



CentraleSupélec

OPTION ENERGIE

<http://www.option-energie.ecp.fr>

PARCOURS SYSTEMES ELECTRIQUES : PROGRAMME PEDAGOGIQUE ET FICHES DE COURS

Le programme pédagogique du Parcours Systèmes Electriques (SE) est détaillé dans le tableau ci-dessous. La charge horaire de ce parcours étant inférieure à celles des Parcours Energie Thermique, Procédés et Energies Fossiles, **le programme comporte un cours électif supplémentaire imposé pour les élèves-ingénieurs ECP rattachés à ce parcours.**

PROGRAMME PEDAGOGIQUE DU PARCOURS SYSTEMES ELECTRIQUES

(cliquer sur le nom de l'activité pour atteindre son descriptif)

Obligatoire	Commande des systèmes électriques
Obligatoire	Electronique de puissance et onduleurs
Obligatoire	Machines électriques
Obligatoire	Méthodes numériques et optimisation
Obligatoire	Réseaux électriques
Obligatoire	Stabilité et perturbations des réseaux électriques
Obligatoire	Systèmes électromécaniques à vitesse variable
Obligatoire	1 cours électif supplémentaire (voir rubrique « activités communes » cours électifs »)
Obligatoire	Projet numérique
Obligatoire	Activités de laboratoire

COMMANDE DES SYSTEMES ELECTRIQUES

Coordonnateur(s) : Emmanuel Godoy (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Emmanuel Godoy (CentraleSupélec)

Durée : 18h hors contrôle

ECTS : 3.0

Descriptif :

Ce cours a pour but de présenter des méthodes de synthèse de lois de commande à partir d'une représentation d'état et de les appliquer dans le cadre de la commande des systèmes électriques. Après les méthodes générales de commande optimale, on aborde les approches traditionnelles de commande des systèmes linéaires par retour d'état et observateur. Le problème de la reconstruction de l'état est traité des points de vue déterministe et stochastique (filtre de Kalman).

Ce cours est aussi l'occasion d'aborder l'analyse des systèmes non linéaires par les méthodes de Lyapunov.

- Commande - estimation : espace d'état
- Analyse de stabilité : méthodes de Lyapunov
- Commande dans l'espace d'état : régulateur linéaire quadratique
- Estimation dans l'espace d'état : observateur de Luenberger et filtrage de Kalman
- Commande par retour d'état et observateur
- Applications : contrôle de turbines ; régulation de tension et de vitesse ; vitesse variable

[Retour à la liste](#)

ELECTRONIQUE DE PUISSANCE ET ONDULEURS

Coordonnateur(s) : Jean-Luc Thomas (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Jean-Luc Thomas (CentraleSupélec)

Durée : 18h hors contrôle

ECTS : 2.0

Descriptif :

Ce cours a pour objectif de donner une vision large des convertisseurs de puissance utilisés dans les différents systèmes de conversion.

- Introduction : exemples d'intégration d'EdP ; culture technologique.
- Théorie des interrupteurs de puissance : notions de segments et de quadrants.
- Classification des interrupteurs de puissance : diode, MOSFET, IGBT, thyristor, bipolaire.
- Notions de physique des semi-conducteurs : compromis vitesse et pertes à l'état passant des interrupteurs.

- Composants passifs : inductances, matériaux magnétiques, transformateurs, condensateurs ; modélisation et dimensionnement.
- Conversion DC-DC avec et sans isolation galvanique : outils méthodologiques ; analyse, conception, dimensionnement.
- Principe de commutation : convertisseurs DC-DC, AC-DC, DC-AC et AC-AC ; cellule de commutation : généralisation de l'approche de l'électronique de puissance.
- Notion de commutation douce : possibilités en termes de compacité des convertisseurs de puissance.
- Modélisation : étude des lois de commande associées.

Exemples d'illustration basés sur des convertisseurs classiques. A cette occasion, un lien étroit avec le cours d'automatique est nécessaire.

[Retour à la liste](#)

MACHINES ELECTRIQUES

Coordonnateur(s) : Jean-Claude Vannier (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Jean-Claude Vannier (CentraleSupélec)

Durée : 18h hors contrôle

ECTS : 3.0

Descriptif :

L'association de l'électronique de puissance et des machines électriques élargit les modes de fonctionnement de ces matériels. Ce module établit les modèles nécessaires à l'évaluation des performances des machines et des convertisseurs et à la définition de leur commande. Il permet de prédire le comportement des machines en régime dynamique et d'en définir la commande. Certains aspects sont approfondis (force magnétomotrice, couple, flux de bobinage, fuites, modélisation et calcul).

Modélisation générale des machines :

Structures des machines. Représentation des phénomènes magnétiques. Schéma équivalent. Force magnétomotrice. Perméances. Répartition d'induction. Flux de bobinages. Couplages. Flux de dispersion. Cas des distributions sinusoïdales. Calcul du couple par la méthode des travaux virtuels.

Modélisation des machines pour les régimes dynamiques :

Transformations de Park et de Fortescue, matrices de transformations. Utilisation de la méthode pour les calculs de régimes transitoires. Choix du repère. Modèles direct, inverse et homopolaire.

Moteurs synchrones :

Moteurs à aimants, à réluctance, diagrammes (d,q). Prise en compte de la saturation dans la modélisation. Etude de régimes transitoires. Expressions du couple.

Moteurs asynchrones :

Moteurs à cages. Moteurs à rotor bobiné. Etude de régimes transitoires. Expressions du couple.

[Retour à la liste](#)

METHODES NUMÉRIQUES ET OPTIMISATION

Coordonnateur(s) : Philippe Dessante (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Philippe Dessante (CentraleSupélec), Guillaume Sandou (CentraleSupélec)

Durée : 18h hors contrôle

ECTS : 2.0

Descriptif :

La complexité des problèmes rencontrés par l'ingénieur, en particulier pour optimiser ses choix, fait qu'il doit souvent aller au-delà des solutions analytiques. Cet enseignement est destiné à des non-spécialistes du domaine qui pourront l'utiliser dans des applications très diverses. Il sera donc présenté des principes et des méthodes parmi lesquels l'ingénieur confronté à une application pourra aisément trouver une solution à son problème.

Thématiques abordées dans ce cours :

- Résolution des équations de la physique par les méthodes des différences finies et des éléments finis
- Techniques d'optimisation
- Rappels sur les méthodes de résolution des équations partielles
- Stabilité des schémas temporels
- Méthode des éléments finis ; nombreux exemples explicatifs mathématiques ou physiques
- Problèmes d'optimisation avec et sans contraintes
- Techniques stochastiques et directes appliquées à des cas mono et multi-objectifs
- Exemple complet d'optimisation du plan de production d'un gestionnaire énergétique

[Retour à la liste](#)

Coordonnateur(s) : Martin Hennebel (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Martin Hennebel (CentraleSupélec)

Durée : 24h hors contrôle

ECTS : 3.0

Descriptif :

L'objectif de cet enseignement est de donner une présentation générale du fonctionnement des réseaux électriques, tant des réseaux de transport et de distribution que des réseaux isolés. Il s'agit ici d'aborder les notions fondamentales nécessaires à la compréhension du bon fonctionnement des réseaux électriques. Il s'agit aussi de comparer les réseaux continentaux et isolés afin d'en cerner les similitudes et les différences.

Thématiques abordées concernant le système électrique « terrestre » :

- Présentation du secteur de l'énergie électrique : production, consommation, architecture des réseaux (production, transport, distribution). Organisation du secteur et rôle des différents acteurs (producteurs, GRT, GRD).
- Les contraintes et conditions de bon fonctionnement d'un réseau électrique (équilibre production-consommation, réglage de la tension, réglage de la fréquence).
- La sûreté du système (rôle d'un système de protection).
- Insertion des ENR (éolien, PV et autres) : développement des ENR dans le monde, comparaison de différents pays (France, Allemagne, Danemark, Espagne), aspects législatifs.

[Retour à la liste](#)

STABILITE ET PERTURBATIONS DES RESEAUX ELECTRIQUES

Coordonnateur(s) : Marc Petit (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Marc Petit (CentraleSupélec)

Durée : 21h hors contrôle

ECTS : 3.0

Descriptif :

Pour compléter la formation sur les réseaux électriques, ce cours aborde leur comportement en régimes transitoire et perturbé.

Stabilité transitoire :

Nous présentons l'analyse du comportement d'un alternateur couplé au réseau suite à un défaut à proximité, et les paramètres clés permettant d'évaluer le risque de perte de stabilité

de la machine. Ce cours présente les différents modèles de la machine (Park, 1er ordre, invariance transitoire) qui permettent d'étudier ce phénomène, puis les couples électriques en régime transitoire sont calculés. Le critère dit « loi des aires » est présenté.

Perturbations et protection :

La protection d'un réseau électrique est une étape clé pour garantir la sûreté de fonctionnement. Après une introduction à la protection des réseaux et aux différents défauts et perturbations pouvant l'affecter, une part importante est consacrée au calcul des courants de défauts, avec des exemples basés sur les schémas de protection des réseaux de distribution HTA. Concernant les perturbations, l'analyse des perturbations harmoniques est présentée et étudiée (propagation des harmoniques dans un réseau, modélisation).

[Retour à la liste](#)

SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES A VITESSE VARIABLE

Coordonnateur(s) : Henri Baerd (GE Energy)

Intervenant(s) : Henri Baerd (GE Energy)

Durée : 15h hors contrôle

ECTS : 1.0

Descriptif :

Ce cours est l'occasion d'associer l'électronique de puissance, les machines électriques et la commande. Le principe de la variation de vitesse est abordé avec la motorisation en courant continu et développé avec les solutions en courant alternatif.

- Principes de variation de vitesse : entraînement électrique, structures de commandes, couple, vitesse
- Moteurs à courant alternatif : rappel des modèles et établissement des couples
- Onduleurs de tension et de courant : modélisation de l'association avec les stators à courants alternatifs, MLI vectorielle
- Moteur synchrone : commande en fréquence, commande en couple, structures de commande des courants, caractéristique mécanique, défluxage
- Moteur asynchrone : commande en fréquence, commande en couple, commandes vectorielles, FOC

[Retour à la liste](#)

PROJET NUMERIQUE

Coordonnateur(s) : Marc Petit (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : plusieurs enseignants-chercheurs de CentraleSupélec-Gif qui supervisent le travail

Durée : 15h hors contrôle

ECTS : 1.0

Descriptif :

Le projet numérique permet de mettre en application des méthodes et modèles pour l'étude de systèmes en lien avec les cours des Parcours RE et SE.

Les travaux seront l'occasion d'utiliser des outils de modélisation et simulation tels que Matlab, Matlab / Simulink, ou des logiciels de résolution par éléments finis.

Les projets seront proposés par des enseignants-chercheurs du Département Energie de Supélec et seront traités en binômes.

La répartition des sujets se fera à l'occasion de la première séance, puis les étudiants prendront contact avec l'encadrant référent.

[Retour à la liste](#)

ACTIVITES DE LABORATOIRE

Coordonnateur(s) : Marc Petit (CentraleSupélec)

Intervenant(s) : Micheline Vidal, François Protat et d'autres enseignants du Département Energie de CentraleSupélec-Gif

Durée : 24h contrôle inclus

ECTS : 1.0

Descriptif :

Six séances de laboratoire sont proposées pour mettre en application certains éléments fondamentaux des systèmes électrotechniques de base. Un compte-rendu de TP est à rendre à la fin de chaque séance.

Les sujets abordés seront les suivants : systèmes triphasés, transformateur monophasé, machine synchrone, machine asynchrone, machine à courant continu, redresseurs de tension.

Les travaux se font en binômes ou en trinômes.

[Retour à la liste](#)