

Abstract

Modelarea Multizică a Întrerupătoarelor Micro-Electro-Mecanice de Radio Frecvență

Tema acestei teze de doctorat se referă la modelarea și simularea atât computațională cât și multifizică a dispozitivelor Micro-Electro-Mecanice (MEMS) de Radio Frecvență (RF). **Scopul modelării** este de a extrage un model compact, de ordin redus, care să poată fi simulat cu un efort de calcul cât mai mic, aceasta fiind o cerință foarte importantă a proiectanților de sisteme micro-electronice. **Domeniul** din care face parte cercetarea este cunoscut sub numele de Electronic Design Automation (EDA), obiectivul tezei fiind acela de a dezvolta noi metodologii și tehnologii eficiente EDA, dedicate dispozitivelor MEMS de RF. Metodologia de cercetare aplicată în teză este bazată pe tehnici analitice, numerice și experimentale. Teza de doctorat este structurată în 7 capitole, primul fiind unul introductiv și ultimul unul concluziv. Anexele și lista bibliografică încheie teza.

În **Introducere** se prezintă contextul tezei, importanța și actualitatea domeniului studiat, generalități despre MEMS-uri, obiectivul și metodologia cercetării, precum și structura lucrării. **Primul capitol** al lucrării descrie stadiul actual al cercetărilor din domeniul tezei de doctorat, cel al modelării dispozitivelor MEMS de radio-frecvență. **Capitolul al doilea** este dedicat identificării principiilor teoretice ale modelării multifizice a dispozitivelor MEMS de RF. Se prezintă metodologia de modelare multifizică și se discută conceptele teoretice care stau la baza modelării multifizice, în diferite discipline de interes pentru dispozitivele MEMS, cum sunt: Electrostatica, Electrodinamica, Mecanica structurală și Mecanica fluidelor. În **capitolul trei** se prezintă studiul unui model conceptual unidimensional al unui comutator MEMS, simplificat la maxim, ca să admită o rezolvare analitică. În **al patrulea capitol** al lucrării se abordează problema modelării multifizice a întrerupătoarelor MEMS și a validării modelelor extrase pe baza soluționării lor numerice. **Capitolul cinci** este dedicat studierii modelelor reduse ale comutatoarelor MEMS de RF. Acestea sunt de tipul celor prezentate în capitolul 3, dar parametrii nu sunt determinați pe cale analitică aproximativă, ci sunt extrași pe baza rezultatelor numerice prezentate în capitolul 4. În **capitolul șase** se prezintă: concluziile generale ale lucrării, contribuțiile ei originale, subiectele deschise, care ar trebui abordate ulterior și lista lucrărilor publicate pe perioada elaborării tezei.

Principalele contribuții originale aduse prin teza de doctorat sunt următoarele: Analiza critică a stadiului actual al cercetărilor în domeniul modelării dispozitivelor de comutate RF-MEMS. Analiza parametrică a celui mai simplu model analitic 1D al comutatoarelor RF-MEMS. Dezvoltarea și simularea cu FEM în COMSOL a modelelor numerice 2D și 3D pentru dispozitive RF MEMS. A fost dezvoltat un algoritm eficient de extragere a unui model compact pentru comportarea statică și dinamică a comutatoarelor RF MEMS, care a fost sintetizat în Spice. A fost dezvoltat un algoritm eficient de extragere a parametrilor modelului compact de tip TL-RLC-TL pentru comutatoarele RF-MEMS. A fost dezvoltat un model parametric compact hibrid, pentru comutatoarele RF-MEMS, care conține atât componenta de radiofrecvență cât și componenta electro-mecanică multifizică.

Multiphysics Modelling of Radio Frequency Micro-Electro-Mechanical-Systems

The **subject** of this thesis refers to multiphysics computational modeling and simulation of Radio Frequency (RF) Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS). The **goal** of the modeling is to extract a reduced order compact model, which can be simulated with a computational effort as small as possible, this being a very important requirement of the micro-electronic system designers. The **research field** which includes the thesis is known as Electronic Design Automation (EDA), the **aim** of the thesis was to develop new and efficient methodologies for EDA technologies, dedicated to RF MEMS. The research methodology applied in the thesis is based on analytical, numerical and experimental techniques. The thesis is divided into seven chapters, the first one being an introductory one and the last a conclusive one. The appendices and bibliography ends the thesis.

The **Introduction** presents the context of the thesis, the importance and the actuality of the research domain, generalities about MEMS, the objective and research methodology and the structure of the paper. The **first chapter** describes the current state of the research in modelling of RF MEMS devices. The **second chapter** is devoted to identifying the theoretical principles of multiphysics modelling for RF MEMS devices. Multiphysics modelling methodology is presented and theoretical concepts are discussed, underlying multiphysics modelling in different disciplines of interest, such as: Electrostatics, Electrodynamics, Structural Mechanics and Fluid Mechanics. The **third chapter** presents the study of a conceptual 1D model for MEMS switches, maximally simplified, to allow an analytical solution. In the **fourth chapter** presents the numerical multiphysics modeling for MEMS switches and the validation by comparison with literature and experiments. **Chapter five** is dedicated to studying the reduced models of RF MEMS switches. They are of the type of those described in Chapter 3, but the reduced models coefficients are not determined analytically, they are extracted based on the numerical results presented in Chapter 4. **Chapter six** presents: general conclusions of the paper, the original contributions, future research topics and the list of published papers.

The main original contributions of the thesis: Critical analysis of the current state of research in the field of modeling MEMS RF switch devices. Parametric analysis of the simplest analytical 1D model for RF MEMS switches. Development and FEM simulation in COMSOL of 2D and 3D numerical models for RF MEMS devices. It was developed an efficient algorithm for the extraction of a compact model for the static and dynamic behavior of the MEMS RF switch, which was synthesized as a Spice circuit. It was developed an efficient algorithm to extract a compact parameterized RF model for RF MEMS switches. It was developed a hybrid compact parameterized model for RF-MEMS switches, which contains both radio frequency components and multiphysics component.