enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs est respectée (c.-à-d. une fois que vous avez terminé les étapes 1 à 3 de cette procédure), fermez le triangle.

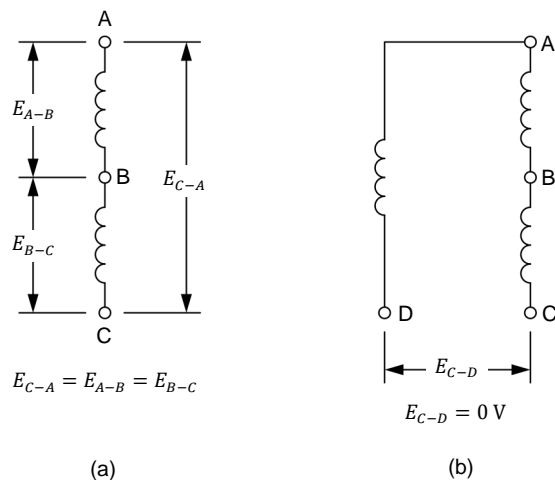


Figure 2. Connecter les enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs en triangle.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Configurations triphasées de transformateurs

OBJECTIF DE L'EXERCICE Lorsque vous aurez terminé cet exercice, vous saurez comment connecter les banques triphasées de transformateurs dans des configurations étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile. Vous déterminerez les relations de tension, de courant et de phase entre les enroulements primaires et secondaires d'une banque triphasée de transformateurs pour chacune de ces configurations. Vous serez familier avec les différentes utilisations des banques triphasées de transformateurs dans les circuits ca triphasés.

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

- Configurations triphasées de transformateurs communes
- Relations de tension, courant et phase des quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes
- Résumé des caractéristiques des quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes
- Utilisation des banques triphasées de transformateurs

PRINCIPES

Configurations triphasées de transformateurs communes

Plusieurs **configurations triphasées de transformateurs** sont possibles lors de la connexion des enroulements primaires et secondaires d'une banque triphasée de transformateurs. Chaque configuration présente différentes caractéristiques. Lors de la connexion d'une banque triphasée de transformateurs dans un circuit, il est donc important de déterminer quelles caractéristiques sont avantageuses au circuit, et de choisir la configuration triphasée de transformateurs appropriée.

Les quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes sont les configurations étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile. Chacune de ces configurations est montrée dans la figure 3. Chaque lettre (A, B et C) près des enroulements dans la figure 3 identifie un des transformateurs dans une banque triphasée de transformateurs. Cela permet de facilement situer les enroulements primaires et secondaires de chaque transformateur dans la banque triphasée de transformateurs dans les diagrammes de la figure 3.

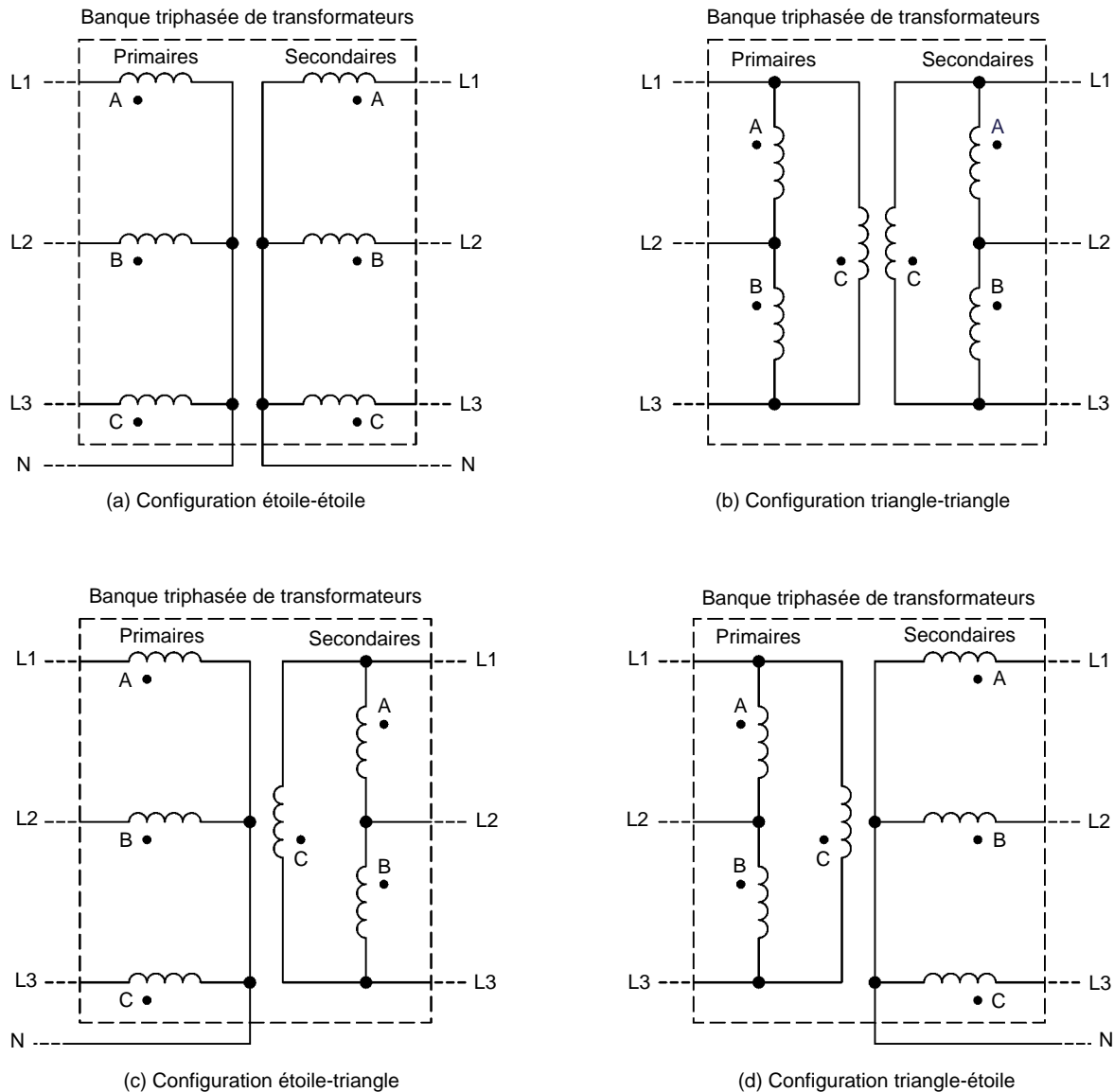


Figure 3. Les quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes.

Comme vous pouvez le voir dans la figure 3, les enroulements connectés en étoile utilisent 4 fils, alors que les enroulements connectés en triangle n'utilisent que 3 fils. Lors du montage d'une banque triphasée de transformateurs en configuration étoile-triangle, cette propriété permet de changer le nombre de fils dans un circuit ca triphasé de 4 fils à 3 fils. Lors du montage d'une banque triphasée de transformateurs en configuration triangle-étoile, cette propriété permet de changer le nombre de fils dans un circuit ca triphasé de 3 fils à 4 fils. Une ou l'autre de ces configurations peut présenter un avantage significatif, selon les exigences de l'application dans laquelle elle est utilisée.

Relations de tension, courant et phase des quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes

Les caractéristiques les plus déterminantes de chaque configuration triphasée de transformateurs précédemment mentionnée (c.-à-d. les configurations étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile) sont les relations de tension, de courant et de phase respectives entre leurs enroulements primaires et leurs enroulements secondaires. Les trois prochaines sections discutent de ces relations pour chaque configuration triphasée de transformateurs. Notez que, puisque les configurations étoile-étoile et triangle-triangle ont des relations de tension, de courant et de phase, les deux configurations sont couvertes dans la même section. Notez également que, dans les sections suivantes, il est assumé que le rapport de tours de chaque transformateur dans la banque triphasée de transformateurs est 1:1. Cela permet l'observation des effets de chaque configuration sur les relations de tension, de courant et de phase de la banque triphasée de transformateurs, indépendamment du rapport de tours.

Configurations étoile-étoile et triangle-triangle

Lorsqu'une banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration étoile-étoile ou triangle-triangle, les relations de tension, de courant et de phase entre les enroulements primaires et les enroulements secondaires sont identiques aux relations dans un transformateur de puissance monophasé. Cela signifie que les valeurs des tensions et courants de ligne au secondaire sont égales aux valeurs des tensions et courants de ligne au primaire (en ignorant les pertes du transformateur). Aussi, les formes d'onde des tensions de ligne au secondaire sont en phase avec les formes d'onde des tensions de ligne au primaire. La même chose est vraie pour les formes d'onde des courants de ligne au secondaire par rapport aux formes d'onde des courants de ligne au primaire.

Configuration étoile-triangle

Lorsqu'une banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration étoile-triangle, les valeurs et phases des tensions et courants de ligne au secondaire sont différentes de celles au primaire. En configuration étoile-triangle, la valeur des tensions de ligne au secondaire est égale à la valeur des tensions de ligne au primaire divisée par $\sqrt{3}$. À l'inverse, la valeur des courants de ligne au secondaire est égale à la valeur des courants de ligne au primaire multipliée par $\sqrt{3}$. De plus, les formes d'onde des tensions de ligne au secondaire sont en retard de 30° sur celles au primaire. La même chose est vraie pour les formes d'onde des courants de ligne au secondaire par rapport aux formes d'onde des courants de ligne au primaire.

Configuration triangle-étoile

Lorsqu'une banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration triangle-étoile, les valeurs et phases des tensions et courants de ligne au secondaire sont différentes de celles au primaire. En configuration triangle-étoile, la valeur des tensions de ligne au secondaire est égale à la valeur des tensions de ligne au primaire multipliée par $\sqrt{3}$. À l'inverse, la valeur des courants de ligne au secondaire est égale à la valeur des courants de ligne au primaire divisée par $\sqrt{3}$. De plus, les formes d'onde des tensions de ligne au secondaire sont en avance de 30° sur celles au primaire. La même chose est vraie pour les formes d'onde des courants de ligne au secondaire par rapport aux formes d'onde des courants de ligne au primaire.

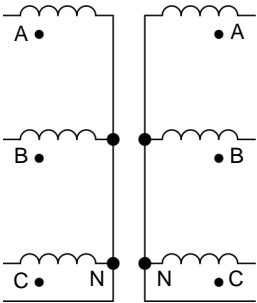
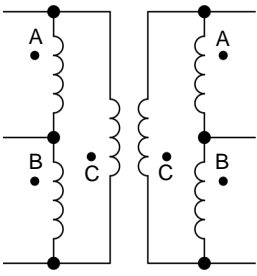
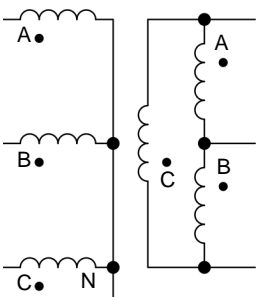
Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Résumé des caractéristiques des quatre configurations triphasées de transformateurs les plus communes

Le tableau 1 donne un résumé des différentes caractéristiques des configurations triphasées de transformateurs présentées dans la section précédente (c.-à-d. les configurations étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile).

Tableau 1. Résumé des caractéristiques de configurations triphasées de transformateurs.

Configuration triphasée de transformateurs	Relation des tensions de ligne ($E_{Pri.} : E_{Sec.}$)	Relation des courants de ligne ($I_{Pri.} : I_{Sec.}$)	Déphasage (Sec. par rapport au pri.)	Nombre de fils (Pri. : Sec.)
 <p>Configuration étoile-étoile</p>	1 : 1	1 : 1	0°	4 : 4
 <p>Configuration triangle-triangle</p>	1 : 1	1 : 1	0°	3 : 3
 <p>Configuration étoile-triangle</p>	$\sqrt{3} : 1$	$1 : \sqrt{3}$	-30° (retard de 30°)	4 : 3

Configuration triphasée de transformateurs	Relation des tensions de ligne ($E_{Pri.} : E_{Sec.}$)	Relation des courants de ligne ($I_{Pri.} : I_{Sec.}$)	Déphasage (Sec. par rapport au pri.)	Nombre de fils (Pri. : Sec.)
<p>Configuration triangle-étoile</p>	$1 : \sqrt{3}$	$\sqrt{3} : 1$	30° (avance de 30°)	3 : 4

Souvenez-vous que les relations entre les tensions et courants de ligne présentées dans le tableau 1 sont valides seulement lorsque le rapport de tours des transformateurs dans la banque triphasée de transformateurs est égale à 1:1. Lorsque le rapport de tours des transformateurs dans la banque triphasée de transformateurs n'est pas 1:1, les tensions de ligne réelles au secondaire peuvent être trouvées en multipliant les tensions de ligne au primaire par le rapport de tension correspondant à la configuration de la banque triphasée de transformateurs et le rapport de tours inversé ($N_{Sec.}/N_{Pri.}$) des transformateurs. De même, les courants de ligne réels au secondaire peuvent être trouvés en multipliant les courants de ligne au primaire par le rapport de courant correspondant à la configuration de la banque triphasée de transformateurs et le rapport de tours inversé ($N_{Pri.}/N_{Sec.}$) des transformateurs.

Utilisation des banques triphasées de transformateurs

Les banques triphasées de transformateurs sont utilisées dans les circuits ca triphasés pour essentiellement les mêmes raisons que les transformateurs dans les circuits ca monophasés, c.-à-d. pour élever ou abaisser les tensions dans le circuit et fournir une isolation électrique entre les enroulements primaires et les enroulements secondaires. Cependant, les propriétés spéciales de certaines configurations triphasées de transformateurs présentées dans les sections précédentes permettent aux banques triphasées de transformateurs d'être utilisées dans quelques applications supplémentaires. Les utilisations principales des banques triphasées de transformateurs sont résumées ci-dessous.

1. Les banques triphasées de transformateurs permettent l'élévation ou l'abaissement des tensions dans les circuits ca triphasés.
2. Les banques triphasées de transformateurs fournissent une isolation électrique entre les enroulements primaires et les enroulements secondaires.
3. Les banques triphasées de transformateurs connectées en configuration étoile-triangle ou triangle-étoile permettent de diminuer le nombre de fils de 4 à 3 ou de l'augmenter de 3 à 4.
4. Les banques triphasées de transformateurs connectées en configuration étoile-triangle ou triangle-étoile permettent de déphaser les tensions et courants de ligne entrant de -30° ou 30° , respectivement.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

SOMMAIRE DES MANIPULATIONS

Les Manipulations sont divisées dans les sections suivantes :

- Montage et câblage
- Relations de tension, de courant et de phase en configuration étoile-étoile
- Relations de tension, de courant et de phase dans une configuration étoile-triangle
- Relations de tension, de courant et de phase en configuration triangle-triangle
- Relations de tension, de courant et de phase en configuration triangle-étoile

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 monterez un circuit contenant une *Banque triphasée de transformateurs* connectée en configuration étoile-étoile. Vous monterez ensuite l'équipement de mesure requis pour étudier les relations de tension, de courant et de phase de la *Banque triphasée de transformateurs*.



À partir de maintenant, la *Banque triphasée de transformateurs* sera appelée simplement la *banque triphasée de transformateurs*.

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 les interrupteurs ca et cc du module *Bloc d'alimentation* sont réglés à la position **O** (éteint), puis connectez le module *Bloc d'alimentation* à une sortie d'alimentation ca triphasée.

Connectez l'*Entrée d'alimentation* de l'*Interface d'acquisition de données et de commande* au *Bloc d'alimentation ca de 24 V*. Allumez le *Bloc d'alimentation ca de 24 V*.

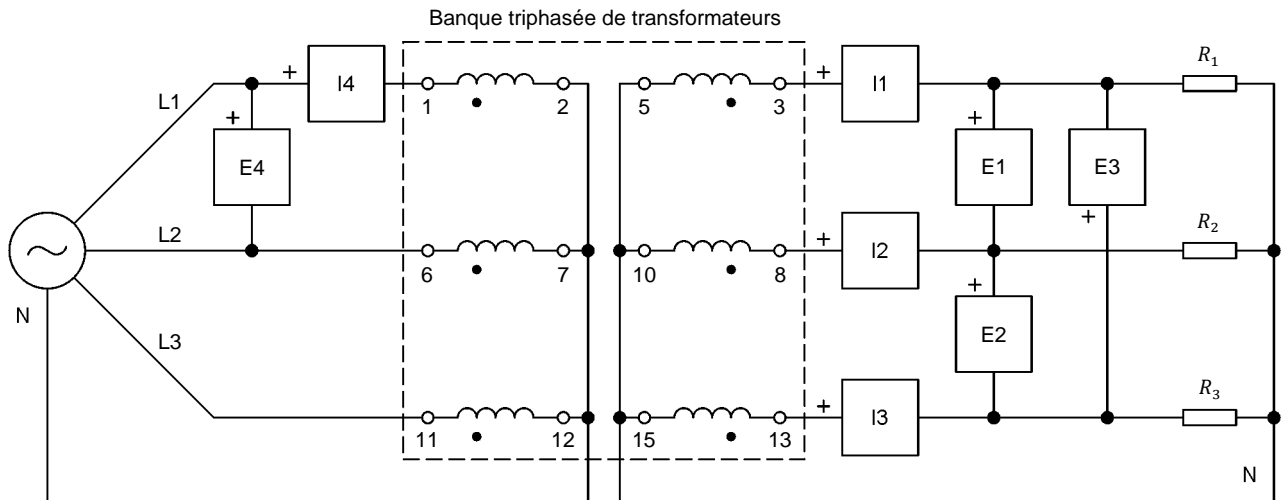
3. Connectez le port *USB* de l'*Interface d'acquisition de données et de commande* à un port USB de l'ordinateur hôte.
4. Allumez l'ordinateur hôte, puis lancez le logiciel *LVDAC-EMS*.

Dans la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS, assurez-vous que l'Interface d'acquisition de données et de commande est détectée. 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 local d'alimentation ca, puis cliquez sur le bouton **OK** pour fermer la fenêtre Démarrage de LVDAC-EMS.

5. Connectez l'équipement tel que montré dans la figure 4.



Les valeurs des résistances utilisées dans les circuits de ce cours dépendent de la tension et de la fréquence de votre réseau local d'alimentation ca. Lorsque nécessaire, un tableau sous le diagramme de circuit indique la valeur de chaque résistance pour des tensions du réseau d'alimentation ca de 120 V, 220 V et 240 V, et pour des fréquences du réseau d'alimentation ca de 50 Hz et 60 Hz. Assurez-vous d'utiliser les valeurs de composants correspondant à la tension et la fréquence de votre réseau local d'alimentation ca.



Réseau local d'alimentation ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)
Tension (V)	Fréquence (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figure 4. Banque triphasée de transformateurs connectée en configuration étoile-étoile.

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

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

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

7. Dans la fenêtre **Appareils de mesure**, effectuez les réglages nécessaires pour mesurer les valeurs efficaces (ca) des tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ (entrées **E1**, **E2** et **E3**, respectivement), et les courants de ligne $I_{Sec.1}$, $I_{Sec.2}$ et $I_{Sec.3}$ (entrées **I1**, **I2** et **I3**, respectivement) au secondaire de la banque triphasée de transformateurs. Réglez deux autres appareils de mesure pour mesurer la tension $E_{Pri.}$ et le courant $I_{Pri.}$ de ligne au primaire de la banque triphasée de transformateurs (entrées **E4** et **I4**, respectivement).

Relations de tension, de courant et de phase en configuration étoile-étoile

Dans cette section, vous mesurerez les tensions et courants de ligne au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même qu'une tension et un courant de ligne au primaire. En utilisant les valeurs mesurées, vous déterminerez les relations de tension et courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs. Vous ouvrirez ensuite l'Analyseur de phaseurs et l'Oscilloscope, et utiliserez les deux instruments pour déterminer le déphasage entre les tensions de ligne au secondaire et les tensions de ligne au primaire. Finalement, vous confirmerez que les relations de tension, de courant et de phase mesurées lorsque la banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration étoile-étoile sont cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de l'exercice.

8. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.
9. Notez ci-dessous les courants de ligne $I_{Sec.1}$, $I_{Sec.2}$ et $I_{Sec.3}$ mesurés au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que le courant de ligne $I_{Pri.}$ mesuré au primaire.

$$I_{Sec.1} = \text{_____ A}$$

$$I_{Sec.2} = \text{_____ A}$$

$$I_{Sec.3} = \text{_____ A}$$

$$I_{Pri.} = \text{_____ A}$$

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** afin que la résistance des résistances de charge soit infinie. Notez ci-dessous les tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ mesurées au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que la tension de ligne $E_{Pri.}$ mesurée au primaire.

$$E_{Sec.1} = \text{_____ V}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____ V}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____ V}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____ V}$$

10. En utilisant les valeurs des tensions et courants de ligne mesurées à l'étape précédente, déterminez les relations de tension et de courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs lorsqu'elle est connectée en configuration étoile-étoile.

Relation de tension ($E_{Pri.} : E_{Sec.}$) = ____:____

Relation de courant ($I_{Pri.} : I_{Sec.}$) = ____:____

11. Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'Analyseur de phaseurs et effectuez les réglages requis pour observer les phaseurs des tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ au secondaire de la banque triphasée de transformateurs (entrées $E1$, $E2$ et $E3$, respectivement), de même que la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire (entrée $E4$). Réglez le phaseur de la tension de ligne $E_{Pri.}$ (entrée $E4$) au primaire comme phaseur de référence.

À l'aide de l'Analyseur de phaseurs, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs.

Déphasage entre $E_{Sec.1}$ et $E_{Pri.}$ = _____°

12. Dans LVDAC-EMS, ouvrez l'Oscilloscope et effectuez les réglages requis pour observer les formes d'onde des tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ au secondaire de la banque triphasée de transformateurs (entrées $E1$, $E2$ et $E3$, respectivement), de même que la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire (entrée $E4$).

À l'aide de l'Oscilloscope, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs.

Déphasage entre $E_{Sec.1}$ et $E_{Pri.}$ = _____°

Le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire que vous venez de déterminer confirme-t-il le déphasage que vous avez obtenu précédemment à l'aide de l'Analyseur de phaseurs ?

Oui Non

13. Les relations de tension, de courant et de phase déterminées pour la banque triphasée de transformateurs connectée en configuration étoile-étoile sont-elles cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de cet exercice ?

Oui Non

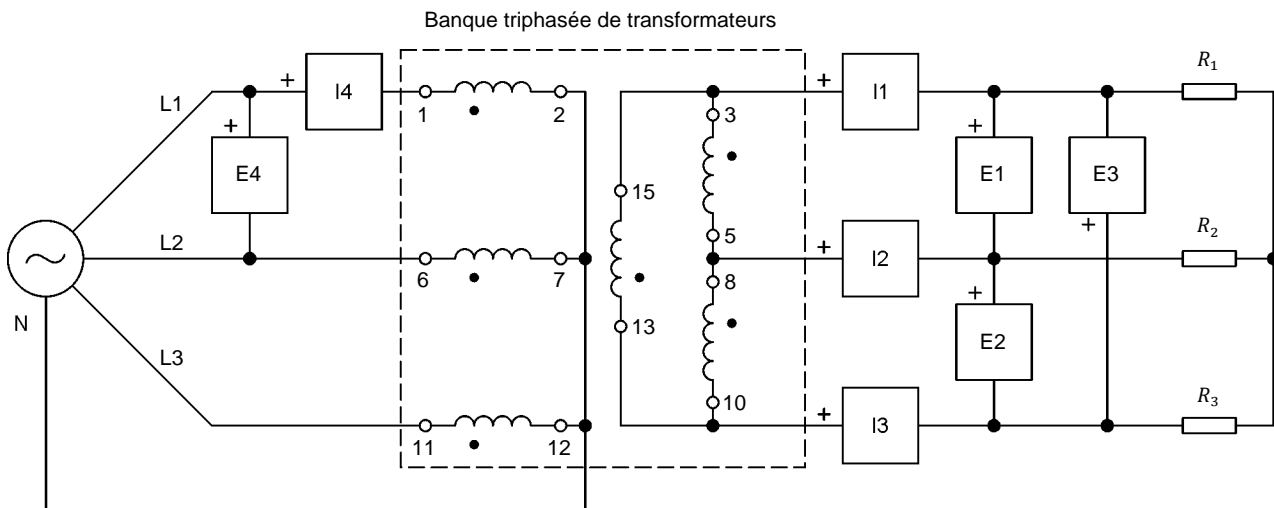
14. Éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Relations de tension, de courant et de phase dans une configuration étoile-triangle

Dans cette section, vous connecterez la banque triphasée de transformateurs en configuration étoile-triangle. Vous mesurerez les tensions et courants de ligne au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même qu'une tension et un courant de ligne au primaire. En utilisant les valeurs mesurées, vous déterminerez les relations de tension et courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs. Vous utiliserez ensuite l'Analyseur de phaseurs et l'Oscilloscope pour déterminer le déphasage entre les tensions de ligne au secondaire et les tensions de ligne au primaire. Finalement, vous confirmerez que les relations de tension, de courant et de phase mesurées lorsque la banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration étoile-triangle sont cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de cet exercice.

15. Connectez l'équipement tel que montré dans la figure 5. Dans ce circuit, seules les connexions aux enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs ont été modifiées par rapport au circuit utilisé dans la section précédente.



Réseau local d'alimentation ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)
Tension (V)	Fréquence (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figure 5. Banque triphasée de transformateurs connectée en configuration étoile-triangle.

16. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.

17. Notez ci-dessous les courants de ligne $I_{Sec.1}$, $I_{Sec.2}$ et $I_{Sec.3}$ mesurés au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que le courant de ligne $I_{Pri.}$ mesuré au primaire.

$$I_{Sec.1} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{Sec.2} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{Sec.3} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{Pri.} = \text{_____} \text{ A}$$

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** afin que la résistance des résistances de charge soit infinie. Notez ci-dessous les tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ mesurées au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que la tension de ligne $E_{Pri.}$ mesurée au primaire.

$$E_{Sec.1} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____} \text{ V}$$

18. En utilisant les valeurs des tensions et courants de ligne mesurées à l'étape précédente, déterminez les relations de tension et de courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs lorsqu'elle est connectée en configuration étoile-triangle.

$$\text{Relation de tension } (E_{Pri.}:E_{Sec.}) = \text{____}:\text{____}$$

$$\text{Relation de courant } (I_{Pri.}:I_{Sec.}) = \text{____}:\text{____}$$

19. À l'aide de l'Analyseur de phaseurs et de l'Oscilloscope, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs.

$$\text{Déphasage entre } E_{Sec.1} \text{ et } E_{Pri.} = \text{_____}^\circ$$

20. Les relations de tension, de courant et de phase déterminées pour la banque triphasée de transformateurs connectée en configuration étoile-triangle sont-elles cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de cet exercice ?

Oui Non

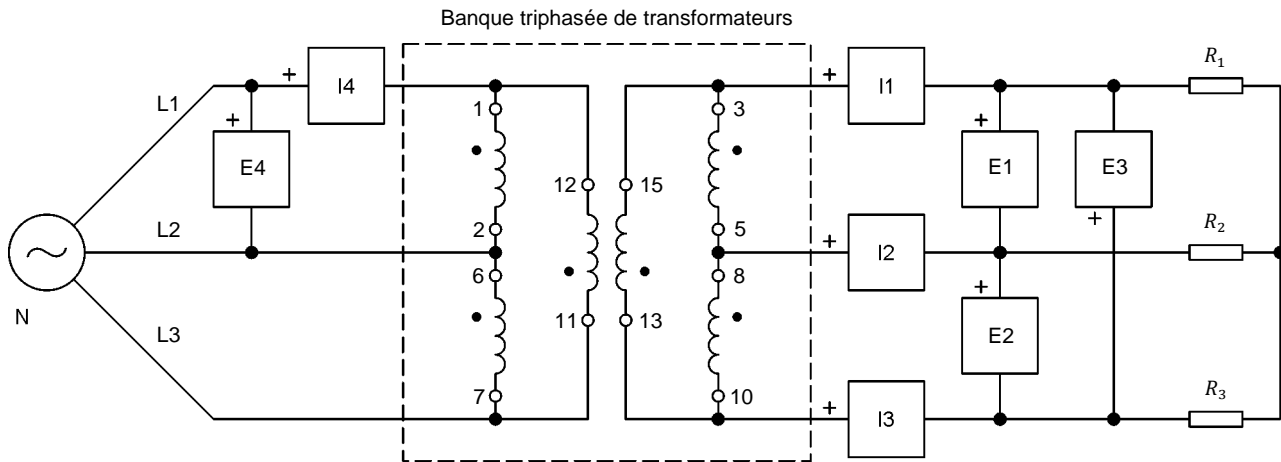
21. Éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Relations de tension, de courant et de phase en configuration triangle-triangle

Dans cette section, vous connecterez la banque triphasée de transformateurs en configuration triangle-triangle. Vous mesurerez les tensions et courants de ligne au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même qu'une tension et un courant de ligne au primaire. En utilisant les valeurs mesurées, vous déterminerez les relations de tension et courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs. Vous utiliserez ensuite l'Analyseur de phaseurs et l'Oscilloscope pour déterminer le déphasage entre les tensions de ligne au secondaire et les tensions de ligne au primaire. Vous confirmerez que les relations de tension, de courant et de phase mesurées lorsque la banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration triangle-triangle sont cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de cet exercice. Vous inverserez ensuite la connexion des enroulements au secondaire de la banque triphasée de transformateurs. Vous observerez le déphasage résultant entre les tensions de ligne au primaire et au secondaire à l'aide de l'Analyseur de phaseurs et de l'Oscilloscope, et analyserez les résultats.

22. Connectez l'équipement tel que montré dans la figure 6. Dans ce circuit, seules les connexions aux enroulements primaires de la banque triphasée de transformateurs ont été modifiées par rapport au circuit utilisé dans la section précédente.



Réseau local d'alimentation ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)
Tension (V)	Fréquence (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figure 6. Banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-triangle.

23. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.

24. Notez ci-dessous les courants de ligne $I_{Sec.1}$, $I_{Sec.2}$ et $I_{Sec.3}$ mesurés au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que le courant de ligne $I_{Pri.}$ mesuré au primaire.

$$I_{Sec.1} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{Sec.2} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{Sec.3} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{Pri.} = \text{_____} \text{ A}$$

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** afin que la résistance des résistances de charge soit infinie. Notez ci-dessous les tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ mesurées au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que la tension de ligne $E_{Pri.}$ mesurée au primaire.

$$E_{Sec.1} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____} \text{ V}$$

25. En utilisant les valeurs des tensions et courants de ligne mesurées à l'étape précédente, déterminez les relations de tension et de courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs lorsqu'elle est connectée en configuration triangle-triangle.

$$\text{Relation de tension } (E_{Pri.} : E_{Sec.}) = \text{___} : \text{___}$$

$$\text{Relation de courant } (I_{Pri.} : I_{Sec.}) = \text{___} : \text{___}$$

26. À l'aide de l'Analyseur de phaseurs et de l'Oscilloscope, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs.

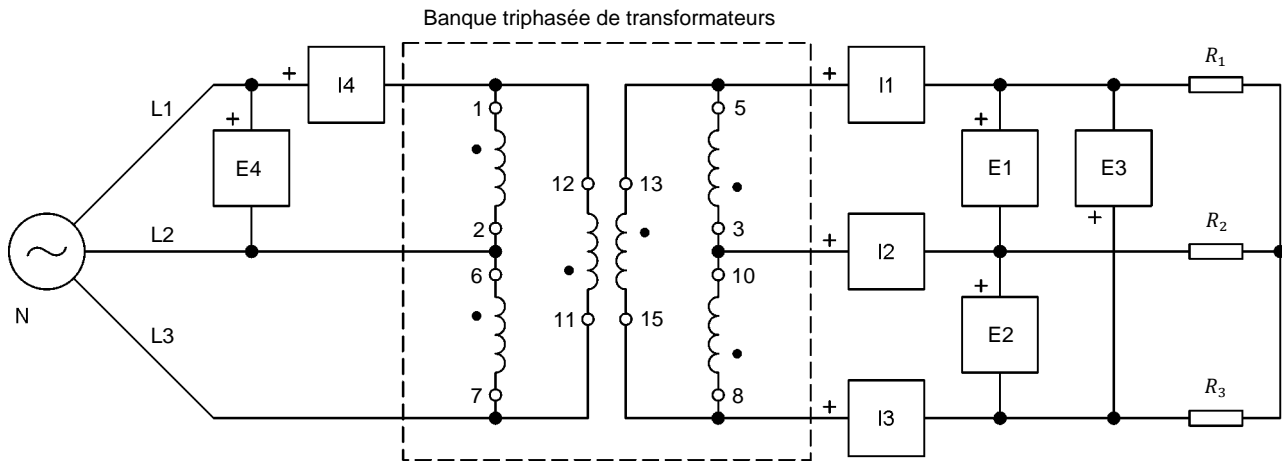
$$\text{Déphasage entre } E_{Sec.1} \text{ et } E_{Pri.} = \text{_____}^\circ$$

27. Les relations de tension, de courant et de phase déterminées pour la banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-triangle sont-elles cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de l'exercice ?

Oui Non

28. Éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

29. Inversez les connexions à chaque enroulement secondaire de la banque triphasée de transformateurs. Le circuit devrait maintenant être tel que montré dans la figure 7.



Réseau local d'alimentation ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)
Tension (V)	Fréquence (Hz)	
120	60	171
220	50	629
240	50	686
220	60	629

Figure 7. Banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-triangle avec connexions inversées aux enroulements secondaires.

30. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.

31. À l'aide de l'Analyseur de phaseurs et de l'Oscilloscope, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs.

Déphasage entre $E_{Sec.1}$ et $E_{Pri.}$ = _____°

32. Qu'arrive-t-il au déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire lorsque les connexions aux enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs sont inversées ?

Vos résultats confirment-ils qu'il est important de respecter la polarité des enroulements lors de la connexion des enroulements d'une banque triphasée de transformateurs. Expliquez brièvement pourquoi.

33. Éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

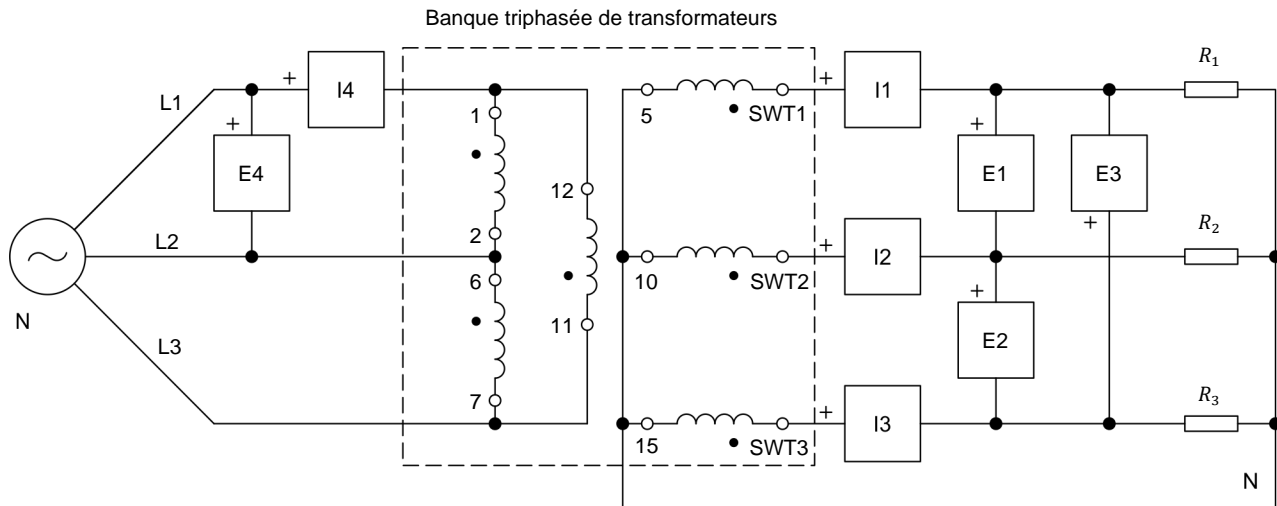
Relations de tension, de courant et de phase en configuration triangle-étoile

Dans cette section, vous connecterez la banque triphasée de transformateurs en configuration triangle-étoile. Vous mesurerez les tensions et courants de ligne au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même qu'une tension et un courant de ligne au primaire. En utilisant les valeurs mesurées, vous déterminerez les relations de tension et courant entre les enroulements primaires et secondaires de la banque triphasée de transformateurs. Vous utiliserez ensuite l'Analyseur de phaseurs et l'Oscilloscope pour déterminer le déphasage entre les tensions de ligne au secondaire et les tensions de ligne au primaire. Finalement, vous confirmerez que les relations de tension, de courant et de phase mesurées lorsque la banque triphasée de transformateurs est connectée en configuration triangle-étoile sont cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de cet exercice. Vous inverserez ensuite les connexions des enroulements au secondaire de la banque triphasée de transformateurs. Vous observerez le déphasage résultant entre les tensions de ligne au primaire et au secondaire à l'aide de l'Analyseur de phaseurs et de l'Oscilloscope, et analyserez les résultats.

34. Connectez l'équipement tel que montré dans la figure 8. Dans ce circuit, seules les connexions aux enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs ont été modifiées par rapport au circuit utilisé dans la section précédente. Assurez-vous que les nombres aux bornes secondaires que vous utilisez sur la banque triphasée de transformateurs correspondent aux nombres aux bornes des enroulements secondaires SWT1, SWT2 et SWT3 indiquées dans la table ci-dessous figure 8.



Si vous effectuez l'exercice avec un réseau d'alimentation ca ayant une tension de 220 V ou 240 V, les connexions aux bornes des enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs font que la tension au secondaire est égale à la tension au primaire divisée par $\sqrt{3}$ (c.-à-d. que le rapport de tension de la banque triphasée de transformateurs est égal à $\sqrt{3}:1$). Cela est effectué pour abaisser la tension mesurée au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, qui sinon atteindrait des valeurs trop élevées pour ces tensions du réseau local d'alimentation ca.



Réseau local d'alimentation ca		SWT1	SWT2	SWT3	R_1, R_2, R_3 (Ω)
Tension (V)	Fréquence (Hz)				
120	60	3	8	13	300
220	50	4	9	14	629
240	50	4	9	14	686
220	60	4	9	14	629

Figure 8. Banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-étoile.

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

ATTENTION

Dans la manipulation suivante, les valeurs de tension et de puissance nominales du module Charge résistive sont significativement dépassées. Par conséquent, effectuez la prochaine manipulation en moins de 2 minutes, puis éteignez immédiatement la source d'alimentation ca triphasée pour éviter d'endommager le module Charge résistive.

36. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.

Notez ci-dessous les courants de ligne $I_{Sec.1}$, $I_{Sec.2}$ et $I_{Sec.3}$ mesurés au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que le courant de ligne $I_{Pri.}$ mesuré au primaire.

$$I_{Sec.1} = \text{_____ A}$$

$$I_{Sec.2} = \text{_____ A}$$

$$I_{Sec.3} = \text{_____ A}$$

$$I_{Pri.} = \text{_____ A}$$

Effectuez les réglages des commutateurs nécessaires sur la **Charge résistive** afin que la résistance des résistances de charge soit infinie. Notez ci-dessous les tensions de ligne $E_{Sec.1}$, $E_{Sec.2}$ et $E_{Sec.3}$ mesurées au secondaire de la banque triphasée de transformateurs, de même que la tension de ligne $E_{Pri.}$ mesurée au primaire, puis éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

$$E_{Sec.1} = \text{_____ V}$$

$$E_{Sec.2} = \text{_____ V}$$

$$E_{Sec.3} = \text{_____ V}$$

$$E_{Pri.} = \text{_____ V}$$

37. En utilisant les valeurs des tensions et courants de ligne notées à l'étape précédente, déterminez les relations de tension et de courant entre le primaire et le secondaire de la banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-étoile.

Relation de tension ($E_{Pri.}:E_{Sec.}$) = ____:____

Relation de courant ($I_{Pri.}:I_{Sec.}$) = ____:____



Si vous effectuez l'exercice à un réseau local d'alimentation ca ayant une tension de 220 V ou 240 V, assurez-vous de déterminer les relations de tension et de courant entre le primaire et le secondaire de la banque triphasée de transformateurs en vous fiant exclusivement à sa configuration triangle-étoile (c.-à-d., ne tenez pas compte du rapport de tension de $\sqrt{3}:1$ introduit par le fait que vous avez connecté la banque triphasée de transformateurs en transformateur abaisseur). Pour ce faire, multipliez les tensions au secondaire obtenues à l'étape précédente par $\sqrt{3}$ et divisez les courants au secondaire obtenus à l'étape précédente par $\sqrt{3}$.

ATTENTION

Dans la manipulation suivante, les valeurs de tension et de puissance nominales du module **Charge résistive** sont significativement dépassées. Par conséquent, effectuez la prochaine manipulation en moins de 2 minutes, puis éteignez immédiatement la source d'alimentation ca triphasée pour éviter d'endommager le module **Charge résistive**.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

38. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.

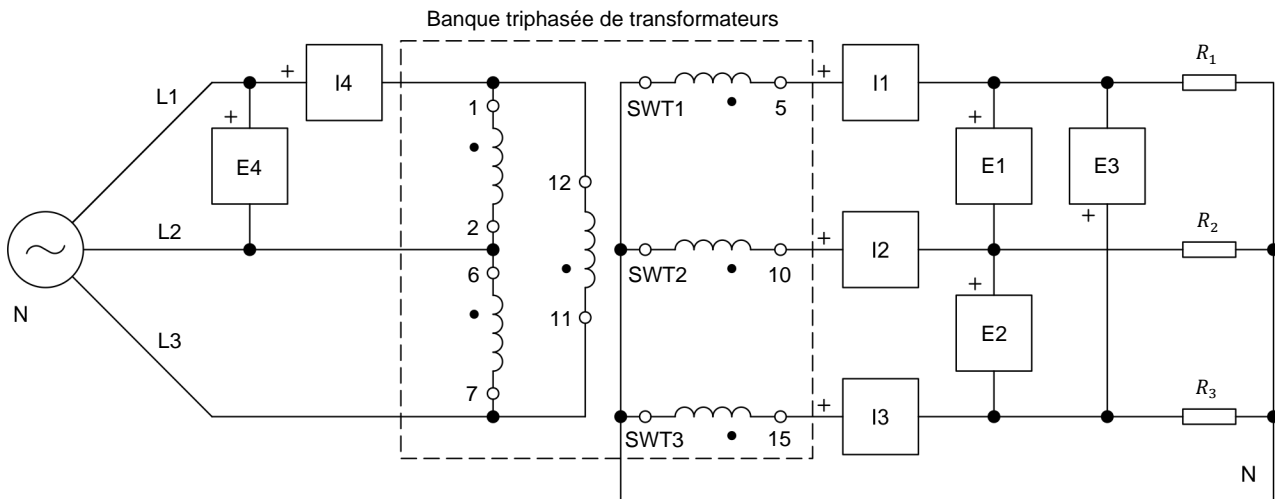
À l'aide de l'Analyseur de phaseurs et de l'Oscilloscope, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs, puis éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

Déphasage entre $E_{Sec.1}$ et $E_{Pri.}$ = _____ °

39. Les relations de tension, de courant et de phase déterminées pour la banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-étoile sont-elles cohérentes avec la théorie présentée dans la discussion de l'exercice ?

Oui Non

40. Inversez les connexions à chaque enroulement secondaire de la banque triphasée de transformateurs. Le circuit devrait maintenant être tel que montré dans la figure 9.



Réseau local d'alimentation ca		SWT1	SWT2	SWT3	R_1, R_2, R_3 (Ω)
Tension (V)	Fréquence (Hz)				
120	60	3	8	13	300
220	50	4	9	14	629
240	50	4	9	14	686
220	60	4	9	14	629

Figure 9. Banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-étoile avec des connexions inversées aux enroulements secondaires.

ATTENTION

Dans la manipulation suivante, les valeurs de tension et de puissance nominales du module **Charge résistive** sont significativement dépassées. Par conséquent, effectuez la prochaine manipulation en moins de 2 minutes, puis éteignez immédiatement la source d'alimentation ca triphasée pour éviter d'endommager le module **Charge résistive**.

41. Allumez la source d'alimentation ca triphasée.

À l'aide de l'**Analyseur de phaseurs** et de l'**Oscilloscope**, déterminez le déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire de la banque triphasée de transformateurs, puis éteignez la source d'alimentation ca triphasée.

Déphasage entre $E_{Sec.1}$ et $E_{Pri.}$ = _____ °

42. Qu'arrive-t-il au déphasage entre la tension de ligne $E_{Sec.1}$ au secondaire et la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire lorsque les connexions aux enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs sont inversées ?

L'effet d'inverser les connexions aux enroulements secondaires de la banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-étoile est-il similaire à celui observé à l'étape 31 lorsque la banque triphasée de transformateurs a été connectée en configuration triangle-triangle ?

Oui Non

43. 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 connecter des banques triphasées de transformateurs en configurations étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile. Vous avez aussi déterminé les relations de tension, de courant et de phase entre les enroulements primaires et les enroulements secondaires d'une banque triphasée de transformateurs pour chacune de ces configurations. Vous avez vu les utilisations des banques triphasées de transformateurs dans les circuits ca triphasés.

QUESTIONS DE RÉVISION

1. Quelles sont les différences principales entre les transformateurs de puissance triphasés simples et les banques triphasées de transformateurs ?

2. Comment pouvez-vous confirmer que les enroulements secondaires connectés en étoile d'une banque triphasée de transformateurs sont connectés correctement (c.-à-d. que la polarité des enroulements est respectée) ? Expliquez brièvement.

3. Comment pouvez-vous confirmer que les enroulements secondaires connectés en triangle d'une banque triphasée de transformateurs sont connectés correctement (c.-à-d. que la polarité des enroulements est respectée) avant de fermer la boucle en triangle ? Expliquez brièvement.

4. Considérez une banque triphasée de transformateurs connectée en configuration triangle-étoile. Chaque enroulement au primaire de la banque triphasée de transformateurs est fait de 800 tours de fil, alors que chaque enroulement au secondaire est fait de 1340 tours de fil. En assumant que la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire est égale à 208 V, déterminez la tension de ligne $E_{Sec.}$ au secondaire.

5. Considérez une banque triphasée de transformateurs connectée en configuration étoile-triangle. Chaque enroulement au primaire de la banque triphasée de transformateurs est fait de 4800 tours de fil, alors que chaque enroulement au secondaire est fait de 1600 tours de fil. En assumant que la tension de ligne $E_{Pri.}$ au primaire est égale à 75 kV, déterminez la tension de ligne $E_{Sec.}$ au secondaire.

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 1
Modèle	Description	
8348-4	Banc de transformateurs triphasé	1
8823	Bloc d'alimentation	1
30004-2	Bloc d'alimentation ca de 24 V	1
8951-L	Câbles de connexion	1
8311-0 ⁽¹⁾	Charge résistive	1
9063-B ⁽²⁾	Interface d'acquisition de données et de commande	1
8990	Ordinateur hôte	1
8131 ⁽³⁾	Poste de travail	1
<p>(1) Module de Charge résistive avec une tension nominale correspondant à la tension de votre réseau local d'alimentation ca (variante de modèle 8311-0).</p> <p>(2) 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.</p> <p>(3) Le Poste de travail mobile, modèle 8110, et le Poste de travail, modèle 8134, peut également être utilisé.</p>		

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Glossaire de la terminologie nouvelle

banque triphasée de transformateurs

Les banques triphasées de transformateurs consistent de trois transformateurs de puissance monophasés individuels qui sont rassemblés. Pour une puissance nominale donnée, les banques triphasées de transformateurs sont plus grosses, nécessitent plus de matériaux et sont plus coûteuses que les transformateurs de puissance triphasés individuels. Cependant, les banques triphasées de transformateurs sont plus difficiles à entretenir que les transformateurs de puissance triphasés individuels parce que, lorsqu'un des enroulements est défectueux, un seul des transformateurs doit être remplacé plutôt que l'appareil en entier.

configuration triphasée de transformateurs

La configuration triphasée de transformateurs d'un transformateur de puissance triphasé détermine comment les enroulements primaires et secondaires sont connectés. Les quatre types les plus communs de configuration triphasée de transformateurs sont étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle et triangle-étoile. Chacune de ces configurations présente différentes caractéristiques. Lors de la connexion d'un transformateur de puissance dans un circuit, il est donc important de déterminer quelles caractéristiques sont avantageuses au circuit, et de choisir la configuration triphasée de transformateurs appropriée.

transformateur de puissance triphasé simple

Les transformateurs de puissance triphasés simples sont construits en enroulant trois transformateurs de puissance monophasés autour d'un seul noyau. Pour une puissance nominale donnée, les transformateurs de puissance triphasés simples sont plus petits, nécessitent moins de matériaux et sont moins coûteux que les banques triphasées de transformateurs. Cependant, les transformateurs de puissance triphasés individuels sont plus difficiles à entretenir que les banques triphasées de transformateurs parce que, lorsqu'un des enroulements est défectueux, tout l'appareil doit être remplacé plutôt que de remplacer le transformateur défectueux dans une banque.

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 10 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 2. 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									

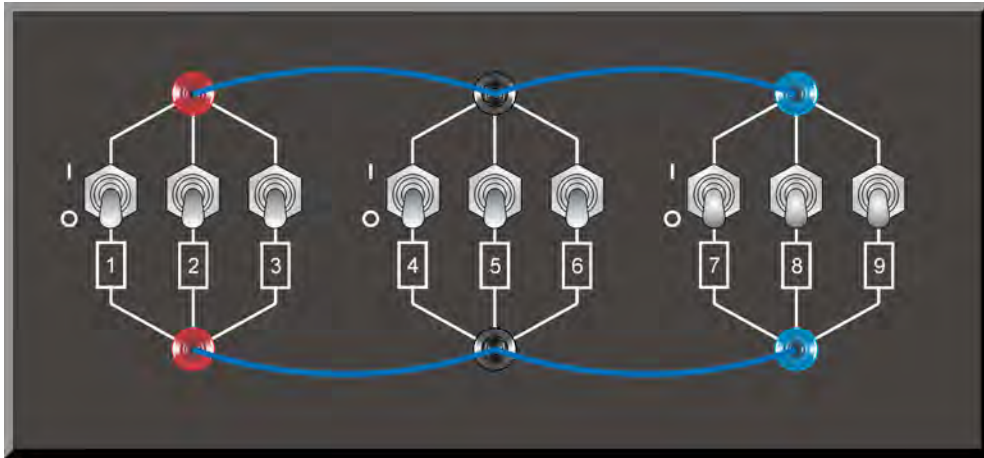


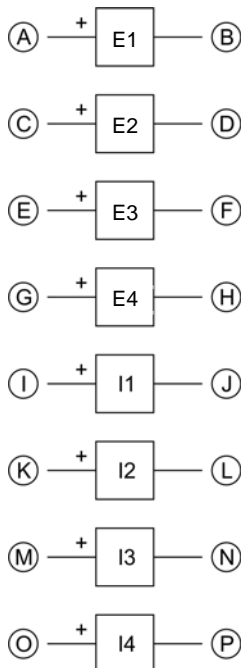
Figure 10. Emplacement des éléments de charge sur la Charge résistive, la Charge inductive et la Charge capacitive, modèles 8311, 8321 et 8331, respectivement.

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.

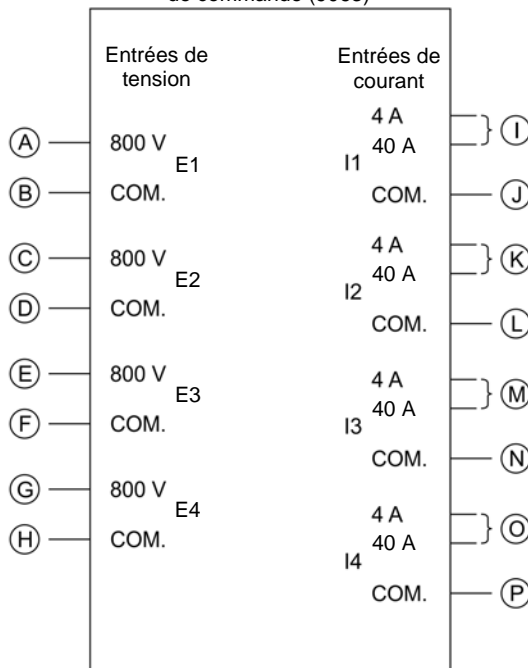
Symbole



Entrées de mesure de tension
et de courant isolées

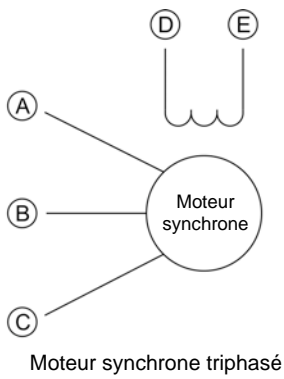
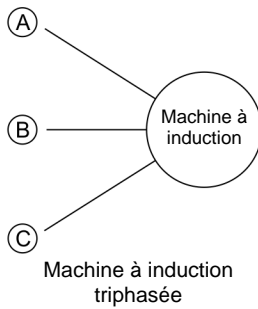
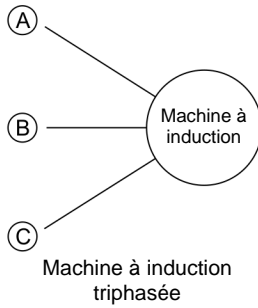
Équipement et connexions

Interface d'acquisition de données et
de commande (9063)

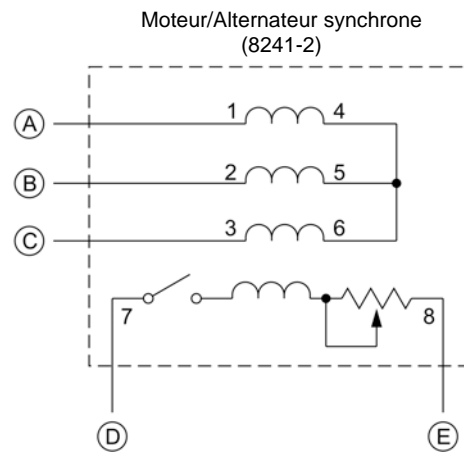
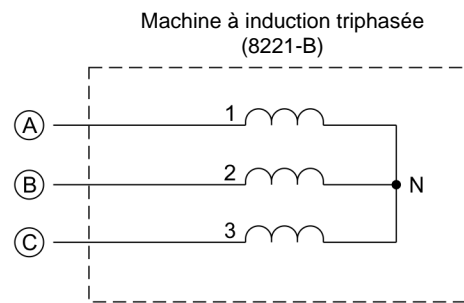
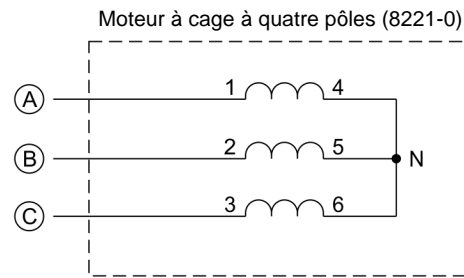


Lorsque le courant aux entrées I1, I2, I3 ou I4 excède 4 A (de façon permanente ou momentanément), utilisez la borne d'entrée de 40 A correspondante et réglez le paramètre Plage de l'entrée correspondante à Élevée dans la fenêtre Réglages d'acquisition de données et de commande de LVDAC-EMS.

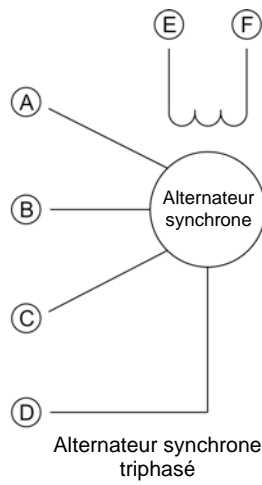
Symbole



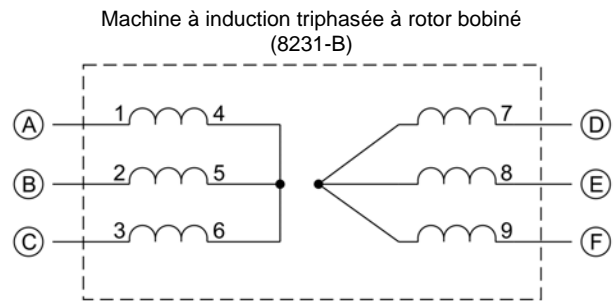
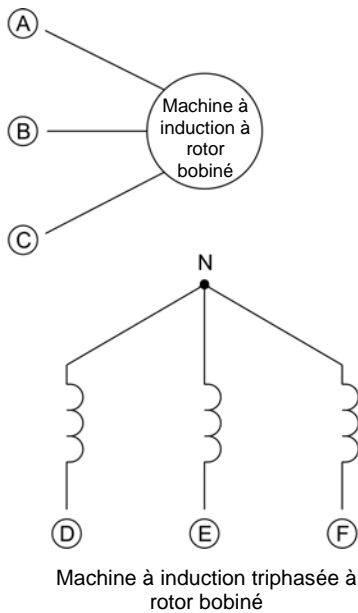
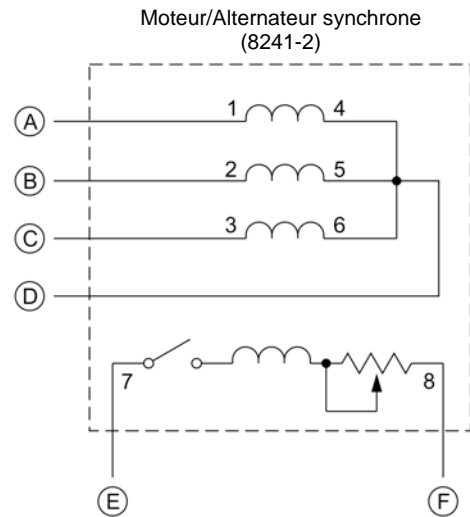
Équipement et connexions



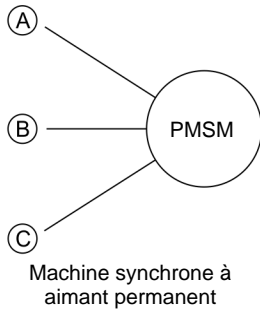
Symbole



Équipement et connexions

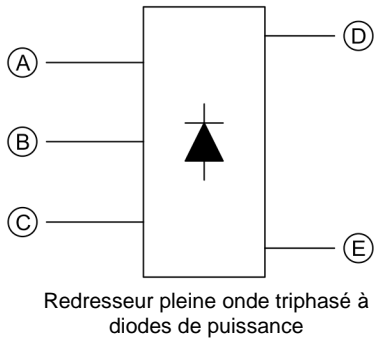
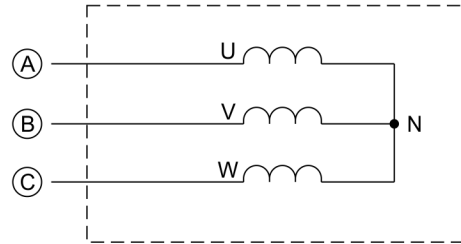


Symbole

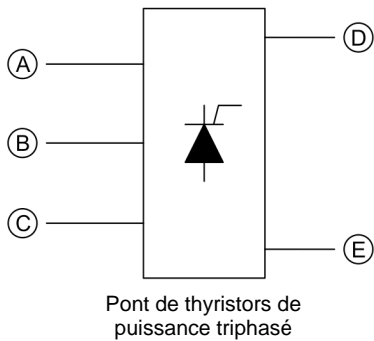
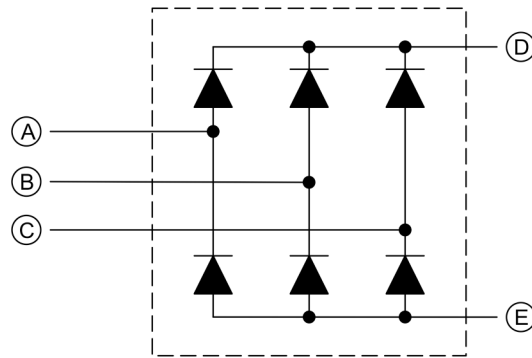


Équipement et connexions

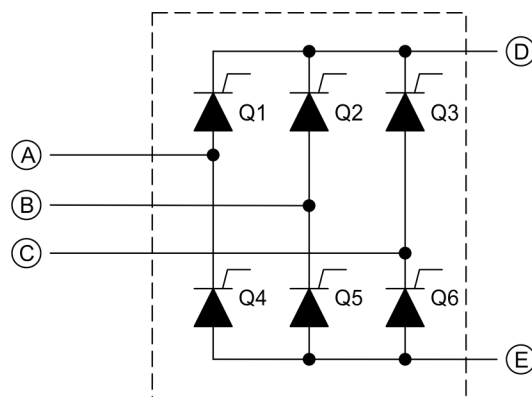
Machine synchrone à aimant permanent (8245)



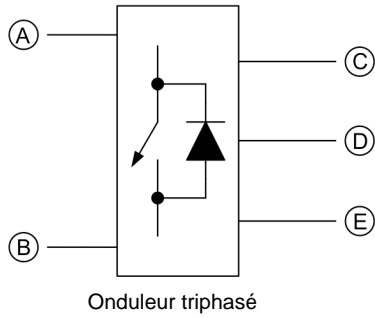
Redresseur et condensateurs de filtrage (8842-A)



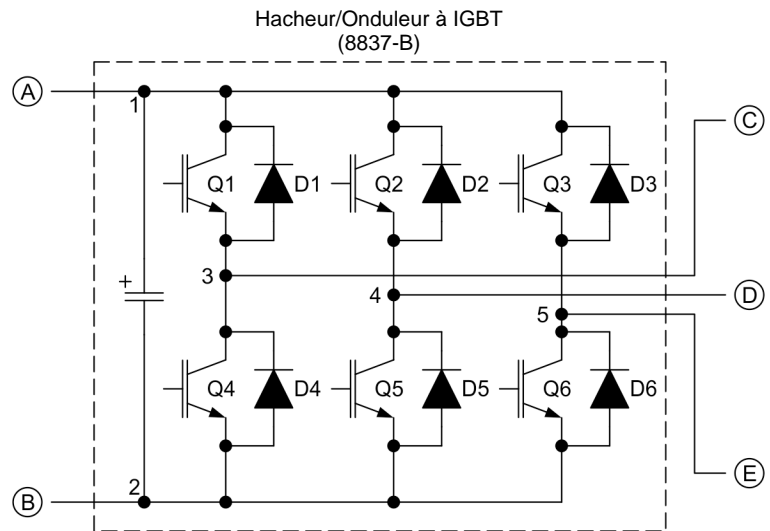
Thyristors de puissance (8841)



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.

banques triphasées de transformateurs	2 , 3, 7, 12
configurations triphasées de transformateurs.....	7 , 10, 12
transformateurs de puissance triphasés simples.....	2

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Bibliographie

Boylestad, Robert L., *Introductory Circuit Analysis*, 11^e édition, Upper Saddle River, Prentice Hall, 2006, ISBN 978-0131730441.

Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 6^e édition, Upper Saddle River, Prentice Hall, 2005, ISBN 978-0131776913.