

Systemes d'apprentissage pour les techniques d'énergie électrique

Le laboratoire intelligent des techniques d'énergie électrique



Contenu

Formation de qualité

Systèmes d'apprentissage pour les techniques d'énergie électrique 4

Présentation interactive de contenus didactiques complexes

Médias didactiques orientés projets – pour tous les systèmes d'apprentissage 5

De la production à la consommation d'énergie électrique

Les futurs réseaux électriques intelligents 6

Systèmes en réseau dans le laboratoire des techniques d'énergie 8

L'équipement idéal de demain 10

Logiciel SCADA Power-LAB 11

Vue d'ensemble 12

Plus qu'un système d'apprentissage

Le laboratoire des techniques d'énergie - une solution complète 14



Contenu

Bases des techniques d'énergie électrique	16
Technique du courant continu, alternatif et triphasé (UniTrain-I)	20
Magnétisme / Électromagnétisme (UniTrain-I)	23
Mesures avec le multimètre (UniTrain-I)	24
Réseaux et modèles de réseaux (UniTrain-I)	25
Transformateur de courant et de tension	26

Production d'énergie électrique	28
Alternateurs synchrones de courant triphasé (UniTrain-I)	32
Réglage de l'alternateur et synchronisation	33
Protection de l'alternateur	35

Production d'énergie avec des énergies renouvelables	40
Photovoltaïque (UniTrain-I)	42
Photovoltaïque Advanced (UniTrain-I)	44
Éoliennes	48
Petites centrales éoliennes	52
Technique des piles à combustible (UniTrain-I)	54
Technique des piles à combustible Advanced	56

Transformateurs électriques	58
Transformateurs électriques mono- et triphasés (UniTrain-I)	62
Étude des transformateurs mono- et triphasés	63
Protection des transformateurs	64

Transport de l'énergie électrique	60
Étude des lignes de courant triphasé	70
Montage de lignes en parallèle et en série	71
Ligne compensée	72
Systèmes de transport avec alternateur synchrone	73
Protection des lignes	74

Distribution de l'énergie électrique	78
Système triphasé de jeux de barres (omnibus) doubles	82
Relais de surintensité pour jeux de barres (omnibus)	83

Gestion de l'énergie électrique	84
Consommateurs complexes, mesure de consommation et surveillance des charges maximales	88
Consommateurs dynamiques	89
Compensation manuelle et automatique de la puissance réactive	90
Protection des consommateurs électriques	91

Formation de qualité

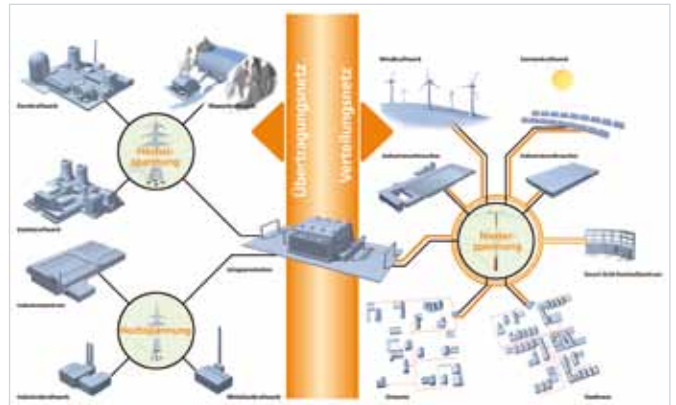
Systèmes d'apprentissage pour les techniques liées à l'énergie électrique

Le progrès technique ...

Se tourner vers les énergies renouvelables en se détournant du charbon, du pétrole et de l'énergie nucléaire est une variante qui gagne en importance. De nos jours, l'évolution de la technique permet d'utiliser l'énergie solaire, la force éolienne, l'hydrogène et la biomasse comme des sources énergétiques écologiques.

Pour soutenir cette tendance, on recherche des techniciens qualifiés dans le monde entier.

Dans le contexte des réseaux intelligents (« smart grid »), la production, le transport et la distribution de l'énergie, ainsi que la protection des installations de technique d'énergie et l'usage économique de l'énergie sont dans toutes les conversations.



... influence grandement la formation

Le système didactique Lucas-Nülle sur les techniques d'énergie permet au personnel enseignant de communiquer aux apprenants les rapports technologiques des techniques d'énergie en appliquant une méthodologie transparente et orientée vers la pratique.

Les techniques d'énergie électrique comprennent la production, le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique ainsi que les techniques de protection dans tous ces domaines.

Extrêmement souple, le système peut être adapté sans problème et à tout moment aux différentes exigences de la formation pour les ouvriers spécialisés, les techniciens ou les ingénieurs.



Vos avantages

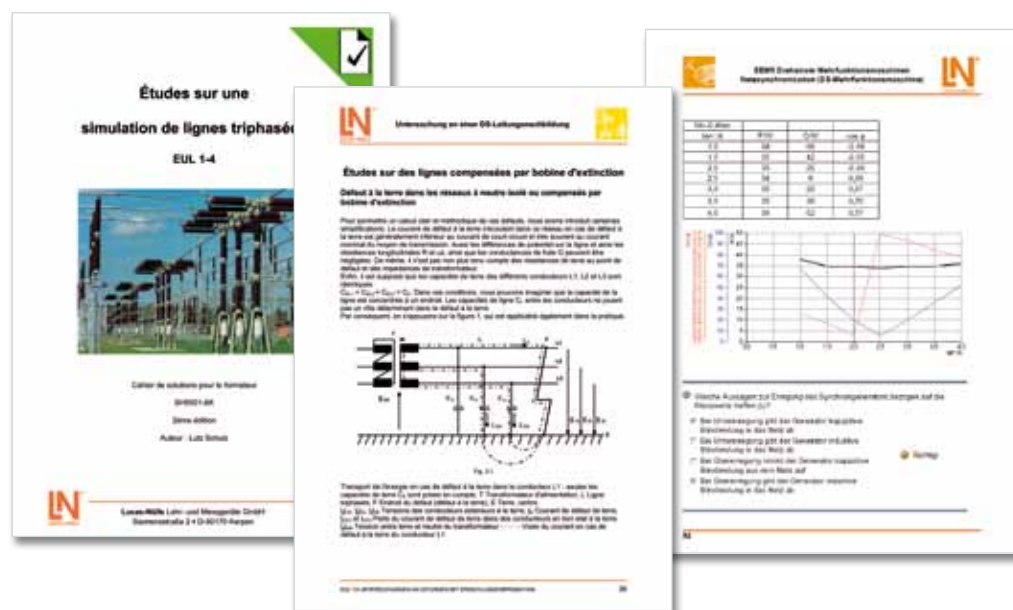
- Un programme complet - de la production à l'utilisation de l'énergie, en passant par sa distribution
- Intégration des énergies renouvelables parmi les techniques de l'énergie conventionnelle
- Surveillance et contrôle via SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- Système d'expérimentation modulaire pour une approche pas à pas des éléments du système
- La structure du bus de tous les niveaux de tension permet un montage rapide et transparent des expériences
- Reproduction réaliste d'une ligne de transport de 380 kV sur 300 km et 150 km
- Emploi d'appareils industriels usuels au moyen d'une technique numérique tournée vers le futur
- Grande sécurité de travail grâce à l'emploi exclusif de douilles et de câbles de sécurité
- Technique de protection applicable à tous les domaines des techniques d'énergie électrique

Présentation interactive de contenus didactiques complexes

Médias didactiques orientés projets – pour tous les systèmes d'apprentissage

Manuels

Ils offrent non seulement une description détaillée des expériences, mais également de nombreux projets, exemples, exercices et solutions.

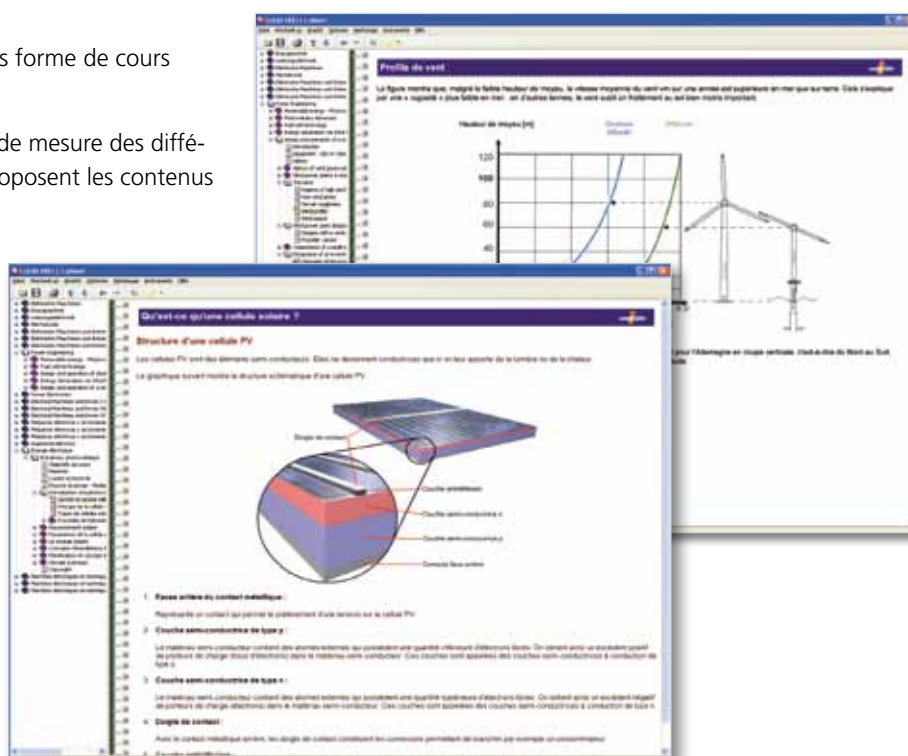


Cours multimédias

De nombreux manuels sont disponibles sous forme de cours multimédias.

Ils permettent un accès direct aux résultats de mesure des différents instruments. Les cours multimédias proposent les contenus suivants :

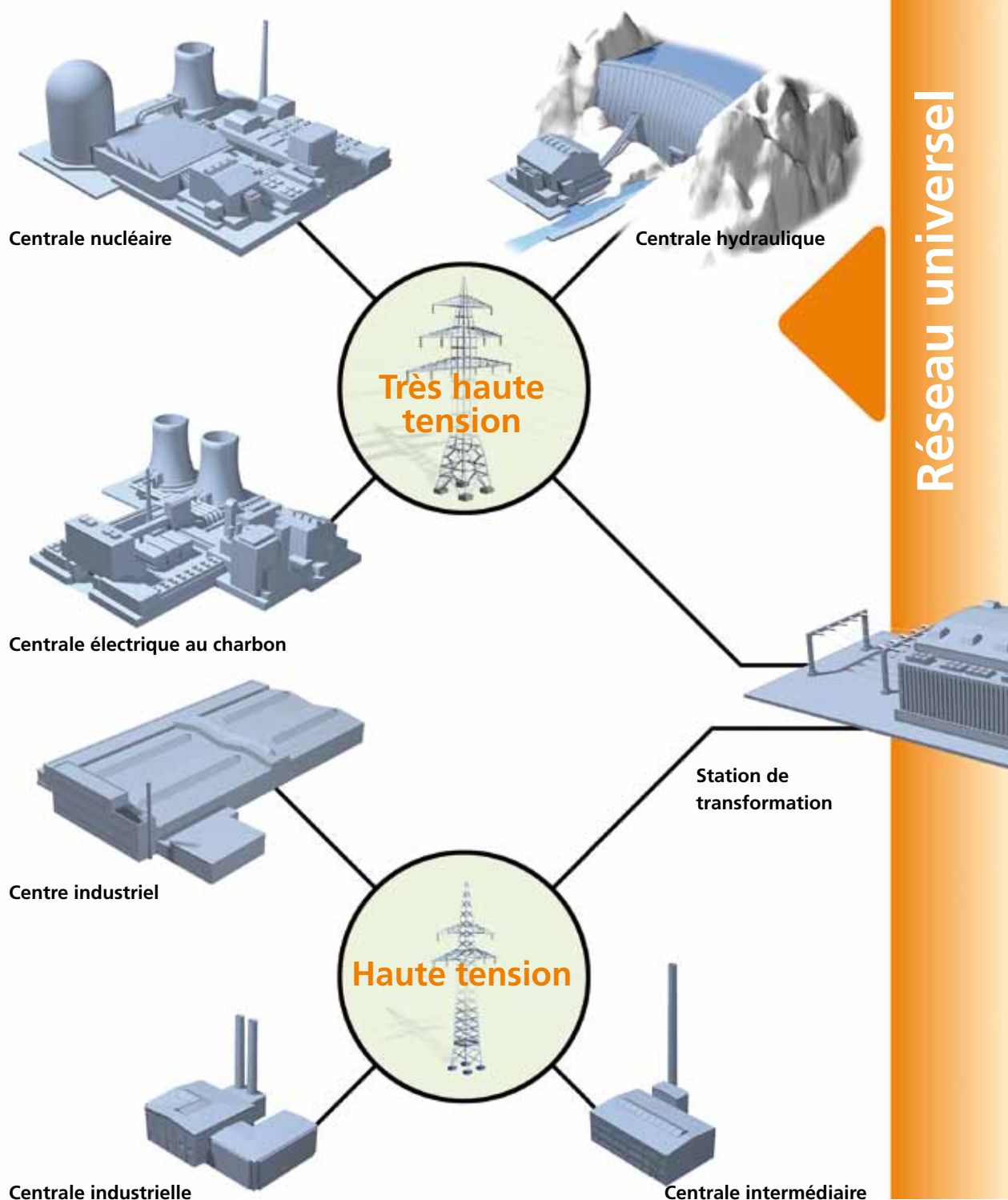
- Questions pour tester les connaissances
- Montage interactif des expériences
- Barres de navigation
- Théorie animée

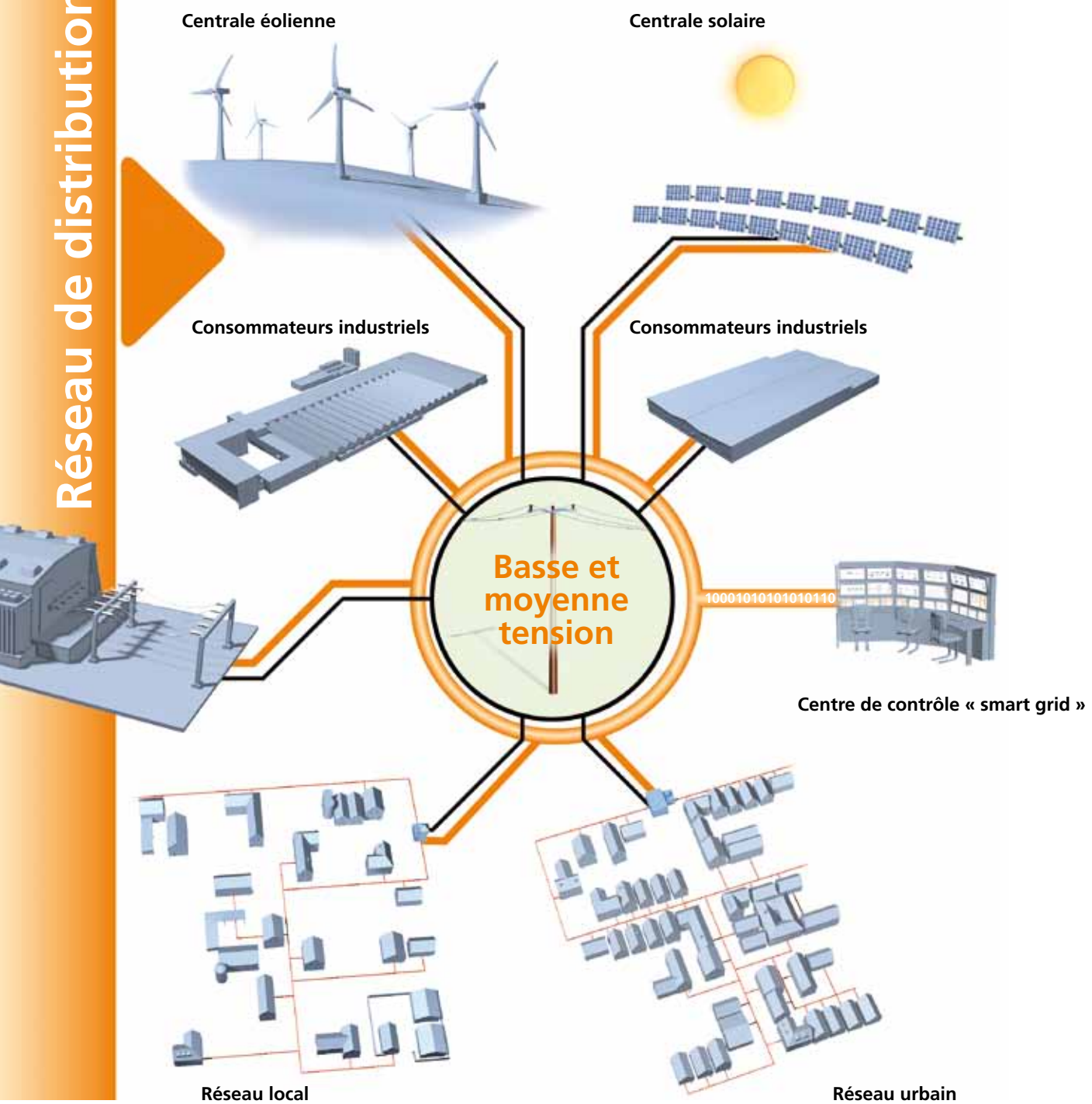


De la production à la consommation d'énergie électrique

Les futurs réseaux électriques intelligents

Les équipements Lucas-Nülle permettent de reproduire un réseau de distribution d'énergie complet, de la production à la consommation.





De la production à la consommation d'énergie électrique

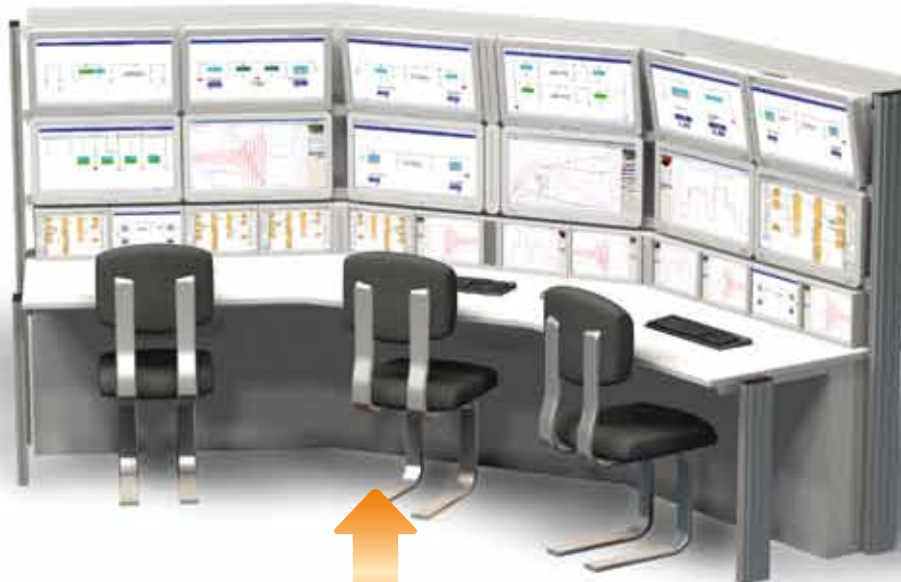
Systèmes en réseau dans le laboratoire des techniques d'énergie électrique

Le laboratoire intelligent

Les équipements Lucas-Nülle sur les techniques d'énergie électrique peuvent tous être combinés entre eux.

Ainsi par exemple l'énergie produite à partir des énergies renouvelables peut être transmise au laboratoire via la reproduction des lignes, adaptée par des transformateurs et distribuée à des consommateurs quelconques au moyen de jeux de barres (omnibus) doubles. Les systèmes de bus des instruments de mesure et de protection peuvent tous être combinés entre eux, puis évalués et contrôlés de manière centralisée avec le logiciel SCADA for Power-Lab. Ainsi le montage et l'étude des réseaux intelligents au sein du laboratoire ne connaissent-ils plus aucune limite.





100100101010010101110001010101010001010101000010100101001001000010010100010101010



Transport

Distribution

Consommation

De la production à la consommation d'énergie électrique

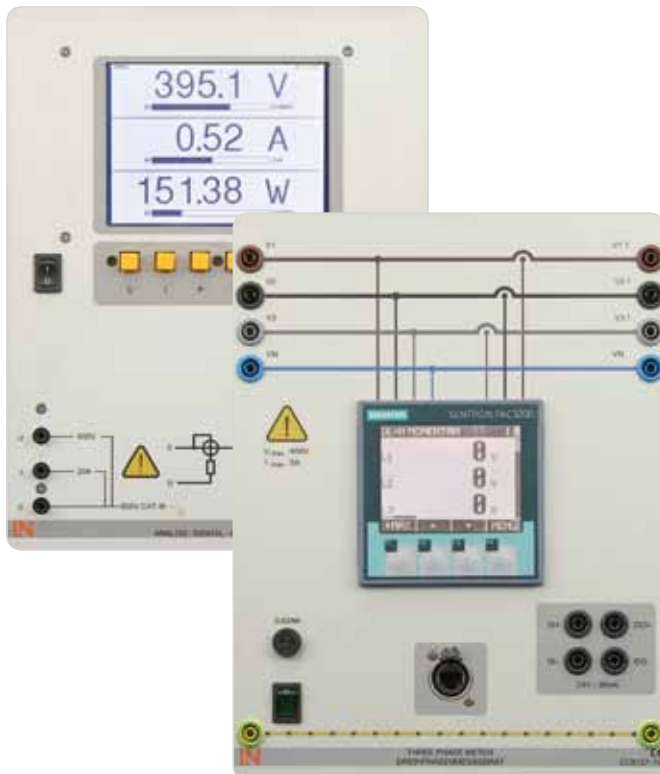
L'équipement idéal de demain

Des réseaux électriques intelligents – « Smart grid »

À l'avenir, de nouvelles techniques équiperont le réseau électrique pour mieux satisfaire aux exigences de demain. Une gestion plus souple des réseaux rendra compatible la part croissante d'énergies renouvelables avec les infrastructures conventionnelles des centrales.

La diversité et la multitude de ces centrales décentralisées requièrent une gestion innovante du réseau électrique - le réseau intelligent « Smart grid » :

- Meilleure coordination des besoins et de la production d'énergie
- Utilisation de technologies d'information modernes : Internet, capteurs, commandes et dispositifs de transport sans fil
- « Smart metering » – des compteurs numériques mesurent la consommation électrique aux points terminaux du réseau
- Déplacement de la consommation domestique hors des périodes de pointe
- Mise en service d'applications spécifiques, comme le lave-linge, par le distributeur d'énergie en dehors des périodes de pointe



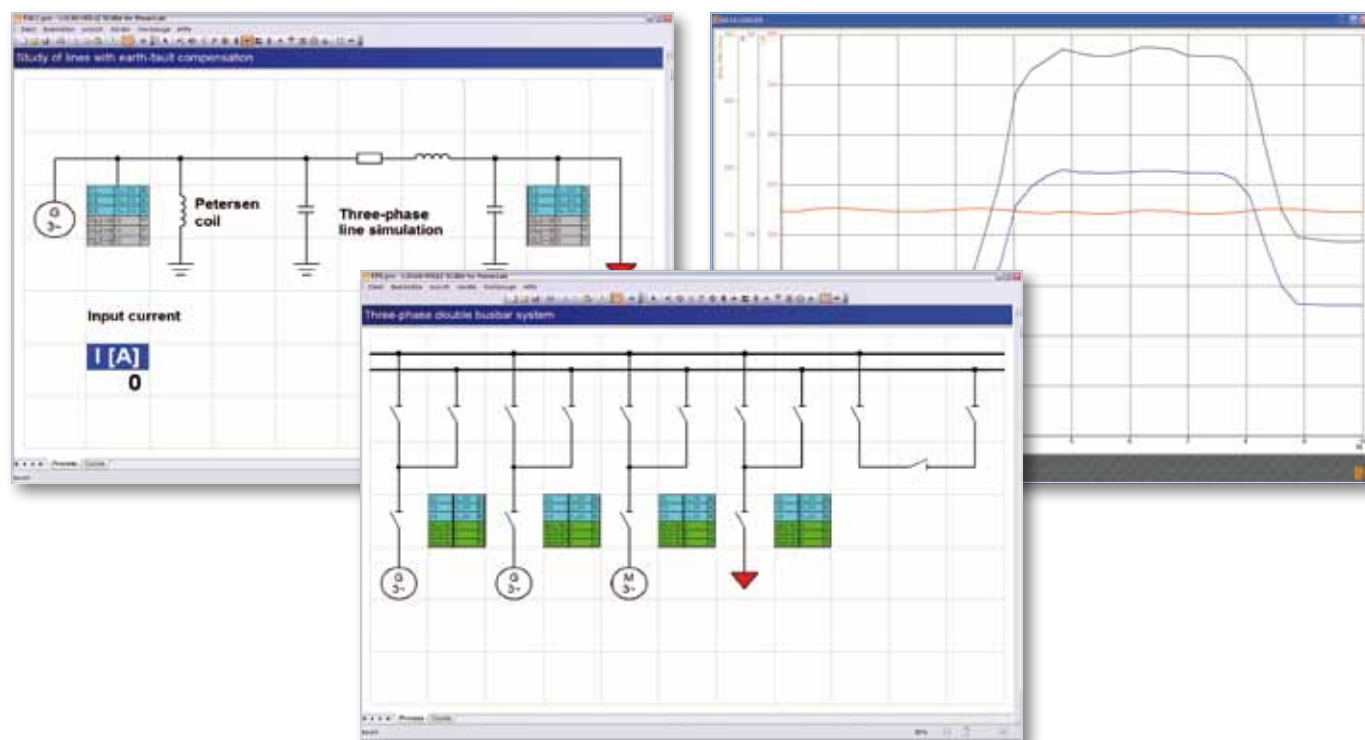
Les systèmes didactiques Lucas-Nülle sont conçus en prévision des évolutions à venir :

- Instruments de mesure intelligents disposant de différentes interfaces de communication (par ex. LAN, RS485, USB) et éléments de commande
- Logiciel SCADA Power-LAB pour la commande et l'évaluation du réseau intelligent

SCADA Power-LAB-Software

On entend par « Supervisory Control and Data Acquisition » (SCADA) la surveillance, le contrôle et la saisie de données de processus techniques en temps réel. Dans les techniques d'énergie électrique, SCADA est utilisé de la production à l'utilisation de l'énergie, en passant par sa distribution.

SCADA permet au personnel de suivre et d'entrer des données dans des processus. Les valeurs de mesure sont représentées en temps réel sur l'écran. Les signaux de commande peuvent être modifiés pendant le processus. Le système SCADA peut aussi commander le processus automatiquement. La saisie de nombreuses valeurs de mesure permet une meilleure planification et une optimisation économique. Le système peut être commandé à distance via des réseaux locaux (LAN).



Vos avantages

- Disposition symbolique à l'écran de tous les appareils des techniques d'énergie électrique Lucas-Nülle
- Affichage des valeurs de mesure et des états
- Contrôle des paramètres et signaux importants avec le logiciel
- Enregistrement, représentation dans le temps, évaluation et exportation des mesures effectuées par les appareils
- Réalisation et analyse de réseaux intelligents (smart grid)
- Changement automatique des barres (omnibus)

Vue d'ensemble

Protection des installations techniques liées à l'énergie électrique

SCADA

EGP

Protection de l'alternateur

- Protection différentielle de l'alternateur
- Relais de surintensité
- Protection contre les charges déséquilibrées
- Protection contre les retours de puissance
- Protection contre les surtensions / sous-tensions
- Protection du stator contre la mise à la terre
- Protection du rotor contre la mise à la terre

SCADA

ETP

Protection des transformateurs

- Protection différentielle des transformateurs
- Relais de surintensité

Étude d'installations techniques liées à l'énergie électrique

SCADA

EUG

Production d'énergie

- Alternateurs synchrones triphasés
- Circuits de synchronisation
- Régulation automatique du facteur de puissance et de la puissance

Production d'énergie avec des énergies renouvelables

- Énergie éolienne
- Photovoltaïque
- Pile à combustible



SCADA

EUT

Transformateur

- Transformateur en marche à vide et en court-circuit
- Transformateur avec charge ohmique, inductive et capacitive
- Mode de service parallèle de transformateurs
- Distribution électrique pour différents couplages

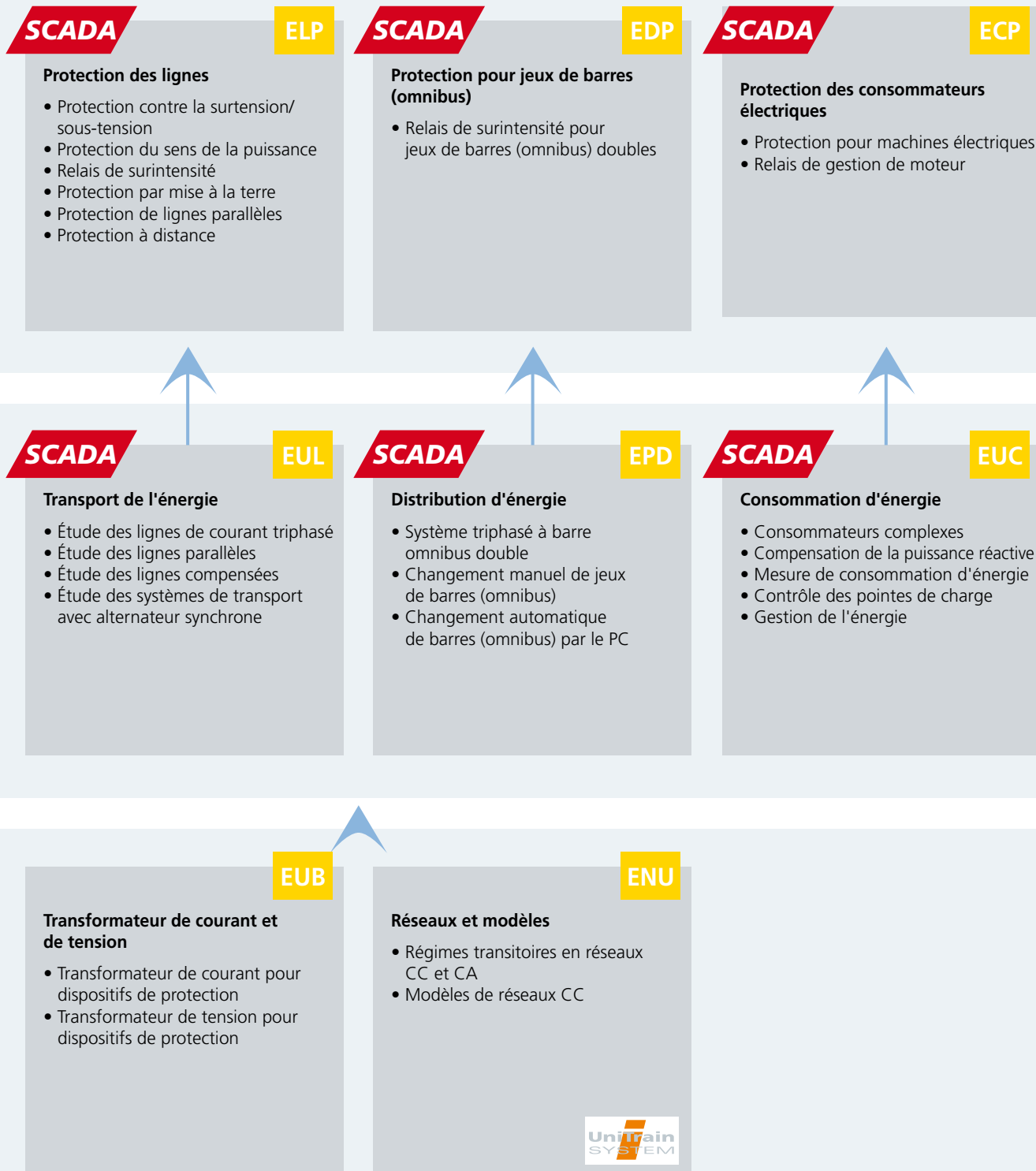


Bases des techniques liées à l'énergie électrique

Bases de l'électrotechnique

- Technique du courant continu
- Technique du courant alternatif
- Technique du courant triphasé
- Magnétisme / Électromagnétisme
- Mesures avec le multimètre





Plus qu'un système d'apprentissage

Laboratoire d'étude des techniques d'énergie électrique –
Une solution complète

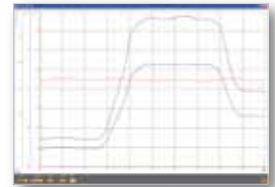
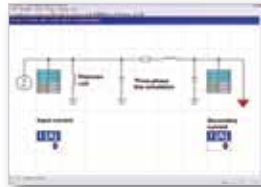
Présentation interactive de contenus didactiques complexes avec des outils didactiques modernes

Énergies renouvelables :
énergie éolienne, piles à combustible, photovoltaïque



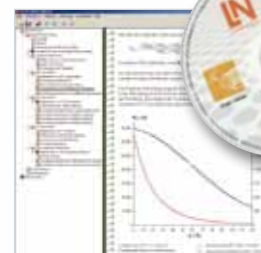
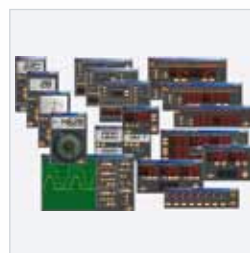
Smart grid : mesurer et contrôler tout le flux d'énergie avec le système SCADA

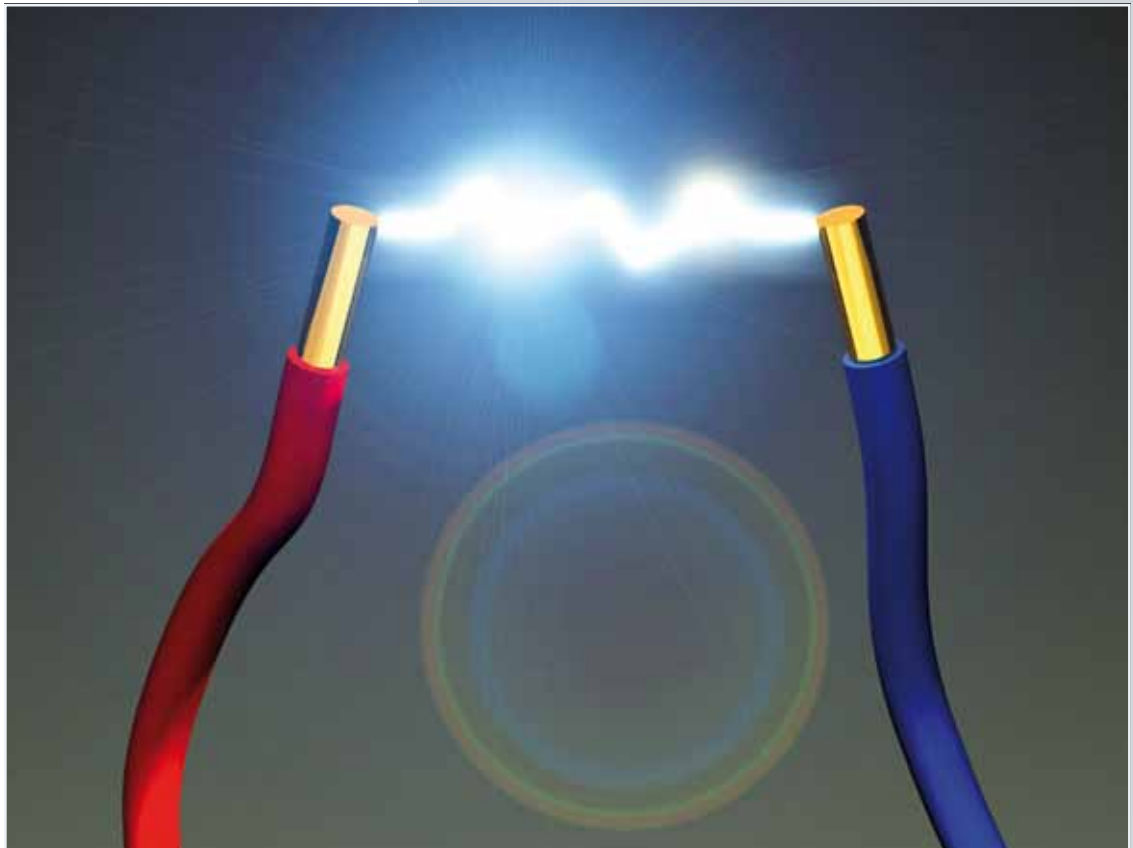
SCADA



Des solutions complètes pour les techniques de l'énergie électrique : de la production, le transport et la distribution à la consommation

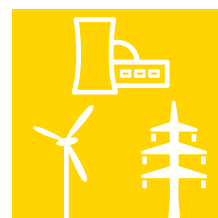
Transmission multimédia des connaissances avec UniTrain-I





Bases des techniques de l'énergie électrique

Technique du courant continu (UniTrain-I)	20
Technique du courant alternatif (UniTrain-I)	21
Technique du courant triphasé (UniTrain-I)	22
Magnétisme / Électromagnétisme (UniTrain-I)	23
Mesures avec le multimètre (UniTrain-I)	24
Réseaux et modèles de réseaux (UniTrain-I)	25
Transformateur de courant et de tension	26



Bases des techniques de l'énergie électrique

Initiation multimédia réaliste aux techniques de l'énergie électrique

Le système d'expérimentation et d'apprentissage multimédia UniTrain-I transmet les fondamentaux théoriques et propose des expériences à travers un didacticiel clairement structuré à l'aide de textes, de graphiques, d'animations et de tests de connaissances. Outre le didacticiel, chaque cours comprend un jeu de cartes d'essai qui permettent de réaliser les exercices pratiques.

À l'aide de nombreuses expériences et animations, les cours UniTrain-I constituent une excellente entrée en matière pour toutes les questions actuelles des techniques de l'énergie électrique. Les bases du courant continu, du courant alternatif et du courant triphasé ainsi que les processus dans les réseaux de distribution sont traités dans différents cours. Les expériences permettent de reproduire de manière sécurisée en utilisant de petites tensions les processus typiques de la production et la distribution de l'énergie électrique.



Vos avantages

- Théorie et pratique simultanément
- Motivation accrue des apprenants par l'usage du PC et de nouveaux médias
- Résultats rapides grâce à la structure claire des cours
- Compréhension rapide grâce à une théorie animée
- Compétence en action par des expériences réalisables soi-même
- Feedback régulier par des questions de compréhension et des tests de connaissances
- Recherche d'erreurs guidée par un simulateur d'erreurs intégré
- Sécurité garantie par l'emploi de faibles tensions
- Choix énorme de cours
- Modèles de solutions pour l'enseignant

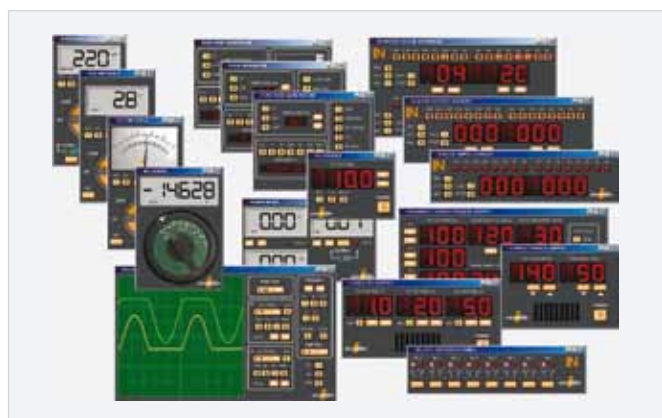
Système UniTrain-I

- Laboratoire complet et mobile
- Cours multimédias
- Interface de mesure et de commande high-tech
- Théorie et pratique simultanément



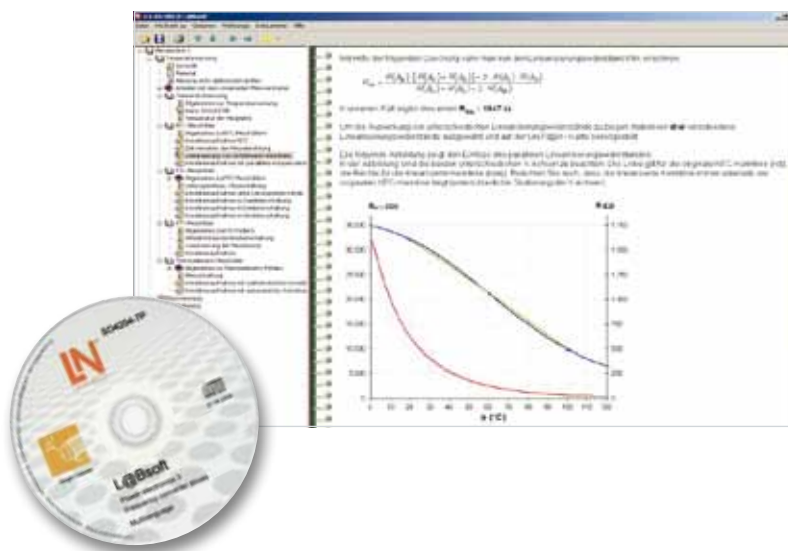
Appareils de mesure et d'alimentation intégrés

- Multimètre, ampèremètre, voltmètre
- Oscilloscope à mémoire à deux canaux
- Générateur de fonctions et d'impulsions
- Alimentation triple pour CA et CC
- Alimentation triphasée
- ... et de nombreux autres instruments



Didacticiel et logiciel d'expérimentation Labsoft

- Grand choix de cours
- Théorie complète
- Animations
- Expériences interactives avec mode d'emploi
- Navigation libre
- Documentation des mesures
- Tests de connaissances dans votre langue



Technique du courant continu

Courant, tension et circuits à résistances

Courant, tension, résistance - Apprentissage pratique des bases électrotechniques. Le cours offre une approche transparente des lois fondamentales de l'électrotechnique à l'aide d'expériences, d'animations et de textes faciles à comprendre.



UniTrain
SYSTEM

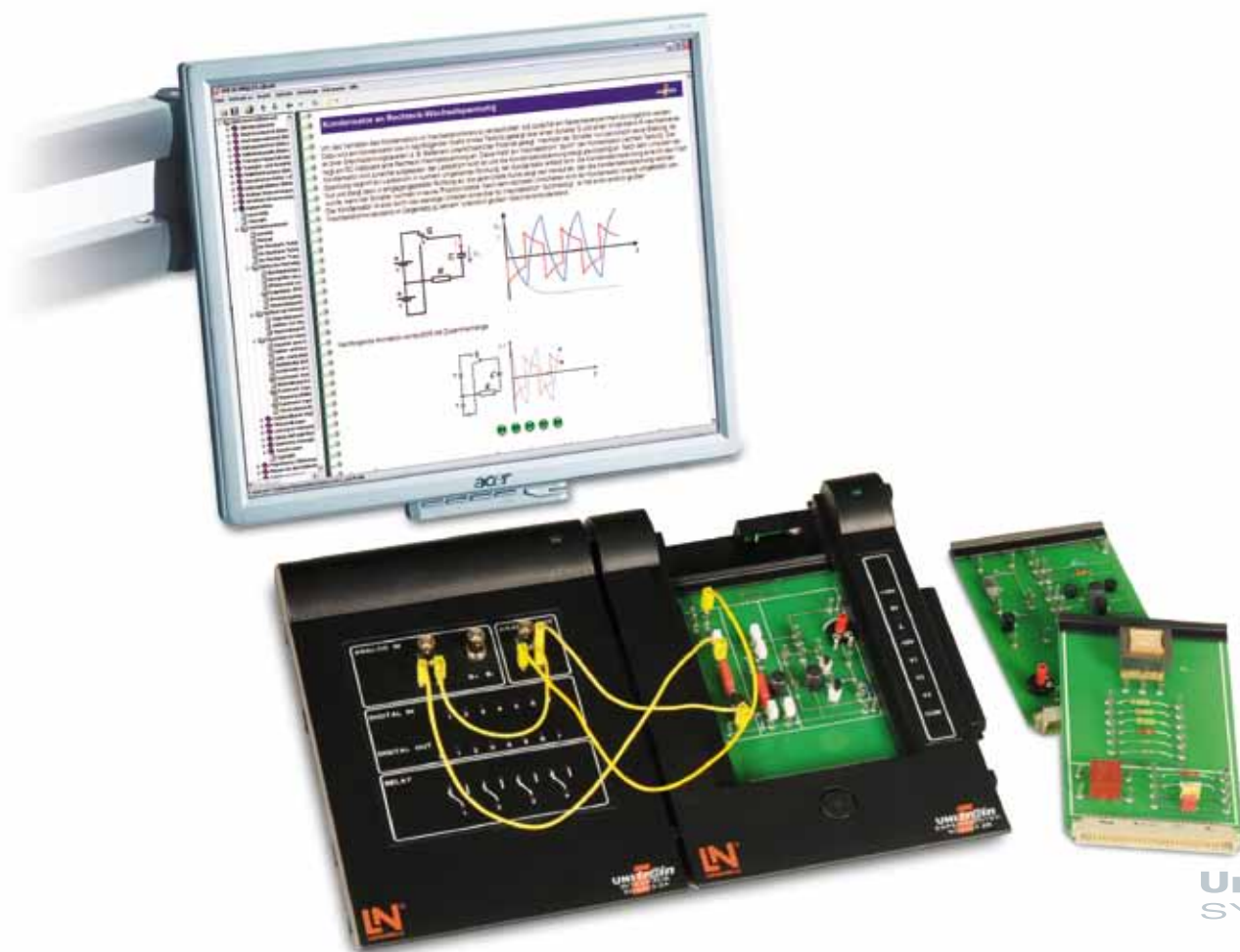
Contenus didactiques

- Initiation aux bases : charge électrique, champ électrique, courant, tension, résistance et puissance
- Manipulation d'appareils de mesure et de sources de tension
- Démonstration par l'expérience des lois d'Ohm et de Kirchhoff
- Mesures sur des circuits en série, des circuits parallèles et des diviseurs de tension
- Relevé des caractéristiques de résistances variables (LDR, CTN, CTP, VDR)
- Bobine et condensateur dans un circuit de courant continu
- Recherche d'erreurs

Technique du courant alternatif

Inductance, capacité, circuit oscillant / transformateur

Comment se comportent les bobines et les condensateurs avec le courant alternatif ? Qu'est-ce qu'un circuit oscillant et comment fonctionne un transformateur ?



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Paramètres de signaux périodiques et sinusoïdaux
- Manipulation de diagrammes vectoriels
- Détermination par l'expérience de la réactance d'une bobine et d'un condensateur
- Puissance active, réactive et apparente
- Réponse fréquentielle de circuits de filtrage élémentaires
- Circuits oscillants électriques : résonance, qualité, bande passante et fréquence critique
- Mesure de la réponse en fréquence de circuits oscillants parallèles et en série
- Mesures de charges, de marches à vide et de courts-circuits
- Réponse en fréquence de transformateurs et de transmetteurs
- Recherche d'erreurs

Technique du courant triphasé

Commutation en étoile et en triangle, alternateur triphasé

Le courant triphasé revêt une importance exceptionnelle dans les techniques de l'énergie électrique et d'entraînement, tant dans la production et le transport de l'énergie que dans l'exploitation de puissantes machines.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Mesures des grandeurs des phases et des conducteurs dans le réseau triphasé
- Détermination par l'expérience des rapports entre tensions de phase et de ligne
- Consommateurs ohmiques et capacitifs dans un circuit en étoile et en triangle
- Déphasage entre tensions de phase et de ligne
- Mesure des courants de compensation dans le conducteur neutre
- Conséquences des interruptions du conducteur neutre
- Mesures de courant et de tension en cas de charges équilibrées et déséquilibrées
- Mesure de puissance sur une charge triphasée

Magnétisme / Électromagnétisme

Champ magnétique, induction, composants

Le magnétisme et l'électromagnétisme sont étroitement liés. De nombreux composants de l'électrotechnique se servent d'effets (électro)magnétiques.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Magnétisme : pôles magnétiques, champ magnétique, lignes de champ et intensité de champ
- Matériaux magnétiques doux et durs, hystérésis
- Étude du champ magnétique d'un conducteur traversé par du courant
- Étude du champ magnétique d'une bobine (bobine sans fer, bobine avec noyau)
- Induction électromagnétique et force de Lorentz
- Montage et fonctionnement d'un transformateur
- Étude d'un transformateur sous différentes charges
- Montage et fonctionnement de composants électromagnétiques :
relais, interrupteurs Reed, interrupteurs Hall
- Étude des circuits d'application

Mesurer avec le multimètre

Mesure de courant, de tension, de résistances et de diodes

Une mesure correcte et un travail sûr – Ce cours entraîne à la manipulation sûre des multimètres habituels à l'aide de nombreux exercices de mesure et animations.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

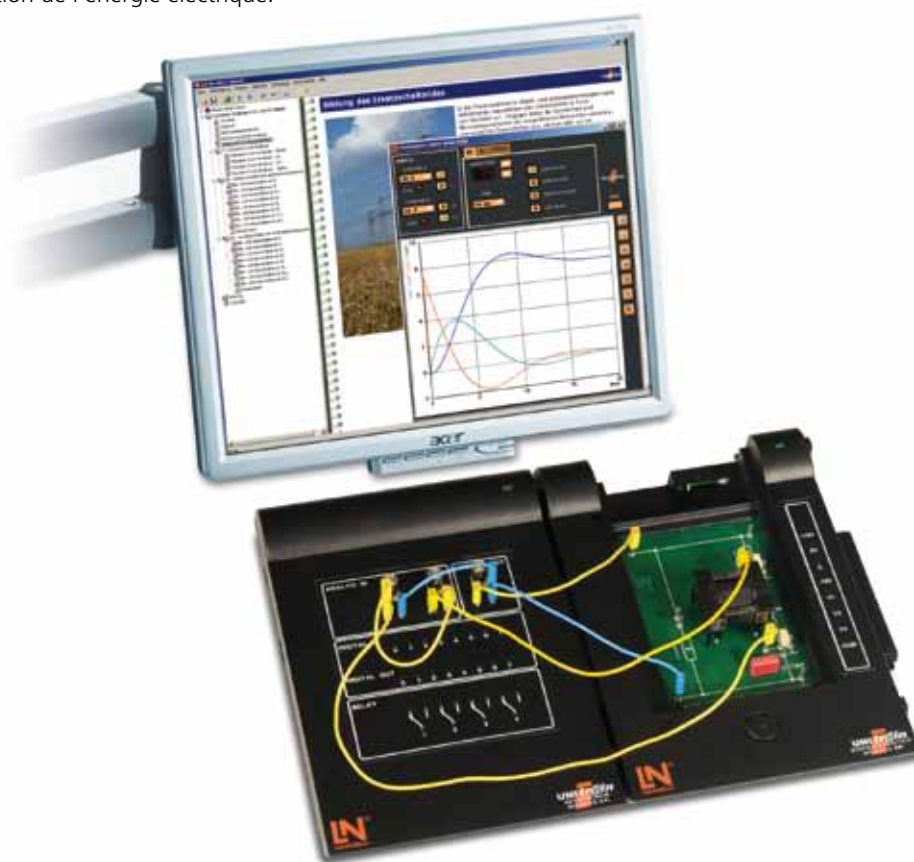
- Éléments de commande du multimètre
- Dangers émanant des mesures réalisées sur des circuits électriques
- Mesure des tensions électriques continues et alternatives avec le multimètre
- Mesure des courants électriques continus et alternatifs avec le multimètre
- Mesures de résistances et de diodes
- Compensation à zéro et mesure de continuité
- Adaptation des calibres
- Sources d'erreurs potentielles pendant les mesures
- Détermination des composants d'un montage inconnu à l'aide des mesures de courant et de tension

Réseaux et modèles de réseaux

Transitoires en réseaux CC et CA

Les réseaux destinés à la distribution de l'énergie électrique présentent une structure de lignes montées en parallèle ou en série. Dans les réseaux de basse, moyenne et haute tension existants, on relève deux processus distincts : les stationnaires (charges constantes) et les transitoires (rétablissement). Les transitoires apparaissent en cas de court-circuit ou dans d'autres cas d'erreurs.

Dans certaines conditions, les opérations de commutation peuvent également provoquer des transitoires. Les expériences permettent de reproduire avec une petite tension inoffensive les processus typiques qui nécessitent une attention particulière dans la production et la distribution de l'énergie électrique.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Signification des processus de commutation dans les réseaux d'énergie
- Conséquences (dangers) des processus de commutation dans les réseaux d'énergie électrique
- Étude par l'expérience de l'allure du courant et de la tension lors de l'enclenchement d'une tension continue
- Influence de différentes charges (R, L, C) sur la courbe des signaux
- Étude par l'expérience de l'allure du courant et de la tension lors de l'enclenchement d'une tension alternative
- Influence du moment d'enclenchement et de désenclenchement
- Mesures de la courbe de signaux à différents moments de désenclenchement
- Détermination du point de commutation idéal
- Analyse des processus d'enclenchement et de désenclenchement sur des charges complexes (R, L, C) à différents moments de commutation

Transformateur de courant et de tension

Transformateur de courant pour dispositifs de protection

Les transformateurs de courant et de tension sont utilisés couramment dans de nombreuses applications des techniques d'énergie électrique. Proches de la pratique, les expériences permettent d'étudier le comportement de la transmission, le facteur de surintensité, les erreurs de valeur et d'angle, comme par ex. pour des charges différentes. Il est également possible de traiter les exigences posées en mode de service normal, en cas de court-circuit et de comportement défaillant.



Exemple d'expérience « Transformateur de courant EUB 1 »

Contenus didactiques

- Courant secondaire du transformateur de courant comme fonction du courant primaire
- Influence de la charge sur l'erreur de courant
- Vérification du facteur de surintensité nominal
- Couplage du transformateur de courant dans le réseau à trois fils
- Couplage du transformateur de courant dans le réseau à quatre fils
- Détermination du courant homopolaire

Transformateur de tension pour dispositifs de protection

La protection d'installations et de certaines parties des installations ne dépend pas seulement des dispositifs de protection sélectifs, mais aussi de la saisie et de la mesure correctes des plus petits courants et tensions de défaut. Différents circuits en étoile requièrent différents circuits de mesure, pour permettre une saisie et une localisation correctes des types d'erreur potentiels.



Exemple d'expérience « Transformateur de tension EUB 2 »

Contenus didactiques

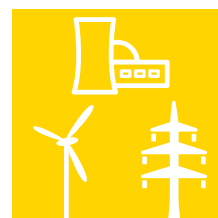
- Caractéristiques du transformateur de tension
- Calcul des erreurs de tension et des précisions de classe
- Influence de la charge sur le rapport de transformation
- Transformateur de tension triphasé dans un réseau sain
- Transformateur de tension triphasé dans un réseau avec mise à la terre côté primaire



Source : Woodward SEG

Production d'énergie électrique

Machines synchrones (UniTrain-I)	32
Réglage de l'alternateur et synchronisation	33
Protection de l'alternateur	35



Production d'énergie électrique

Avec alternateurs synchrones triphasés

Outre les essais de base sur un alternateur synchrone de courant triphasé, les essais réalisés dans ce domaine comprennent des circuits à synchronisation manuelle et automatique ainsi que des expériences sur la régulation automatique du facteur de puissance (réglage $\cos \phi$) et de la puissance. Ce module permet donc de simuler l'exploitation d'une centrale électrique autonome ou en interconnexion. Par ailleurs, les alternateurs nécessitent une protection efficace contre les erreurs internes et externes. L'emploi de nombreux dispositifs de protection est donc indispensable.



Alternateurs synchrones triphasés

L'énergie électrique est produite essentiellement au moyen d'alternateurs triphasés. Ceci est vrai non seulement pour les centrales électriques, mais aussi pour les groupes électrogènes et les génératrices éoliennes.

Ces alternateurs doivent être protégés efficacement contre les défauts internes et externes.



Source : Woodward SEG

Banc d'essai de machines à servocommande

Le banc d'essai de machines à servocommande est un composant essentiel des équipements pour les techniques de l'énergie – un système de contrôle complet pour l'étude de machines électriques et d'alternateurs. Il est constitué d'une unité de commande numérique, d'un servomoteur et du logiciel ActiveServo. Le système associe une technique de pointe à une commande ultrasimple. Outre l'accélération et le freinage, les modèles de machines de travail permettent une émulation très réaliste. Il est possible d'étudier en laboratoire des machines, des alternateurs et des entraînements dans les conditions telles qu'on les rencontre habituellement dans l'industrie.



Systèmes d'apprentissage

Nos systèmes d'apprentissage couvrent les thèmes suivants :

- Alternateurs synchrones triphasés UniTrain-I
- Système à plaques d'expérimentation
 - « Réglage de l'alternateur et synchronisation »
- Système à plaques d'expérimentation
 - « Protection de l'alternateur »



Machines synchrones

Machine à bagues collectrices, machine synchrone, machine à reluctance

Les moteurs à reluctance sont les moteurs de demain. Aujourd'hui, les machines à courant triphasé à bagues collectrices et synchrones sont déjà fortement répandues.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Description de la technologie et de ses applications
- Élaboration des bases physiques nécessaires à la compréhension
- Démarrage de machines à résistances de démarrage et fréquences variables
- Commande de régimes moteur
- Réalisation de différentes expériences
 - Connexion du moteur à bagues collectrices
 - Influence d'enroulements de rotor ouverts ou alimentés
 - Effet de différentes tensions d'excitation

Réglage de l'alternateur et synchronisation

Circuits de synchronisation manuelle

L'énergie électrique est produite essentiellement au moyen d'alternateurs triphasés. Ceci est vrai tant pour les centrales électriques que pour les groupes électrogènes et les génératrices éoliennes. En plus des essais fondamentaux sur l'alternateur synchrone triphasé, différentes expériences sont réalisées sur le thème des circuits de synchronisation manuelle.



Exemple d'expérience « Circuits de synchronisation manuelle EUG 1 »

Contenus didactiques

- Commutation sombre
- Commutation claire
- Commutation circulaire
- Production de la puissance active
- Production inductive de la puissance réactive
- Production capacitive de la puissance réactive

Réglage de l'alternateur et synchronisation

Circuits de synchronisation automatique, régulation automatique de la puissance et du facteur de puissance

Outre les essais portant sur les circuits de synchronisation automatique, des expériences sont réalisées sur la régulation automatique de la puissance et du facteur de puissance ($\cos\phi$). Il est possible ainsi de reproduire une centrale électrique autonome ou en interconnexion.



Exemple d'expérience « Circuits de synchronisation automatique EUG 2 »

Contenus didactiques

Circuits de synchronisation automatique

- Mise en service et paramétrage du régulateur automatique
- Synchronisation en mode d'essai
- Synchronisation avec le secteur réel
- Comportement du régulateur automatique en cas d'erreur de programmation

Régulation automatique du facteur de puissance

- Paramétrage du régulateur automatique $\cos\phi$
- Synchronisation de l'alternateur avec le secteur
- Régulation du $\cos\phi$ de l'alternateur synchrone
- Régulation du $\cos\phi$ du réseau

Régulation automatique de la puissance

- Paramétrage du régulateur de puissance automatique
- Synchronisation du générateur avec le secteur
- Comportement du régulateur de puissance en cas normal et en cas de perturbation
- Sensibilité et sens d'action du régulateur de puissance

Protection de l'alternateur

Relais multifonction

Une protection efficace des alternateurs contre les défauts internes et externes sous-entend la présence de nombreux dispositifs de protection. Protection de réserve pour l'alternateur, le relais de surintensité peut également être utilisé pour la saisie de défauts externes, comme par ex. un court-circuit ou une surcharge. La protection du stator contre la mise à la terre saisit les défauts de terre. L'étude des protections contre les retours de puissance et les charges déséquilibrées, les surtensions et les sous-tensions, complètent la série d'essais « EGP » sur la protection de l'alternateur.



Exemple d'expérience « Protection de l'alternateur EGP 1 »

Contenus didactiques

Relais de surintensité

- Comportement de réponse et de retombée en cas de défauts unipolaires et tripolaires
- Détermination des temps d'établissement

Protection contre la charge déséquilibrée

- Comportement en cas de charge déséquilibrée
- Détermination du rapport de retombée et des temps de déclenchement
- Détermination de la courbe caractéristique du relais TA = f (charge déséquilibrée)

Protection contre les retours de puissance

- Synchronisation de l'alternateur avec le réseau
- Détection et mise hors circuit de l'alternateur en cas de flux inverse de puissance

Protection contre les surtensions et les sous-tensions

- Réactions en cas de défaut de phase
- Saisie des temps d'excitation et de déclenchement

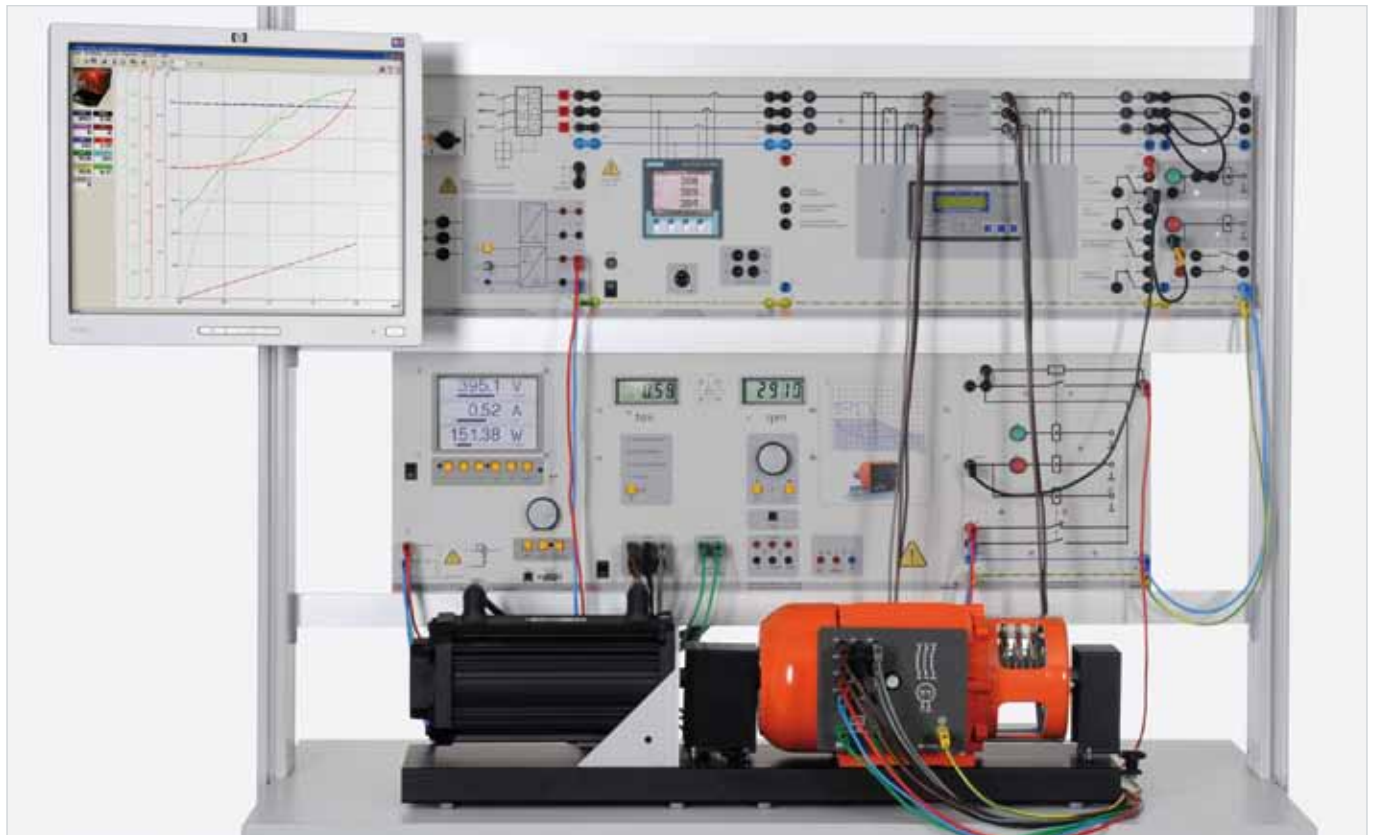
Protection du stator contre la mise à la terre

- Saisie des tensions système en cas de service normal ou de mise à la terre du stator
- Mesure des temps de déclenchement
- Calcul du courant de terre

Protection de l'alternateur

Protection différentielle de l'alternateur

Le dispositif de protection différentielle de l'alternateur, qui saisit les défauts internes telles que court-circuit, court-circuit entre spires, court-circuit entre bobinages ou double mise à la terre, sert de protection principale.



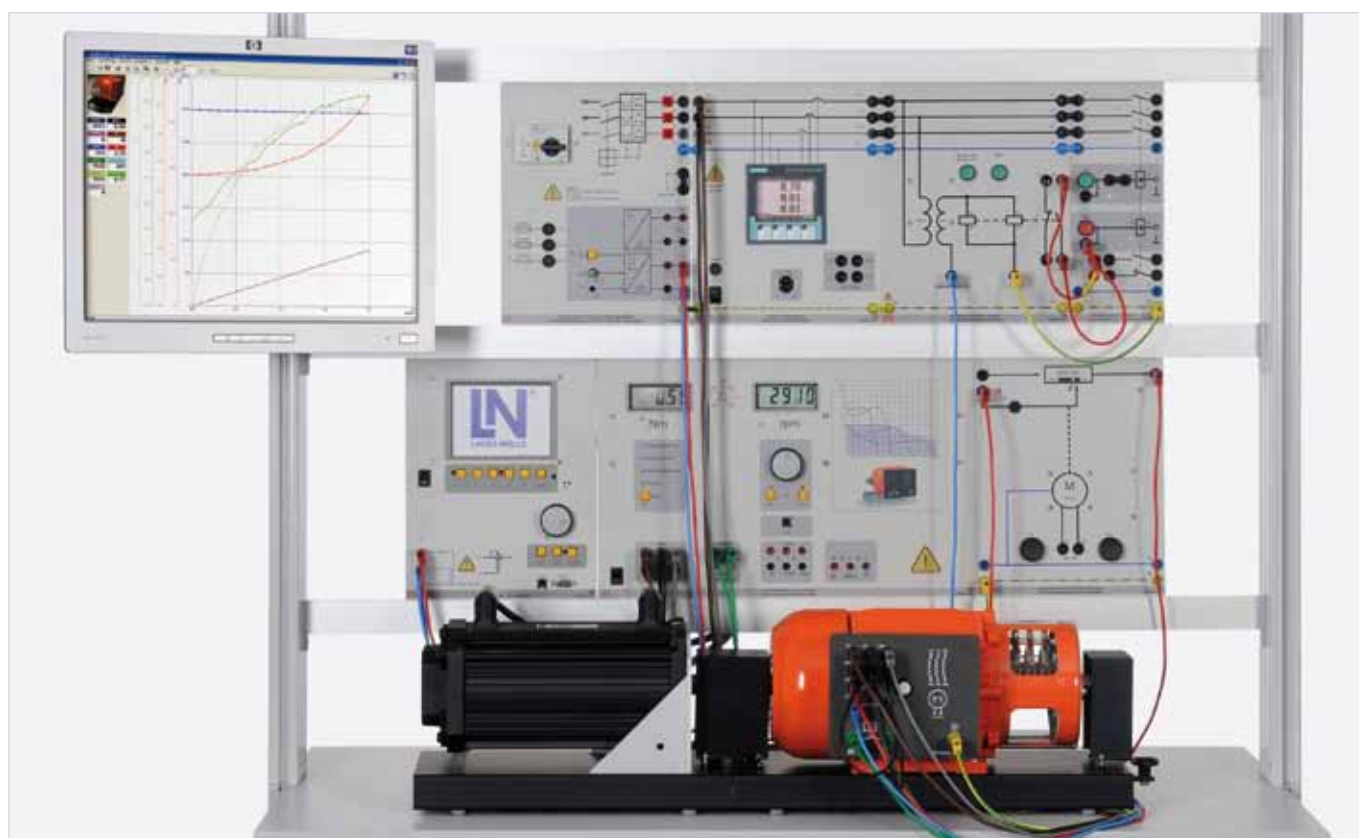
Exemple d'expérience « Protection différentielle de l'alternateur EGP 2 »

Contenus didactiques

- Calcul des seuils de réponse de la protection
- Détection des défauts à l'intérieur de la plage de protection
- Contrôle de déclenchement et de désexcitation à l'intérieur et à l'extérieur de la plage de protection
- Mise hors circuit et désexcitation de l'alternateur
- Mesure des courants de réponse de la protection pour les défauts équilibrés et déséquilibrés
- Comparaison des valeurs de mesure avec les valeurs de réglage

Protection du rotor contre la mise à la terre

La protection du rotor contre la mise à la terre permet de déterminer les défauts de terre dans le courant d'excitation des machines synchrones.



Exemple d'expérience « Protection de l'alternateur - Protection du rotor contre la mise à la terre EGP 3 »

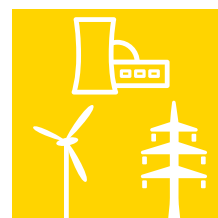
Contenus didactiques

- Mise en service de l'alternateur synchrone
- Étude en mode de fonctionnement normal et en cas de mise à la terre du rotor
- Mesure du courant de terre du rotor
- Relais de mise à la terre du rotor en mode de terre :
 - Connexion et contrôle du relais de terre du rotor
 - Imposition de différents courts-circuits à la terre du rotor
 - Contrôle du message d'erreur et de la mise hors circuit



Production d'énergie avec des énergies renouvelables

Photovoltaïque (UniTrain-I)	42
Photovoltaïque Advanced	44
Éoliennes	48
Petites centrales éoliennes	52
Technique des piles à combustible (UniTrain-I)	54
Technique des piles à combustible Advanced	56



Production d'énergie avec des énergies renouvelables

Inépuisable, durable, naturel – L'avenir est vert

Se tourner vers les énergies renouvelables en se détournant du charbon, du pétrole et de l'énergie nucléaire est une variante qui gagne en importance. De nos jours, l'évolution de la technique permet d'utiliser l'énergie solaire, la force éolienne, l'hydrogène et la biomasse comme des porteurs énergétiques écologiques. Pour soutenir cette tendance, on recherche des techniciens qualifiés dans le monde entier.

De nos jours, les technologies évoluent à une vitesse extraordinaire. Les exigences en matière de formation deviennent donc de plus en plus accrues. Lucas-Nülle propose des systèmes d'apprentissage parfaitement adaptés au monde de la formation professionnelle, toujours plus complexe.



Des perspectives ensoleillées avec le photovoltaïque

- Abu Dhabi investit deux milliards de dollars US dans la fabrication, à Masdar, de modules photovoltaïques à couches fines.
- Avec une puissance nominale de 25 MW, la plus grande centrale solaire des États-Unis voit le jour dans la Silicon Valley.
- L'Allemagne fournit déjà 5 GW de puissance photovoltaïque, ce qui correspond à la puissance de 5 tranches de centrales modernes. En 2020, il y en aura 40 GW.



Un avenir propre grâce à l'énergie éolienne

- Prévisions pour l'Allemagne : en 2030, 25 % de l'électricité seront produits par la force éolienne.
- Une éolienne de 3 MW permet d'économiser tous les ans 13 000 barils de pétrole soit l'équivalent de 10 000 tonnes de CO₂.



Pile à combustible - Accumulateur d'énergie à long terme

- Application pour des véhicules sans émissions
- Diffusion comme alimentation électrique de secours
- Application comme centrale de cogénération



Photovoltaïque

Des perspectives ensoleillées avec le cours de photovoltaïque

En raison de l'augmentation rapide des coûts de l'énergie et de l'évolution permanente de la prise de conscience écologique, la photovoltaïque constitue une variante très intéressante à la génération conventionnelle de l'énergie. Le cours de photovoltaïque vous permet non seulement d'apprendre et d'étudier les bases des cellules solaires, mais aussi de simuler un système photovoltaïque en mode direct ou avec accumulation.

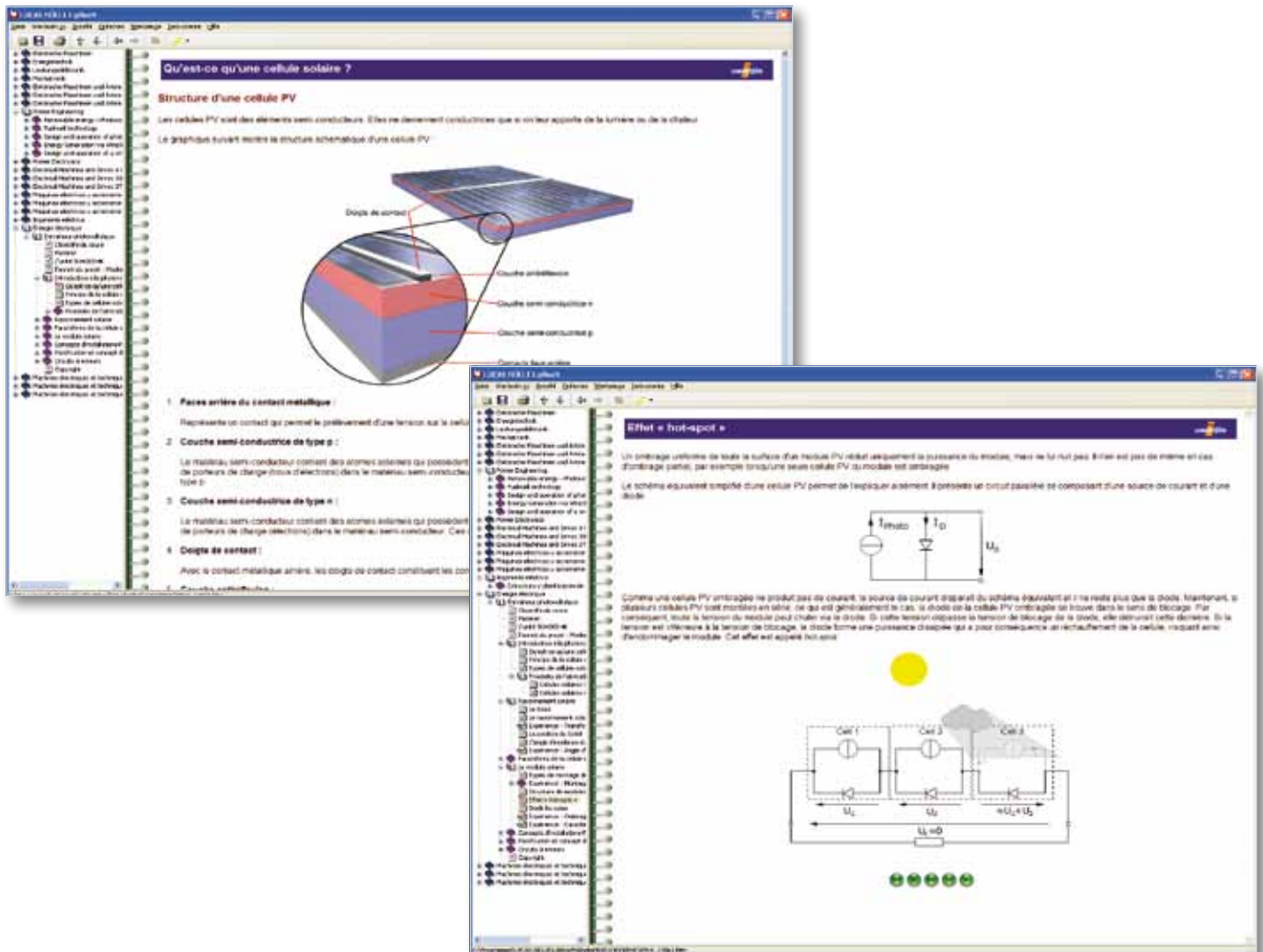


UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Principe de fonctionnement et mode opératoire de la cellule solaire
- Relevé de caractéristiques d'un module solaire
- Rapports entre courant/tension d'un module solaire et température, intensité de rayonnement et angle d'incidence
- Circuits en série, en parallèle et autres types de circuits des cellules solaires
- Fabrication de cellules solaires
- Différents types de cellules solaires
- Structure d'un accumulateur solaire
- Différents types d'installations solaires
- Structure d'un réseau isolé avec accumulateur solaire

L'expérience est accompagnée d'un cours multimédia



Vos avantages

- Transmission des connaissances et du savoir-faire par le cours multimédia UniTrain-I
- Équipement complet avec tous les composants requis
- Évaluation des données de mesure assistée par ordinateur
- Le système fonctionne en 12 V
- Le système prend en charge la simulation d'erreurs

Photovoltaïque Advanced



Travaux de projets avec des composants industriels

Le système d'apprentissage propose une simulation très réaliste de la course du soleil. Des émulateurs photovoltaïques permettent de réaliser les expériences avec réalisme, même en l'absence de soleil, directement dans votre laboratoire.

La transmission des connaissances, le savoir-faire ainsi que l'évaluation assistée par ordinateur des données de mesure sont rendus possibles grâce au cours multimédia Photovoltaïque Advanced.



Exemple d'expérience « Photovoltaïque Advanced EPH 2 »

Contenus didactiques

Étude des modules solaires

- Orientation optimale des modules solaires
- Relevé de caractéristiques des modules solaires
- Étude du comportement en cas d'ombrage
- Étude du mode opératoire de diodes by-pass
- Types de circuits de modules solaires

Structure d'installations PV autonomes

- Mise en place d'installations PV
- Structure et test d'une installation PV autonome en mode d'exploitation direct

- Structure et test d'une installation PV autonome avec batterie
- Structure et test d'une installation PV autonome pour la production d'une tension alternative de 230 V

Structure d'installations PV en exploitation parallèle avec le réseau

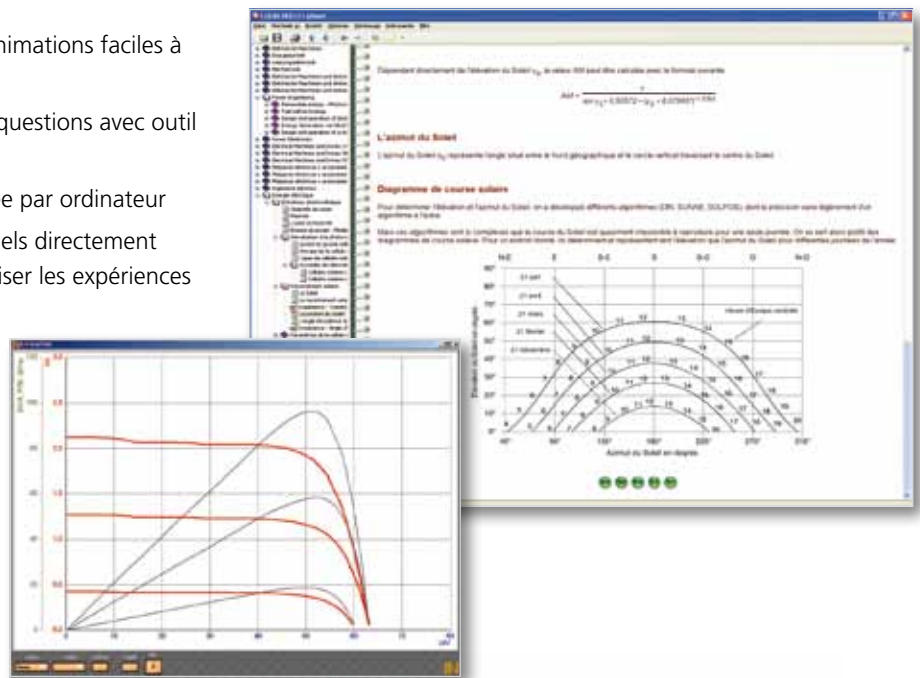
- Mise en place, structure et test d'une installation PV avec alimentation réseau
- Mesure de l'énergie produite par une installation PV
- Détermination du rendement de l'onduleur de réseau
- Étude du comportement d'une installation PV en cas de panne de secteur

Photovoltaïque Advanced

Du soleil au laboratoire

« Interactive Lab Assistant »

- Instructions multimédia pas à pas
- Illustration des bases physiques par des animations faciles à comprendre
- Test des progrès d'apprentissage par des questions avec outil d'évaluation des réponses
- Évaluation des données de mesure assistée par ordinateur
- Démarrage d'instruments de mesure virtuels directement depuis les instructions permettant de réaliser les expériences



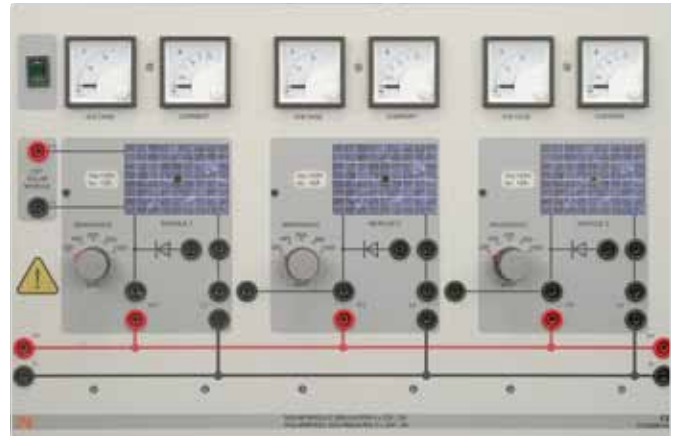
Module solaire avec émulateur d'altitude

- Réglage de l'angle du soleil en fonction de la position (degrés de latitude), de la date et de l'heure
- Réglage d'inclinaison du module solaire
- Module solaire polycristallin 10 W
- Lampe halogène 500 W avec variateur
- Émulation réaliste de la course du soleil



Émulateur solaire

- Essais réalisables même en l'absence de soleil, grâce à trois émulateurs solaires indépendants
- Réglage individuel de l'intensité lumineuse pour chaque émulateur
- Diode by-pass fournie
- Puissance 120 VA



Composants industriels

- Régulateur de charge solaire
- Onduleur autonome
- Onduleur de réseau
- Mise en service et étude aisées des composants industriels



Vos avantages

- Transmission des connaissances et du savoir-faire par le cours multimédia « Interactive Lab Assistant »
- Emploi de composants industriels
- Réalisation flexible des expériences avec un module solaire ou une reproduction réalistes
- Évaluation des données de mesure assistée par ordinateur
- Intégration dans les systèmes liés aux techniques de l'énergie électrique

Éoliennes



Alternateurs asynchrones à double alimentation (DFIG)

L'équipement permet d'étudier les éoliennes modernes fonctionnant avec des « alternateurs asynchrones à double alimentation ». Le vent est simulé de façon très réaliste avec le banc d'essai de machines à servocommande et le logiciel « WindSim ». La connexion au PC pendant les expériences garantit une manipulation et une visualisation confortables. Le cours correspondant « Interactive Lab Assistant » transmet les connaissances théoriques et permet la réalisation des expériences ainsi que l'évaluation des données de mesure.



Exemple d'expérience « Éolienne EWG 1 »

Contenus didactiques

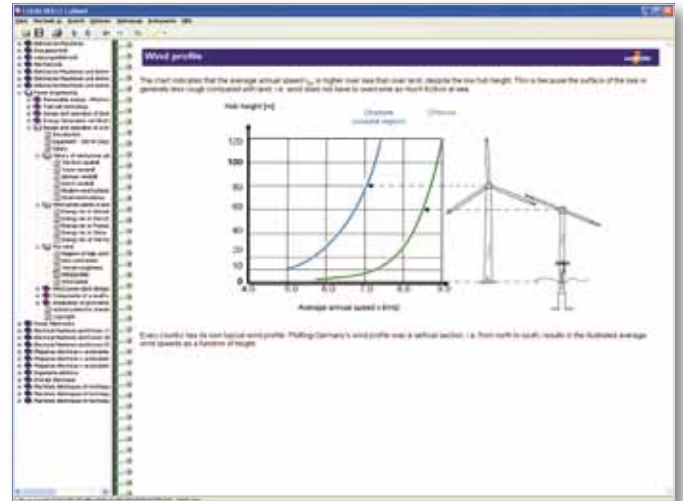
- Structure et fonctionnement d'éoliennes modernes
- Bases physiques « Du vent à l'arbre mécanique »
- Différents concepts d'éoliennes
- Structure et mise en service d'un alternateur de vent asynchrone à double alimentation
- Exploitation de l'alternateur avec différentes forces de vent et régulation des tension et fréquence de sortie
- Détermination des points de travail idéaux avec différentes conditions de vent
- Étude du comportement en cas d'erreurs de réseau « Fault ride through »

Éoliennes

Bon vent pour vos laboratoires !

« Interactive Lab Assistant »

- Instructions multimédia pas à pas
- Illustration des bases physiques par des animations faciles à comprendre
- Test des progrès d'apprentissage par des questions avec outil d'évaluation des réponses
- Évaluation des données de mesure assistée par ordinateur
- Démarrage d'instruments de mesure virtuels directement depuis les instructions permettant de réaliser les expériences

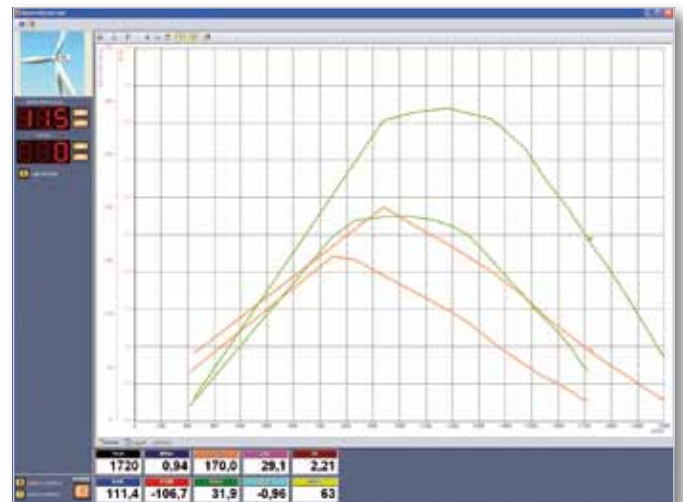


Simulateur de vent

Le vent et la géométrie des pales permettent d'entraîner l'alternateur sur des éoliennes réelles.

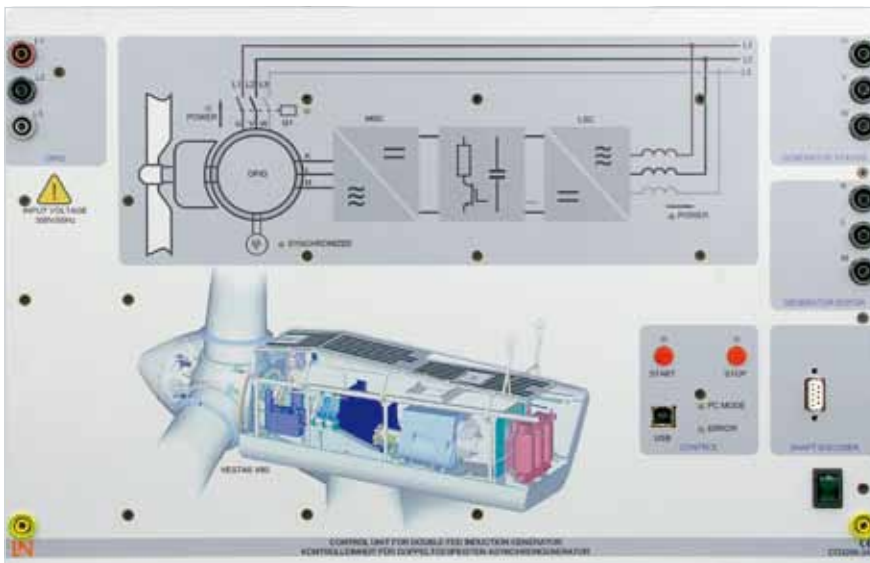
Au laboratoire, le banc d'essai de machines à servocommande et le logiciel « WindSim » prennent en charge le rôle du vent. Il est possible ainsi de simuler les mêmes conditions que sur les vraies éoliennes.

- Émulation réaliste du vent et de la géométrie des pales
- Réglage du régime et du couple de rotation en fonction du vent et de l'angle de pas
- Réglage indépendant du pas et de la force du vent
- Entrée de profils de vent
- Relevé de valeurs mécaniques et électriques



Alternateur asynchrone à double alimentation avec unité de commande

- Unité de commande avec deux onduleurs
- Activation de l'alternateur en mode sous-synchrone et sur-synchrone
- Interrupteur de puissance intégré pour relier l'alternateur au réseau
- Régulation automatique des puissances active et apparente, de la fréquence et de la tension
- Synchronisation manuelle et automatique
- Mesure et représentation de toutes les grandeurs système
- Réalisation d'expériences « Fault-Ride-Through »



Vos avantages

- Transmission des connaissances et du savoir-faire par le cours multimédia « Interactive Lab Assistant »
- Le banc d'essai de machines à servocommande permet d'émuler fidèlement, jusque dans les plus petits détails, la force du vent et la structure mécanique de l'éolienne
- L'unité de commande à microcontrôleur pour l'alternateur asynchrone à double alimentation garantit une commande et une visualisation confortables durant les expériences
- Technologie ultramoderne avec « Fault ride through »
- Intégration dans les systèmes liés aux techniques de l'énergie électrique

Petites centrales éoliennes

Du courant pour l'alimentation décentralisée

De nos jours, les petites centrales éoliennes d'une puissance maximale d'environ 5 kW sont utilisées pour des alimentations électriques décentralisées. Les centrales produisent une tension continue. L'énergie est emmagasinée dans des accumulateurs via un régulateur de charge. Un onduleur génère des tensions alternatives pour l'exploitation de consommateurs sur secteur. Le banc d'essai de machines à servocommande et le logiciel WindSim permettent d'émuler fidèlement, jusque dans les plus petits détails, la force du vent et la structure mécanique de l'éolienne.



Exemple d'expérience « Petite centrale éolienne EWG 2 »

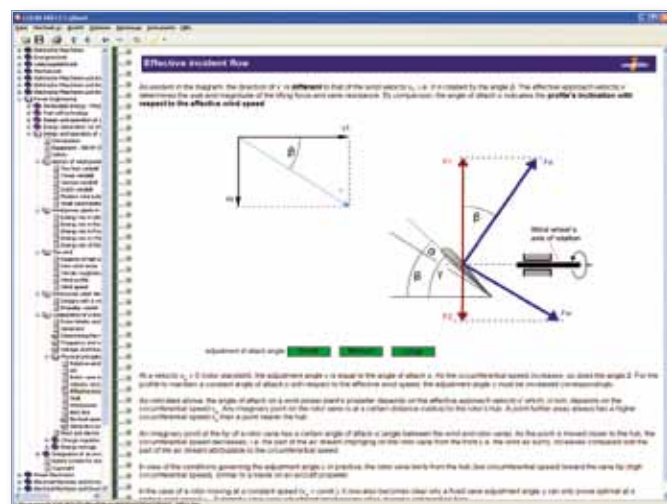
Contenus didactiques

- Structure et fonctionnement de petites centrales éoliennes modernes
- Bases physiques « Du vent à l'arbre mécanique »
- Différents concepts d'éoliennes
- Structure et mise en service de l'alternateur d'une petite centrale éolienne
- Fonctionnement avec différentes forces de vent avec batterie
- Accumulateur d'énergie
- Optimisation de la centrale
- Structure d'une centrale autonome pour la production d'une tension alternative de 230 V
- Système hybride pour l'alimentation autonome avec la force du vent et la photovoltaïque

Des propriétés convaincantes

« Interactive Lab Assistant »

- Instructions multimédia pas à pas
- Illustration des bases physiques par des animations faciles à comprendre
- Test des progrès d'apprentissage par des questions avec outil d'évaluation des réponses
- Évaluation des données de mesure assistée par ordinateur
- Démarrage d'instruments de mesure virtuels directement depuis les instructions permettant de réaliser les expériences



Alternateur synchrone

- Le banc d'essai de machines à servocommande permet d'émuler fidèlement, jusque dans les plus petits détails, la force du vent et la structure mécanique de l'éolienne
- Le comportement de l'alternateur dans le laboratoire correspond à celui d'une installation réelle
- La petite centrale éolienne est appropriée au fonctionnement à l'extérieur



Vos avantages

- Transmission des connaissances et du savoir-faire par le cours multimédia « Interactive Lab Assistant »
- Le banc d'essai de machines à servocommande permet d'émuler fidèlement, jusque dans les plus petits détails, la force du vent et la structure mécanique de l'éolienne
- Le comportement de l'alternateur dans le laboratoire correspond à celui d'une installation réelle
- La petite centrale éolienne, incluant un mât de montage, est appropriée au fonctionnement à l'extérieur et peut être intégrée au système didactique

Technique des piles à combustible

Structure et fonctionnement des piles à combustible

Aujourd'hui déjà, les énergies renouvelables sont une réponse à la pénurie énergétique prévue pour le XXI^e siècle. Basée sur l'emploi de l'hydrogène, la pile à combustible est l'un des éléments de cette réponse. Elle est utilisée comme technologie complémentaire dans les systèmes énergétiques de demain pour fournir de l'énergie propre et renouvelable à partir de l'hydrogène.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Principe de fonctionnement et mode opératoire de la pile à combustible
- Relevé de caractéristiques d'une pile à combustible
- Processus électrochimiques de l'électrolyse (1^{ère} et 2^{ème} lois de Faraday)
- Rendement Faraday et rendement énergétique d'une pile à combustible
- Montage en série et en parallèle de piles à combustible
- Rendement des piles à combustible
- Principe de fonctionnement et mode opératoire de l'électrolyseur
- Relevé de la caractéristique UI de l'électrolyseur
- Rendements Faraday et énergétique d'un électrolyseur

L'expérience est accompagnée d'un cours multimédia

Possible applications

Though its operating principle was discovered more than 150 years ago, it was only in the 1930s that the fuel cell was first employed in a technical application for space flight. The first experimental power plants arising in response to the energy crisis of the 1970s and 80s did not prove long-lived. A number of additional applications have emerged since, and can be divided into three roughly classes:

Stationary applications

Stationary applications operate at a fixed location and cannot be transported. The advantage of this is supply of hydrogen via pipelines instead of cumbersome storage facilities on site. A typical example is a combined heat and power plant, which not only supplies electrical energy but also uses the thermal energy as a by-product to supply buildings with heat, for instance.

Mobile applications

These applications can move from one location to another, but are not compact enough to be carried around the portable equipment. Fuel cells of this class serve primarily to power electric drive motors. In this case, the hydrogen must be drawn in mobile storage units which add to the degree of complexity. Trucks, buses, submarines and trains can be powered by such applications. As an example, the Mercedes-Benz 6-cell passenger car is dealt with in some detail by this course.

Portable applications

Portable applications are small and light enough to be carried by people. This also gives for the storage units needed to continuously supply the fuel cells with hydrogen. Applications here include standby power generators and power supply sources for mobile homes and cottages. Extremely compact fuel cells can also substitute batteries to power laptops and even cell phones.

What are atoms?

Light a precise answer to this question for many years. However the only thing clear so far is the minuscule size of an atom: it is made up of countless atoms and molecules. An atom can be imagined as a sphere with a diameter of about nanometres (1 nm).

Extremely even with the most powerful of microscopes. In the course of time however, scientists have been able to probe and characteristics of atoms. We will concentrate here on the atomic model developed by physicist Erwin Schrödinger.

Atomic components

A **proton** is a positively charged particle which can be represented as a sphere of a certain mass. Although this mass is exceedingly small by human standards (1.67 x 10⁻²⁷ kg), it decisively influences an atom's total weight. Protons are situated inside the atom's nucleus.

A **neutron** is also a spherical particle of the same size, but it is neutral, i.e. it carries no charge. Neutrons have no charge to other atoms, a neutron could be withdrawn or removed from an atom without influencing its charge. Though the atom's mass would increase or decrease by one unit as a result.

An **electron** is the exact opposite of a proton: its mass is more than 1800 times lower than that of a proton is neutron. Furthermore, electrons are not situated inside the nucleus, but orbit around it. Despite its negligible mass, the electron possesses a charge which is equal to that of a proton, but negative.

These components are always organized in the same pattern

The orbits are so fast that, when observed from outside, the atom appears to be enclosed in a shell. Accordingly, one also speaks of electron shells.

Vos avantages

- Transmission des connaissances et du savoir-faire par le cours multimédia « Interactive Lab Assistant »
- Appareil compact avec PEM Double pile à combustible et PEM Électrolyseur avec réservoir à gaz
- Maniement sans danger de l'hydrogène
- Alimentation électrique 2 V/2,5 A de l'électrolyseur déjà intégrée
- Diversité de charges (lampes, ventilateur)
- Charge variable pour le relevé de caractéristiques

Technique des piles à combustible « Advanced »

Alimentation autonome avec pile à combustible

La génération de l'énergie électrique à l'aide de piles à combustible devient un thème technique toujours plus important, en raison de ses nombreuses possibilités d'application dans la technique électrique et automobile. Le système d'expérimentation, tout en garantissant une manipulation sans danger de l'hydrogène et de la pile à combustible, permet de nombreuses études intéressantes et convient tant aux démonstrations qu'aux travaux pratiques. Une théorie animée, des instructions pour les expériences et des champs permettant d'inscrire les résultats sont réalisés avec le cours multimédia « Interactive Lab Assistant ».



Exemple d'expérience « Bloc de piles à combustible 50 VA avec consommateurs EHY1 »

Contenus didactiques

- Structure et fonctionnement d'une pile à combustible
- Structure et fonctionnement d'un électrolyseur
- Structure et fonctionnement d'un accumulateur hybride métallique
- Thermodynamique de la pile à combustible
- Caractéristique et courbe de puissance de la pile à combustible
- Rendement
- Composants requis pour une alimentation électrique autonome
- Électronique de puissance et transformation de tension

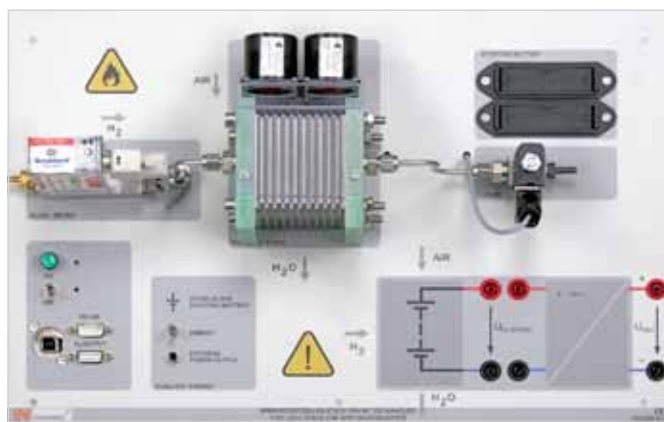
« Interactive Lab Assistant »

- Instructions multimédia pas à pas
- Illustration des bases physiques par des animations faciles à comprendre
- Test des progrès d'apprentissage par des questions avec outil d'évaluation des réponses
- Évaluation des données de mesure assistée par ordinateur
- Démarrage d'instruments de mesure virtuels directement depuis les instructions permettant de réaliser les expériences



Bloc de piles à combustible

- Bloc 50 VA
- Débitmètre pour l'alimentation d'hydrogène
- Ventilateur à régime variable pour l'aération de la pile à combustible
- Mesure de toutes les grandeurs significatives



Bloc de piles à combustible 50 VA

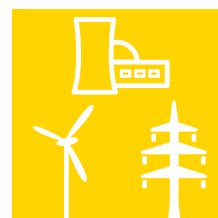
Vos avantages

- Transmission des connaissances et du savoir-faire par le cours multimédia « Interactive Lab Assistant »
- Accès facile au thème de la pile à combustible
- Expérimentation sans danger avec de l'hydrogène
- Bloc de piles à combustible 50 VA
- Raccord pour réservoir de pression à hydrogène
- Puissant électrolyseur
- Diversité des charges
- Charge variable pour le relevé de caractéristiques



Transformateurs électriques

Transformateurs mono- et triphasés (UniTrain-I)	62
Étude des transformateurs mono- et triphasés	63
Protection des transformateurs	64



Transformateurs électriques

Transformer et protéger

Les techniques de l'énergie électrique utilisent des transformateurs pour relier entre eux différents niveaux de tensions du réseau électrique. Dans les stations de transformation, l'électricité du réseau de distribution régional est transformée d'une moyenne tension de 10 à 36 kV en une basse tension de 400 V ou 230 V utilisée dans le réseau local. Le cœur d'une telle station est le transformateur, qui nécessite des dispositifs de protection. Des mesures et des simulations d'erreurs réalisées pendant le cours sur le système d'apprentissage permettent une approche aisée de ces installations complexes.



Transformateurs électriques

Les transformateurs sont des machines électriques qui servent à transformer des courants mono- ou triphasés en tensions supérieures ou inférieures. Les transformateurs triphasés revêtent un rôle important, notamment lors du transport de l'énergie électrique.

Les techniques de l'énergie électrique utilisent des transformateurs pour relier entre eux différents niveaux de tensions du réseau électrique.



Source : Siemens

Protection des transformateurs

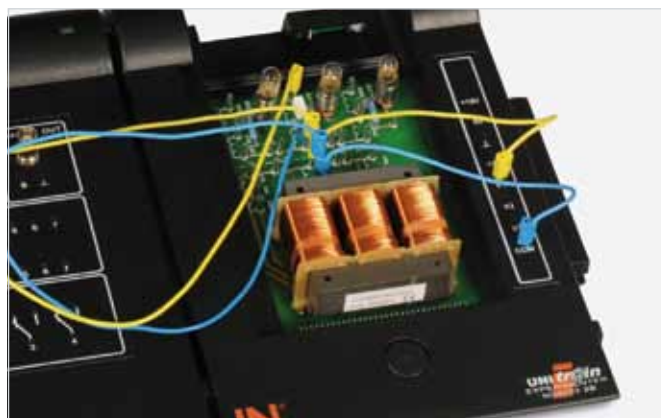
Combinée à un relais de surintensité, la protection différentielle pour transformateurs (à partir d'environ 1 MVA) peut être étudiée au moyen de mesures sur différents circuits de bobines (étoile, triangle), dans divers couplages et en liaison avec le traitement du point neutre (libre, direct ou mis à la terre via la bobine de terre) en mode de fonctionnement normal ou dans le contexte de défauts divers. Les critères de déclenchement des courants différentiels sont déterminés grâce à la sensibilité de la courbe caractéristique.



Systèmes d'apprentissage

Nos systèmes d'apprentissage couvrent les thèmes suivants :

- UniTrain-I « Transformateurs mono- et triphasés »
- Système à plaques d'expérimentation
« Étude des transformateurs mono- et triphasés »
- Système à plaques d'expérimentation
« Protection des transformateurs »



Transformateurs mono- et triphasés

Formes de construction, types de couplage, comportement en charge

Les transformateurs sont des machines électriques qui servent à transformer des courants alternatifs ou triphasés en tensions supérieures ou inférieures. Les transformateurs triphasés revêtent un rôle important notamment lors du transport de l'énergie électrique.



UniTrain
SYSTEM

Contenus didactiques

- Principe du transformateur et schéma équivalent
- Étude du comportement en charge de transformateurs monophasés en mode à un et quatre quadrants
- Relevé du courant et de la tension avec et sans charge
- Étude du rapport de transformation
- Étude des charges sur différents groupes de circuits
- Étude des charges déséquilibrées sur différents groupes de circuits
- Détermination de la tension de court-circuit

Étude des transformateurs mono- et triphasés

Transformateurs

Les techniques de l'énergie électrique utilisent des transformateurs pour relier entre eux différents niveaux de tensions du réseau électrique. Les expériences portent sur le schéma équivalent des transformateurs et des mesures permettent de déterminer les grandeurs caractéristiques.



Exemple d'expérience « Étude des transformateurs EUT »

Contenus didactiques

- Transformateur polyphasé en marche à vide et en court-circuit
- Transformateur polyphasé avec charge ohmique, inductive et capacitive
- Fonctionnement parallèle de transformateurs multiphase
- Distribution électrique pour différents couplages
- Détermination de l'impédance homopolaire
- Étude du rapport de transformation

Protection des transformateurs

Protection différentielle des transformateurs

La protection différentielle pour transformateurs électriques (à partir d'environ 1 MVA) est étudiée au moyen de mesures prises sur différents circuits de bobines (étoile, triangle), dans divers couplages et en liaison avec le traitement du point neutre (libre, direct ou mis à la terre via la bobine de terre) en mode de fonctionnement normal ou dans le contexte de défauts divers.



Exemple d'expérience « Protection différentielle du transformateur ETP 1 »

Contenus didactiques

- Saisie et désactivation de défauts internes au transformateur
- Saisie de pointes de courant d'enclenchement (RUSH) sans désactivation
- Déclenchement intempestif dû à un mauvais dimensionnement du transformateur
- Sélection de la caractéristique de déclenchement compte tenu des courants différentiels

Relais de surintensité

Le relais de surintensité complète les mesures de sécurité de la protection différentielle du transformateur. Il protège le transformateur des surcharges et des courts-circuits ayant lieu en dehors de l'étendue de protection.



Exemple d'expérience « Relais de surintensité ETP 2 »

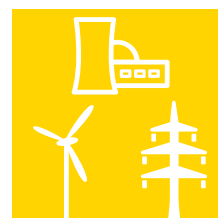
Contenus didactiques

- Paramétrage des relais en fonction du transfert du transformateur d'intensité
- Saisie des valeurs seuil pour les défauts équilibrés et déséquilibrés
- Déclenchement intempestif du dispositif de protection dû au comportement de commutation du transformateur
- Comportement de commutation du transformateur en vue d'une protection



Transport de l'énergie électrique

Étude des lignes de courant triphasé	70
Montage de lignes en parallèle et en série	71
Ligne compensée	72
Systèmes de transport avec alternateur synchrone	73
Protection des lignes	74



Transport de l'énergie électrique

Lignes de transport et mesures de protection des lignes

Les réseaux à haute tension fonctionnent en règle générale avec des tensions comprises entre 110 kV et 380 kV. Les grandes villes et les grandes entreprises industrielles sont alimentées en 110 kV et pour le transport de l'énergie électrique les lignes sont alimentées en 380 kV. La simulation de ligne est conçue de telle manière que les tensions modèles se situent entre 110 et 380 V. Il est possible de sélectionner différents niveaux de tension et différentes longueurs de ligne par le biais des masques correspondants. Les expériences réalisées avec le système d'apprentissage peuvent être effectuées en marche à vide, en mode normal, en situation de court-circuit et en cas de mise à la terre, avec et sans compensation. On peut en outre monter des réseaux complexes au sein desquels les simulations de ligne peuvent être couplées en parallèle ou en série. L'alimentation en tension peut s'effectuer via un réseau fixe ou au moyen d'un alternateur synchrone.



Lignes à haute tension

Vos avantages :

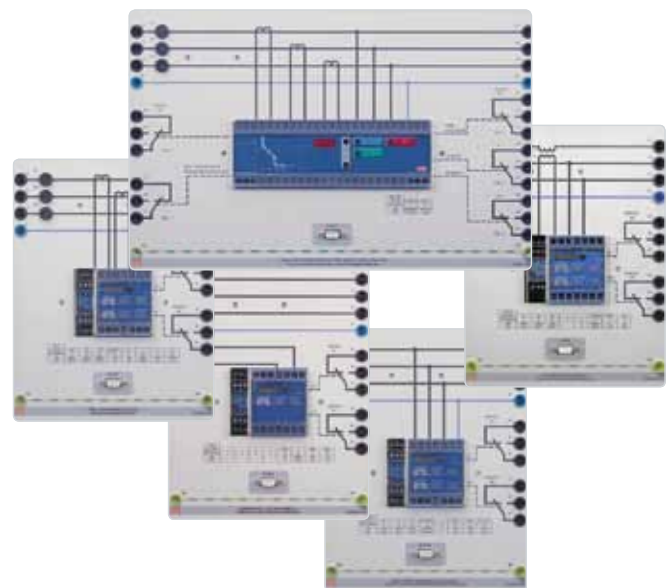
- Pour votre sécurité, l'étude des lignes de transport de 380 kV et de leur couplage s'effectue en basse tension, sans pour autant perdre les caractéristiques d'une véritable ligne à haute tension
- Reproduction réaliste d'une ligne de transport de 380 kV de 300 km et 150 km
- Commutation innovante de la longueur de ligne au moyen de masques
- Compensation de terre par une bobine de Petersen
- Reproduction de défauts équilibrés et déséquilibrés



Une technique de protection innovante

Dans la pratique, les réseaux de moyenne et haute tension sont équipés de dispositifs de protection connectés par le biais de transformateurs de courant et de tension.

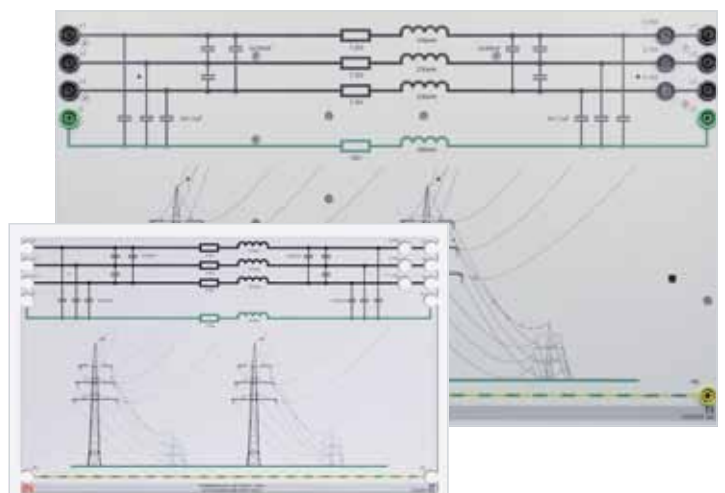
- Emploi de relais industriels compacts dans le cadre d'une technique numérique
- Emploi de relais industriels provenant de fabricants renommés dans le monde entier
- Surveillance des dispositifs de protection via système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- Un dispositif de contrôle optionnel permet de tester chaque relais individuellement



Systèmes d'apprentissage

Nos systèmes d'apprentissage couvrent les thèmes suivants :

- Système à plaques d'expérimentation « Lignes de transport »
- Système à plaques d'expérimentation « Protection des lignes »



Lignes de transport

Étude des lignes de courant triphasé

Pour votre sécurité, l'étude des lignes de transport de 380 kV et de leur couplage s'effectue en basse tension, sans pour autant perdre les caractéristiques d'une véritable ligne à haute tension. Dès que le masque est appliqué, cette reproduction réaliste d'une ligne de transport de 380 kV commute automatiquement entre 300 et 150 km.



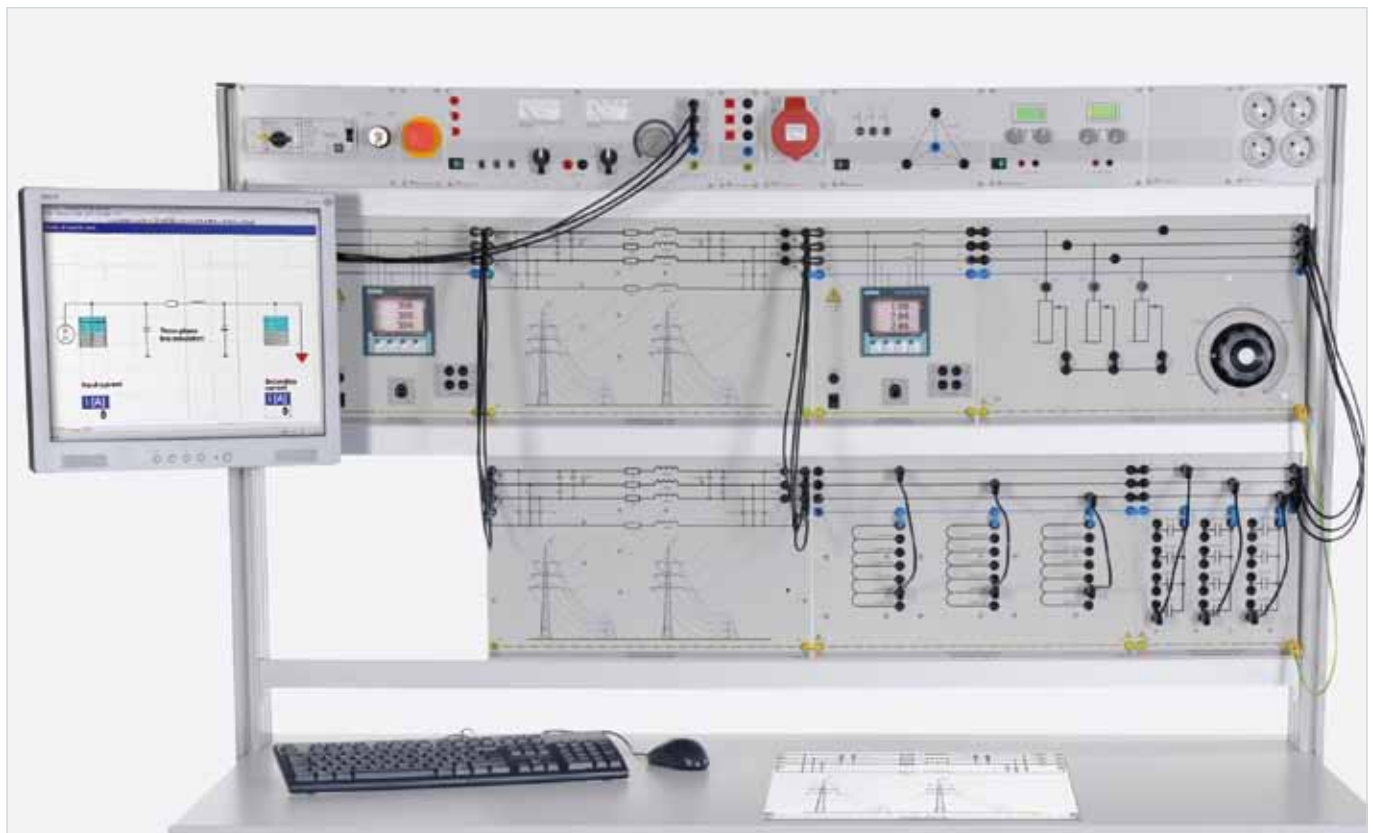
Exemple d'expérience « Étude des lignes de courant triphasé EUL 1 »

Contenus didactiques

- Augmentation de tension sur des lignes en marche à vide
- Chute de tension en fonction de la longueur de ligne
- Chute de tension en fonction du $\cos\phi$
- Puissance dissipée capacitive et inductive de la ligne en fonction de U et I
- Déphasage sur la ligne

Montage de lignes en parallèle et en série

L'emploi de plusieurs reproductions de lignes permet de monter des réseaux complexes au sein desquels les simulations de ligne peuvent être couplées en parallèle ou en série.



Exemple d'expérience « Étude des lignes parallèles EUL 2 »

Contenus didactiques

- Distribution de la puissance et du courant sur des lignes parallèles de même longueur
- Distribution de la puissance et du courant sur des lignes parallèles de longueurs différentes
- Distribution de la puissance et du courant sur des lignes en série de même longueur
- Distribution de la puissance et du courant sur des lignes en série de longueurs différentes
- Distribution de la charge, flux de puissance
- Distribution de la tension
- Évaluation quantitative et qualitative des contextes d'exploitation

Lignes de transport

Ligne compensée

Dans les réseaux de distribution d'énergie électrique, la compensation de mise à la terre sert à compenser les défauts dus à la mise à la terre d'un conducteur extérieur. Limitée aux systèmes triphasés, elle utilise une bobine qui, dans ce contexte, est appelée du nom de son inventeur, Petersen, ou également appelée bobine de prise de terre. Celle-ci compense le courant électrique au point de mise à la terre et empêche ainsi l'apparition de défauts sur l'installation électrique.



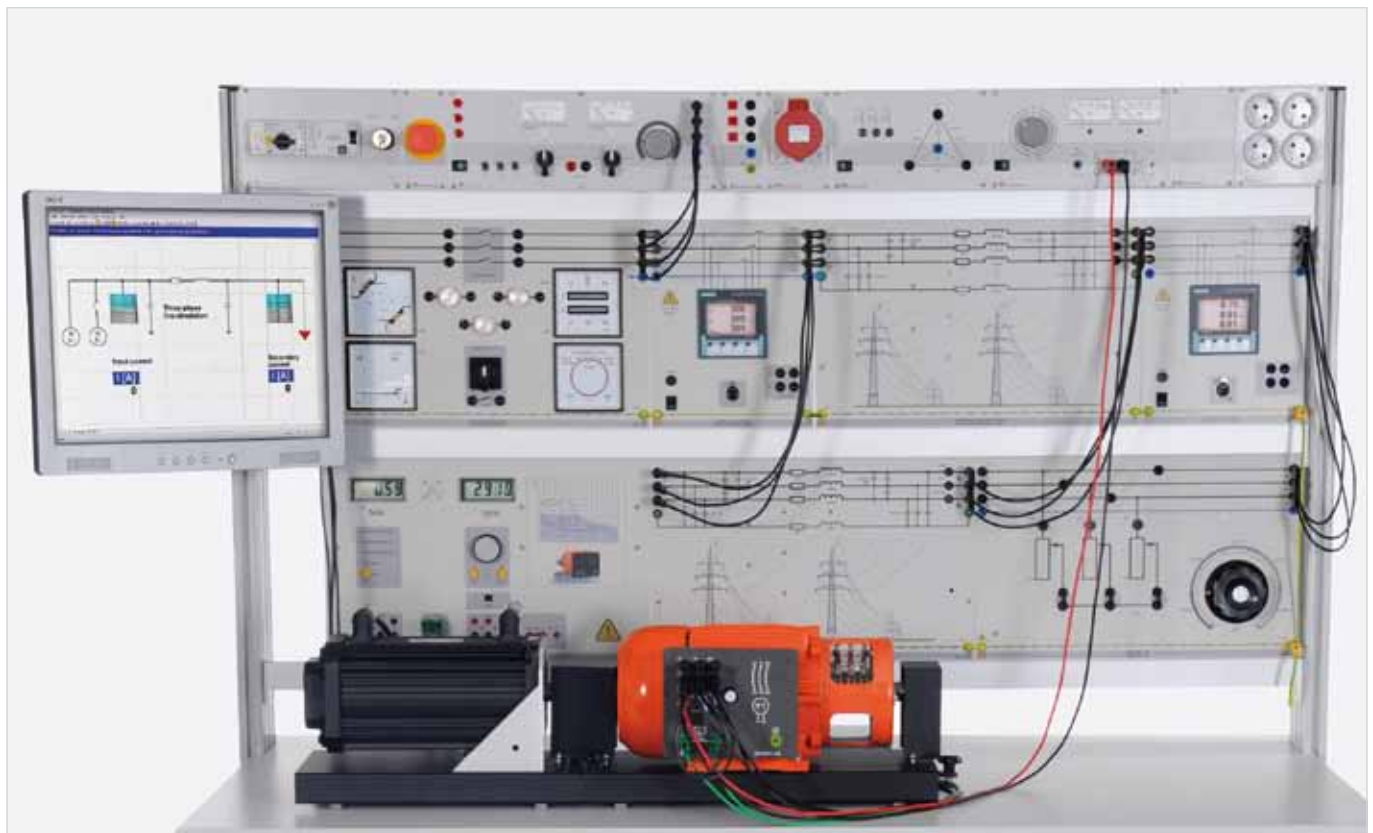
Exemple d'expérience « Étude des lignes compensées EUL 3 »

Contenus didactiques

- Mise à la terre sur une ligne à point en étoile isolé
- Comportement en cas de mise à la terre
- Compensation de mise à la terre

Systèmes de transport avec alternateur synchrone

Sur un circuit avec lignes de transport en parallèle, les reproductions de lignes triphasées permettent de mesurer les grandeurs caractéristiques du transport de l'énergie avec une alimentation provenant d'un réseau déterminé ou d'un alternateur et une évaluation quantitative et qualitative des contextes d'exploitation.



Exemple d'expérience « Étude des systèmes de transport avec un alternateur synchrone EUL 4 »

Contenus didactiques

- Distribution de la puissance et du courant d'un réseau alimenté par un alternateur
- Fonctionnement parallèle d'un alternateur et d'une ligne sur le secteur
- Commande de l'alimentation de la puissance active
- Commande de l'alimentation de la puissance réactive

Protection des lignes

Relais de surintensité pour les lignes

La série d'expériences porte, entre autres, sur le relais de surintensité avec une courbe de temps indépendante du courant, utilisé généralement sur des lignes simples (ligne de dérivation).

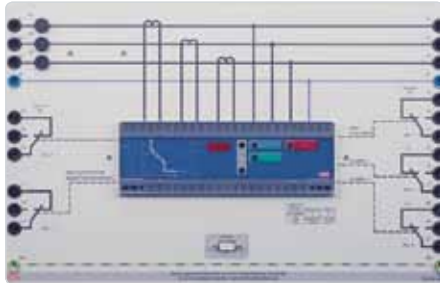


Exemple d'expérience « Relais de surintensité pour lignes ELP 1 »

Contenus didactiques

- Mesure et paramétrage du relais de surintensité
- Détermination du rapport de déplacement en cas de court-circuit à un, deux ou trois pôles
- Détermination du plus petit temps de déclenchement du relais
- Contrôle du déclenchement d'un sectionneur de puissance en cas de défauts

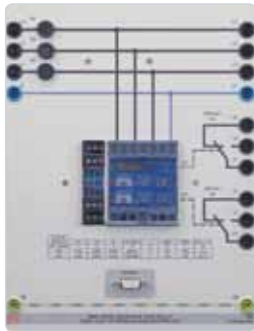
Équipements complémentaires pour la protection des lignes :



ELP 2 Relais de surintensité directionnel

Contenus didactiques

- Mesure et paramétrage du relais de surintensité
- Détermination du rapport de déplacement en cas de court-circuit à un, deux ou trois pôles
- Protection dans les directions avant et arrière



ELP 3 Protection contre les surtensions et les sous-tensions

Contenus didactiques

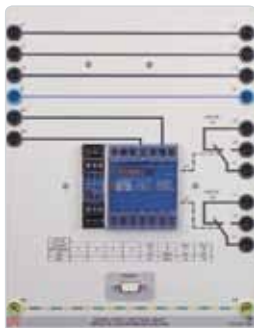
- Détermination des valeurs de commutation et de retombée
- Détermination du rapport de déplacement
- Détermination du temps propre (temps de base)
- Réglage et test de différentes caractéristiques



ELP 4 Relais directionnel de puissance

Contenus didactiques

- Détermination des valeurs de commutation et de retombée
- Emploi de la protection de retour
- Interaction avec le relais de surintensité



ELP 5 Relais de mise à la terre

Contenus didactiques

- Mesure de tension dans un réseau triphasé sain
- Mesure de tension dans un réseau triphasé relié à la terre
- Détermination des valeurs de commutation et de retombée
- Détermination du temps propre (temps de base)
- Réaction du relais à des ondes mobiles de terre et à d'autres mises à la terre stationnaires

Protection des lignes

Protection de lignes parallèles

L'analyse et l'étude expérimentale du relais directionnel de surintensité utilisé essentiellement pour protéger les lignes parallèles portent non seulement sur les défauts simulés, mais aussi sur la sélectivité et la rapidité.

Les relais sont reliés entre eux par un système de bus et peuvent être contrôlés et évalués de manière centralisée avec le logiciel SCADA Power-LAB.



Exemple d'expérience « Protection de lignes parallèles ELP 6 »

Contenus didactiques

- Protection de lignes parallèles avec différents relais de surintensité
- Fonctionnement parallèle sans défauts
- Détermination des valeurs de commutation minimales des relais de surintensité indépendants
- Détermination de la direction pour les relais de surintensité directionnels
- Détermination des valeurs de commutation minimales des relais de surintensité directionnels
- Echelonnement temporel du relais de surintensité
- Contrôle de la sélectivité par la combinaison des mesures de surintensité et de direction
- Mise en réseau des mesures de protection

Protection rapide à distance

En ce qui concerne le relais de protection rapide à distance employé pour les réseaux plus complexes, il est possible d'analyser différentes sortes de défauts. Cette protection peut désactiver des défauts en fonction de la distance. Outre l'élaboration du plan d'échelonnage, on procède au réglage et au contrôle de la sélectivité conformément à la pratique.



Exemple d'expérience « Protection rapide à distance ELP 7 »

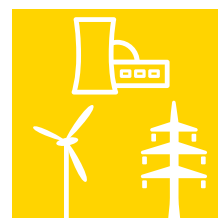
Contenus didactiques

- Élaboration du plan d'échelonnage
- Paramétrage du relais
- Contrôle du comportement de déclenchement pour différents défauts à l'intérieur et à l'extérieur de l'étendue de protection
- Mise en service du relais de distance avec un transformateur de courant et de tension
- Contrôle du comportement de déclenchement pour différents défauts à l'intérieur et à l'extérieur de l'étendue de protection :
 - Relais de distance
 - Relais de surintensité
 - Protection de tension
 - Protection de fréquence
- Remise en service automatique



Distribution de l'énergie électrique

Système triphasé de jeux de barres (omnibus) doubles	82
Relais de surintensité pour jeux de barres (omnibus)	83



Distribution de l'énergie électrique

Jeux de barres (omnibus) dans les installations de commutation à haute tension

Dans les grandes installations de commutation, la distribution de l'énergie électrique s'effectue presque exclusivement par le biais de systèmes de jeux de barres (omnibus) doubles.

Ces installations contiennent des travées de couplage assurant la connexion entre les deux barres (omnibus), les champs d'alimentation et de sortie ainsi que les champs de mesure. Des interrupteurs de puissance sont utilisés dans les champs d'alimentation et de sortie, les travées de couplage et un sectionneur de puissance par raccord de barres (omnibus). Pour des raisons de sécurité, il est absolument nécessaire de se conformer strictement à une logique de commutation. Le modèle de barres (omnibus) double intègre toutes les fonctions présentes dans la pratique. Des appareils de mesure des courants et tensions permettent une analyse immédiate des opérations de commutation.



Systèmes de jeux de barres (omnibus) doubles

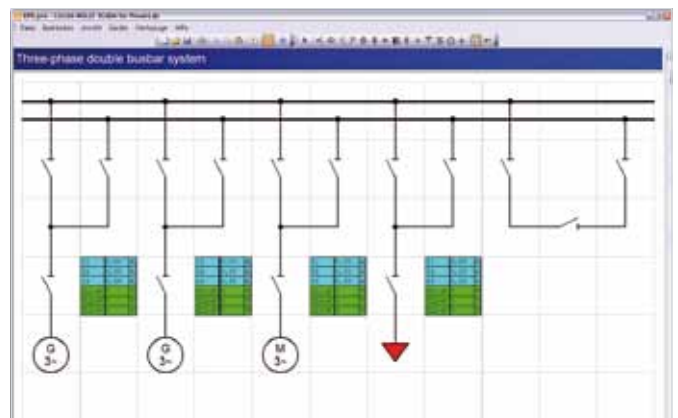
Les modules compacts « Champ d'alimentation et de sortie » et « Travée de couplage » offrent les avantages suivants :

- Agencement flexible des champs
- Commande et observation depuis le PC
- Possibilité de mise en réseau grâce à l'interface RS485 intégrée
- Commande manuelle
- Protection contre les erreurs de manipulation grâce à un microcontrôleur intégré
- Saisie de toutes les grandeurs caractéristiques comme le courant, la tension et les états de commutation



SCADA

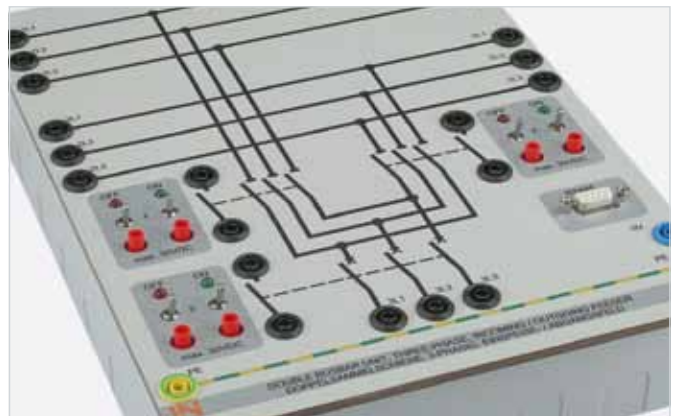
Le système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permet de surveiller et de contrôler les appareils. Tous les appareils des techniques de l'énergie électrique Lucas-Nülle peuvent être disposés symboliquement à l'écran et reliés entre eux. Les valeurs de mesure et les états sont également affichés. Les paramètres et signaux importants sont contrôlés avec le logiciel. Les valeurs de mesure et les états peuvent être représentés dans le temps et évalués. Les changements de barres (omnibus) peuvent être commandés automatiquement par le PC.



Systèmes d'apprentissage

Nos systèmes d'apprentissage couvrent les thèmes suivants :

- Système à plaques d'expérimentation
« Système triphasé de jeux de barres (omnibus) doubles »
- Système à plaques d'expérimentation
« Relais de surintensité pour jeux de barres (omnibus) »

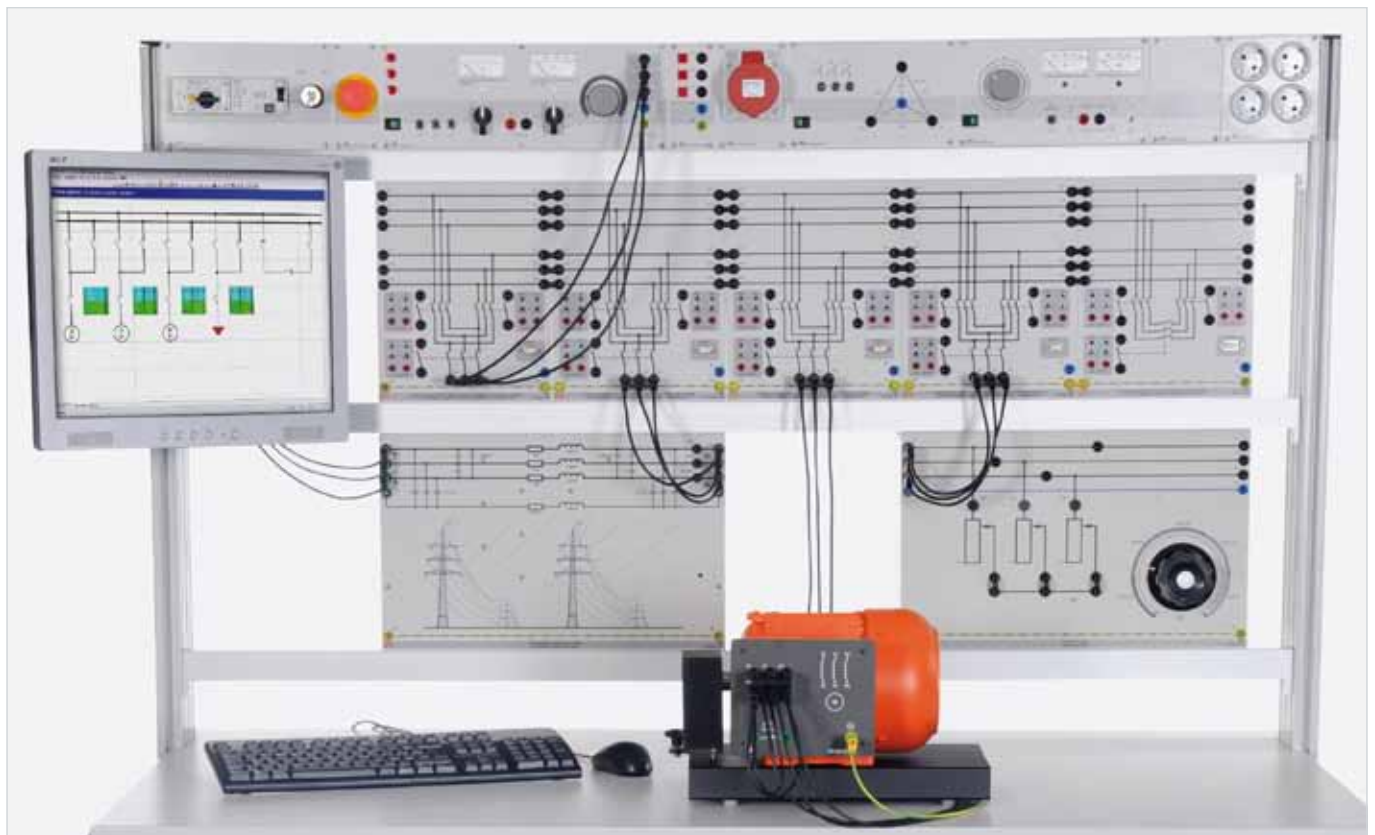


Système triphasé de jeux de barres (omnibus) doubles

Distribution et commande centralisées

Les jeux de barres (omnibus) servent de distributeurs centralisés d'énergie électrique, car elles reçoivent toutes les lignes entrantes et sortantes. Elles sont constituées de champs d'alimentation, de sortie, de transformation et de travées de couplage.

L'équipement Lucas-Nülle regroupe ces fonctions dans des champs de commutation, qui contiennent des disjoncteurs de puissance, des sectionneurs et l'enregistrement des valeurs de mesure.



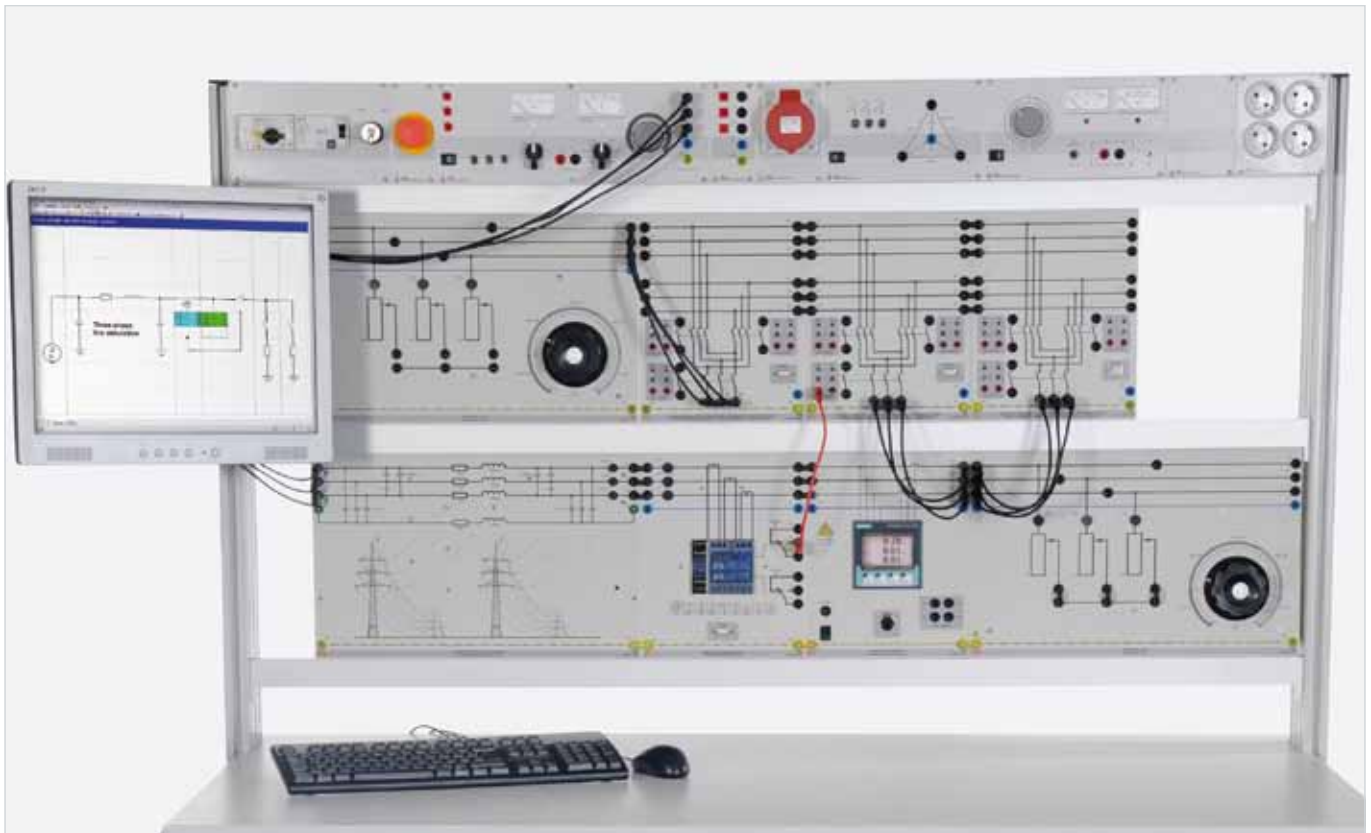
Exemple d'expérience « Système triphasé de jeux des barres (omnibus) doubles EPD »

Contenus didactiques

- Circuits de base d'un système tripolaire de jeux des barres (omnibus) doubles
- Système triphasé de jeux des barres (omnibus) doubles avec charge
- Changement de barre (omnibus) sans interruption de la dérivation
- Élaboration des algorithmes de commutation pour différentes actions de commutation
- Couplage des barre (omnibus)

Relais de surintensité pour jeux de barres (omnibus)

La protection différentielle de la barre (omnibus) permet d'additionner le courant d'entrée et de sortie via un transformateur de courant. Les critères de déclenchement des courants différentiels sont déterminés par le biais de la sensibilité de la courbe caractéristique.



Exemple d'expérience « Relais de surintensité pour jeux de barres (omnibus) EDP »

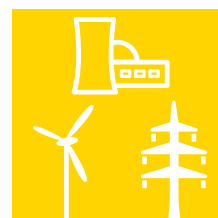
Contenus didactiques

- Saisie des courants en mode normal
- Saisie des courants en cas de court-circuit à un, deux ou trois pôles
- Erreurs hors de l'étendue de protection



Gestion de l'énergie électrique

Consommateurs complexes, mesure de consommation et surveillance des charges maximales	88
Consommateurs dynamiques	89
Compensation manuelle et automatique de la puissance réactive	90
Protection des consommateurs électriques	91



Gestion de l'énergie électrique

Réseaux et consommateurs intelligents

Les exigences économiques et écologiques imposent un usage rationnel de l'énergie. Les essais sur la compensation manuelle et automatique de la puissance réactive, de même que les expériences sur la réduction des pointes de charge par des mesures réalisées avec un compteur de courant actif et un compteur à maximum montrent la manière dont la charge du réseau peut être réduite et répartie de manière uniforme sur toute la journée. L'analyse du réseau et des consommateurs connectés est une condition indispensable à un emploi efficace de la technique de mesure. Les différentes expériences permettent d'étudier en détail les charges statiques, dynamiques, équilibrées et déséquilibrées. Par ailleurs, la protection des consommateurs électriques est un sujet essentiel à traiter durant la formation.



Smart Metering

Tous les équipements relatifs aux techniques de l'énergie électrique comprennent des instruments de mesure intelligents disposant de différentes interfaces de communication (par ex. LAN, RS485, USB) et éléments de commande. Ainsi est-il également possible d'observer et de contrôler les consommateurs de façon intelligente. Une gestion automatique de la charge peut être réalisée avec les options suivantes :

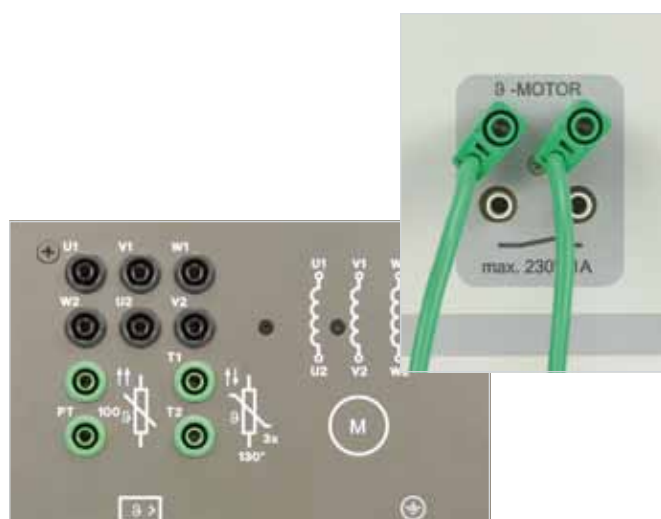
- Surveillance de la limite de puissance imposée
- Déblocage et blocage de consommateurs conformément à une liste de priorité
- Mise en circuit de consommateurs pendant des minima de consommation



Source : Siemens

Protection des consommateurs électriques

Il est nécessaire d'empêcher que courts-circuits, surcharges, etc., ne perturbent ou n'entravent le fonctionnement des installations électriques en mettant en place des dispositifs de protection adéquats et en coupant les appareils défectueux du réseau de manière sélective. Une utilisation conforme des différents dispositifs de protection ainsi que leur dimensionnement correct, présupposent que l'on connaisse leurs caractéristiques et temps d'établissement et leurs courbes caractéristiques. La série d'essais traite en détail la protection de moteurs à courant triphasé par un disjoncteur de protection ainsi que par un contrôle de la température dans les bobines et du déclenchement via une thermistance. Une expérience sur la protection totale du moteur au moyen d'un appareil de protection numérique peut en outre être réalisée. Dans le cadre de cet essai, l'accent est mis sur le maniement et le paramétrage de l'appareil de protection numérique.



Systèmes d'apprentissage

Nos systèmes d'apprentissage couvrent les thèmes suivants :

- Système à plaques d'expérimentation
« Consommateurs complexes, mesure de consommation et surveillance des charges maximales »
- Système à plaques d'expérimentation
« Consommateurs dynamiques »
- Système à plaques d'expérimentation
« Compensation manuelle et automatique de la puissance réactive »
- Système à plaques d'expérimentation
« Protection des machines électriques »
- Système à plaques d'expérimentation
« Protection de moteur / Gestion de moteur »



Gestion de l'énergie électrique

Consommateurs complexes, mesure de consommation et surveillance des charges maximales

Les expériences sur la réduction de la pointe de charge par des mesures réalisées avec un compteur de courant actif et un compteur à maximum montrent la manière dont la charge du réseau peut être réduite et répartie de manière uniforme sur toute la journée. L'analyse du réseau et des consommateurs connectés est une condition indispensable à un emploi efficace de la technique de mesure. Les différentes expériences permettent d'étudier en détail les charges statiques, dynamiques, équilibrées et déséquilibrées.



Exemple d'expérience « Mesure de consommation de consommateurs complexes EUC 1 »

Contenus didactiques

- Consommateurs à courant triphasé dans un circuit en étoile et en triangle (charge R, L, C, RL, RC ou RLC)
- Mesure avec des compteurs d'énergie active et réactive
 - pour charge RL équilibrées et déséquilibrées
 - en cas de défaut de phase
 - en cas de surcompensation (charge RC)
 - en cas de charge active
 - en cas d'inversion du sens de l'énergie
- Détermination des premier et deuxième maxima de puissance
- Détermination d'un maximum de puissance en cas de charge déséquilibrées
- Relevé de caractéristiques de charge

Consommateurs dynamiques

Couplé au banc d'essai de machines à servocommande, un moteur asynchrone triphasé est utilisé comme charge dynamique. Les puissances active et réactive ($\cos\phi$ du moteur) dépendent de la charge du moteur et ne sont donc pas constantes. Le banc d'essai peut entraîner le moteur asynchrone, fournissant ainsi une puissance active dans le réseau triphasé.



Exemple d'expérience « Étude des consommateurs dynamiques EUC 2 »

Contenus didactiques

- Consommateur dynamique de courant triphasé (moteur asynchrone)
- Mesure de puissance dans le cas d'une inversion de la direction de l'énergie

Gestion de l'énergie électrique

Compensation manuelle et automatique de la puissance réactive

Lors de la compensation de la puissance réactive, le courant réactif indésirable et ainsi la puissance réactive des consommateurs sont réduits dans les réseaux de tension alternative. Pour cela des charges capacitives sont connectées au point d'alimentation central en plus de tous les consommateurs inductifs. Dans la mesure du possible, la puissance réactive capacitive opposée doit être identique à la puissance réactive inductive installée. Ainsi les courants réactifs indésirables sont réduits et toutes les installations requises pour le courant réactif ne nécessitent pas un dimensionnement inutile.



Exemple d'expérience « Compensation automatique de la puissance réactive EUC 3 »

Contenus didactiques

- Mise en service de la machine asynchrone et relevé des paramètres
- Calcul des condensateurs de compensation
- Compensation au moyen de différents condensateurs
- Détermination de la puissance d'échelon
- Compensation manuelle de la puissance réactive
- Détection automatique de la connexion du régulateur de puissance réactive
- Compensation automatique de la puissance réactive

Protection des consommateurs électriques

Machines asynchrones triphasées

Les moteurs à cage d'écureuil sont conçus pour un état de charge constant. Toute modification de l'état de charge, mais aussi des courants de démarrage trop élevés, entraînent un échauffement inadmissible du moteur. Des capteurs surveillent la température et la consommation électrique du moteur. Ils activent des dispositifs de protection comme des disjoncteurs, des relais de protection ou des relais à thermistor.



Exemple d'expérience « Protection de machines électriques EEM 4.6 »

Contenus didactiques

- Sélection, installation et réglage de différents systèmes de protection de moteur
- Disjoncteurs de protection
- Relais de protection
- Relais à thermistor
- Influence de différents modes de service sur l'échauffement du moteur
- Caractéristiques de déclenchement des systèmes de protection
- Protection contre des états de charge inadmissibles

Protection des consommateurs électriques

Protection efficace des moteurs – Entretien préventif

Les systèmes de gestion de moteur employés dans les systèmes automatisés modernes permettent une protection, une commande et une surveillance optimales des entraînements et des installations. Il est possible ainsi de saisir par exemple la température, la tension ou le courant du moteur. Le moteur devient plus transparent par son intégration au processus automatisé maître via des systèmes de bus de terrain (par ex. PROFIBUS). La sollicitation et la consommation d'énergie du moteur peuvent être déterminées sans mesure sur place.



Exemple d'expérience « Relais de gestion de moteur EDT 51 »

Contenus didactiques

- Mise en service assistée par ordinateur du système de gestion de moteur
- Programmation des fonctions démarreur direct, démarrage en étoile-triangle, démarrage de moteurs à nombre de pôles variable, protection de moteur
- Paramétrage des grandeurs de surcharge et du composant au déclenchement avec différentes charges
- Mesure de processus dynamiques au démarrage
- Entretien préventif

Systemes d'apprentissage pour machines électriques

Expériences complémentaires sur les techniques d'énergie électrique :



Des avantages décisifs

... pour une satisfaction des clients à long terme



Prof. Guntram Schultz, doyen de l'université de Karlsruhe - Technique et Économie, faculté de technologie électrique et informatique :

« Je suis un grand fan des systèmes didactiques Lucas-Nülle sur les techniques d'énergie électrique. Sa gamme complète permet de réaliser d'innombrables expériences, de la production de l'énergie à sa consommation, en passant par la technique de distribution et la protection des réseaux.

Le système triphasé modulaire des plaques d'expérimentation permet d'élaborer pas à pas tous les fondamentaux du système.

La diversité des possibilités d'extension garantit en outre l'intégration sans faille des énergies renouvelables dans la technique d'énergie conventionnelle. Aucun autre constructeur ne propose un système aussi flexible qui, selon les besoins, permet des combinaisons entièrement nouvelles.

L'emploi systématique de l'échelle au 1000^{ème}, est un avantage indéniable qui permet de comparer facilement les résultats de mesure obtenus aux cas réels. Les reproductions réalistes de lignes de longueurs variables assurent l'emploi d'appareils industriels usuels dans des projets orientés vers la pratique dans un environnement de laboratoire sûr et fiable.

Le système SCADA surveille et contrôle les expériences et l'évaluation des données ne laisse plus rien à désirer.

La documentation proposée sous forme de cours multimédia est très attractive et bien accueillie par les apprenants.

Pour l'enseignant, la qualité des composants des expériences et le concept didactique proche de la réalité sont des atouts essentiels.

C'est pourquoi nous avons opté pour Lucas-Nülle. La large gamme de produits permet une planification systématique de la formation complète dans le domaine des techniques d'énergie électrique et l'initiation des élèves aux applications industrielles type. »

L'ensemble est plus qu'un assemblage de ses composants

Le conseil personnalisé chez Lucas-Nülle

Vous souhaitez obtenir des conseils détaillés ou une offre concrète taillée sur mesure ?

Vous pouvez nous contacter par

Téléphone : +49 2273 567-0

Fax : +49 2273 567-39

Lucas-Nülle est synonyme de systèmes d'apprentissage taillés sur mesure pour la formation professionnelle dans les domaines suivants :



Technique d'installation électrique



Électropneumatique, hydraulique



Technique d'énergie électrique



Technique de mesure



Électronique de puissance,
machines électriques, technique
d'entraînement



Micro-ordinateurs



Notions de base de l'électrotechnique et de
l'électronique



Automatisme



Technique de communication



Technique automobile



Technique de régulation



Systèmes de laboratoire

Demandez des informations détaillées en vous servant des contacts susnommés.

Nos collaborateurs vous aideront volontiers !

Vous trouverez également des informations complémentaires sur nos produits sur :

www.lucas-nuelle.fr

Lucas-Nülle Lehr- und Meßgeräte GmbH

Siemensstrasse 2 · D-50170 Kerpen-Sindorf
Téléphone : +49 2273 567-0 · Fax : +49 2273 567-39
www.lucas-nuelle.fr

