

**Université Saint-Joseph
Faculté d'Ingénierie
École Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth**

MASTER RECHERCHE

OPTION

GÉNIE ÉLECTRIQUE

**ماستر في مجال البحث
فرع هندسة الكهرباء**

Responsable : Professeur Ragi GHOSN

Septembre 2016

Adresse : École Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth
Campus des sciences et technologies
Mar Roukos – Dekwaneh
B.P. 1514 - Riad El Solh Beyrouth 1107 2050
LIBAN
Téléphone : + 961 (0) 1 421 317
Télécopie : + 961 (0) 4 532 645
Courriel : fi.esib@usj.edu.lb

MASTER RECHERCHE

Option Génie Électrique

1- Présentation générale :

Le Génie Électrique occupe une place importante dans le secteur industriel englobant la production, le transport, la distribution, les applications et le contrôle de l'énergie électrique.

Les développements techniques majeurs des dernières années ont eu lieu dans les domaines liés à l'énergie électrique qui prend de ce fait une part prépondérante dans tous les secteurs domestiques et industriels ainsi que dans les technologies de pointe grâce à sa souplesse de transformation, son rendement élevé de conversion, sa facilité de transport et de distribution, son champ d'application très important et de plus en plus large, ses aptitudes au contrôle aisé au moyen des techniques informatiques modernes.

Ces dernières années, une activité de recherche universitaire et industrielle soutenue, a permis d'énormes progrès à travers l'apparition de nouveaux matériaux pour l'électrotechnique et de nouveaux composants semi-conducteurs de puissance. La reconstruction du secteur industriel du Liban doit faire appel à ces nouvelles techniques. La transmission du savoir-faire des pays développés ne peut se réaliser qu'à travers une osmose entre le domaine professionnel et celui de la recherche et du développement.

2- Objectif scientifique et pédagogique :

Le programme du Master Recherche en Génie Électrique assure une formation scientifique dans le domaine du Génie électrique. Cette formation permet aux étudiants qui le désirent la préparation d'une thèse en génie électrique.

Les débouchés concernent tout le secteur du Génie Électrique (Composants, Matériaux, Électronique de Puissance, Machines Électriques, Plasmas et Décharges, Haute-tension, Constructions Électromécaniques.).

L'Université Saint-Joseph, consciente de l'importance de ces problèmes a décidé d'animer l'action de recherche à travers un Master Recherche intitulé "**Génie Électrique**".

Ce Master vise à former :

- des enseignants et des chercheurs,
- des spécialistes de haut niveau nécessaires dans les diverses administrations concernées et bureaux d'études,
- des chercheurs étrangers : en raison de l'importance des problèmes abordés, l'ouverture à des étudiants étrangers du bassin méditerranéen peut amener une synergie favorable à une meilleure utilisation commune des ressources.

3- Organisation générale du Master :

Ce Master Recherche comporte 120 crédits, répartis sur 4 semestres MR1, MR2, MR3 et MR4 de 30 crédits en général chacun.

- La préparation du Master Recherche comprend :
 - des enseignements théoriques et pratiques,
 - des séminaires et conférences spécialisés,
 - des visites techniques,
 - un stage de recherche dans un centre agréé et sur un sujet de mémoire.

4- Organisation du stage de recherche :

Un stage de recherche est effectué dans un des centres d'accueil de la formation, sous la direction d'un enseignant.

Ce stage, d'une durée minimale d'un semestre (MR4), a pour objectif de développer chez l'étudiant l'ensemble des compétences nécessaires à un chercheur :

- recherche bibliographique.
- analyse critique de l'état de l'art.
- acquisition de méthodes de mesure.
- traitement des informations.
- maîtrise des techniques de communication.

Le stage fait l'objet d'un mémoire écrit et d'une soutenance publique. Le mémoire comporte une partie bibliographique et une partie technique.

La notation du stage tient compte de trois éléments :

- notation du stagiaire pour son comportement durant le stage,
- note de mémoire écrit,
- note de soutenance orale.

5- Recrutement :

Catégorie 1- Admission au premier semestre du cursus Master (MR1)

- Sur dossier pour les candidats titulaires d'une Licence en Physique, Electricité, Electronique, Electrotechnique, Electromécanique, ou d'un diplôme équivalent.

Catégorie 2- Admission en cours du cursus Master

Sont autorisés à déposer les dossiers de candidature :

- Les ingénieurs en Electricité, Electronique, Electrotechnique et Electromécanique diplômés,
- Les titulaires d'une Maîtrise ou d'un Master professionnel, en Physique, Electricité, Electronique, Electrotechnique, Electromécanique,

- les étudiants de Troisième Année Electricité et Mécanique de l'ESIB (cinquième année d'études supérieures),
- Les titulaires d'un diplôme reconnu équivalent.

La sélection des candidats est faite par un jury d'admission dans la limite des places disponibles.

Sur proposition du Directeur du Département des Etudes Doctorales, le jury d'admission fixera pour chaque étudiant de la catégorie 2, les matières et modules validés en fonction de son cursus et de ses résultats préalables et définira son parcours au Master Recherche dans la spécialité concernée, incluant éventuellement des matières complémentaires prérequis. Dans tous les cas, pour cette catégorie d'étudiants, le nombre de crédits validés ne pourra pas dépasser 60 crédits. La proposition de la validation de la formation antérieure est soumise à l'approbation de la commission des équivalences de l'USJ.

RÈGLEMENT DU MASTER RECHERCHE

Génie Électrique

I. Organisation des enseignements.

La préparation du Master comprend :

- des enseignements théoriques et pratiques,
- des séminaires et conférences spécialisés,
- des visites techniques,
- un stage de recherche dans un centre agréé et sur un sujet de mémoire.

II. Contrôle des connaissances.

Le Master Recherche en **Génie Électrique** est délivré aux candidats qui ont subi avec succès les contrôles portant sur les enseignements théoriques et pratiques et qui justifient d'un niveau suffisant lors de la préparation et de la soutenance du mémoire. Les contrôles de connaissances et les examens sont obligatoires. Il n'est pas prévu de reprise d'examens. En cas d'empêchement, les étudiants ne peuvent reprendre les épreuves de semestre ou de rattrapage sauf cas de force majeure qui sera soumis à l'approbation du Conseil d'Ecole.

III. Présence.

La présence aux cours et à toutes les activités d'enseignement est obligatoire et elle est contrôlée. Le jury ne peut examiner les matières où l'absence de l'étudiant a dépassé 30%. Dans ce cas l'étudiant ne peut se présenter à l'examen, obtient la note zéro (ECTS : F) et ne peut se présenter à l'examen de rattrapage.

IV. Conditions de réussite.

A chaque matière est affectée une note. Les conditions de réussite sont les mêmes que celles appliquées au Coursus Ingénieur à l'ESIB, qui sont explicitées dans le règlement intérieur de l'ESIB.

Le mémoire de recherche est validé si sa note finale est égale ou supérieure à 12/20.

V. Diplôme.

Les études sont sanctionnées par la délivrance d'un Master recherche en **Génie Électrique**, lorsque le candidat satisfait aux conditions suivantes :

- Toutes les matières sont validées.

- La note du mémoire final est égale ou supérieure à 12/20.

Pour l'affectation de la mention, une moyenne générale est calculée à partir de la moyenne du semestre MR3 pondérée de 60% et celle du semestre MR4 pondérée de 40%. En fonction de quoi, les mentions suivantes sont accordées :

- De 12/20 à 13.99/20 : Assez Bien
- De 14/20 à 15.99/20 : Bien
- À partir de 16/20 : Très Bien

Organisation prévisionnelle de l'enseignement :

Les matières des semestres MR1, MR2, MR3 et MR4 sont groupées en modules suivant les tableaux ci-dessous.

Semestre MR1	M A T I E R E	COURS	TPC	ECTS
020ET2MM1	Electrotechnique avancée	36	6	6
020RASMM1	Redresseurs assistés	18	3	3
020SNLMM1	Systèmes non linéaires	18	3	3
020CAUMM1	Convertisseurs autonomes	36	6	6
020CMTMM1	Commande temporelle	36	6	6
020GE1MM1	Mini projet 1		70	6
	TOTAL	238	144	30

Semestre MR2	M A T I E R E	COURS	TPC	ECTS
020TSCMM2	Théorie du signal	18	3	3
020CCCMM2	Conversion Continu-Continu	18	3	3
020CMVMM2	Commande des moteurs à vitesse variable	36	6	6
020MIPMM2	Systèmes à microprocesseurs	33	9	6
020SECMM2	Systèmes échantillonnés	18	3	3
020AREMM2	Analyse des réseaux électriques	18	3	3
020GE2MM2	Mini projet 2		70	6
	TOTAL	238	141	30

Semestre MR3	M A T I E R E	COURS	TPC	ECTS
020RSDMM3	Réseaux électriques à sources distribuées	18,0	18,0	4
020TCAMM3	Techniques de commande avancées	18,0	18,0	4
020MCCMM3	Modélisation et commande des convertisseurs statiques	18,0	18,0	4
020ASNMM3	Architecture des systèmes numériques	18,0	18,0	4
020CAEMM3	Commande avancée des machines électriques	18,0	18,0	4
020EPAMM3	Electronique de puissance avancée	18,0	18,0	4
020BEPMM3	BE Electronique de puissance avancée	10,0	10,0	3
020BCMMM3	BE Commande avancée des machines	10,0	10,0	3
	TOTAL	256	128	30

Semestre MR4	M A T I E R E	COURS	TPC	ECTS
020MGEMM4	Stage de recherche avec mémoire	0	300	30
	TOTAL	300	300	30

Sommaire du Programme des enseignements :

a - Semestres MR1 et MR2

020ET2MM1 Électrotechnique avancée C 36 h, TPC 6 h, 6 crédits

Enseignant : Mme Flavia KHATOUNIAN et M. Ragi GHOSN

Étude des transformateurs spéciaux - Transformateurs en régime déséquilibré - Régime transitoire des transformateurs - Fonctionnement en parallèle des transformateurs - Applications sous Matlab/SimPower - Mise en équation de la MCC en régime transitoire - Exploitation des équations en régime transitoire non saturé - Rappels sur les champs tournants - Machine synchrone en régime permanent : Modèles et caractéristiques - Modélisation dynamique des machines synchrones à pôles saillants avec amortisseurs - Étude du régime transitoire en modes alternateur et actionneur - Machine asynchrone : Fonctionnement en génératrice et en frein - Machines asynchrones spéciales : monophasées, à double cage et à encoches profondes - Modélisation de la machine asynchrone en régime transitoire.

020RASMM1 Redresseurs assistés C 18 h, TPC 3 h, 3 crédits

Enseignant : Mme Flavia KHATOUNIAN EL RAJJI

Contenu

Familles de convertisseurs statiques - Interrupteurs de puissance : Semi-conducteurs, diodes, transistors, thyristors, IGBT, MOSFET (symboles, états stables, commutation, caractéristiques statiques et dynamiques, circuits de commande, circuits d'aide à la commutation) - Redresseurs assistés par un réseau alternatif monophasé - Redresseurs assistés par un réseau alternatif triphasé - Bureau d'études.

020SNLMM1 Systèmes non linéaires C 18 h, TPC 3 h, 3 crédits

Enseignant : M. Hadi KANAAN

Contenu

Classification des non-linéarités. Non-linéarités naturelles et non-linéarités artificielles. Non-linéarités symétriques. Non-linéarités sans mémoire. Non-linéarités statiques et dynamiques - Méthode de l'approximation du premier harmonique. Notions de gain complexe équivalent et de lieu critique. Critère de Loeb pour la stabilité. Réponse en fréquence. Réponse à une consigne constante. Cas de non-linéarités en série - Oscillateurs harmoniques. Diode tunnel. Transistor uni-jonction. Oscillateur à circuit accordé - Technique du plan de phase. Tracé des trajectoires. Méthode des isoclines - Stabilité de Lyapunov - Asservissements à relais. Oscillations libres et forcées. Lieu de Hamel. Lieu de Cypkin - Correction des systèmes non-linéaires. Compensation de non-linéarités. Linéarisation par balayage. Réaction tachymétrique. Régime glissant. Commande optimale.

020CAUMM1 Convertisseurs autonomes C 36 h, TPC 6 h, 6 crédits

Enseignant : M. Hadi KANAAN

Contenu

Généralités. Rappel sur les familles de convertisseurs. Place des onduleurs dans les applications industrielles. Composants semi-conducteurs utilisés - Onduleurs monophasés. Onduleur avec un transformateur à point milieu. Onduleur en demi-pont. Onduleur en pont complet - Onduleurs triphasés. Notes sur les onduleurs

multi-niveaux - Techniques de commande. Commande pleine onde décalée. Commande MLI sinus-triangle. Principes de la sur-modulation. Commande unipolaire et bipolaire d'un pont monophasé complet. Modulation phase par phase d'un onduleur triphasé. Modulation suboptimale. Modulation partielle. Commande vectorielle d'un onduleur triphasé. Modulation pré-calculée. Commande d'un onduleur en pont monophasé par déphasage des commandes des deux demi-ponts. Modulation sigma-delta et modulation delta - Notes sur le filtrage des grandeurs d'entrée et de sortie. Dimensionnement des filtres - Convertisseurs alternatif-continu à facteur de puissance élevé. Principes de filtrage et de mise en forme des courants de source. Filtrage passif versus filtrage actif. Topologies monophasées uni et bi-directionnelles. Topologies triphasées directes. Topologie à six interrupteurs. Redresseur de Vienne. Topologies indirectes. Redresseur de Minnesota. Redresseur triphasé à injection active de courant. Pont à diodes suivi d'un hacheur élévateur. Techniques de commande. Commande à fréquence fixe versus commande par bascules à hystérésis - Techniques de modélisation des convertisseurs statiques autonomes. Méthode des générateurs moyens. Méthode du modèle d'état moyen. Méthode de la série de Fourier. Application à la modélisation des redresseurs actifs - Réglage des convertisseurs statiques autonomes. Réglage linéaire versus réglage non linéaire. Réglage monovariable versus réglage multivariable. Réglage par boucles en cascade - Simulations numériques. Vérification des performances. Imperfections de fonctionnement. Saturation de commande.

020CMTMM1 Commande temporelle C 36 h, TPC 6 h, 6 crédits

Enseignant : M. Akram GHORAYEB

Contenu

Commande temporelle : Représentation des systèmes - Représentation interne de systèmes linéaires continus et discrets - Résolution de l'équation d'état des systèmes continus et discrets - Calcul de l'exponentiel matriciel $\exp(At)$ - Représentation fréquentielle des systèmes linéaires - Commandabilité et observabilité des systèmes linéaires continus et discrets - Reconstitution de l'état d'un système linéaire - Commande par retour d'état, approche modale - Commande optimale à critère quadratique, commande à partir des sorties. Commande adaptative : Introduction et généralités, diverses catégories de commande adaptative - Méthodes d'identification pour la commande adaptative - Commande adaptative à modèle de référence - Commande adaptative avec identification.

020GE1MM1 Mini projet 1 C 0 h, TPC 70 h, 6 crédits

Enseignant : Equipe d'enseignants

Contenu

Réaliser un mini projet dans l'une des disciplines de ce semestre

020TSCMM2 Théorie du signal C 18 h, TPC 3 h, 3 crédits

Enseignant : M. Hadi SAWAYA

Contenu

Signaux déterministes à temps continu - Echantillonnage - Signaux déterministes à temps discret - Processus aléatoires continus - Processus aléatoires discrets - Représentation des signaux à bande étroite - Transformée de Hilbert - Signal analytique, signaux aléatoires à bande étroite.

020CCCMM2 Conversion Continu-Continu C 18 h, TPC 3 h, 3 crédits

Enseignant : M. Hadi KANAAN

Contenu

Topologies de convertisseurs DC-DC non-isolées et isolées - Mise en équations - Formes d'ondes - Caractéristiques entrée-sortie - Eléments de dimensionnement.

020CMVMM2 Commande des moteurs à vitesse variable C 36 h, TPC 6 h, 6 crédits

Enseignant (s) : M. Ragi GHOSN – Mme Flavia KHATOUNIAN EL RAJJI

Contenu

Nécessité de la vitesse variable - Machine à courant continu à vitesse variable: Réversibilité totale, Convertisseur quatre quadrants sans circulation de courant, Boucle de courant, Boucle de vitesse - Modélisation du moteur asynchrone : équations en valeurs réduites, Modèle simplifié à fréquences élevées, Commande en tension, Commande en courant, Convertisseurs associés au moteur asynchrone - Commandes scalaire, vectorielle et DTC de la machine asynchrone - Commande de la machine synchrone.

020MIPMM2 Systèmes à microprocesseurs C 33 h, TPC 9 h, 6 crédits

Enseignant : M. André CHKEIBANE

Contenu

Architecture - Microprocesseurs à usage général - Processeurs de traitement numérique du signal DSP - Microcontrôleurs - Mémoires - Dispositifs d'entrées/sorties - Modes d'échanges d'informations -Microcontrôleurs - Processeurs de traitement numérique du signal - Programmation - Exemples de processeurs disponibles sur le marché.

020SECMM2 Systèmes échantillonnés C 18 h, TPC 3 h, 3 crédits

Enseignant : M. Akram GHORAYEB

Contenu

Transformée et transformée inverse de Laplace échantillonnée, transformée et transformée inverse en Z, restitution d'un signal échantillonné - Fonction de transfert échantillonnée, réponse d'un système échantillonné - Stabilité et précision des systèmes échantillonnés - Correction des systèmes échantillonnés.

020AREMM2 Analyse des réseaux électriques C 18 h, TPC 3 h, 3 crédits

Enseignant : M. Hadi KANAAN

Contenu

Généralités sur les réseaux de distribution de l'énergie électrique. Rappel sur les concepts énergétiques. Bases de calcul et valeurs réduites - Modélisation d'un réseau électrique - Composants d'une ligne électrique. Calcul des résistances, inductances et capacités linéiques. Effets de la fréquence. Notions de Circular Mil, GMR et GMD. Caractéristiques des conducteurs d'aluminium renforcés d'acier (ACSR) - Etude des lignes en régime permanent. Modèle nominal en Pi d'une ligne. Pertes de puissance. Rendement. Régulation de tension. Impédance caractéristique et puissance caractéristique d'une ligne - Ecoulement de puissance. Compensation réactive - Etude des défauts de courts-circuits. Application à l'étude de la stabilité - Etude des grands réseaux. Représentation matricielle. Matrice d'admittance nodale. Techniques de résolution numérique. Algorithmes de Gauss-Seidel et de Newton-Raphson.

020GE2MM2 Mini projet 2 C 0 h, TPC 70 h, 6 crédits

Enseignant : Equipe d'enseignants

Contenu

Réaliser un mini projet dans l'une des disciplines de ce semestre

b - Semestres MR3 et MR4

020RSDMM3 Réseaux électriques à sources distribuées C 18 h, TPC 18 h, 4 crédits

Enseignant : M. Semaan GEORGES

Contenu

Éléments d'un réseau électrique. Valeurs réduites. Paramètres d'une ligne de transmission aérienne (effets résistif, inductif et capacitif). Modélisation, analyse de performances et compensation d'une ligne de transmission. Méthodes de calcul de l'écoulement de puissances. Etude des défauts équilibrés. Composantes symétriques et défauts déséquilibrés.

020TCAMM3 Techniques de commande avancées C 18 h, TPC 18 h, 4 crédits

Enseignant (s) : Mme Flavia KHATOUNIAN EL RAJJI

Contenu

Commande prédictive :

- Catégories : Enumerative MPC, Linear MPC basée sur une programmation linéaire ou quadratique, et Hybrid MPC basée sur une programmation de type Mixed Integer, Linear or Quadratic Programs.
- Techniques relatives à l'Enumerative MPC : One Step Hybrid Control (OSHC), Multi Step Hybrid Control (MSHC), Model Predictive Direct Torque Control (MPDTC), etc.
- Bureau d'études : Application de l'Enumerative MPC sur une charge de type RLE et comparaison des performances avec une commande classique à base de régulateurs PI.

020MCCMM3 Modélisation et commande des convertisseurs statiques C 18h, TPC 18h, 4 crédits

Enseignant : M. Maurice FADEL

Contenu

Modélisation des convertisseurs statiques - Onduleurs de tension triphasés et MLI - Redresseur MLI et absorption Sinus - Filtrage actif - Commande non linéaire.

020ASNMM3 Architecture des systèmes numériques C 18 h, TPC 18 h, 4 crédits

Enseignant : M. Eric MONMASSON

Contenu

Présentation des FPGA et du VHDL synthétisable - Machines d'état - Applications - Méthode Adéquation Algorithme Architecture.

020CAEMM3 Commande avancée des machines électriques C 18 h, TPC 18 h, 4 crédits
Enseignants : M. Ragi GHOSN – Mme Flavia KHATOUNIAN EL RAJJI

Contenu

Contrôle vectoriel des actionneurs asynchrones - Commande directe du couple DTC - Contrôle de couple, de vitesse et de position d'actionneurs synchrones - Fonctionnement sans capteurs - Mesure et observation des grandeurs non mesurables - Calculs de régulateurs et d'observateurs.

020EPAMM3 Electronique de puissance avancée C 18 h, TPC 18 h, 4 crédits

Enseignant : M. Hadi KANAAN

Contenu

1 – Introduction au problème de pollution harmonique des réseaux électriques – Principales sources d'harmoniques – Insuffisance des solutions conventionnelles – Introduction aux solutions actives pour l'amélioration de la qualité d'onde des réseaux.

2 – Etude d'une structure de base : le Boost. Structure – Configurations en mode de continuité de courant – Séquence de commande – Mise en équations – Formes d'ondes – Caractéristiques principales – Pouvoir de mise en forme de courant – Techniques de commande – Modèle d'état moyen – Modèle en petits signaux – Synthèse de la boucle de régulation.

3 – Filtres actifs : Principe – Filtrage parallèle, série, série/parallèle et hybride – Filtrage de réseaux monophasés et triphasés – Etude de cas.

4 – Redresseurs actifs indirects : Circuits de correction de facteur de puissance disponibles (Boost, Boost-Buck, Cuk, Sepic, Sheppard-Taylor) – Etude en régime établi – Dimensionnement des composants – Etablissement du système de réglage complet – Etude de cas.

5 – Redresseurs actifs directs : Redresseurs monophasés en demi-pont, en pont, à deux ou trois niveaux – Redresseur triphasé quatre quadrants – Redresseur de Vienne – Redresseur à injection de courant.

020BEPMM3 BE Electronique de puissance avancée C 10 h, TPC 10 h, 3 crédits

Enseignant : M. Hadi KANAAN

Contenu

Bureau d'études de dimensionnement d'un convertisseur alternatif-alternatif indirect comprenant un redresseur et un onduleur avec étude des performances en fonction des modulations choisies et des structures utilisées à l'aide de simulations.

020BCMMM3 BE Commande avancée des machines C 10 h, TPC 10 h, 3 crédits

Enseignants : M. Ragi GHOSN - Mme Flavia KHATOUNIAN EL RAJJI

Contenu

Bureau d'études de dimensionnement d'une chaîne de conversion d'énergie correspondant à l'entraînement à vitesse variable d'une charge mécanique donnée. Le travail consiste à choisir le moteur d'entraînement, le (s) convertisseur (s) associés ainsi que la méthode de commande la mieux adaptée à la charge

mécanique. Le dimensionnement complet de la chaîne est validé par des simulations permettant de vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble.

020MGEMM4 Mémoire de recherche C 0 h, TPC 300 h, 30 crédits

Enseignant : Equipe d'enseignants

Contenu

Il constitue une initiation aux techniques de la recherche. C'est la synthèse d'un travail de recherche de quatre mois dans un centre de recherche ou un laboratoire.

Liste des Enseignants au Master Recherche en Génie Électrique

Enseignant	Titre
Maurice FADEL	Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), France.
Éric MONMASSON	Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), France.
Semaan GEORGES	Docteur de l'École de Technologie Supérieure (ETS) à Montréal, Canada.
Flavia KHATOUNIAN EL RAJJI	Docteur de l'École Normale Supérieure de Cachan (ENS), France.
Hadi KANAAN	Docteur de l'Université du Québec, Canada.
Ragi GHOSN	Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), France.