

Edito

Le LEEI est un des acteurs majeurs de la recherche en Génie Electrique dans le pôle d'excellence que constituent Toulouse et la Région Midi-Pyrénées dans ce domaine. Au-delà de ses activités de recherche fondamentale, le LEEI se caractérise par la qualité et l'ampleur de ses relations industrielles. La valorisation des travaux qui y sont menés, notamment par les brevets qu'il dépose seul ou en partenariat, mais surtout par leur exploitation, et la signature de nombreux contrats de recherche avec des entreprises nationales et internationales en sont la preuve éclatante. L'implication du LEEI dans le laboratoire commun avec ALSTOM en est aussi une nouvelle démonstration.

Pour une école d'ingénieurs telle que l'ENSEEIH, et en particulier pour son département de formation en Génie Electrique et Automatique, le LEEI constitue donc un laboratoire d'adossment solide comme en témoigne la page 4 de ce 3eme numéro de LEEInfos. Les transferts réciproques entre la Recherche et l'Enseignement empreints de réalité industrielle, naturellement situés dans un contexte scientifique international, constituent un apport formidable pour la réputation de l'Ecole.

François Rodriguez
Directeur de l'ENSEEIH

SOMMAIRE

Edito	01
Dossier	01
Recherche	04
Enseignement	05
Actualités	06
Contacts	06

Lettre d'information du Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle

Une commande high-tech *Dossier* pour les systèmes électriques



En Génie Electrique, dans le domaine de la forte puissance, de quelques centaines à plusieurs milliers de kWatts, Maurice Fadel et Bernard de Fornel, Professeurs à l'INPT-ENSEEIH, expliquent que pour améliorer le comportement des machines électriques, les apports de l'électronique de puissance et de la commande sont déterminants.

Les enjeux de la commande...

Les travaux du groupe «Commande des Systèmes Electriques» du LEEI ne se traduisent pas par la réalisation d'objets : ils consistent principalement à tirer le meilleur parti des dispositifs existants à l'aide d'algorithmes de commande adaptés. Les résultats sont perçus à travers les effets induits par cette commande, l'optimisation des algorithmes conduisant à une amélioration du

comportement et à un meilleur rendement de la conversion électromécanique.

Dans la commande des systèmes électriques, la variable temps présente un caractère pré-pondérant, les temps de réponse devant être aussi brefs que possible. Parallèlement à ces contraintes temporelles, la réduction du nombre de capteurs sur les équipements est aussi un thème central dans le contexte de la forte puissance. En effet ces capteurs, notamment ceux liés à la machine (flux, couple, vitesse...) étant onéreux, fragiles et parfois difficiles à placer, il devient souhaitable de les remplacer par un algorithme utilisant des mesures déjà existantes ; on parle alors d'estimateurs ou d'observateurs. Ainsi, pour contrôler la vitesse d'un moteur, il n'est plus impératif de la mesurer, elle peut être obser-



Bernard De Fornel

vée, c'est-à-dire déduite d'autres valeurs plus simples à mesurer. Ceci nécessite l'utilisation de modèles mathématiques fiables, avec des moyens de calcul informatiques temps réel. Enfin, la robustesse des algorithmes est essentielle. Il s'agit de leur aptitude à s'affranchir des variations paramétriques. Lorsque, pour une raison quelconque, l'environnement de la machine subit une perturbation, le but de la commande est d'éviter que le fonctionnement du dispositif ne soit altéré. Dans un contexte industriel, cela signifie que la chaîne de production ne doit subir qu'un minimum de dégradation. Dans le monde des transports, c'est souvent la sécurité des voyageurs qui est en jeu ; la robustesse de la commande doit donc être maximale.

... pour la forte puissance

Dans le domaine de la forte puissance, il est d'autant plus important que les systèmes électriques suivent de manière optimale les références,

notamment pour des questions de sûreté de fonctionnement et de rendement. C'est le cas de la « cisaille volante », dénomination quelque peu effrayante qui désigne les découpes de tôle au kilomètre ; le système doit être performant et sécurisé, car toute interruption ou perturbation pourrait être très coûteuse.

De même, le patinage d'un essieu de locomotive sur son rail diminue considérablement le rendement de la motrice et pose des problèmes de sur-vitesse du moteur : il faut impérativement éviter qu'il ne s'emballle. Autre exemple : le moteur d'une locomotive étant alimenté par la caténaire, s'il y a une perte de contact au niveau de cette dernière, il ne faut pas que le régime du moteur chute. Une solution consiste à puiser transitoirement dans la réserve d'énergie des condensateurs, c'est-à-dire à consommer plus de courant avec moins de tension. Bernard de Fornel, fort de sa longue expérience acquise au travers de nombreux contrats industriels qu'il a conduits avec Maria David, Professeur à l'INPT-ENSEEIH, et Xavier Roboam, Chargé de Recherche au CNRS, cite les exemples du tramway de Grenoble (300 kWatts) et du TGV Eurostar (1,2 MWatts par moteur).

La réponse Recherche

Face à ces problèmes très pointus, les industriels font souvent appel aux

laboratoires de recherche. Maurice Fadel précise que dans ce domaine les exigences sont à la hausse. Bien piloter une machine électrique, c'est bien contrôler sa vitesse à tout instant via le **contrôle du couple électromagnétique**. L'alternative consiste alors à développer de nouveaux algorithmes ou à améliorer ceux qui existent. Dans la première catégorie, il y a le contrôle direct du couple (DTC, Direct Torque Control) ou le contrôle par flux orienté. Le LEEI a travaillé sur ces deux types d'algorithmes, avec des mises au point effectuées principalement sur des machines asynchrones. En effet, elles sont simples et robustes, mais pour avoir de bonnes performances, elles deviennent très exigeantes en termes d'algorithmes. Les résultats ainsi obtenus sont donc très significatifs. L'apport de la commande est bien mis en valeur puisque les performances obtenues aujourd'hui permettent souvent à la machine asynchrone de supplanter d'autres machines.

Le contrôle de ces machines asynchrones passe par une bonne connaissance du flux électromagnétique dans l'entrefer du moteur, c'est-à-dire entre le rotor et le stator. Pour cela, il



Maurice Fadel

La commande des gros matériels industriels

Pas moins de trois thèses consécutives ont été co-encadrées par Cégélec, aujourd'hui ALSTOM Power Conversion, et le LEEI. Henri Godfroid, Responsable du Service Etudes Spéciales / Développement précise que cette collaboration d'une dizaine d'années a porté sur le développement et la mise au point d'algorithmes de commande de convertisseurs statiques destinés à l'alimentation de moteurs, asynchrones et synchrones, de grande puissance. Le but était de réduire les temps de réponse, pour avoir des réponses très dynamiques en couple et vitesse.

Les applications étaient la métallurgie, notamment l'entraînement de laminoirs, et les bancs d'essais en tout genre, par exemple pour les boîtes de vitesse des automobiles. Henri Godfroid ajoute que dans la métallurgie, les moteurs électriques n'effectuent pas un travail continu ; ils doivent être extrêmement nerveux et leur commande très rapide. Le besoin de performance dynamique est cyclique. Les bancs d'essais présentent les mêmes contraintes, avec en plus des phases de vitesse constante qui imposent à la machine un peu d'endurance. Les algorithmes pointus développés avec le LEEI ont permis de supprimer les problèmes de perte de précision des machines, et donc de production.

faut reconstruire cette grandeur à partir de la mesure des courants absorbés et/ou des tensions aux bornes de la machine. Cette procédure utilise des algorithmes spécifiques relevant de la **théorie de l'observation**, dans un cadre déterministe (observateur de Luenberger) ou stochastique (filtre de Kalman). Quant à l'utilisation de capteurs, elle est à bannir car trop chère, mais surtout parce qu'elle conduirait à des machines dédiées.



Soufflerie aéronautique transsonique ETW

Le développement des algorithmes de commande se fait à l'aide de logiciels de simulation pour réaliser des "expérimentations simulées". A partir de modèles standards, on prend en compte certains phénomènes pour représenter au mieux la réalité des fonctionnements. Il s'agit alors d'évaluer comment l'algorithme se comporte face aux perturbations. Comme d'autres laboratoires de recherche, le LEEI développe souvent des simulateurs "maison" pour compléter les logiciels commerciaux tels que SABER ou Matlab, très utiles par ailleurs. Le LEEI a ainsi développé la suite des logiciels POST (Programme Ouvert pour la Simulation et le Test), qu'il commercialise via le CNRS et qu'il enrichit par capitalisation du savoir-faire. Des établissements publics, la SNCF, Siemens ou encore Leroy-Somer ont acheté une licence POST.

Enfin, une particularité du LEEI réside dans son approche couplée énergie-information si chère aujourd'hui à Jean Faucher, Professeur à l'INPT-ENSEEIH, mêlant l'étude des échanges énergétiques et l'analyse des relations de cause à effet. Cette particularité est liée à l'histoire du LEEI qui est à l'intersection de l'électrotechnique et de l'automatique. Le point de départ était la maîtrise de

l'énergie, puis se sont développées l'automatique et la commande des systèmes électriques qui ont engendré des travaux en modélisation, en identification et en simulation.



Train à bandes - Usinor Dunkerque

Une nouvelle cible : la faible puissance

Au-delà de la forte puissance, des gros matériels industriels et du secteur ferroviaire, l'époque est plus que jamais au tout électrique. Les voitures embarquent de plus en plus d'actionneurs électriques. De même, dans les transports aériens, les dispositifs hydrauliques tendent à être remplacés par des actionneurs électriques, avec des moteurs plus fiables, moins volumineux, plus performants et non polluants.

Outre son expertise dans la commande des machines de forte puissance, le LEEI a également initié des partenariats avec des industriels tels que Leroy-Somer ou le groupe Schneider ; ces derniers fabriquent des variateurs de vitesse "génériques" qui peuvent être utilisés dans diverses applications : pompage, machines-outils, ventilation, dispositifs de pressurisation, robotique.

Contact : Maurice Fadel
Tél. : 05 61 58 83 36
Maurice.Fadel@leei.enseeiht.fr

De multiples applications ferroviaires

Le pilotage vectoriel des moteurs asynchrones, véritables standards de la chaîne de traction des locomotives depuis le début des années 80, a été au cœur des collaborations entre ALSTOM et l'équipe Commande du LEEI. Philippe Nogaret, Responsable Recherche "Système traction" d'ALSTOM, basé à Tarbes, cite l'exemple d'une thèse traitant des interactions électriques et mécaniques et de leurs influences sur le pilotage. Avant de développer la commande adéquate, il faut modéliser l'ensemble de la chaîne de traction, c'est-à-dire tous les éléments électriques et mécaniques, qui doivent être décrits sous forme d'équations mathématiques. De plus, il est nécessaire de tenir compte de la signalisation présente le long des voies ferrées, car elle est alimentée avec des courants de très faible intensité et peut donc être perturbée par les alimentations des locomotives, avec tout ce que cela implique sur la sécurité des voyageurs.

Bien commandé, le système de traction électrique ne provoquera ni patinage ni enrayage au niveau du contact entre la roue et le rail. L'enrayage désigne le blocage de la roue qui peut créer un plat sur cette dernière, la locomotive risquant alors de dérailler.

Un thème d'étude actuel concerne l'alimentation en parallèle de deux moteurs de traction, chacun avec sa charge mécanique, par une même source électronique de puissance. Il y a donc un couplage fort entre ces deux moteurs, tant du point de vue électrique que mécanique, et c'est toute la modélisation de ce système qui fait l'objet de la présente collaboration entre ALSTOM et le LEEI



Panorama des ressources du LEEI

Depuis l'automne 1999, le paysage informatique du LEEI a été considérablement amélioré, tant sur le plan de la puissance de calcul que sur celui des fonctionnalités du réseau.

Jean Hector et Jacques Benaïoun, les deux administrateurs des systèmes et du réseau du LEEI, précisent que la première étape a consisté à niveler par le haut tous les PC des utilisateurs, ceux des bureaux et ceux des salles en libre accès, avec 128 Mo de RAM, des cartes vidéo 3D d'une qualité d'affichage fluide, et en remplaçant les machines les plus anciennes. La finalité de ces mises à jour était de permettre à tous les chercheurs et personnels du laboratoire de manipuler confortablement tous les outils bureautique et d'utiliser les nouvelles versions des logiciels tels que SABER ou OPERA, ainsi que les ressources annexes comme les traceurs ou les imprimantes.

Sur le plan système, les contraintes de sécurité ont conduit à la généralisation de Windows NT, à la fois sur les postes clients et sur les serveurs. Ces derniers sont actuellement au nombre de deux : l'un sert à l'authentification des utilisateurs, à la gestion des ressources annexes, à la base de données et au serveur Web du LEEI, l'autre héberge les espaces de travail des utilisateurs et les logiciels. Une autre nouveauté réside dans la mise en œuvre d'une architecture centralisée : aucune ressource logicielle n'est installée sur le disque dur du PC de l'utilisateur, les logiciels et les fichiers étant stockés sur les serveurs. Les motivations de ce choix proviennent essentiellement de son moindre coût d'administration, notamment parce que la gestion des utilisateurs et des sauvegardes est centralisée, et les installations de logiciels n'ont pas à être dupliquées.

Outre cet ensemble de stations et serveurs Windows NT 4, le parc informatique du LEEI comprend également de puissantes stations de travail UNIX et un serveur Linux qui



Coeur du quadri-processeurs HP

héberge les fichiers des utilisateurs et quelques services réseaux comme la messagerie électronique. A terme les mondes Windows et UNIX fusionneront, avec une authentification unique des utilisateurs. L'accès aux postes Windows depuis les stations UNIX se fera par l'intermédiaire d'un serveur Windows Terminal Server. Au total pas moins de 100 Go sur le réseau Windows NT et 100 Go sur le réseau UNIX sont disponibles pour les personnels du LEEI.

Mais le fleuron des ressources informatiques du LEEI est sans conteste le serveur UNIX HP, véritable monstre de puissance, doté de 4 processeurs RISC 64 bits. Associé à un ancien serveur bi-processeurs, il joue le rôle de serveur de calculs, notamment utilisé pour les simulations les plus gourmandes.

Parallèlement au décloisonnement des mondes Windows et UNIX, et à la banalisation des accès à tous les logiciels, la capacité de sauvegarde à

très vite due être augmentée. Depuis Décembre 1999, une unité DLT 7000 15 bandes magnétiques stocke sur plus de 600 Go toutes les données du laboratoire grâce à un logiciel développé en interne qui donne entièrement satisfaction.

Toutes ces évolutions remarquables permettent aux travaux de recherche d'être menés dans les meilleures conditions, les outils informatiques étant toujours plus sollicités. Cependant, d'autres améliorations sont en chantier ou sur le point de l'être. Ainsi, le système d'information Intranet du laboratoire migre progressivement vers une base de données Microsoft SQL-Server avec un serveur Web Microsoft IIS. Quant à l'accès à ce portail de services du LEEI, il se fait tout simplement via un navigateur Web. Les chercheurs du LEEI bénéficient donc de moyens informatiques de haut niveau, sûrs, avec un confort d'utilisation et une qualité de service très appréciables.

Contact : Jean Hector

Tél. : 05 61 58 83 45

Jean.Hector@leei.enseiht.fr



Salle des serveurs

Pour 30 enseignants/chercheurs permanents et 40 doctorants :

- 2 serveurs bi-pro Pentium III 550 MHz, 512 Mo de RAM, avec 100 Go et 36 Go de disques
- 1 serveur UNIX HP quadri-pro RISC 64 bits à 330 MHz, 2 Go de RAM
- 1 serveur Linux bi-pro Pentium II 400 MHz, 512 Mo de RAM, 130 Go de disques
- une centaine de clients Windows NT 4
- une trentaine de clients UNIX
- DLT 7000, 15 bandes de 35 Go (70 Go compressés)

Transfert Recherche <=> Enseignement

Ce transfert très actif est inhérent à la double fonction des enseignants qui sont aussi chercheurs dans des laboratoires spécialisés des domaines du Génie Electrique et de l'Automatique et Informatique Industrielle : le LEEI, (auquel sont rattachés 22 des 24 enseignants permanents du département), le LAAS (2 enseignants permanents) et l'ONERA. Les chercheurs CNRS de ces laboratoires participent également à cette formation, tout comme des enseignants d'autres universités.

Ce transfert est notamment concrétisé par des maquettes de laboratoire qui sont transférées dans les salles de travaux pratiques, après avoir été didactisées ;

les documents photographiques ci-après en représentent quelques illustrations.

Un transfert plus informel s'effectue aussi par la proximité des étudiants et des enseignants-chercheurs dans le cadre des projets courts et a fortiori des projets longs : l'implication des uns et des autres dans ces projets, souvent dans les murs mêmes du laboratoire, conduit à une qualité d'échange tout à fait remarquable, productive et très formative.

Enfin il faut insister sur le fait que ce transfert n'est pas unidirectionnel : le questionnement permanent des étudiants et la nécessité de formalisation qui en découle peuvent être très bénéfiques

pour alimenter la réflexion de la recherche et constituent une puissante motivation pour s'appuyer sur les fondamentaux des champs disciplinaires. De même, toute formalisation de la conception dans le cadre de la recherche, nécessite une réflexion de synthèse qui est en soi une démarche pédagogique.

De telles approches ont permis notamment de produire d'importants documents dans les Techniques de l'Ingénieur :

- Electronique de puissance (H.Foch) : D3151-D3158
- Onduleurs de tension (H. Foch, F. Forest, T. Meynard) : D3176
- Machines électriques (B. Noga-rède) : D3765 et D3410-3411 (à paraître)

Commande numérique des systèmes électriques



Les multiples travaux de recherche du LEEI liés à la conception de lois de commande ont permis l'élaboration de méthodes formelles et d'outils spécifiques. Ces méthodes sont basées sur une approche graduelle dans la prise en compte de la complexité (passage d'une modélisation simple à un modèle réaliste par « injection séparée et contrôlée des contraintes ») s'appuyant sur des outils de simulation issus de la recherche : les logiciels POST. Ces logiciels sont actuellement utilisés sous différentes formes pédagogiques couvrant des enseignements comme des Travaux Pratiques de commande en 2ème année, des Bureaux d'Etudes sur la variation de vitesse en 3ème année et des Thèmes

d'Etude et de Recherche traitant de la caractérisation d'actionneurs électriques en année de spécialisation.

Commande des Convertisseurs Statiques



Ce Thème d'Etude et de Recherche permet aux étudiants de 3ème année d'étudier et de valider des commandes de convertisseurs statiques. Il exploite les travaux du LEEI sur le simulateur analogique temps réel ARTE ainsi que les études sur la commande des systèmes à découpage. La modularité du simulateur analogique ARTE et la convivialité des commandes numériques facilitent l'étude des structures classiques BUCK, BOOST, Onduleur... sans risques matériels et humains.

Quand la conversion électromécanique de l'énergie dévoile ses lumières...



Issues des recherches menées au LEEI dans le domaine des machines silencieuses pour la propulsion navale, ce prototype à stator sans encoches modulaire permet de tester les différents modes d'interaction courant-aimantation utilisés dans les convertisseurs électromécaniques modernes. Un système électroluminescent intégré offre la possibilité de visualiser la distribution spatio-temporelle des sources du champ statorique.

Contact : Michel Metz
Tél. : 05 61 58 82 52
Michel.Metz@leei.enseeiht.fr

Un laboratoire commun avec ALSTOM



La société ALSTOM, trois laboratoires toulousains, le LEEI (INPT-CNRS), le LAAS (CNRS) et le LGET (UPS-CNRS), et deux laboratoires tarbais de l'ENIT et de l'IUT Génie Electrique ont décidé de créer un laboratoire

commun.. Trois PME sont également impliquées dans ce projet : Boostec (65), ITHPP (46) et Epsilon Ingénierie (31) . Il sera implanté à Tarbes sur le site d'ALSTOM.

En Europe, plusieurs laboratoires traitent de l'intégration de puissance pour des applications de faible puissance et faible tension ; mais aucun n'étudie ces problèmes avec les spécificités de la forte puissance, et plus particulièrement dans le domaine des transports. Les activités débiteront en ce mois de Septembre 2000 avec des thèses CIFRE.

L'objectif principal est l'établissement d'un pôle fort et pérenne de recherche, d'étude et de développement de systèmes de traction et de propulsion électrique pour répondre aux besoins des transports terrestres et maritimes du futur. Toutefois, l'ouverture vers d'autres domaines de la conversion de puissance est d'emblée envisagée.

Contact : Yvon Chéron

Tél. : 05 61 58 83 52

Yvon.Cheron@leei.enseeiht.fr

L'Europe de l'électronique de puissance sera à Toulouse en 2003

C'est officiel : l'organisation de l'édition 2003 du congrès biennal European Power Electronics (EPE) a été confiée au LEEI ! Cet événement majeur se tiendra du 1er au 4 septembre 2003 au Centre de Congrès Pierre Baudis à Toulouse. C'est un formidable honneur pour le LEEI, pour l'ENSEEIH et pour l'INPT que d'avoir été choisis, après Lausanne (Suisse) en 1999 et Graz (Autriche) en 2001. C'est également la preuve éclatante que la Région Midi-Pyrénées est reconnue comme pôle d'excellence européen en électronique de puissance dans son acception la plus large.



EPE est le plus grand congrès international qui se tient en Europe dans le vaste domaine de l'électronique de puissance, thème pivot du Génie Electrique. Fortement ouvert sur le monde

industriel, un millier de participants s'y retrouvent : pas moins de 900 propositions d'articles sont soumises au comité scientifique du congrès, lequel retient environ 600. Ces quelques chiffres traduisent l'importance et le caractère exceptionnel de ce rendez-vous.

La visibilité et la notoriété d'EPE sont telles que nos partenaires industriels auront certainement à cœur d'être présents. Les collectivités locales et territoriales seront également sollicitées ; les organisateurs comptent sur leur soutien pour que cette manifestation soit une réussite.

Contact : Bernard de Fornel
Membre du Comité Scientifique
du congrès EPE

Tél. : 05 61 58 82 55

Bernard.de.Fornel@leei.enseeiht.fr

Pour en savoir plus

Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique Industrielle

Direction : Yvon Chéron
Yvon.Cheron@leei.enseeiht.fr

Tél. : (33) 05 61 58 82 08

Fax : (33) 05 61 63 88 75

www.leei.enseeiht.fr

Département de Formation en Génie Electrique et Automatique

Direction : Michel Metz
Michel.Metz@leei.enseeiht.fr

Tél. : (33) 05 61 58 82 52

Fax : (33) 05 61 63 88 75

www.enseeiht.fr/formation/et/

Adresse postale :

ENSEEIH

2, rue Charles Camichel BP 7122

31071 Toulouse Cedex 7

www.enseeiht.fr

Directeur de Publication :

Yvon Chéron - Directeur du LEEI

Editeur : Press & Tech

Centre d'Affaires

38, avenue Henri Barbusse 92220 Bagneux

Tél. : 01 46 64 12 22 - Fax : 01 46 64 12 26

www.press-tech.fr

Rédacteur en chef : Small Chertouk

ISSN en cours

Tous droits réservés.