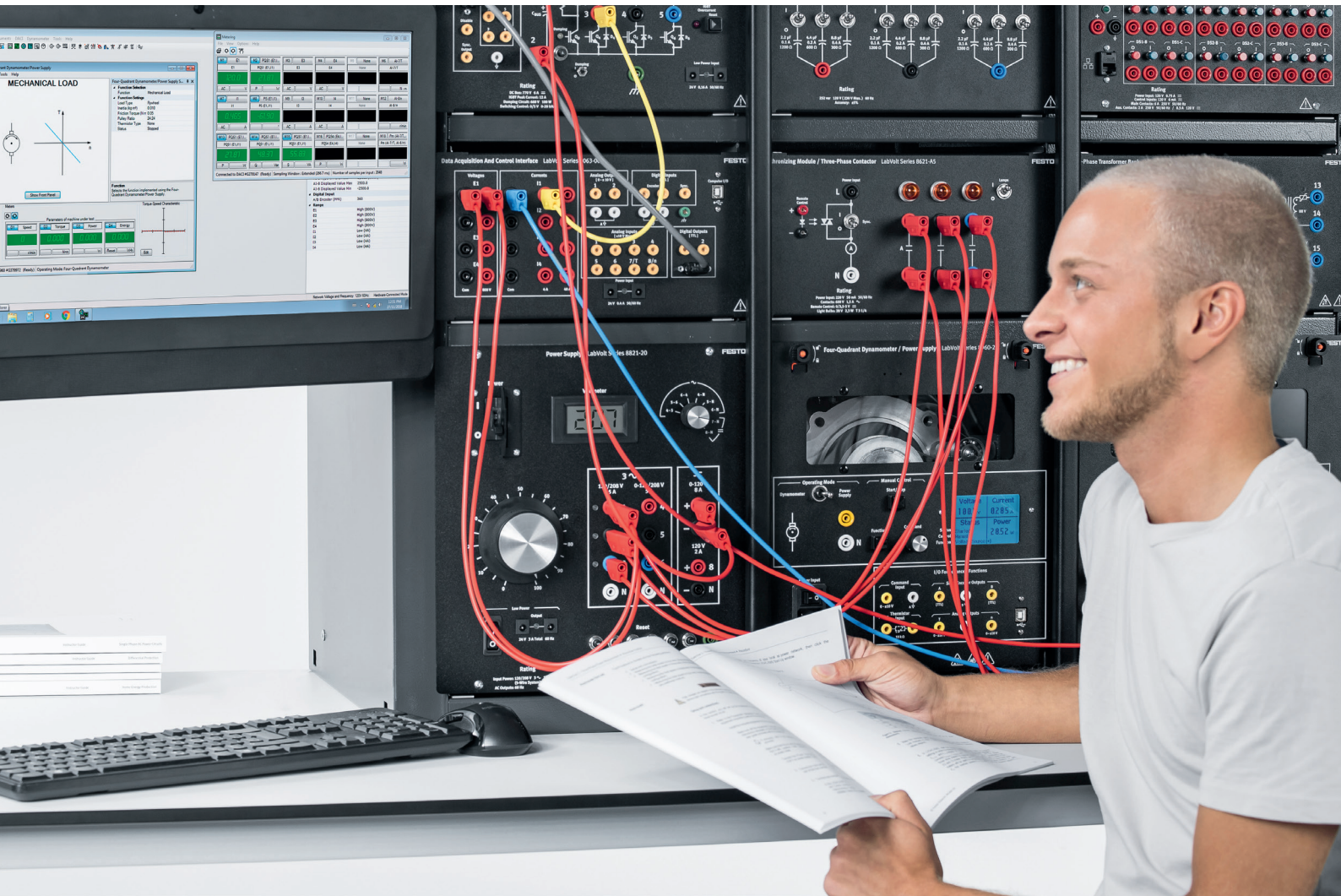


# Technologie de l'énergie électrique

## Programme de formation



# Renforcer la formation en génie électrique

## Apprentissage pratique dans le domaine de l'énergie électrique

### Une formation alignée sur l'industrie

La demande d'électricité est en plein essor alors que plusieurs tendances modifient le paysage énergétique. La production d'énergie à partir de ressources naturelles renouvelables telles que le vent, le soleil, l'eau, etc. a gagné en importance ces dernières années en tant que moyen efficace de réduire les émissions de gaz à effet de serre. La popularité des véhicules électriques est en hausse. Les réseaux électriques sont de plus en plus intelligents. L'électrification des bâtiments et des procédés et applications industriels ou commerciaux se poursuit. L'efficacité énergétique est un sujet d'actualité. Ces tendances ont un impact direct sur le nombre de travailleurs qualifiés nécessaires et sur les besoins en formation.

Le génie électrique intervient dans un nombre croissant de professions. Le renforcement de l'éducation dans cette discipline est primordial ; les programmes et les cours de formation doivent être étroitement alignés sur l'industrie et couvrir tous les sujets pertinents. C'est précisément l'objectif du programme de technologie de l'énergie électrique de Festo Didactic.

- 44 cours offrant plus de 150 exercices de laboratoire (approximativement 300 heures)
- Destiné aux établissements techniques, aux collèges et aux universités qui proposent des programmes d'études et de recherche en génie électrique

### Un programme unique

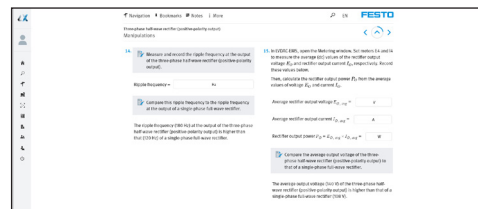
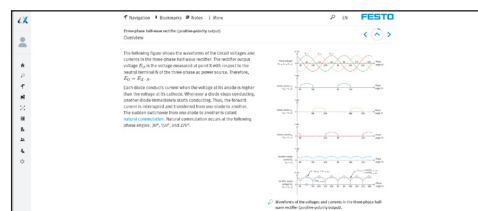
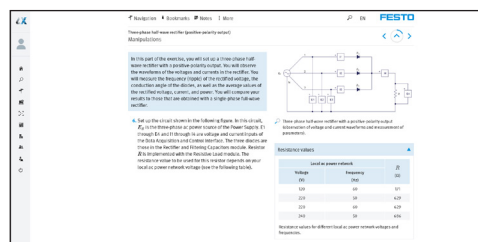
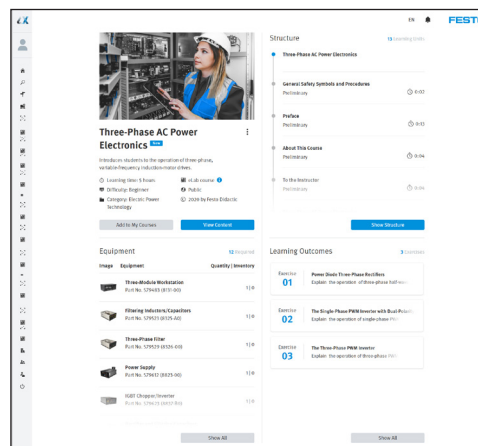
Le programme de formation en technologie de l'énergie électrique a été développé pour répondre aux besoins de formation de plus en plus diversifiés du vaste domaine de l'énergie électrique. Des cours soigneusement élaborés autour de thèmes technologiques fondamentaux combinent théorie et exercices pratiques.

Les cours sont organisés selon un parcours d'apprentissage progressif : des sujets de base jusqu'aux plus avancés. De nouveaux cours sont régulièrement ajoutés au programme pour suivre l'évolution des besoins et des technologies.

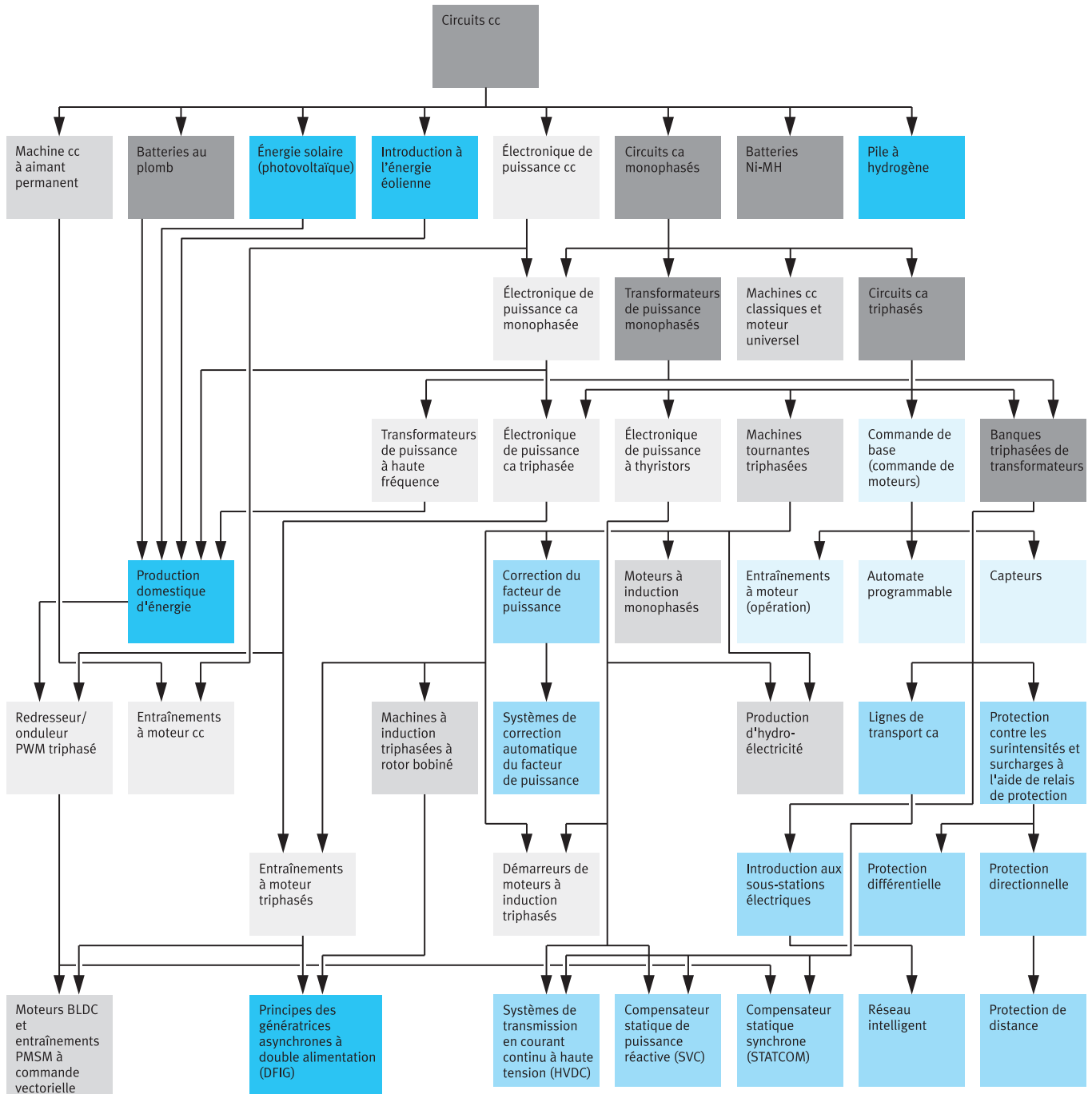
La philosophie modulaire du programme donne aux instructeurs une flexibilité totale quant à l'intégration du contenu dans leurs plans de cours : ils peuvent choisir des parcours d'apprentissage prédéfinis avec des cours complets, personnaliser les cours, ou même créer leur propre parcours, exercice par exercice.

Chaque cours représente un cahier d'exercices (disponible en format PDF, imprimé ou sous forme de cours eLab sur Festo LX) qui comporte des exercices pratiques accompagnés de notions théoriques. Les étudiants sont guidés dans l'expérimentation pratique par des procédures et des questions de laboratoire illustrées, étape par étape, suivies de quiz de révision. Les enseignants ont accès aux résultats de laboratoire, aux réponses et aux notes didactiques.

Captures d'écran du cours eLab « Électronique de puissance ca triphasée » sur Festo LX.



Les flèches représentent le parcours suggéré; elles ne désignent pas des prérequis stricts.



# Les cours, de A à Z

## Résumé des thèmes abordés

### Automates programmes

Fonctions de relais temporisé et de commande. Logique booléenne et marqueurs. Fonctions de compteur et de comparateur. Circuits de commande à automate programmable. Interfaçage des tensions. Démarreurs de moteur avec marche par à-coups. Démarreurs réversible avec marche par à-coups.

### Banques triphasées de transformateurs

Exploitation de banques triphasées de transformateurs. Raccordement des bobinages de banques triphasées de transformateurs en configuration étoile, triangle, étoile-étoile, triangle-triangle, étoile-triangle ou triangle-étoile. Relations de tension, de courant et de phase entre les bobinages primaires et secondaires. Utilisation de banques triphasées de transformateurs dans des circuits de puissance triphasés ca.

### Batteries au plomb

Principes de base des batteries. Types et caractéristiques de batteries au plomb. Caractéristiques de charge et de décharge. Expérimentation de diverses méthodes de charge de batteries au plomb (courant constant, tension constante, tension constante modifiée, charge en tampon, recharge lente).

### Batteries Ni-MH

Réactions survenant pendant les cycles de charge et de décharge. Caractéristiques de la batterie pendant la décharge. Calcul de l'énergie libérée lors d'un cycle de décharge. Effets de l'entrée de charge, du taux de charge et de la température ambiante sur les profils de tension et de température au cours d'un cycle de charge. Méthodes de charge et de contrôle de charge.

### Capteurs

Interrupteur photoélectrique d'élimination de l'arrière-plan, à rétroflexion polarisée et de proximité capacitif. Interrupteur de proximité inductif. Interrupteur de fin de course. Circuits motorisés avec capteurs. Circuits à automate programmable avec capteurs.

### Circuits ca monophasés

Ondes sinusoïdales de tension et de courant. Puissance dissipée dans une charge résistive. Réactance inductive et capacitive. Relation entre la fréquence source et la réactance d'un inducteur ou d'un condensateur. Puissance active, réactive et apparente. Méthode de calcul de l'impédance et méthode du triangle de puissance.

### Circuits ca triphasés

Différence entre tensions et courants de ligne et de phase. Puissance active dissipée dans chaque phase d'un circuit triphasé et puissance active totale dissipée. Séquence de phases et configuration des circuits en étoile et en triangle. Puissance active, réactive et apparente dans les circuits triphasés équilibrés, en triangle ou en étoile.

### Circuits cc

Tension et courant dans les circuits électriques. Lois d'Ohm et de Kirchhoff. Concept de résistance équivalente. Résistance équivalente d'une combinaison de résistances. Énergie dissipée dans un circuit cc. Solution de circuits en série et en parallèle complexes à l'aide des lois fondamentales.

### Commandes de base

Principes de base. Plan de câblage et spécifications. Circuits de commande élémentaires. Circuits de commande de secousse. Démarreurs progressifs et par résistance. Démarreurs à tension ca réduite. Circuits à relais temporisé.

### Compensateur statique de puissance réactive (SVC)

Principaux composants d'un SVC. Compensation de la tension sur les lignes de transport ca avec un SVC. Correction dynamique du facteur de puissance avec un SVC.

Pour voir des échantillons de lecture:

→ [bitly.com/EMS-course-samples](https://bitly.com/EMS-course-samples)  
et allez jusqu'à la section « Downloads »

### Compensateur statique synchrone (STATCOM)

Compensation de tension des lignes de transmission ca à l'aide d'un STATCOM. Correction dynamique du facteur de puissance à l'aide d'un STATCOM.

### Correction du facteur de puissance

Types de correction de puissance : sur toute l'usine versus distribuée. Utilisation de batteries de condensateurs commutés. Correction dans les circuits triphasés.

### Démarrateurs de moteurs à induction triphasés

Démarrateurs de moteurs à induction. Démarrateurs directeurs et progressifs. Caractéristiques avancées des démarrateurs progressifs.

### Dépannage

Introduction et méthodes. Dépannage de circuits élémentaires de commande de moteurs (circuit de démarreur manuel réversible, démarreur de moteur avec marche par à-coups, circuit de freinage par contre-courant avec relais temporisé). Dépannage de circuits à automate programmable (API) (circuit à API, démarreur réversible avec marche par à-coups et API, démarreur avec marche par à-coups). Dépannage de circuits de variateurs de vitesse ca et cc (circuit de variateur de vi-

tesse ca, circuit de freinage et de marche par à-coups d'un variateur de vitesse ca, circuit de variateur de vitesse cc). Note : ce cours n'apparaît pas dans l'organigramme du programme parce qu'il est inclus avec les cours Commandes de base, API et Capteurs.

### Électronique de puissance à thyristors

Diodes. Redresseur monophasé demi-onde et pleine onde (en pont). Formes d'onde de tension et de courant. Thyristor dans des circuits à courant alternatif avec charges. Redresseur/ onduleur triphasé à thyristors.

### Électronique de puissance ca monophasée

Fonctionnement de la diode de puissance. Redresseurs monophasés. Redresseur demi-onde et pleine onde. Tension continue moyenne. Fonctionnement de l'onduleur monophasé PWM.

### Électronique de puissance ca triphasée

Analyse des redresseurs triphasés demi-onde et pleine onde, ainsi que des onduleurs PWM monophasés et triphasés. Formes d'onde de tension et de courant. Avantages des redresseurs triphasés par rapport aux redresseurs monophasés. Bloc d'alimentation cc à double polarité.

### Électronique de puissance cc

Fonctionnement et caractéristiques des diodes et des transistors de commutation. Hacheur abaisseur (buck), élévateur (boost), abaisseur/élévateur et à quatre quadrants. Notion de circuits à tension et à courants et de diodes à roue libre. Phénomène d'ondulation dans un hacheur. Mise en oeuvre d'un chargeur de batteries au plomb à l'aide d'un hacheur abaisseur avec boucle de rétroaction.

### Énergie solaire (photovoltaïque)

Diode. Panneau solaire. Effet de la température sur la performance du panneau solaire. Stockage d'énergie dans des batteries au plomb. Effet de l'ombrage sur le fonctionnement du panneau solaire. Orientation du panneau solaire. Ensoleillement et performance.

### Entraînements à moteur cc

Moteurs cc PWM de base. Moteurs cc bidirectionnels PWM avec freinage par récupération d'énergie. Rétroaction de vitesse et commande de courant dans les entraînements à moteurs cc à modulation de largeur d'impulsions (PWM).

### Entraînements à moteur triphasés

Principes et fonctionnement d'entraînements à moteur à induction à fréquence variable. Entraînement à moteur à induction triphasé à fréquence variable avec un rapport volt/hertz (V/f) constant.



# Les cours, de A à Z

## Résumé des thèmes abordés

### Introduction aux sous-stations électriques

Sous-stations électriques. Coupe-circuits et sectionneurs de haut voltage. Schéma à jeu de barres. Schéma à deux jeux de barres et un disjoncteur par départ.

### Introduction à l'énergie éolienne

Éoliennes et énergie éolienne à petite échelle. Caractéristiques tension-vitesse et couple-courant d'une éolienne. Variation de la puissance du vent avec la vitesse du vent. Stockage d'énergie dans des batteries.

### Lignes de transport ca

Circuits équivalents et caractéristiques des lignes de transport ca pour les charges résistives, inductives et capacitatives. Compensation de tension. Transport de puissance active. Sous-station à condensateur shunt. Contrôle du flux de puissance active et réactive.

### Machines à induction triphasées à rotor bobiné

Machine à induction triphasée à rotor bobiné avec rotor court-circuité. Machine à induction triphasée à rotor bobiné avec résistance de rotor.

### Machines cc classiques et moteur universel

Principes fondamentaux des machines tournantes. Fonctionnement de l'entraînement et des freins. Moteurs série, shunt, compound, à excitation séparée. Génératrices cc shunt, à excitation séparée et composée. Effet de réaction d'induit et de saturation. Moteur universel.

### Machine cc à aimant permanent

Moteur d'entraînement et freinage. Fonctions de base du bloc d'alimentation et commande de dynamomètre à quatre quadrants. Polarité de la vitesse, du couple et de la puissance mécanique. Constructions de machines cc à aimant permanent et fonctionnement comme alternateur. Caractéristiques de tension-vitesse et de couple-courant d'une machine à courant continu à aimant permanent fonctionnant en génératrice ou en moteur.

### Machines tournantes triphasées

Fonctionnement de l'entraînement et des freins. Machines triphasées à induction à cage. Freins à courant de Foucault et génératrice asynchrone. Moteur synchrone. Génératrices synchrones (alternateurs). Tension, couple. Synchronisation de la génératrice.

### Moteurs à induction monophasés

Moteurs ca à induction. Exploitation et caractéristiques des moteurs à induction monophasés.

### Moteurs BDLC et entraînements PMSM à commande vectorielle

Machines synchrones à aimant permanent. Commande de machine synchrone à aimants permanents par onduleur triphasé six pas à modulation 120°. Moteur BDLC. Entraînement PMSM à commande vectorielle.

### Pile à hydrogène

Fonctions de base du système de pile à hydrogène. Courbe caractéristique. Paramètres influençant la courbe caractéristique. Détermination de la courbe de courant d'hydrogène. Efficacité de la pile. Mise en place d'un bloc d'alimentation à piles à hydrogène. Efficacité d'une alimentation par pile à hydrogène.

### Principes des génératrices asynchrones à double alimentation (DFIG)

Machine à induction triphasée à rotor bobiné utilisée comme machine synchrone. Moteurs et génératrices à induction à double alimentation.

### Production d'hydroélectricité

Principes de contrôle de la fréquence et de la tension de la génératrice. Synchronisation de la génératrice à l'aide d'un relais de contrôle de synchronisation. Fonctionnement de la génératrice avec régulation de la vitesse et de la tension. Statisme. Fonctionnement en parallèle de la génératrice et partage de charge.

Pour voir des échantillons de lecture:

→ [bitly.com/EMS-course-samples](https://bitly.com/EMS-course-samples)  
et allez jusqu'à la section « Downloads »

### Production domestique d'énergie

Production autonome d'énergie domestique. Onduleur monophasé raccordé au réseau (redresseur/onduleur PWM). Production d'énergie domestique raccordée au réseau utilisant une énergie solaire ou éolienne. Onduleur sans convertisseur cc-cc. Stockage d'énergie à grande échelle: une étape dans la mise en oeuvre du réseau intelligent.

### Protection contre les surintensités et surcharges à l'aide de relais de protection

Protection contre les surintensités de courant. Protection contre les surintensités et les surcharges des machines à courant alternatif, transformateurs de puissance, alimentations radiales.

### Protection de distance

Introduction. Caractéristiques de l'impédance du relais de protection de distance. Protection de distance conventionnelle à pas de temps. Protection de distance à l'aide de systèmes de déclenchement assistés par communication.

### Protection différentielle

Bases de la protection différentielle. Protection différentielle à pourcentage de retenue.

### Protection directionnelle

Introduction. Protection directionnelle contre les surintensités de courant et contre les comparaisons directionnelles. Protection directionnelle de la puissance.

### Redresseur/onduleur PWM triphasé

Schéma fonctionnel. Applications communes. Variation de commande de courant actif et réactif. Contrôle de la puissance active et réactive.

### Réseau intelligent

Le « smart grid » et ce qui le rend intelligent. Réduire les pertes d'énergie et améliorer l'efficacité énergétique des sous-stations. Mise à niveau et exploitation d'une sous-station pour l'exploitation dans le réseau intelligent. Contrôle automatisé de l'exploitation de la station de distribution. Rétablissement rapide du courant aux charges après une panne de bus. Répartition dynamique de la charge.

### Systèmes de transmission en courant continu à haute tension (HDVC)

Régulation de tension et facteur de puissance de déplacement dans les ponts triphasés à thyristors. Fonctionnement de base des systèmes de transmission HVDC. Régulation du courant continu et contrôle du flux de puissance dans les systèmes de transmission HVDC. Panne de commutation au niveau du pont onduleur. Réduction d'harmoniques à l'aide de convertisseurs à thyristor à 12 impulsions.

### Transformateurs de puissance à haute fréquence

Transformateurs de puissance à haute fréquence et leurs utilisations. Effet de la fréquence sur la puissance nominale des transformateurs. Analyse des transformateurs de puissance haute fréquence dans les alimentations à découpage et les convertisseurs cc-cc isolés.

### Transformateurs de puissance monophasés

Ratios de tension, courant et tours. Caractéristiques des transformateurs élévateurs et abaisseur. Polarité des enroulements du transformateur. Schéma équivalent d'un transformateur de puissance. Tension, courant et puissances nominales. Effet de la saturation sur le courant magnétisant et les pertes de puissance à vide d'un transformateur de puissance.

### Variateurs de vitesse (opération)

Présentation du variateur de vitesse ca. Caractéristiques volts par hertz. Rampe et survoltage. Protection. Freinage et marche par à-coups. Commande à distance. Variateur de vitesse cc. Limitation de courant et compensation IR.

# Créez votre environnement d'apprentissage idéal



Les activités de laboratoire présentées dans les cours sont conçues pour être réalisées de manière optimale sur les systèmes d'apprentissage en technologie de l'énergie électrique (également appelés EMS).

Cette plateforme flexible, enrichie d'outils logiciels, peut être configurée pour répondre exactement à vos besoins de formation. Nos services complémentaires (sessions de formation des formateurs, installation et mise en service, etc.) et une assistance technique exceptionnelle vous aideront à maximiser votre investissement.

**Contactez votre représentant commercial pour obtenir des conseils et de plus amples informations sur la sélection des cours et de l'équipement.**



→ [bitly.com/EMS\\_Training\\_Systems](https://bitly.com/EMS_Training_Systems)

## Festo Didactic Ltée

675, rue du Carbone  
Québec (QC) G1K 8W1  
Canada  
Tél.: +1 418 849-1000  
[services.didactic@festo.com](mailto:services.didactic@festo.com)

## Festo France

Unité « Didactic »  
ZA des Maisons Rouges  
8 rue du Clos Sainte-Catherine  
94360 Bry-sur-Marne  
France  
Tél.: + 33 (0)1 48 82 64 00  
[didactic\\_fr@festo.com](mailto:didactic_fr@festo.com)

## Festo Didactic SE

Rechbergstrasse 3  
73770 Denkendorf  
Allemagne  
Tél.: +49 711 3467-0  
[did@festo.com](mailto:did@festo.com)