



Geeps

Génie électrique et électronique de Paris

LABORATOIRE GEEPS THÈSES 2020



université
PARIS-SACLAY



Abderrahmane Aboudourib

Imagerie en champ proche de systèmes racinaires par radar à pénétration de sol

La cartographie de systèmes racinaires dans des sols dispersifs et inhomogènes est mise en œuvre au moyen d'une technique non-destructive : le radar à pénétration de sol (dit GPR). Ce travail est motivé par les besoins croissants en termes de contrôle de santé et de stabilité des arbres, ainsi que l'impact négatif des racines sur les infrastructures urbaines pouvant parfois compromettre la sécurité des personnes et des biens. Un état de l'art a permis de déterminer les facteurs limitant la détection et la résolution des racines ligneuses (diamètre > 0,5 cm) par GPR. Puis l'accent est mis sur une nouvelle procédure de traitement pour reconstruire les architectures 3-D des racines à partir de données GPR sans information a priori sur les sols impliqués. La viabilité de la méthode proposée est étudiée à partir de simulations numériques (via gprMax) pour des modèles de racines réalistes en environnements hétérogènes dispersifs; cela implique un nombre de configurations pour une variété de sols. Des mesures contrôlées en laboratoire sont conduites sur des prototypes de racines en utilisant un système bi-statique dans la gamme fréquentielle 300 MHz – 3,3 GHz. Ceci est étendu à des études terrain de systèmes racinaires d'arbres réels avec l'utilisation d'un GPR commercial (MALA). Les bonnes performances et la pertinence de l'approche proposée sont illustrées par de multiples exemples.

Mots-Clés : Radar à pénétration de sol, Reconstruction 3-D, Traitement du signal et imagerie, Architecture racinaire, Expérimentation en laboratoire et terrain

Near field imaging of tree root systems using ground penetrating radar

The mapping of tree root systems within inhomogeneous dispersive subsoils is investigated by means of a non-destructive technique: Ground-Penetrating Radar (GPR). This work is motivated by the growing need for tree health and stability control, as well as the negative impact of roots on urban infrastructure, which could seriously compromise the safety of people and properties. A state of the art has allowed us to determine the limiting factors of coarse root (diameter > 0.5 cm) detection and resolution by GPR. Then, the focus is put on a novel processing procedure to reconstruct 3-D root architectures from GPR data with no a priori information on the soils involved. Viability is studied from comprehensive numerical simulations (via gprMax) on realistic root models in 3-D heterogeneous dispersive environments; this in particular means a number of simulations involving a variety of soils. Controlled laboratory measurements are conducted on root prototypes using a bi-static GPR system operating at 300 MHz – 3.3 GHz frequency range. This is extended to field studies on real root systems with the use of a commercial GPR (MALA). The good performance and high potential of the proposed approach are illustrated accordingly.

Keywords : Ground Penetrating Radar, 3-D reconstruction, Signal processing and imaging, Tree root architecture, Laboratory and field experimentation

Adriano Ceschia

Méthodologie de conception optimale de chaines de conversion d'énergie embarquées

Les travaux proposés dans cette thèse s'inscrivent dans le cadre de l'électrification des systèmes embarqués au travers du développement de nouvelles chaines hybrides de conversion d'énergie ; celle-ci se fondant sur de nouvelles motorisations et combinaison de sources d'énergies complémentaires. Ces systèmes présentent de nombreux degrés de liberté, tant vis-à-vis des paramètres de ses constituants, que des réglages des lois de contrôle qui leurs sont associées. L'optimisation (technico-économique) pertinente de ces chaines de conversion complexes repose donc sur l'aptitude des méthodes de recherche d'intégrer simultanément les paramètres macroscopiques des composants ainsi que leurs contraintes technologiques, les conditions aléatoires imposées par l'environnement sur un cycle de fonctionnement et enfin les algorithmes de contrôle de bas niveau comme la gestion énergétique globale. Les performances de ces systèmes reposent sur la capacité des méthodologies de conception à considérer les contraintes multiphysiques liées à leur environnement réel, l'adéquation des technologies, des topologies et des lois de commandes permettant d'intégrer et d'associer efficacement leurs constituants. Dans ce contexte, ces travaux de thèse visent à développer des outils et des méthodes permettant l'optimisation des architectures de puissance et de leurs constituants, en intégrant dès la première phase de conception les notions de contrôle-commande et de gestion énergétique. Ils se déploieront sur l'étude d'une chaîne de conversion hybride électrifiée fondée sur une l'association pile à combustible / batterie. Pour ce faire, une approche globale de conception est proposée, utilisant une stratégie bi-niveau qui considère le problème de la gestion d'énergie directement à l'intérieur du problème de dimensionnement et intègre d'une manière progressive au même niveau plusieurs critères de performance: consommation d'énergie, fiabilité et encombrement. L'approche en question adopte alors deux boucles d'optimisation imbriquées: la boucle externe, basée sur les performances de la PSO (Particle Swarm Optimization), s'occupe du dimensionnement, tandis que la boucle interne agit sur la gestion d'énergie, utilisant la rapidité de la commande optimale. Cela offre un champ d'exploration plus vaste qu'une approche conventionnelle et permet d'atteindre les meilleures performances d'optimisation des sources d'énergie embarquées (minimiser la consommation, respecter les contraintes de fonctionnement de chaque constituant ainsi que les durées de vie cibles, satisfaire les exigences de la charge) avec une convergence rapide ainsi que de bonnes robustesse et précision. Outre ce couplage fort entre dimensionnement et gestion d'énergie, il s'agit de prendre en compte le caractère incertain de l'utilisation en proposant une optimisation robuste du dimensionnement final. Cela nécessite une stratégie de gestion énergétique en temps réel. Ainsi, une extension de l'approche de conception est proposée pour le fonctionnement temps réel utilisant une interaction entre reconnaissance du mode de conduite et contrainte énergétique basée sur l'apprentissage, permettant ainsi de garantir une meilleure intégration de l'approche développée.

Mots-Clés : Conception optimale, Gestion d'énergie, Système hybride, Dimensionnement optimal, Pile à combustible/batterie, Fiabilité

Optimal design approach of embedded energy conversion systems

The research work proposed in this thesis falls within the context of embedded systems electrification with the development of a new hybrid power conversion chain, with new energy sources and powertrains. These systems offer many degrees of freedom regarding both the devices parameters and the tuning values of the associated control laws. The relevant (technico-economic) optimization of these complex power chains relies on the ability of the best-set algorithm to combine simultaneously the main parameters and the technological constraints of each component, the uncertain environmental conditions faced during areal use and finally the control algorithms as well as the global energy management. Their performances are based on the capacity of the design approaches to consider the real environment multiphysic constraints, the adequacy of the technologies, the topologies and the control laws, allowing to integrate and to associate effectively their constituents. In this context, this research work aims at developing tools and methods allowing the optimization of the power architectures and their components (hybrid energy conversion) by integrating in the design process the control-command and the energy management aspects. They consider a use case based on hybrid Fuel cell / Battery power system. For this purpose, a new nested methodology for complex system is been suggested. It enables to tackle large search spaces and considers different performance indexes (energy saving, reliability and volume). It simultaneously tunes and designs the energy management and component sizing by optimizing the main powertrain parameters while respecting the specifications. Technically, it uses two nested loops, combining the particle swarm optimization (PSO) technique's performance and the rapid optimal control algorithm. This strategy addresses vast search spaces, achieves faster convergence to the global optimal integer design solution, and provides a good accuracy and robustness. In order to consider the randomness feature of real driving cycle (stochastic characteristic), a real time energy management strategy (EMS) was introduced based on an extension of the design approach, which increases its availability. By using machine-learning technique, an estimation of the current driving mode is developed and permits to guide the online energy management system.

Keywords : Optimal design, Energy management, Hybrid system, Optimal sizing, Fuel cell/battery, Reliability

Anas Lahlou

Stratégies de gestion énergétique et de confort thermique pour les véhicules électriques à batterie.

Le système HVAC représente la principale charge auxiliaire des véhicules électriques à batterie (VEB) et nécessite des approches de contrôle efficaces qui équilibrent entre consommation énergétique et confort thermique. D'une part, les passagers exigent toujours plus de confort, mais d'autre part la consommation du système HVAC impacte fortement l'autonomie du véhicule, ce qui constitue un enjeu majeur des VEB. Ces deux exigences doivent être satisfaites par la stratégie de gestion énergétique, en suggérant au conducteur d'ajuster soit le confort thermique, soit la vitesse du véhicule, afin de satisfaire la contrainte d'énergie disponible. En effet, s'il n'y a pas assez d'énergie embarquée pour la traction et pour un confort thermique idéal, ce dernier doit être diminué afin d'économiser de l'énergie et permettre au véhicule d'atteindre sa destination finale ou le prochain point de recharge. Dans certaines situations, il peut être plus judicieux de ralentir afin de permettre un meilleur confort thermique. Dans la présente thèse, une approche de gestion optimale du confort thermique qui optimise le confort thermique tout en préservant l'autonomie lors d'un trajet est proposée. Le véhicule électrique est d'abord modélisé. Ensuite, le comportement thermo-physiologique du conducteurs/passagers ainsi que les indices de confort thermique des passagers sont présentés. Le problème de la gestion du confort thermique est formulé comme un problème d'optimisation et résolu par l'algorithme de programmation dynamique. Deux cas-tests représentatifs de climats chauds et de situations de trafic sont simulés. Dans le premier cas-test, le coût énergétique et le ratio de confort amélioré sont quantifiés pour différentes conditions météorologiques et de circulation. Le second cas-test met en évidence les situation de trafic dans lesquelles un compromis entre la vitesse du véhicule et le confort thermique est important. Un grand nombre de scénarios météorologiques et routiers sont simulés et les résultats montrent l'efficacité de l'approche optimale proposée pour minimiser la consommation d'énergie tout en maintenant un confort acceptable. Une comparaison entre différents indices de confort thermique est enfin réalisée, pour évaluer les gains de l'utilisation du modèle thermo-physiologique. Si les résultats de l'approche optimale sont prometteurs et valident le principe du confort thermique et de la gestion énergétique, le coût de calcul de la programmation dynamique reste important pour une implémentation à bord dans un véhicule électrique. Une stratégie de gestion énergétique en temps réel a donc été développée, en utilisant les résultats de l'approche optimale, et un modèle simplifié mais toujours précis et représentatif du confort thermique. Sur la base des prévisions de trafic et de météo pour un trajet donné, l'algorithme temps réel estime d'abord l'énergie nécessaire à la traction et l'énergie disponible pour le confort thermique. Ensuite, il détermine le meilleur niveau de confort qui peut être fourni dans ces conditions énergétiques et contrôle le système HVAC en conséquence. Si les prévisions sont mises à jour pendant le trajet, l'algorithme ajuste le niveau de confort thermique pour satisfaire la contrainte d'énergie disponible. L'algorithme en temps réel est testé pour une grande variété de scénarios météorologiques et de trafic. Les résultats montrent que les estimateurs d'énergie ont une bonne précision. L'erreur relative absolue est d'environ 1,7% pour le premier (traction), et de près de 4,1% pour le second (confort thermique). L'efficacité de la stratégie de gestion du confort thermique proposée est évaluée en la comparant à une approche de contrôle optimal hors ligne basée sur une programmation dynamique. Les résultats de la simulation montrent que l'approche proposée est quasi optimale, avec une légère augmentation de l'inconfort de seulement 3%.

Mots-Clés : Contrôle optimal, Contrôle temps-réel, Véhicules électriques, Système de chauffage, Thermophysiologie humaine, Confort thermique, Stratégies de gestion énergétique

Energy and Thermal Comfort Management Strategies for Battery Electric Vehicles

The HVAC system represents the main auxiliary load in battery-powered electric vehicles (BEVs) and requires efficient control approaches that balance energy saving and thermal comfort. On the one hand, passengers always demand more comfort, but on the other hand the HVAC system consumption strongly impacts the vehicle's driving range, which constitutes a major concern in BEVs. Both of these requirements should be satisfied by the control approach, by suggesting to the driver to adjust either the thermal comfort or the vehicle speed, in order to meet the energy constraints. Indeed, if there is not enough embedded energy for both traction and optimal thermal comfort for the planned trip, the thermal comfort should be diminished in order to save energy and allow the vehicle to reach its final destination or the next charging point. In some situations, it may be wiser to consider slowing down in order to allow a better thermal comfort. In the present thesis, an optimal thermal comfort management approach that optimizes the thermal comfort while preserving the driving range during a trip is proposed. The electric vehicle is first modeled including the powertrain and the HVAC system. Secondly, the passengers' thermo-physiological behavior and thermal comfort indices are presented. Then, the thermal comfort management issue is formulated as an optimization problem and solved by dynamic programming algorithm. Two representative test-

cases of hot climates and traffic situations are simulated. In the first one, the energetic cost and ratio of improved comfort is quantified for different meteorological and traffic conditions. The second one highlights the traffic situation in which a trade-off between the driving speed and thermal comfort is important. A large number of weather and traffic situations are simulated and results show the efficiency of the proposed optimal approach in minimizing energy consumption while maintaining a good comfort. A comparison between different thermal comfort indices is finally conducted, to assess the gains from using our model of human thermo-physiology. While the results of the optimal approach were promising and validate the principle of thermal comfort and energy management, the computation cost of dynamic programming is still too high for an implementation in an on-board computer. A real-time energy management strategy was therefore developed, by using the results of the optimal approach, and a simplified but still precise and representative model of thermal comfort. Based on traffic and weather predictions for a given trip, the real time algorithm first estimates the energy required for the traction and the energy available for thermal comfort. Then, it determines the best thermal comfort that can be provided in these energetic conditions and controls the HVAC system accordingly. If the predictions are updated during the trip, the algorithm adjust the thermal comfort level to meet the energy constraint. The real-time algorithm is tested for a wide variety of meteorological and traffic scenarios. Results show that the energy estimators have a good accuracy. The absolute relative error is about 1.7% for the first one (traction), and almost 4.1% for the second one (thermal comfort). The effectiveness of the proposed thermal comfort management strategy is assessed by comparing it to an off-line optimal control approach based on dynamic programming. Simulation results show that the proposed approach is near-optimal, with a slight increase of discomfort by only 3%.

Keywords : Electric Vehicles, HVAC systems, Human thermo-physiology, Thermal comfort, Energy Management, Optimal control, Real-time control

Aurélien Fouque

Contribution à l'étude du couplage thermique-mécanique-électrique dans les contacts électriques : application à l'élaboration d'un modèle de durée de vie d'un contacteur

Un contacteur est un dispositif électromécanique destiné à établir ou couper un courant électrique dans un circuit par la fermeture ou l'ouverture de contacts. Lors de chaque manœuvre, un arc électrique est créé entre les « pastilles » des contacts, conduisant par l'énorme densité de puissance mise en jeu à atteindre et dépasser localement la température de fusion du matériau. De ce fait, l'action répétée des arcs durant la vie de l'appareil (jusqu'à plusieurs centaines de milliers de cycles ouverture/fermeture) mène progressivement à la « ruine » des pastilles des contacts et au dysfonctionnement du contacteur. Le travail de thèse vise à proposer des outils de modélisation de l'endommagement des pastilles de contact sous l'effet des arcs, dans l'objectif à plus long terme de prédire la durée de vie du contacteur selon ses conditions d'utilisation. Le matériau considéré est un pseudo-alliage en argent et oxyde d'étain. Dans un premier temps, plusieurs campagnes expérimentales ont été menées pour réunir toutes les données d'entrée indispensables aux modélisations : détermination des propriétés thermomécaniques du matériau, caractérisation des endommagements – en surface et en profondeur – produits par un arc unique et par une accumulation d'arcs, estimation de la densité de puissance apportée par un arc au matériau de contact. De nombreuses techniques ont ainsi été mises en œuvre : essais de traction monotone et de chargement cyclique, indentation (microdureté), profilométrie 3D, microscopies optique et électronique à balayage, analyses EDS et EBSD, imagerie par caméras thermique et ultra-rapide. Puis deux types de modèles ont été successivement développés. Le premier utilise le code de calcul par éléments finis Zset. Développé en géométrie axisymétrique, il vise à décrire au sein du matériau l'évolution des températures, contraintes et déformations résultant d'un arc (supposé fixe), puis l'amorçage de fissures au terme de quelques centaines d'impacts au même point. Une variante 3D a ensuite été abordée pour approcher le cas d'arcs mobiles. Le second modèle, de nature phénoménologique, repose sur des descriptions simplifiées de la topographie et de la teneur en argent au voisinage de la surface, ainsi que sur des règles d'occurrence et de distribution spatiale, issues autant que possible des observations expérimentales. Il est destiné à simuler dans un temps de calcul raisonnable les dommages résultant du cumul d'un très grand nombre d'arcs sur toute la surface des pastilles.

Mots-Clés : Contacteur, Arc électrique, Ag-SnO₂, Érosion, Démixtion, Modélisation

Contribution to the study of the mechanical-electric-thermal interaction in the electrical contacts : application to a lifespan model of a contactor

A contactor is an electromechanical device designed to establish or disconnect an electrical current in a circuit by closing or opening contacts. During each operation, an electric arc is created, due to the enormous power density involved to reach and locally exceed the melting temperature of the material. As a result, the repeated action of the arcs during the life of the device (up to several hundred thousand closing/opening cycles) gradually leads to the ruin of the contact pads and the malfunction of the contactor. The thesis work aims to propose tools for modelling the damage of contact pads under the effect of repeated impacts, with the longer-term objective of predicting the life of the contactor according to its operating conditions. The material considered is a pseudo-alloy made of silver and tin oxide SnO₂. As a first step, several experimental campaigns were carried out to collect all the input data required for modelling : determination of the thermomechanical properties of the material, characterization of damage – surface and bulk – produced by a single arc and by an accumulation of arcs, estimation of the power density provided by an arc to the contact material. Many experimental techniques have been used : monotonic tensile tests and cyclic loading, indentation (microhardness), 3D profilometry, optical microscopy and scanning electron microscopy, EDS and EBSD analysis, thermal imaging camera, high speed camera. Then two types of models were successively developed. The first one uses the Zset finite element code. Developed in an axisymmetric geometry, it aims to describe within the material the evolution of temperatures, stresses and strains resulting from an arc (assumed fixed), then the initiation of cracks after a few hundred of impacts at the same point. A 3D variant was then discussed to approach the case of moving arcs. The second model, of a phenomenological nature, is based on simplified descriptions of topography and tensile strength in silver in the vicinity of the surface, as well as on rules of occurrence and spatial distribution, taken as much as possible from experimental observations. It is intended to simulate in a manageable calculation time the damage resulting from the accumulation of a very large number of arcs over the entire surface of the pellets.

Keywords : Contactor, Electric arc, Ag-SnO₂, Erosion, Demixing, Modelling

Christine Abdel Nour

Modélisation d'une installation photovoltaïque avec réflecteurs en vue de l'intégration dans un réseau intelligent

Dans un but d'amélioration des performances d'une installation photovoltaïque (PV), une approche complémentaire à l'amélioration du rendement des modules PV est l'augmentation de la collecte des photons par faible concentration du flux solaire sur les modules. Les réflecteurs plans sont une solution a priori simple et économique. Ils permettent d'augmenter la production électrique sans surcoût important. Cependant, l'estimation de ce gain demande une prise en compte fine de l'éclairement non uniforme apporté par ces réflecteurs. L'objectif de ce travail de thèse est de tester le potentiel d'un système PV-réflecteurs avec la possibilité d'un ajustement périodique des angles d'inclinaison du plan des réflecteurs et du plan des modules PV. Dans ce but, il a été nécessaire de mettre en place un démonstrateur PV-réflecteurs avec des modules industriels, ainsi que de développer et de valider expérimentalement un outil de modélisation simple. Dans un premier temps, un modèle d'estimation de l'irradiation du plan des modules « plane of array, POA » basé sur l'optique cartésienne et des hypothèses de rayonnement isotrope de l'atmosphère et de réflexion lambertienne des surfaces est développé. Il s'appuie en entrée, sur des mesures au sol ou des images satellite. Ce modèle validé a ensuite permis d'optimiser la géométrie d'une installation PV-réflecteurs en considérant une installation fixe ou à géométrie variable, avec des ajustements périodiques différents (mensuels, saisonniers) des angles d'inclinaison des modules PV et des réflecteurs, ainsi que différentes longueurs de réflecteurs. Cette stratégie d'optimisation géométrique de l'irradiation POA a été appliquée dans six lieux dans le monde ayant des conditions météorologiques très différentes. Un modèle d'estimation analytique est ensuite élaboré pour passer de l'irradiance POA à la puissance PV. L'ajout de réflecteurs plans introduit une distribution non uniforme de l'irradiance sur les modules PV pouvant provoquer l'activation de diodes bypass. Ce modèle photo-électrique a été évalué expérimentalement pour un module PV avec éclairement non uniforme. Finalement, un démonstrateur PV est construit au laboratoire GeePs (avec 6 modules au Silicium cristallin connectés en série) et équipé de réflecteurs plans, de capteurs d'irradiance POA et de température. Une analyse de la production de cette installation a été conduite sur une année en absence et en présence de réflecteurs. Le modèle analytique développé précédemment a permis de choisir l'architecture fixe de ce démonstrateur ainsi que de mener des études de performances. Les résultats soulignent l'importance d'optimiser spécifiquement l'architecture d'un système PV-réflecteurs selon la zone géographique et la saison ou le mois de l'année. Ils montrent également qu'une étude en irradiation permet d'optimiser un potentiel local indépendamment de la technologie des modules mais en aucun cas elle, n'est suffisante pour optimiser la géométrie d'une installation. Enfin, le modèle théorique est nécessairement simplificateur : non prise en compte de l'horizon très proche, hypothèse de rangées infinies, hypothèse d'une atmosphère uniforme et isotrope, coefficient de réflexion des miroirs constants, approche pessimiste concernant l'activation des diodes de bypass... et les mesures localisées nécessairement limitées et présentant des incertitudes. La mise en place des démonstrateurs a notamment permis d'apporter des réponses et des éléments de discussion autour de ces aspects.

Mots-Clés : Panneaux photovoltaïques, Réflecteur plan, Faible concentration, Autoproduction

Modeling of a photovoltaic installation with reflectors for integration in an intelligent network

In order to improve the performance of a photovoltaic (PV) installation, a complementary approach to improving the efficiency of PV modules is to increase the collection of photons using low concentration of the solar flux on the modules. Flat reflectors are a simple and economical solution for that purpose. They allow increasing electrical production without significant additional cost. However, the estimation of this gain requires careful consideration of the non-uniform illumination provided by these reflectors. The objective of this thesis work is to test the potential of a PV-reflector system with the possibility of periodic adjustment of the tilt angles of the plane of the reflectors and the plane of the PV modules. To this end, it was necessary to set up a PV-reflector demonstrator with industrial modules, as well as to develop a simple modeling tool and validate it experimentally. First, an estimation model of the plane of array, POA, based on Cartesian optics and hypotheses of isotropic radiation of the atmosphere and Lambertian reflection of surfaces is developed. It is based on ground measurements or satellite images inputs. This model experimentally validated allowed to optimize the geometry of a PV-reflector installation by considering a fixed installation or variable geometry, with different periodic adjustments (monthly, seasonal) of the tilt angles of the PV modules and the reflectors, as well as different lengths of reflectors. This strategy for geometrical optimization of POA irradiation has been applied in six locations around the world with very different weather conditions. An analytical estimation photoelectric model is then developed to move from POA irradiance to PV power estimation. Adding flat reflectors introduces a non-uniform distribution of the irradiance on the PV modules which can cause the activation of bypass diodes. This photoelectric model has been tested experimentally for a PV module with non-uniform illumination. Finally, a PV demonstrator is

built at the GeePs laboratory (with 6 crystalline Silicon modules connected in series) and equipped with planar reflectors, POA irradiance sensors and temperature sensors. An analysis of power production of this installation was carried out over a year in the absence and presence of reflectors. The analytical model developed previously made it possible to choose the suitable fixed architecture of this demonstrator as well as to conduct performance studies. The results highlight the importance of optimizing the architecture of a PV-reflector system according to the geographic area and the season or the month of the year. They also show that an irradiation study makes it possible to optimize a local potential of such system independently of the technology of the modules, but in no case, it is sufficient to optimize the geometry of an installation. Finally, the theoretical model is simplified: not taking into account the very near horizon, assumption of infinite rows, assumption of a uniform and isotropic atmosphere, constant coefficient of mirrors reflection, pessimistic approach concerning the activation of the bypass diodes... and limited local measurements presenting uncertainties. The installation of demonstrators has made it effectively possible to provide answers and elements of discussion around these aspects.

Keywords : Photovoltaic panels, Planar reflector, Low concentration, Autoproduction

Clément Marchat

Caractérisation électrique et optoélectronique de nouveaux matériaux et composants photovoltaïques à partir de techniques AFM

Cette thèse s'intéresse à la caractérisation des propriétés électriques des dispositifs photovoltaïques (PV) par deux techniques de microscopie à sonde locale : la microscopie à force atomique à pointe conductrice (c-AFM) et la microscopie à sonde de Kelvin (KPFM). Elle commence par une étude sur le silicium cristallin, et plus spécifiquement sur l'influence des états de surface sur la mesure KPFM. Cette dernière a été réalisée à l'obscurité et sous éclairage dans le but d'extraire le photovoltage de surface (SPV). Cette étude expérimentale a été complétée avec de la simulation numérique. Dans une deuxième étude nous avons caractérisé des dispositifs PV à nanofils. Il s'agit de jonctions radiales PIN en silicium amorphe hydrogéné réalisées sur des nanofils de silicium cristallin fortement dopé qui ont été étudiées par KPFM et SPV. Nous avons ainsi pu montrer que sur des dispositifs à nanofils recouverts d'ITO, la mesure de SPV permet de mesurer la tension de circuit-ouvert (Voc). Cette même mesure appliquée sur des nanofils uniques (sans contact ITO en face avant) est fortement influencée par l'ombrage de la pointe AFM et par les états de surface de la couche en silicium amorphe. Enfin nous nous sommes intéressés aux contacts passivants (poly-Si/SiOx/c-Si). Les caractérisations KPFM ont révélé des cartographies de potentiel de surface très homogènes en l'absence de la couche enterrée de SiOx, alors que de nombreuses zones de diamètre inférieur au micron présentent des valeurs de potentiel de surface plus faibles lorsque la couche de SiOx est incorporée dans la structure. Ces résultats semblent compatibles avec la présence d'inhomogénéités structurales de taille nanométrique (pinholes) dans la couche de SiOx.

Mots-Clés : Microscopie à sonde de Kelvin, Microscopie conductrice à force atomique, Cellule solaire, Silicium, Nanostructure, Tension de circuit ouvert

Electric and optoelectronic characterization of novel photovoltaic materials and device at the nanoscale by AFM

This thesis focuses on the characterisation of electrical properties of photovoltaic devices by using two scanning probe techniques: conductive atomic force microscopy (c-AFM) and Kelvin probe force microscopy (KPFM). It starts with a study on crystalline silicon (c-Si), and in particular the influence of surface states on the KPFM measurement. The latter was performed in the dark and under light to extract the surface photovoltage (SPV). This study was completed by numerical simulations that allow to extract surface state densities. A second study was focused on nanowire PV devices. These were PIN radial junctions based on hydrogenated amorphous silicon deposited on highly doped c-Si nanowires. We have shown that on nanowire devices that are covered with ITO, SPV measurements could mirror the value of open-circuit voltage (Voc), while the same measurements performed on single nanowires without ITO top coverage are strongly affected by the shadowing of the AFM tip and by the surface states of the amorphous silicon layer. Finally, we were interested in passivating contacts for c-Si solar cells and analysed poly-Si/SiOx/c-Si structures. When the SiOx interlayer is absent, the KPFM scans exhibit very homogeneous surface potential while numerous areas (with diameter less than 1 micron) of lower surface potential are revealed, when the SiOx buffer layer is introduced. These results seem compatible with the presence of nanometric structural inhomogeneities (pinholes) in the SiOx layer that were revealed by other studies.

Keywords : Kelvin probe force microscopy, Conductive atomic force microscopy, Solar cell, Silicon, Nanostructure, Open circuit voltage

Cyril Leon

Adaptation des techniques de caractérisation basées sur des mesures de capacité et d'admittance aux cellules solaires multijonctions : expériences et modélisations

La limite de rendement théorique de Shockley-Queisser pour une cellule solaire à simple jonction (~30%) est particulièrement difficile à atteindre y compris dans la filière la plus répandue, la filière silicium, dont les records de rendement sont aujourd'hui proches de 27%. Les cellules à multijonctions (MJ), basées sur l'association de plusieurs cellules à jonctions PN appelées sous-cellules, font donc l'objet d'un intérêt tout particulier puisqu'elles permettent d'atteindre, et même de dépasser la limite de 30% de rendement. Pour autant, les travaux de caractérisation de cellules MJ sont plus délicats à mettre en œuvre et moins répandus. Dans cette thèse, nous nous intéressons au développement de techniques de caractérisation basées sur des mesures de capacité et d'admittance appliquées aux cellules MJ: capacité-tension (C(V)), spectroscopie d'admittance et spectroscopie des états profonds en régime transitoire (DLTS). Ces techniques, utilisées dans la caractérisation de cellules solaires simples pour déterminer notamment des concentrations de dopants (C(V)) ou la présence de défauts électriquement actifs (spectroscopie d'admittance et DLTS), ont été très peu développées pour des cellules MJ. En effet, dans le cas de cellules MJ monolithiques, le couplage optique et électrique des sous-cellules rend particulièrement délicat la caractérisation de chaque sous-cellule indépendamment. En nous appuyant sur des développements théoriques et numériques, ainsi que sur des validations expérimentales, nous proposons ici une méthode permettant de séparer les contributions capacitatives de chaque sous-cellule. Cette méthode est basée sur l'ajout d'éclairements spécifiques de sorte que la jonction que l'on souhaite caractériser soit en conditions d'obscurité tandis que les autres sous-cellules absorbent la lumière. A partir de résultats expérimentaux et de modélisation obtenus pour des cellules tandem III-V/Si, nous analysons en détail ces techniques : propriétés physiques de chaque sous-cellule qu'il est possible de déterminer (concentration de dopants, défauts électriquement actifs), influence de différents paramètres expérimentaux (tension de polarisation DC, fréquence du signal AC, température, intensité du flux lumineux, etc.), limites et difficultés de chacune des techniques. L'application de ces techniques à d'autres types de cellules tandem, en particulier des cellules perovskite/silicium, et à des cellules MJ avec plus de 2 sous-cellules, fait partie des nombreuses perspectives qu'offre ce travail de thèse.

Mots-Clés : Cellules solaires tandem, Cellules solaires multijonctions, Caractérisation électrique, Modélisation, Spectroscopie d'admittance, DLTS, Capacité

Capacitance and admittance based characterization techniques adapted to multijunction solar cells : characterization and modeling

The theoretical Shockley-Queisser radiative efficiency limit for single solar cells is around 30% and even silicon solar cells, which dominate the PV market, are very close to their performance limit with a record efficiency around 27%. The multi-junction (MJ) architecture is a strategy to reach or go over the 30% efficiency by combining semiconductor absorbers with appropriate bandgaps. However, the characterization of MJ solar cells can be much more complex than single junction cells. Indeed, for the two-terminal MJ architecture, the optical and electrical coupling between the subcells makes it challenging to characterize each subcell independently. In this thesis, we develop characterization techniques based on capacitance and admittance measurements and applied to MJ solar cells: capacitance-voltage (C(V)), admittance spectroscopy and deep-level transient spectroscopy (DLTS) techniques. These techniques are commonly used for single solar cells to determine doping densities (C(V)) or to study electrically active defects (admittance spectroscopy and DLTS), but only a few studies have been published about their use to characterize MJ cells at the subcell level. We show here it is possible to separate each subcell's contribution to the cell capacitance by choosing illuminations such that one subcell is in the dark whereas the others absorb the light. Based on theoretical and numerical developments as well as experimental results performed on III-V/Si tandem cells, we present a detailed analysis of the techniques: subcell properties that can be extracted, influence of several experimental parameters (DC bias, frequency, temperature, light power...), limits and difficulties of the techniques. This work can be extended to other types of tandem cells like perovskite/Si or to MJ with more than two subcells.

Keywords : Tandem solar cells, Multijunction solar cells, Electrical characterization, Modeling, Admittance Spectroscopy, DLTS, Capacitance

Fausto Calderón-Obaldía

Prévision de l'incertitude liée à la production d'électricité photovoltaïque pour l'amélioration de l'efficacité de la gestion énergétique des micro-réseaux

Les travaux de recherche présentés ici prétendent contribuer à la question bien connue de la gestion de l'incertitude des sources renouvelables (en particulier l'énergie solaire photovoltaïque) dans un micro-réseau. Plus spécifiquement, l'objectif de ce travail est d'évaluer les impacts de l'incertitude de la production solaire photovoltaïque sur les performances d'un micro-réseau qui dessert un bâtiment intelligent, et de proposer, tester et valider des stratégies pour y faire face. Pour aborder cette problématique, le travail a été divisé en trois parties. Premièrement, la conception et la construction d'un nanoréseau à l'échelle du laboratoire (300 W de consommation de pointe) ont été réalisées, ainsi qu'une interface de contrôle pour interagir avec le système et collecter les données. Ce système est destiné à émuler un micro-réseau qui est en cours de déploiement dans le bâtiment Drahi-X Innovation Center (campus de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau, France), afin qu'il serve de banc d'essai pour différents scénarios de gestion de l'énergie. Le système conçu présente une architecture de bus commun à courant continu, où l'électricité est librement échangée entre tous les éléments du micro-réseau. Le nanoréseau est équipé d'un système de mesure, de moyens de déconnexion pour chaque élément, ainsi que de la capacité de contrôler, dans une certaine mesure, la puissance transitant par la batterie. Le suivi de la consommation en temps réel - à l'échelle - du bâtiment Drahi-X est également possible. Certaines capacités de surveillance et de contrôle à distance sont incluses, ainsi que la collecte de certaines variables météorologiques. Plusieurs mois de données sur les flux d'énergie ont été rassemblés, qui ont servi à différentes analyses concernant les interactions électriques entre les éléments du nanoréseau. Cela a permis d'améliorer la compréhension de ce type de systèmes afin de proposer des solutions appropriées au problème d'incertitude mentionné ci-dessus. Dans une étape suivante, le sujet des prévisions d'irradiation solaire est abordé. Profitant de l'expertise du laboratoire météorologique SIRTa dans le domaine des prévisions météorologiques (également situé sur le campus de l'École Polytechnique), un travail de collaboration a été réalisé afin d'évaluer la fiabilité des prévisions d'irradiation solaire au jour le jour, qui seront utilisées pour produire des prévisions de production d'énergie photovoltaïque. Pour cela, une méthode d'assemblage d'analogues est proposée pour obtenir des informations probabilistes à partir des prévisions déterministes susmentionnées, afin d'évaluer leur éventuelle valeur ajoutée pour un système de gestion de l'énergie. La méthode d'assemblage d'analogues proposée a démontré des performances supérieures par rapport aux méthodes de prévision probabilistes de référence, telles que la persistance, la climatologie mensuelle et une méthode de prévision probabiliste bien connue et disponible dans le commerce du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF par son nom en anglais). Elle a été évaluée sur la base du score de compétence quantile décomposé en fiabilité, résolution et incertitude, qui sont des paramètres de pointe pour l'évaluation des prévisions probabilistes. En outre, les prévisions quantiles obtenues à partir des ensembles d'analogues se sont avérées être une solution intéressante pour réduire l'incertitude des prévisions, car elles fournissent des informations sur le biais de l'erreur de prévision. Si elle est bien choisie, cette fonctionnalité pourrait être bénéfique pour les tâches de planification des ressources effectuées par un système de gestion de l'énergie, comme l'a prouvé la dernière partie de ce travail.

Mots-Clés : Micro-réseau, Prévisions, Gestion de l'énergie, Bâtiment intelligent, Incertitude, Énergie photovoltaïque

Photovoltaic power generation uncertainty forecast for microgrid energy management efficiency enhancement

The research work hereby presented, pretends to contribute with the well-known issue of dealing with the uncertainty of renewable sources (solar photovoltaic particularly) in a microgrid. More specifically, the objective of this work is to evaluate the impacts of solar photovoltaic production uncertainty in the performance of a microgrid that serves a smart-building, and to propose, test and validate strategies to deal with it. To tackle this problematic the work has been divided in three parts. First, the design and construction of a -laboratory scale- nanogrid (300W peak consumption) has been carried out, along with a control interface to interact with the system and collect the data. This system is intended to emulate a microgrid that is being deployed in the Drahi-X Innovation building (campus of Ecole Polytechnique, Palaiseau, France), so that it serves as a test-bench for different energy management scenarios. The system conceived presents a direct-current common-bus architecture, where the power is freely exchanged among all the elements of the microgrid. The nanogrid is equipped with a measurements system, disconnection means for every element, as well as the capacity to control the power transacted by the battery, to some extent. The following of the real-time -scaled- consumption of the Drahi-X building is also possible. Some remote monitoring and control capabilities are included, as well as the gathering of some meteorological variables. Several months of power-flows data were gathered, that served for different analysis regarding the electrical interactions among

elements of the nanogrid. This helped to improve the understanding of these type of systems in order to propose proper solutions for the uncertainty issue mentioned above. In a following step, the topic of solar irradiance forecasts is addressed. Profiting from the expertise of the SIRTa meteorological laboratory in the domain of weather forecasting (also located in the campus of Ecole Polytechnique), a collaborative work was performed in order to evaluate what is the reliability of readily available day-ahead solar irradiance forecasts which in turn, will be used to produce predictions of photovoltaic power production. For this, an analogs-ensembles method is proposed to obtain probabilistic information from the above-mentioned deterministic forecasts, to evaluate its eventual added value for an energy management system. The adapted analogs-ensembles method proposed demonstrated superior performance with respect to reference -probabilistic- forecasting methods, such as persistence, monthly climatology and a well-known commercially-available probabilistic forecasting method from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). It was evaluated based on the quantile skill score decomposed in reliability, resolution and uncertainty, which are state-of-the-art metrics for probabilistic forecasting assessment. Besides, the quantile forecasts obtained from the analogs-ensembles proved to be an interesting solution to reduce forecasting uncertainty, as they provide information about the "sign" of the forecasting error. If chosen properly, this feature might be beneficial for the resource scheduling tasks performed by an energy management system, as proven in the last part of this work.

Keywords : Microgrids, Forecasts, Energy management, Smart building, Uncertainty, Photovoltaic energy

Ferréol Binot

Modélisation et estimation de paramètres des réseaux de distribution basse tension

Le développement des nouveaux usages, poussé par des exigences de transition énergétique, principalement sur les réseaux basse tension (BT) nécessite de développer des outils toujours plus innovants de conduite et de planification des réseaux. Le développement de ces nouveaux outils nécessite une très bonne connaissance de l'état et des paramètres réels des réseaux BT. Les travaux de cette thèse se focalisent donc sur le développement d'algorithmes d'estimation d'état (EE) et de paramètres (EP) dédiés aux réseaux BT. Pour mener à bien le développement de ces algorithmes, nous avons amélioré la caractérisation et la modélisation des câbles BT en prenant en compte l'impact des paramètres extérieurs sur la matrice d'impédance et sur le plan de tension. Ce modèle utilise la matrice d'impédance 4×4 et prend en compte les résistances de mise à la terre. Cette étude servira de brique de base pour les deux algorithmes. L'algorithme d'EE s'appuie sur l'algorithme des WLS et de la méthode de la matrice augmentée. Pour son développement, nous avons adapté ses grandeurs pour qu'elles prennent en compte les particularités des réseaux BT. Cet algorithme permet d'obtenir une précision accrue du plan de tension (incluant la tension neutre-terre) du réseau et donne de résultats précis même en cas d'erreurs ou de suppressions de mesure. L'algorithme va permettre d'améliorer la conduite des réseaux BT. L'algorithme d'EP, qui s'appuie sur l'algorithme du vecteur augmenté, permet d'estimer à la fois les longueurs des liaisons mais aussi directement les conditions extérieures (température du conducteur). Cet algorithme permet ainsi de corriger les données présentes dans les systèmes d'information géographique et de parfaitement connaître la topologie du réseau. Ainsi, la planification et la conduite des réseaux BT seront plus aisées même avec le développement des nouveaux usages.

Mots-Clés : Modélisation, Estimation de paramètres, Réseaux de distribution BT, Estimation d'état, Modèle 4 fils

Modelling and parameter estimation of low voltage distribution networks

The development of new uses, driven by energy transition requirements, mainly on low-voltage (LV) networks, requires the development of more innovative tools for network management and planning. The development of these new tools requires a very good knowledge of the actual state and parameters of LV networks. The work of this thesis focuses on the development of state (SE) and parameter (PE) estimation algorithms dedicated to LV networks. To carry out the development of these algorithms, we have improved the characterization and modelling of LV cables by taking into account the impact of external parameters on the impedance matrix and the voltage profile. This model uses the 4×4 impedance matrix and takes into account the earthing resistances. This study will serve as a building block for both algorithms. The SE algorithm is based on the WLS algorithm and the augmented matrix method. For its development, we have adapted its quantities by taking into account the particularities of LV networks. This algorithm allows to obtain an increased accuracy of the network voltage profile (including the neutral to earth voltage) and gives accurate results even in case of errors or suppressed measurements. The algorithm will improve the operation of LV networks. The PE algorithm, which is based on the augmented vector algorithm, estimates both the lengths of the links and also directly the external conditions (conductor temperature). Thus, this algorithm corrects the data present in geographical information systems and gives a perfect knowledge of the network topology. The planning and operation of LV networks will be easier even with the development of new uses.

Keywords : Modelling, Parameter estimation, LV distribution networks, State estimation, 4-Wire model

Jianwen Meng

Diagnostic de la batterie et gestion de l'énergie pour applications embarquées

Les véhicules électriques (VEs) connaissent un développement en plein essor ces dernières années pour faire face aux problèmes environnementaux et aux dérèglements climatiques. Du point de vue du stockage de l'énergie, c'est essentiellement la technologie des batteries lithium-ion (LIB) qui est la plus utilisée pour d'alimentation des véhicules électriques compte tenu de leur haute densité d'énergie / puissance et de leur longue durée de vie. La fiabilité des LIBs est sans aucun doute d'une importance fondamentale pour le développement des VE. Dans cet objectif, les travaux de thèse s'inscrivent dans le développement des algorithmes dédiés à l'estimations des états de la batterie ainsi qu'au diagnostic de court-circuit naissant. L'estimation des états de la batterie, qui peut également être qualifiée de surveillance de la batterie, est un élément indispensable de la stratégie de gestion de l'énergie d'un véhicule électrique ou hybride. Par ailleurs, le vieillissement prématuré peut être évité grâce à la surveillance des états de batterie telles que l'état de charge (SOC) et l'état de santé (SOH). De plus, étant donné que l'emballement thermique (TR) peut être la conséquence d'un défaut de court-circuit (SC) électrique, de ce fait, une détection efficace de SC naissant de la batterie peut donc donner une alerte protectrice de TR. La principale contribution de cette thèse réside dans les aspects théoriques et méthodologiques dans le domaine de la surveillance de la batterie et du diagnostic SC naissant.

Mots-Clés : Véhicule électrique, Batterie Lithium-Ion, Vieillessement, Court-Circuit naissant, Estimation de l'état, Estimation des paramètres, Traitement du signal

Battery fault diagnosis and energy management for embedded applications

In order to cope with environmental problems and climate change, electric vehicles (EVs) gain the ever booming development in recent years. From the point of view of energy storage, because of their high energy / power density and their extended lifespan, it is essentially the lithium-ion battery (LIB) technology which is the most used power unit for EVs. Doubtlessly, the reliability of LIBs is of vital importance for the development of EVs. To this end, this thesis is dedicated to the algorithmic development of battery state and parameter estimation as well as incipient short-circuit diagnosis. The battery state and parameter estimation, which can also be termed as battery monitoring, is a critical part in the so-called health conscious energy management strategy for electric or hybrid electric vehicle. Premature aging can be avoided through the accurate battery state estimation such as state of charge (SOC) and state of health (SOH). Furthermore, as the thermal runaway (TR) can be ultimately attributed to short-circuit (SC) electrical abuse, therefore, effective battery incipient SC detection can give an early warning of TR. The main contribution of this thesis lies in the theoretical and methodological aspects in the domain of battery monitoring and incipient SC diagnosis.

Keywords : Electric vehicle, Lithium-Ion battery, Aging, Incipient short-circuit, State estimation, Parameter estimation, Signal processing

Karim Kadem

Modélisation et optimisation d'un coupleur magnétique pour la recharge par induction dynamique des véhicules électriques

Les travaux de recherche de cette thèse sont menés dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire GeePs et l'institut VEDECOM. Le coût, le volume et le poids des batteries électrochimiques représentent encore un frein important au déploiement des véhicules électriques (VE). Une des solutions envisagées pour prolonger l'autonomie des VE sans augmenter démesurément la capacité des batteries, consiste à utiliser des systèmes de transfert d'énergie électrique sans contact pour les alimenter pendant leurs déplacements. Cette thèse porte sur une de ces techniques et plus particulièrement sur le transfert d'énergie inductif résonant. Les problématiques liées à ce mode de transfert d'énergie sont principalement liées au rendement énergétique, à l'encombrement contraint du fait de la nécessité d'intégration dans le véhicule et dans la route ainsi qu'au respect des normes d'émissions électromagnétiques. L'efficacité énergétique du transfert d'énergie est au premier ordre liée au couplage des deux bobines (coupleur magnétique). Une comparaison des coefficients de couplage pour différentes géométries de coupleurs et différentes configurations de désalignement fait l'objet d'une première partie du travail réalisé. Dans la seconde partie une approche à base de sources équivalentes est proposée pour le prédimensionnement analytique d'une plaque de blindage destinée à limiter le rayonnement du coupleur dans le véhicule et en dehors de celui-ci. Dans le dernier axe de la thèse, l'étude est dédiée aux techniques de détection de la présence du véhicule et au séquençage de l'alimentation des bobines au sol. Une solution originale, permettant de répondre à cette problématique est proposée. Le bilan des travaux ainsi que les perspectives envisagées, viennent clôturer ce manuscrit.

Mots-Clés : Couplage magnétique, Véhicule électrique, Transfert d'énergie sans contact, Chargeur inductif, Rayonnement électromagnétique

Modeling and optimization of a magnetic coupler for electric vehicles dynamic induction charging

This thesis is carried out in collaboration between the GeePs laboratory and the VEDECOM institute. The cost, volume and weight of electrochemical batteries still represent a major obstacle to the deployment of electric vehicles (EVs). One of the solutions being considered to extend the range of EVs without excessively increasing the capacity of the batteries, is to use contactless electrical energy transfer systems to power them while they are on the move. This thesis focuses on one of these techniques which is the resonant inductive energy transfer. The problems associated with this mode of energy transfer are mainly related to energy efficiency, the size constrained due to the need for integration into the vehicle and the road as well as compliance with electromagnetic emission standards. The efficiency is directly linked to the coupling of the two coils (magnetic coupler). A comparison of the coupling coefficients for different coupler geometries and different misalignment configurations is the subject of the first part of this work. In the second part, an approach based on equivalent sources is suggested for the analytical pre-dimensioning of shielding plate intended to limit the magnetic emissions in and outside the vehicle. In the last axis of the thesis, the study is dedicated to techniques for detecting the presence of the vehicle and the sequencing of the different ground coils. A conclusion giving an assessment of the work and perspectives that open up from this work, close this manuscript.

Keywords : Magnetic coupling, Electric vehicle, Wireless power transfer, Inductive charger, Electromagnetic emissions

Kelly Ribeiro de Faria Santos

Étude et réalisation d'un convertisseur combinant DC/DC et on-board charger pour véhicule électrique

Cette thèse porte sur l'intégration du convertisseur DC-DC entre les batteries haute et basse tension (400V / 14V), avec un chargeur embarqué monophasé présent dans l'architecture du véhicule électrique. Dans cette intégration, les deux convertisseurs sont bidirectionnels et l'isolation galvanique est nécessaire entre les trois sources d'énergie. Dans une première partie de cette étude, nous sommes focalisés sur le développement d'un convertisseur DC-DC à trois ports. Le convertisseur DC-DC proposé est un convertisseur bidirectionnel alimenté en courant à résonance pa-rallèle permettant de réaliser des commutations à zéro de tension sur toute la plage de puissance. Grâce à la « recopie de tension », le dimensionnement du transformateur permet la réalisation d'une structure beaucoup plus compacte par rapport à d'autres convertisseurs à résonance. Dans la deuxième partie de ce travail, les caractéristiques du convertisseur sont étudiées afin d'optimiser la stratégie de commande et de fonctionnement. Le développement d'un transformateur planar est réalisé en respectant les normes pour les véhicules électriques et pour minimiser les inductances de fuite. L'étude de la répartition de courant dans les couches connectées en parallèle est faite de façon à éviter la présence de points chauds en haute fréquence. Le prototype et les résultats finaux sont présentés pour valider le convertisseur à 3 ports. Après avoir analysé les résultats, quelques propositions sont faites pour améliorer les résultats dans les futurs travaux.

Mots-Clés : Chargeur embarqué, Convertisseur DC/DC réversible, Transformateur planar, Commutation douce, Convertisseur à trois ports

Design of a bidirectional on-board charger and a DC-DC converter for low voltage battery in Electric Vehicles

This dissertation focuses on the integration of two power electronic converters present in the electric vehicle (EV) architecture – the DC-DC converter interfacing the high and low voltage batteries (400V/14V) and the onboard charger (OBC). A three-port current-fed parallel resonant topology with zero voltage switching capability is developed. The converter allows bidirectional power flow between the three energy sources with high efficiency in both conversion modes, DC-DC and OBC while ensuring galvanic isolation. A compact three-winding planar transformer is designed based on EV industry requirements, emphasizing the minimization of leakage inductances. In this design, the unequal current sharing phenomenon between parallel-connected layers is addressed to ensure a homogeneous current distribution and eliminate the risks of thermal hotspots formation. A 7kW experimental prototype has been constructed and tested, validating the analysis and operation of the proposed topology. Some suggestions and propositions are provided for future work aiming at efficiency improvement of the converter.

Keywords : OBC, DC/DC bidirectional converter, Planar transformer, Soft-switching, Three-Port converter

Li Huang

Conception et calibration d'un banc de convertisseurs analogique-numérique Sigma-Delta incrémental « two-step »

Dans le cadre des imageurs Haute Définition, une tendance est d'intégrer un banc de convertisseurs analogiques-numériques jouxtant la matrice de pixel. La contrepartie est une contrainte sur le facteur de forme du convertisseur. Un convertisseur de type Sigma-Delta incrémental à base d'inverseur a été conçu lors de travaux précédents en respectant ces contraintes. Mais le placement-routage du circuit a abouti à une dégradation des performances à savoir une résolution de 9 bits au lieu des 14 bits escomptés. Une méthode de calibration s'imposait donc. Cette thèse propose plusieurs méthodes de correction implémentées par des filtres numériques appliqués sur les bits de sortie et sur des combinaisons des bits de sorties pour tenir compte de phénomènes non-linéaires observés en simulation « post-placement-routage ». Les méthodes ont été validées à partir des résultats de simulation « post-placement-routage » et permettent d'atteindre 14 bits de résolution. Pour aller plus loin, la thèse propose également un modèle des défauts du circuit au niveau des intégrateurs qui sont la partie la plus critique du circuit. Ce modèle, qui met en oeuvre des capacités parasites, rejoint les résultats de simulation « post-placement-routage » avec une très bonne précision ce qui permet d'envisager des voies d'amélioration pour une prochaine conception.

Mots-Clés : Modulateur Sigma-Delta Incrémental, Calibration Numérique, Filtre de Reconstruction, Amplificateur à Inverseur

Calibration of a two-step Incremental Sigma-Delta Analog-to-Digital Converter

In the context of High Definition imagers, a trend is to integrate a bank of analogto-digital converters adjacent to the pixel matrix. The disadvantage is a constraint on the form factor of the converter. An incremental inverter-based Sigma-Delta converter was designed during previous work while respecting these constraints. But the post-layout of the circuit resulted in a performance degradation namely a resolution of 9 bits instead of the expected 14 bits. A calibration method was therefore necessary. This thesis proposes several correction methods implemented by digital filters applied on the output bits and on combinations of the output bits to take account of non-linear phenomena observed in post-layout simulation. The methods have been validated from the post-layout simulation results and achieve 14-bit resolution. To go further, the thesis also proposes a model of the circuit defects at the level of the integrators which are the most critical part of the circuit. This model, which implements parasitic capacitances, joins the post-layout simulation results with a very high precision, which makes it possible to consider ways of improvement for a future design.

Keywords : Incremental Sigma-Delta Modulator, Digital Calibration, Reconstruction Filtre, Inverter-Based Amplifier

Pengfei Lyu

Caractérisations numérique et expérimentale de canal à 60GHz : discrimination des trajets directs et réfléchis

Avec l'émergence des objets connectés, les applications potentielles requérant la localisation indoor ou la continuité de localisation réapparaissent et suscitent, depuis quelques années déjà, de nombreuses études et recherches. La norme IEEE 802.11ad, opérant autour de 60 GHz, est un candidat potentiel pour résoudre le problème de localisation tout en permettant une communication très haut débit. Cette norme prometteuse pose toutefois un problème lié au caractère directionnel de la propagation, particulièrement sujette au blocage des ondes directes. En effet aucun calcul de coordonnées spatiales ne peut être entrepris si les signaux traités ne proviennent pas d'une propagation en ligne directe (LOS). Cette limitation induit par conséquent une nouvelle problématique qui consiste à s'assurer, dans les signaux en jeu, de la présence du LOS. Cela revient aussi à identifier les composantes NLOS issues des réflexions multiples. L'identification des trajets NLOS fait appel aux méthodes d'apprentissage de faisceaux qui permettent d'accéder au spectre angulaire d'un canal. Une première classification, par cluster est d'abord opérée, puis une analyse statistique utilisant les moments d'ordre 4 est conduite sur chaque cluster. L'exploitation de cette signature « kurtosis » permet une seconde classification discriminant les clusters issus de contributions LOS ou NLOS.

Mots-Clés : Localisation intérieure, Ondes millimétriques, Identification des trajets réfléchis, Regroupement spatial, Analyse statistique, Classification

Numerical and Experimental Indoor Channel Analysis for LOS-NLOS Identification at 60 GHz

With the emergence of connected objects, potential applications requiring indoor location or location continuity have reappeared and have been the subject of numerous studies and researches for several years now. The IEEE 802.11ad standard, operating around 60 GHz, is a potential candidate to solve the localization problem while allowing high data rate communication. However, this promising standard is particularly subject to blockage of direct waves. Indeed, no calculation of spatial coordinates can be undertaken if the processed signals do not come from a line of sight propagation (LOS). This limitation consequently induces a new problem which consists in ensuring, in the signals of interest, the presence of the LOS contribution. It also comes down to identifying the NLOS components brought by the multipath phenomenon. NLOS path identification uses beam-learning methods that provide access to the angular spectrum of a channel. A first classification, by clusters, is carried out, then a statistical analysis using the fourth standardized moment, is conducted on each cluster. The use of this "kurtosis" signature allows a second classification discriminating clusters induced by LOS contributions from those induced by NLOS contributions.

Keywords : Indoor localization, Millimeter wave, NLOS identification

Sassia Hedia

Identification des sources de perturbations par retournement temporel : application à la compatibilité électromagnétique en champ proche

Le progrès technologique, en particulier la montée en fréquences et l'intégration des systèmes embarqués, crée des interférences électromagnétiques (EMI) et des problèmes critiques. D'où la présence de multiples sources de perturbation pouvant affecter le bon fonctionnement des circuits électroniques et électriques. C'est pourquoi la caractérisation de ces sources est devenue essentielle permettant ainsi l'évaluation des émissions rayonnées et la prédiction du comportement des dispositifs électroniques. Les travaux présentés dans cette thèse s'intéressent à l'élaboration de modèles de rayonnement équivalents qui permettent de prendre en compte les aspects CEM pour réduire les perturbations EM. Premièrement, l'étude réalisée consiste à la mise en œuvre d'une méthode inverse temporelle basée sur le retournement temporel électromagnétique en utilisant le champ proche mesuré au-dessus du système. Ensuite, nous avons exploité la méthode proposée pour analyser des structures qui émettent des signaux transitoires. Une validation de la méthode proposée a été réalisée dans une première étape en se basant sur des cartographies de champs EM calculés avec les équations analytiques qui décrivent le champ EM rayonné. Dans ce cas, les structures sous tests contiennent des sources de rayonnement connues à l'avance et qui sont excités chacune par un signal temporel de type gaussien. En deuxième étape, la validation expérimentale de la méthode a été effectuée en utilisant des mesures en champ proche au-dessus des structures réelles et en utilisant des signaux d'excitation judicieusement choisis et qui sont riches en fréquences. Les résultats obtenus ont pu montrer la robustesse de notre méthode vis-à-vis des erreurs de mesures. En plus des validations sur des circuits académiques, nous avons appliqué la méthode proposée à un circuit de l'électronique de puissance : un convertisseur de commerce de type AC/DC. Enfin, pour évaluer la performance de la méthode inverse temporelle basée sur le retournement temporel électromagnétique, nous avons mené une étude comparative avec la méthode inverse classique basée sur les algorithmes génétiques dans les deux domaines fréquentiel et temporel. Les résultats obtenus ont montré les performances et l'efficacité de la méthode proposée à fournir un modèle équivalent du système étudié sur de larges bandes de fréquences en un temps de calcul restreint.

Mots-Clés : Compatibilité électromagnétique, Méthode inverse temporelle, Émissions rayonnées, Retournement temporel, Technique du champ proche

Radiated sources identification based on time reversal technique : an EMC application in the near field

The technological progress, in particular the increase in frequencies and the integration of embedded systems, creates critical problems of electromagnetic interference (EMI). Hence, the presence of multiple disturbance sources may affect the proper functioning of electronic circuits. Therefore, the characterisation of these sources becomes essential for the evaluation of radiated emissions and the prediction of the behaviour of electronic devices. The main purpose of this thesis is to study the development of equivalent radiation models that allow EMC considerations and reduce EM disturbances. First, the implementation of the inverse time domain (TD) method based on the electromagnetic time reversal technique has been carried in the near field. The aim here is to use the proposed method for structures that emit transient signals. A validation of the proposed method has been performed based on EM field maps calculated with analytical equations that describe the radiated EM field. In this case, structures under test contain radiating sources that are controlled in advance and excited by a Gaussian type signal. In addition, an experimental validation of the proposed method has been also performed using near field measurements in two different cases of real structures and using a well-chosen excitation signal, which contains many frequencies of resonance. Furthermore, in addition to the academic circuits, we have carried out an experimental application of the proposed method using a power electronics circuit (AC/DC converter). Finally, in order to evaluate the performance of the inverse TD method based on electromagnetic time reversal, a comparative study has been conducted using the classical inverse method based on genetic algorithms in both frequency and time domains. Predicted resulted have shown the high performance and the efficiency of the proposed method and demonstrated that it provides an adequate equivalent model of the device under test on a wide frequency band and in a limited calculation time.

Keywords : Electromagnetic compatibility, Time-domain inverse problem, Radiated emissions, Time Reversal, Nearfield technique

Siwar Fadhel

Efficacité énergétique et surveillance d'un microgrid à courant continu alimenté par des panneaux photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques (PV) sont régulièrement exposés à de nombreux défauts entraînant des pertes de production coûteuses. Le travail proposé dans cette thèse porte sur l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un microgrid à courant continu en minimisant les pertes liées à l'apparition des défauts PV. D'abord, nous avons présenté un état de l'art sur les défauts les plus fréquents et les méthodes de leur diagnostic. L'analyse de la littérature nous a orienté vers le choix d'une approche de diagnostic pilotée par les données. Ensuite, la méthode de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été proposée pour la détection et la classification du défaut d'ombrage pour un module PV de 250 Wc. Nous avons exploité dans un premier temps toute la courbe I(V) acquise en conditions climatiques réelles. Un taux de réussite minimal de classement de 87.38% est obtenu en phase d'apprentissage et un taux de 97% est obtenu en phase de test. En deuxième temps, nous avons appliqué l'ACP en utilisant seulement les coordonnées MPP pour la détection de l'ombrage. Les données sont discriminées avec un taux de classification de 100%. L'Analyse Linéaire Discriminante (ALD) a été optée pour la prédiction des classes des nouvelles mesures MPP. Finalement, une étude des effets de trois défauts typiques a été menée à l'échelle d'une centrale PV de 250 kWc. Elle s'est basée sur les courbes I(V) simulées en considérant plusieurs sévérités pour chaque défaut. La sensibilité de la courbe I(V) centrale a été notée pour la dégradation de contact entre les strings PV et pour le défaut d'ombrage partiel à partir de 10%. Le défaut de court-circuit des modules PV, pour toutes les sévérités simulées, affecte beaucoup plus les courbes I(V) des strings.

Mots-Clés : Défauts PV, Courbe I(V), MPP, Détection, Classification, Sévérité du défaut

Energy efficiency and health monitoring of a DC micro-grid supplied by photovoltaic panels

Photovoltaic (PV) systems are frequently subjected to several faults leading to costly production losses. The proposed work focuses on the improvement of the energy efficiency of a DC micro-grid by minimizing the losses related to the occurrence of PV faults. First, we presented a state of the art on the most recurrent faults and their diagnosis methods. The literature review has led us to adopt a data-driven diagnosis approach. Then, the Principal Component Analysis (PCA) method was proposed for PV shading fault detection and classification for a PV module of 250 Wp. The PCA was first performed using the entire I(V) curve obtained under real climatic conditions. A minimum classification success rate of 87.38% is obtained in the training step and 97% is obtained in the validation step. PCA was then applied using only the MPP coordinates to detect the shading fault. The data is discriminated with a classification rate of 100%. Linear Discriminant Analysis (LDA) was opted to predict the new MPP outdoor measurements' classes. Finally, a faults effects analysis study was carried out for three typical faults on the scale of a PV array of 250 kWp. The study was based on the simulated I(V) curves, considering different severities of each fault. The sensitivity of the I(V) curve of the whole PV plant was observed for both the contact degradation between PV strings and the partial shading starting from a severity of 10%. The short-circuit fault of the PV modules has considerably more effect on the strings' I(V) curves.

Keywords : PV faults, I(V) curve, MPP, Detection, Classification, Fault severity

Tianyu Zheng

Guides d'ondes périodiques SIW avec dégénérescences en bord de bandes interdites pour l'excitation de résonances géantes

Dans cette thèse, nous décrivons la conception de guides d'onde intégrés au substrat (substrate integrated substrates, SIW) qui supportent des dégénérescences du quatrième ordre en bord de bandes interdites du diagramme de Brillouin (degenerate band edge, DBE). Le DBE conduit à des « résonances géantes » et à résonateurs à fort facteur de qualité. Le choix de la technologie SIW peut permettre l'utilisation du concept DBE dans les circuits intégrés hyperfréquences et aux ondes millimétriques. Les applications de ce concept sont nombreuses : résonateurs à fort facteur de qualité, oscillateurs robustes aux charges externes, capteurs à directivité et sensibilité élevées. Ici nous caractérisons un type de cellules élémentaires qui permet de concevoir un point DBE après une analyse de plusieurs types de cellules. Sur la base de ces résultats, plusieurs conceptions de SIW qui supportent une DBE sont présentées. On considère l'influence des pertes, des perturbations géométriques et l'effet dû à la troncature de la ligne périodique. Les caractéristiques DBE typiques, telles que l'amplification du champ et une forte augmentation du facteur Q et du retard de groupe par rapport au nombre de cellules sont observées dans un résonateur tronqué, dans des situations sans perte et avec perte. Des transitions nécessaires pour alimenter les lignes SIWs sont conçues et permettent d'effectuer les mesures de prototypes qui valident pleinement les analyses théoriques. Enfin, la procédure de conception est également appliquée à un guide d'ondes intégré multicouche, particulièrement adapté aux applications à ondes millimétrique, montrant la versatilité de la méthodologie proposée.

Mots-Clés : Dégénérescences en bord de bandes interdites, Analyses dispersives, Matrice de transmission, Résonateur à fort facteur de qualité, Structures périodiques, Guides d'ondes à substrat intégré (SIW)

Periodic SIW lines with degenerate band edge for the excitation of giant resonances

In this thesis, we describe the synthesis of periodic substrate-integrated waveguide (SIW) supporting degenerate band edge (DBE) points. The DBE point is a special fourth-order degenerate point encountered at the edge of the stopband in a periodic structure, which leads to field enhancement and high-Q resonances. The choice of SIW technology can lead to the use of the DBE concept in microwave and mm-wave integrated circuits, given the easy fabrication, low profile and low-cost features of this technology. Applications of this concept will be oscillators having low threshold currents and being robust to external loading, and sensors with high directivity and sensitivity. Conditions for the design of a unit cell providing a DBE point are given after an analysis of several kinds of unit cells. Based on these guidelines, several SIWs-DBE designs are presented. The influence of losses, of geometrical perturbations, and of truncation are considered. Typical DBE characteristics, such as field enhancement and a steep increase of Q factor and group delay vs. the number of cells in a truncated resonator are observed in lossless and lossy situations. Feeding transitions are designed to feed the SIWs-DBE lines and to perform measurements which fully validate the theoretical analyses. Finally, the design procedure is also applied to a multilayer integrated waveguide, particularly suitable for integrated millimeter-wave applications, showing the versatility of the proposed methodology.

Keywords : Degenerate band edge, Dispersive analyses, Transmission matrix, High-Q resonators, Periodic structures, Substrate-Integrated waveguides

Valentin Houchouas

Sécurité de fonctionnement électromagnétique des systèmes d'information : estimation statistique de couplages en milieu réverbérant

La sécurité électromagnétique (SECEM) peut être considérée comme la réunion de la compatibilité électromagnétique et de la sécurité des systèmes d'information. L'étude de la SECEM des équipements électroniques amène à considérer les couplages électromagnétiques entre ceux-ci. Or, ces couplages peuvent être maximisés dans les environnements électromagnétiques réverbérants, tels que les châssis d'équipements électroniques. Dès lors, il est pertinent de vouloir caractériser les couplages au sein de ces châssis. Celle-ci n'est pas aisée car les conditions aux limites à l'intérieur de ces équipements peuvent ne pas être connues ou varier dans le temps. Il paraît alors pertinent de vouloir considérer les conditions aux limites du système à étudier comme étant aléatoires. Des statistiques sur les tensions ou les courants couplés seront alors obtenues. Dans ce travail, trois modèles ont été définis pour analyser statistiquement les couplages dans un châssis d'ordinateur. Le premier, une maquette physique, sert de référence pour les deux autres, à des fins de comparaisons. Le second est un modèle numérique. Il a permis de déterminer le couplage entre une ouverture et des lignes de transmission avec une incertitude non négligeable mais connue. Cette connaissance permet de définir des marges de sécurité afin de garantir la sécurité de l'information. Enfin, le troisième est un modèle de circuit qui suppose que les modes sont aléatoires. Fondé sur la théorie des matrices aléatoires, il a permis de déterminer rapidement des couplages entre des cartes électroniques. Toutefois, son application requiert la détermination de plusieurs grandeurs, dont l'estimation peut ne pas être triviale.

Mots-Clés : Sécurité électromagnétique (SECEM), Couplage, Environnement réverbérant, Simulations électromagnétiques, Théorie des matrices aléatoires

Electromagnetic security for information systems : statistical assessment of couplings in reverberant environments

The electromagnetic security (EMSEC) can be defined as the merging of the electromagnetic compatibility (EMC) and the information security. To guarantee the EMSEC of electronic devices, electromagnetic couplings must be taken into account. Yet, these couplings can be maximized (under certain conditions) within reverberant environments, such as casings. Thus, it is relevant to study and to characterize these couplings inside such environments. However, sometimes, the boundary conditions of the studied system can be unknown, or can vary over time. Therefore, statistical approaches, where the boundary conditions are randomized, are better suited than deterministic ones. Coupled currents and voltages are thus statistically determined. In this PhD thesis, three different models were set to assess the couplings within a desktop computer chassis. The first one is a mock-up and is used to compare the other two models. The second one is a full-wave simulation model of a computer casing. From its implementation, it was possible to determine the coupling between an aperture and transmission lines, with its associated uncertainty. This uncertainty is significant, however it is known. From the EMSEC perspective, its knowledge can be an input for a risk assessment process. It can be used to determine a safety margin in order to mitigate the coupling risks. Finally, the third one is a circuit model where the eigenmodes are randomized by means of the random matrix theory. From it, couplings between several transmission lines printed on circuit boards were determined. Nevertheless, to be applied, it requires several parameters whose determination can be quite difficult.

Keywords : Electromagnetic security (EMSEC), Coupling, Reverberant environment, Electromagnetic simulations, Random matrix theory