



Mastère Systèmes Electriques

Université Tunis El Manar

Etablissement : ENIT

BP.37 –1002 Tunis le Belvédère

Tel :71 874 700 –Fax : 71 872 729,

<http://www.enit.rnu.tn>

Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Tél :(+216) 71 874 700 (Postes 572 & 598)

ecole.doctorale@enit.rnu.tn

<http://www.enit.rnu.tn/ed-sti>

Coordinatrice du Mastère :

Ilhem SLAMA-BELKHODJA

Département Génie Electrique

Laboratoire des Systèmes Electriques

ENIT : BP.37 –1002 Tunis le Belvédère

Tel : 71 874 700 (Poste 448)–Fax 71 872 729 –

Ilhem.slama@enit.rnu.tn

1. Le Génie Electrique

Le Génie Electrique est un important secteur industriel englobant la production, le transport, la distribution, les applications et le contrôle de l'énergie électrique. Cette énergie est à la base de tous les développements techniques majeurs récents. Grâce à sa souplesse de transformation, son rendement élevé de conversion, sa facilité de transport, de distribution et ses aptitudes au contrôle aisé au moyen des techniques informatiques modernes, son champ d'application est de plus en plus large. L'énergie électrique prend de ce fait une part prépondérante dans tous les secteurs domestiques et industriels ainsi que dans les technologies de pointe.

2. Les Systèmes Electriques

Depuis une décennie, le tout électrique envahit de plus en plus les sociétés industrialisées. Les réseaux d'énergie électrique, les variateurs électriques et plus généralement les convertisseurs prennent une place de plus en plus importante (entraînements industriels, alimentation à bord des avions, bateaux, trains, automobiles et véhicules routiers ; électroménager ; robotique ; productique ; automatisation des procédés industriels ; transformation et traitement de la matière première au moyen de procédés électriques, ...)

L'étude de ces réseaux, variateurs et convertisseurs statiques implique un large éventail de connaissance allant de l'automatique à l'informatique en passant bien sûr par les convertisseurs statiques, les machines électriques et leurs entraînements électriques.

Une des responsabilités de la discipline est de relier ce large spectre de connaissances aux besoins de la société en générant des procédés d'analyse, de conception et de commande des systèmes électriques.

L'existence d'un Mastère Systèmes Electriques, servant de base à une formation doctorale, ouverte sur les besoins et les aptitudes des écoles d'ingénieurs sera d'un apport crucial en terme d'animation des laboratoires développant des activités à **caractère technologique prépondérant**.

3. Les objectifs et les débouchés de la formation

Le département de Génie Electrique de l'ENIT propose aux diplômés des écoles d'ingénieurs et des universités une formation dans le domaine de l'analyse, la conception et la commande des Systèmes Electriques, **par et pour la recherche (Mastère, Doctorats)**.

L'objectif de cette formation doctorale en Systèmes Electriques est de former des spécialistes de haut niveau dans le domaine et de répondre aux besoins de l'université et de l'industrie.

Les cours de ce Mastère conjuguent :

—*D'une part, l'approche fondamentale* requise par la connaissance des systèmes étudiés (modélisation et identification), des différents éléments les constituant, en particulier les convertisseurs statiques avec leurs composants, les systèmes de commande électronique et numérique,...

—*D'autre part, la maîtrise des techniques et procédés* qui déterminent la performance finale du produit (stratégie de commande, méthodes de diagnostic, implantation numérique,..). Ceci sans oublier les aspects d'environnement aussi bien du côté analyse des parasites et perturbations électromagnétiques générés par les convertisseurs statiques avec les cours de CEM, que du côté production avec les énergies renouvelables.

Cette formation permet à l'étudiant d'acquérir un savoir-faire de haut niveau dans les domaines considérés (Réseaux électriques, Variateurs de vitesse, convertisseurs statiques,..), et lui ouvre un large spectre de débouchés vers l'Université (enseignement supérieur, recherche) et vers l'industrie (dans les secteurs de la production et du transport de l'électricité, et également dans tous les domaines où l'électricité, l'électronique de puissance et la commande électrique prennent une part de plus en plus importante).

4. Organisation des études

La formation du Mastère s'étale sur trois semestres, conformément aux textes de loi, le premier étant consacré aux cours, et les deux autres au mémoire d'initiation à la recherche, à la formation pédagogique, avec des conférences et des séminaires.

Les enseignements de mastère proprement dits démarrent début Septembre avec la rentrée des élèves ingénieurs de 3^{ème} année et s'étalent sur le premier semestre de l'année universitaire.

Les étudiants inscrits au Mastère, dont le cursus passé aura comporté des enseignements couvrant une partie substantielle de l'un des modules proposés pourront être dispensés par la commission du Mastère sur présentation des justificatifs appropriés.

5. Les enseignements

Les enseignements ne comportent pas d'option. Ils sont organisés en groupes de modules de cours dispensés lors du premier semestre.

Durant les deux semestres qui suivent, et pour ceux qui auront, à la fin du premier semestre, réussi aux épreuves des enseignements approfondis, des **séminaires d'initiation pédagogique, des conférences et Travaux d'Enseignements et de Recherche seront organisés**. Ils seront menés en parallèle avec la préparation du mémoire de recherche.

Groupe de modules :

Intitulé	Cours (h)
Modélisation et Commande des systèmes électriques	75
Energie Electrique	135
Automatique et traitement de signal	60
<i>Total</i>	<i>270</i>

Les enseignements sont assurés par des enseignants permanents de l'E.N.I.T., des enseignants permanents de l'Université Tunisienne.

Tous les enseignements ont lieu à l'E.N.I.T., Campus Universitaire El Manar.

5.1 Séminaires et conférences

Dans le cadre des **formations à caractère pédagogique**, des conférences effectuées par des intervenants ayant une **grande expérience pédagogique** seront assurées. Elles auront pour objectif, outre que celui pédagogique, de donner un complément d'informations, une ouverture sur les travaux de recherche actuels et sur l'évolution technologique ainsi que les perspectives futures dans le domaine des Systèmes Electriques.

La liste de ces séminaires est affichée au début de l'année universitaire. Les étudiants y assistent et rédigent un compte rendu.

5.2 Le mémoire du stage de recherche

Le projet de mémoire de mastère est réalisé, selon les textes en vigueur, après la réussite des examens du premier semestre. Il s'étale sur deux semestres.

Il relève d'un travail scientifique d'initiation à la recherche et d'approfondissement d'une problématique liée au Contrôle des Systèmes Electriques. Un intérêt particulier est donné à l'approche appliquée. De même qu'un lien avec l'environnement et en particulier le secteur productif est vivement souhaitable.

La commission du mastère, formée des enseignants intervenant dans la formation, examine chaque année, au moment opportun, les propositions de sujets de Mastère et autorise les stages. Le stage de Mastère est réalisé au sein d'un groupe de recherche ou dans un organisme économique sous la supervision d'un enseignant habilité par ladite commission.

6. Stages d'initiation à la recherche- Laboratoires d'accueil

Dans le domaine des Systèmes Electriques, l'Unité de Recherche Systèmes Electriques, (L.S.E.) du département Génie Electrique de l'ENIT, constitue le noyau autour duquel le Mastère s'articule. Néanmoins il y a possibilité, avec accord du responsable de la formation et sous certaines conditions de faire le stage dans un autre laboratoire universitaire ou dans un laboratoire industriel, tunisien ou étranger.

7. Qui peut postuler au Mastère Systèmes Electriques ?

Le Mastère est ouvert aux Ingénieurs Diplômés du Génie Electrique. Toutefois, d'autres candidatures en maîtrise et/ou en sciences de l'ingénieur, dont la formation est jugée compatible par la Commission du Mastère, seront examinées.

8. Recrutement et déroulement des études

Le recrutement se fait, pour les élèves de 3^{ème} année ENIT - Génie Electrique en fonction de leur classement durant les années précédentes, et pour les étudiants titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou d'une maîtrise, sur examen de dossier.

Les élèves ingénieurs **la 3ème année GE, Option Systèmes Electriques** pourront valider les enseignements suivants du cours de mastère Systèmes Electriques. En effet, ces cours sont équivalents à leurs équivalents dispensés dans la formation d'ingénieur. Ils correspondent à 45% des enseignements de Mastère.

Intitulé	Heures
Commande de Machines Electriques	15
Modélisation du champ et CAO	15
Diagnostic des systèmes électriques	15
Cem	15
Analyse des Réseaux Electriques	15
Traitement de signal	15
Total	120

9. Le contrôle des connaissances.

Le système d'évaluation est celui en vigueur à l'ENIT

10. Effectifs prévisionnels

La Commission de Mastère fixera l'effectif de la promotion selon la capacité d'encadrement réelle disponible.

11. Les programmes des Cours

	Modules Modélisation et Commande	Heures
MC1	Commande de Machines Electriques	15
MC2	Modélisation du champ et CAO	15
MC3	Conception systémique en Génie Electrique	15
MC4	Commande numérique	15
MC5	Diagnostic des systèmes électriques	15
Total		75

	Modules Energie Electrique	Heures
EE1	Régimes transitoires	15
EE2	Modélisation et commande des convertisseurs statiques	15
EE3	Cem	15
EE4	Alimentation Hautes Fréquences	30
EE5	Convertisseurs multiniveaux	15
EE6	Filtrage actif et FACT	15
EE7	Réseaux Electriques	30
Total		135

	Modules Automatique et traitement de signal	Heures
AU1	Traitement de signal	15
AU2	Systèmes multivariables	15
AU3	Systèmes non linéaires	15
AU4	Fiabilité des systèmes électriques	15
Total		60

12. Dossiers de Candidature

Voir le site web de l'Ecole Doctorale pour les procédures d'admission

13. Les Programmes

Code	Titre du cours	V.H
AU1	Traitement de signal	15h
Objectifs Apprendre les outils de traitement numérique du signal Programme Analyse fréquentielle des signaux : <ul style="list-style-type: none"> - Analyse en série de Fourier et Transformée de Fourier dans le cas des signaux analogiques. - Passage de l'analogique vers le numérique : la conversion analogique numérique en mettant l'accent sur l'échantillonnage et choix de la fréquence d'échantillonnage. - Transformée de Fourier des signaux numériques - Transformée de Fourier Discrète (TFD) et la Transformée de Fourier Rapide (FFT : Fast Fourier Transform) . - La TFD des signaux à durée illimitée : Troncature et fenêtrage temporel. Estimation optimale d'un signal : Approche Kalman		

AU2	Systèmes multivariables	15h
Objectifs Introduire les méthodes d'observation et de commande de systèmes linéaires multivariables. Programme Modélisation des systèmes multivariables Commandabilité et observabilité des systèmes multivariables Commandes modales dédiées aux systèmes multivariables Placement de pôles par retour d'état- Placement de structure propre : gestion des modes et des couplages consignes/modes/états/sorties par placement des vecteurs propres. Retour de sortie - Stabilité et stabilisation dans l'espace d'état Synthèse d'observateur d'état		

AU3	Fiabilité des systèmes	15h
Objectifs Sensibiliser à la prise en compte des paramètres de la sûreté de fonctionnement lors de la conception et l'exploitation des systèmes industriels et à l'analyse des modes de fonctionnement anormaux (non désirés ou interdits) et prendre les actions appropriées pour éviter une dégradation des processus Enseigner les outils de la fiabilité Programme -Indicateurs de la sûreté de fonctionnement – Terminologie et normes. Organisation générale de la procédure de diagnostic. - FIABILITE : Définition, Les lois de survie et de dégradation, Taux de défaillance, MTBF et MTTF, Fiabilité Prévisionnelle, Fiabilité Opérationnelle, Courbe en baignoire - FIABILITE DES ASSOCIATIONS Association série, redondance active totale , redondance active partielle redondance majoritaire, redondance passive -ESSAIS DE FIABILITE : Evaluation de la fiabilité prévisionnelle, Les plans d'essais -ANALYSE DE LA FIABILITE PAR LES PARAMETRES DE WEIBULL Définition des paramètres, Détermination graphique des paramètres de Weibull , Exemples d'applications - MAINTENABILITE : Définition , Taux de réparation, MTTR - DISPONIBILITE : Définition, Calcul de disponibilité (application des chaînes de Markov), Disponibilité intrinsèque -MÉTHODES DE DIAGNOSTIC ISSUES DES ÉTUDES DE SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT - Introduction aux techniques d'analyse fonctionnelle Représentation du fonctionnement par arbres fonctionnels et matériels - AMDEC : Analyse des modes de défaillance de leur effets et leur Criticité) - Méthode de l'arbre de défaillance		

AU4	Systèmes non linéaires	15h
Objectifs Présenter les outils mathématiques nécessaires à la compréhension et à la mise en œuvre des méthodes d'analyse et de commande des processus industriels et à l'optimisation de leur fonctionnement Programme Construction des fonctions de Lyapunov Stabilité des systèmes non linéaires Linéarisation jacobienne et linéarisation exacte Analyse et synthèse par les fonctions de Lyapounov Commande optimale linéaire		

MC1	Commande de Machines Electriques	15h
Objectifs Expliquer les stratégies de commande des machines électriques triphasées permettant d'obtenir de hautes performances statiques et dynamiques avec les machines triphasées Programme		

ACTIONNEUR ASYNCHRONE : contrôle vectoriel (FOC) – contrôle direct de couple (DTC)- contrôle direct de puissance (DPC) –Etude de cas
 ACTIONNEUR SYNCHRONE : réglage du couple- autopilotage – stratégies de contrôle (FOC, DTC, contrôle du couple, de la vitesse, de la position)
 STRATÉGIES DE COMMANDE SANS CAPTEURS DE VITESSE
 COMMANDES TOLÉRANTES AUX DÉFAUTS

MC2	Modélisation du champ et CAO	15h
<p>Objectifs Présenter la CAO dans l'industrie électrique d'une façon générale et la CAO des systèmes électriques décrits par les équations du champ électromagnétiques d'une façon plus détaillée. Appliquer la modélisation du champ et son calcul par la méthode des Eléments Finis pour différentes applications</p> <p>Programme</p> <p>1. CAO DANS L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE : Objectifs et fonctions ; Systèmes électriques décrits par les équations du champ ; Evolution et impact.</p> <p>MODÉLISATION DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE : Classification, formulation (modèles électrostatiques, magnétostatiques ; électrocinétique et magnétodynamique), domaines d'application (actionneurs électriques, machines tournantes et linéaires ; micromoteurs ; réseaux et transformateurs....).</p> <p>APPROXIMATION PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS : Présentation- organisation des logiciels de CAO basés sur MEF ; géométrie des éléments ; élément de référence ; formulation intégrale ; organisation des calculs.</p> <p>COUPLAGE DES ÉQUATIONS DU CHAMP ET DE CIRCUIT.</p>		

MC3	Conception systémique en génie électrique	15h
<p>Objectifs Apprendre aux étudiants à appréhender globalement un système et non pas élément par élément, pour optimiser sa conception et son dimensionnement. Présenter des outils pour l'analyse et la modélisation des systèmes multi-physique (ou multi-domaines) et leurs couplages.</p> <p>Programme</p> <p>Contexte de l'approche système en Génie Electrique Présentation du formalisme Bond Graph (BG) Conception par l'analyse et la simulation avec l'outil Bond Graph. Etude de cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> Etude des systèmes mono et multi – machines pour l'entraînement électrique à vitesse variable. Etude des systèmes de la production décentralisée de l'énergie électrique 		

MC4	Commandes numériques	15h
<p>Objectifs Connaître les méthodologies de développement et les structures matérielles et logicielles dédiées à la commande numérique</p> <p>Programme</p> <p>GÉNÉRALITÉS : Spécifications et les contraintes associées des algorithmes dédiés aux commandes des systèmes électriques SOLUTIONS D'IMPLANTATION DES ALGORITHMES DE COMMANDE : Contraintes liées aux cibles –Implantation sur cible logicielle : cas des DSP dédiées, Implantation sur cible matérielle : cas des cibles FPGA MÉTHODOLOGIE DE DÉVELOPPEMENT : PHASE DE RAFFINAGE ALGORITHMIQUE -Elaboration de la solution fonctionnelle d'un algorithme de commande- Elaboration des spécifications de l'algorithme de commande –développement virgule fixe MÉTHODOLOGIE DE DÉVELOPPEMENT : PHASE DE CONCEPTION ARCHITECTURALE : Modèle architectural dédié –Modèle architectural modulaire -flot de conception architecturale</p> <p>ETUDE D'UN EXEMPLE : la discrétisation</p>		

MC5	Diagnostic des systèmes électriques	15h
<p>Objectifs Enseigner les outils de diagnostic et leurs applications aux machines électriques, aux convertisseurs statiques et à leur association</p> <p>Programme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Généralités : Classification des méthodes de diagnostic–procédure de diagnostic - Validation des mesures- Détection d'un dysfonctionnement - Méthodes par modélisation physique <ul style="list-style-type: none"> o Générateurs d'indicateurs de défauts o Génération d'équations de redondance analytique o Génération de résidus à l'aide d'observateurs, o Méthodes par estimation du vecteur d'état. o Méthodes par identification paramétrique o Méthodes spécifiques aux systèmes électriques - Méthodes de diagnostic par analyse des signaux externes <ul style="list-style-type: none"> o Diagnostic externe avec réseaux de neurones appliqué aux systèmes électriques o Diagnostic par analyse vibratoire des systèmes électromécaniques - Diagnostic par traitement du signal des grandeurs électriques 		

EE1	Régimes transitoires	15 h
<p>Objectifs Maîtriser les transformations utilisées dans l'analyse des systèmes électrotechniques en vue de la modélisation de ces systèmes et leur étude en régimes transitoires ou perturbés</p> <p>Programme</p> <p>COMPOSANTES SYMÉTRIQUES ET RELATIVES :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Généralités sur les transformations en électrotechnique • Composantes symétriques : Fortescue, Clarke et Concordia. • Composantes relatives : Transformation de Park <p>ÉTUDE DES RÉGIMES PERTURBÉS DANS LES RÉSEAUX</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modélisation des composants : Lignes, Transformateurs, Charges actives et passives • Etude des courants de défauts : (court-circuits : monophasé, biphasé, triphasé) <p>RÉGIMES TRANSITOIRES DES MACHINES ÉLECTRIQUES :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Machine à courant continu : Modèle généralisé de Kron • Machines à courant alternatifs : <ol style="list-style-type: none"> 1. Notion de vecteur d'espace 2. Modélisation des machines synchrone et asynchrone (étude de certains régimes transitoires). 		