



Universidade de Aveiro
2009

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e
Informática

**Jorge dos Santos
Freitas de Oliveira**

**Análise de Comportamentos Multi-Ritmo em
Sistemas Electrónicos**

**DOCUMENTO
PROVISÓRIO**



**Jorge dos Santos
Freitas de Oliveira**

**Análise de Comportamentos Multi-Ritmo em
Sistemas Electrónicos**

Analysis of Multirate Behavior in Electronic Systems

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica, realizada sob a orientação científica do Doutor José Carlos Esteves Duarte Pedro, Professor Catedrático do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e sob a co-orientação científica do Doutor Adérito Luís Martins Araújo, Professor Auxiliar do Departamento de Matemática da Universidade de Coimbra.

Apoio financeiro da FCT e do FSE no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

Dedico este trabalho aos meus familiares e companheira, pelo incansável apoio e pela compreensão da minha constante indisponibilidade.

o júri

presidente

Prof. Doutor João Carlos Matias Celestino Gomes da Rocha
professor catedrático da Universidade de Aveiro (em representação do Reitor da Universidade de Aveiro)

Prof. Doutor Thomas J. Brazil
professor of University College Dublin, Irlanda

Prof. Doutor José Carlos Esteves Duarte Pedro
professor catedrático da Universidade de Aveiro (orientador)

Prof. Doutor João José Lopes da Costa Freire
professor associado com agregação do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Adérito Luís Martins Araújo
professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (co-orientador)

agradecimentos

Ao longo desta difícil mas estimulante etapa da minha vida intervieram, directa ou indirectamente, diversas pessoas e entidades às quais desejo expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Prof. Doutor José Carlos Pedro, na qualidade de orientador deste trabalho de doutoramento, pela sua inteira disponibilidade, por todo o apoio prestado, pelo óptimo ambiente de trabalho e pelo elevado grau de exigência que sempre pautou a sua actuação.

Gostaria também de agradecer ao Prof. Doutor Adérito Araújo, do Departamento de Matemática da Universidade de Coimbra, pelos inúmeros conhecimentos que me transmitiu para a minha formação em matemática aplicada, e por ter aceite em participar como co-orientador deste doutoramento.

Gostaria de agradecer à Universidade de Aveiro, ao Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática e ao Instituto de Telecomunicações, por terem fornecido os meios necessários para o desenvolvimento do meu trabalho.

Gostaria também de agradecer à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, pelo apoio prestado.

O apoio financeiro concedido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia ao longo deste período sob a forma de bolsa de doutoramento é obviamente merecedor de um agradecimento especial.

Por último, agradeço aos colegas do Departamento de Engenharia Electrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, e a todos os meus amigos em geral, por toda a amizade, apoio e incentivo.

palavras-chave

Circuitos RF Heterogéneos Não Lineares, Equações Diferenciais Não Lineares, Múltiplas Escalas de Tempo, Comportamentos Multi-Ritmo, Simulação Numérica.

resumo

Esta tese insere-se na área da simulação de circuitos de RF e microondas, e visa o estudo de ferramentas computacionais inovadoras que consigam simular, de forma eficiente, circuitos não lineares e muito heterogéneos, contendo uma estrutura combinada de blocos analógicos de RF e de banda base e blocos digitais, a operar em múltiplas escalas de tempo. Os métodos numéricos propostos nesta tese baseiam-se em estratégias multi-dimensionais, as quais usam múltiplas variáveis temporais definidas em domínios de tempo deformados e não deformados, para lidar, de forma eficaz, com as disparidades existentes entre as diversas escalas de tempo. De modo a poder tirar proveito dos diferentes ritmos de evolução temporal existentes entre correntes e tensões com variação muito rápida (variáveis de estado activas) e correntes e tensões com variação lenta (variáveis de estado latentes), são utilizadas algumas técnicas numéricas avançadas para operar dentro dos espaços multi-dimensionais, como, por exemplo, os algoritmos multi-ritmo de Runge-Kutta, ou o método das linhas. São também apresentadas algumas estratégias de partição dos circuitos, as quais permitem dividir um circuito em sub-circuitos de uma forma completamente automática, em função dos ritmos de evolução das suas variáveis de estado. Para problemas acentuadamente não lineares, são propostos vários métodos inovadores de simulação a operar estritamente no domínio do tempo. Para problemas com não linearidades moderadas é proposto um novo método híbrido frequência-tempo, baseado numa combinação entre a integração passo a passo unidimensional e o método seguidor de envolvente com balanço harmónico. O desempenho dos métodos é testado na simulação de alguns exemplos ilustrativos, com resultados bastante promissores. Uma análise comparativa entre os métodos agora propostos e os métodos actualmente existentes para simulação RF, revela ganhos consideráveis em termos de rapidez de computação.

keywords

Nonlinear Heterogeneous RF Circuits, Nonlinear Differential Equations, Multiple Time Scales, Multirate Behavior, Numerical Simulation.

abstract

This thesis belongs to the field of RF and microwave circuit simulation, and is intended to discuss some innovative computer-aided design tools especially conceived for the efficient numerical simulation of highly heterogeneous nonlinear wireless communication circuits, combining RF and baseband analog and digital circuitry, operating in multiple time scales.

The numerical methods proposed in this thesis are based on multivariate strategies, which use multiple time variables defined in warped and unwarped time domains, for efficiently dealing with the time-scale disparities. In order to benefit from the different rates of variation of slowly varying (latent) and fast-varying (active) currents and voltages (circuits' state variables), several advanced numerical techniques, such as modern multirate Runge-Kutta algorithms, or the mathematical method of lines, are proposed to operate within the multivariate frameworks. Diverse partitioning strategies are also introduced, which allow the simulator to automatically split the circuits into sub-circuits according to the different time rates of change of their state variables. Novel purely time-domain techniques are addressed for the numerical simulation of circuits presenting strong nonlinearities, while a mixed frequency-time engine, based on a combination of univariate time-step integration with multitime envelope transient harmonic balance, is discussed for circuits operating under moderately nonlinear regimes.

Tests performed in illustrative circuit examples with the newly proposed methods revealed very promising results. Indeed, compared to previously available RF tools, significant gains in simulation speed are reported.