

Résumé

Les travaux présentés dans ce mémoire portent sur l'application de la Méthode des Plans d'Expériences (MPE) à l'étude et à l'optimisation de dispositifs électrotechniques. La modélisation éléments finis est l'outil d'analyse privilégié, fournissant les prototypes virtuels des dispositifs étudiés.

La MPE, introduite dans le premier chapitre, est un ensemble homogène d'outils et de méthodes algèbro-statistiques visant à établir et analyser les relations existant entre les grandeurs étudiées (*réponses*) et leurs sources de variations supposées (*facteurs*).

Cette analyse peut être qualitative : *étude de screening* (détermination des facteurs influents) ou quantitative : *méthodologie des surfaces de réponses* (variation des réponses en fonction des facteurs influents). Dans tous les cas, elle a pour but la détermination de modèles mathématiques approchés des réponses exprimées en fonction des facteurs. Ces modélisations sont déduites des valeurs obtenues à l'issue de séries de simulations : les *plans d'expériences*. La définition de ces derniers détermine la qualité, mesurable, des modèles.

Les multiples facettes de la Méthode des Plans d'Expériences servent alors de fondement au développement de stratégies d'optimisation. Le deuxième chapitre présente plusieurs algorithmes utilisant les plans d'expériences de façon exclusive, pour la modélisation des réponses ainsi que pour la recherche des conditions optimales. L'utilisation de la MPE fait alors apparaître des aspects particuliers, comme par exemple la réutilisation d'expériences entre plusieurs plans, dans le but de minimiser le nombre total de simulations.

Le caractère virtuel des expériences justifie la création et la mise au point d'un superviseur d'optimisation, afin d'automatiser et de faciliter l'application de la MPE et celle des stratégies d'optimisation par plans d'expériences à partir de simulations informatiques. Le troisième chapitre présente les principales caractéristiques de ce nouvel outil : *Sophemis*.

Enfin, le quatrième chapitre met en œuvre l'ensemble de ces développements, en appliquant les algorithmes d'optimisation par plans d'expériences à l'étude de trois systèmes électrotechniques. Le premier est un moteur brushless à aimants permanents ; la seconde application correspond à un problème d'étude particulier (cas test 22 du T.E.A.M. Workshop) portant sur un dispositif de stockage d'énergie magnétique par anneaux supraconducteurs. Le dernier exemple décrit les démarches d'optimisation d'un frein linéaire à courants de Foucault à usage ferroviaire.

Mots Clefs

Méthode des plans d'expériences
Méthode des éléments finis
Analyse de screening
Méthodologie des surfaces de réponse
Optimisation (Stratégies d')
Superviseur d'optimisation
Calculs distribués
Moteur synchrone à aimants permanents
Cas test n°22 (T.E.A.M. Workshop)
Frein linéaire à courants de Foucault

Abstract

Optimisation strategies using the Experimental Design Method and Application to electrotechnical devices modelled by finite elements

The work presented in this memoir deals with the application of the Experimental Design Method (EDM) to the study and the optimisation of electrotechnical devices. The finite element modelling stands as a privileged analysis tool, giving the virtual prototypes of the studied devices.

The EDM, introduced in the first chapter, is an homogenous set of tools and algebraic statistical methods, aiming to establish and analyse the relations between the studied variables (*responses*) and their supposed variation sources (*factors*).

This analysis can be qualitative: *screening analysis* (determination of influent factors) or quantitative: *response surface methodology* (response variations according to influent factors). In any case, its goal is the determination of approached mathematical models of the responses, expressed according to the factors. These modellings are deduced from the values obtained by series of simulations, that is by *experimental designs*. Their definition determine the quality (mesurable) of the models.

The multiple aspects of the EDM are used as foundations for optimisation strategies. The second chapter presents several algorithms using exclusively designs of experiments, for the modelling of the responses and for the research of optimal conditions. The use of the EDM shows particular aspects, like the reusing of experiments between designs, so as to minimise the total number of simulations.

The virtual nature of each experiment justifies the creation and the development of an optimisation manager, in order to automate, and to make easier, the application of the EDM as well as the optimisation strategies using designs of experiments, from computer simulations. The third chapter presents the main characteristics of this new tool: *Sophemis*.

Finally, the fourth chapter applies the different developments shown in the precedent parts, by the application of the optimisation algorithms using experimental designs to the study of three electrotechnical systems. The first one is a brushless permanent magnet motor; the second application is related to a study problem (22th of the T.E.A.M. Workshop) dealing with a magnetic energy superconductor storing device. The last example describes the optimisation processes applied to a linear eddy current braking system, designed for railway applications.

Keywords

Experimental Design Method
Finite Element Method
Screening Analysis
Response Surface Methodology
Optimisation (Strategies of)
Optimisation Manager
Distributed calculations
Permanent magnet synchronous machine
Test case n°22 (T.E.A.M. Workshop)
Eddy current linear braking system