



Ana Cristina dos Santos da Silva Porto

Antenas Tipo Fenda em Cavidades

Análise pelo Método dos Elementos Finitos - Integral de Fronteira

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz Costa da Silva

Rio de Janeiro
julho de 2004



Ana Cristina dos Santos da Silva Porto

Antenas Tipo Fenda em Cavidades

Análise pelo Método dos Elementos Finitos - Integral de Fronteira

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Costa da Silva
Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Flávio José Vieira Hasselmann

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Ricardo Bergmann

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de julho de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Ana Cristina dos Santos da Silva Porto

Graduou-se em Engenharia Elétrica em dezembro de 2001, na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Em março de 2002, iniciou no Centro de Estudos em Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro seu mestrado na área de eletromagnetismo aplicado.

Ficha Catalográfica

Porto, Ana Cristina dos Santos da Silva

Antenas tipo fenda em cavidades : análise pelo método dos elementos finitos – integral de fronteira / Ana Cristina dos Santos da Silva Porto ; orientador: Luiz Costa da Silva. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

78 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Antenas espirais. 3. Antenas tipo fenda. 4. Cavidades. 5. Métodos híbridos. 6. Método dos elementos finitos. I. Silva, Luiz Costa da. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

À minha família

Agradecimentos

Ao professor Luiz Costa da Silva, de cujo extraordinário conhecimento e orientação dedicada resultaram neste trabalho.

A todos os professores que me acompanharam durante a vida acadêmica, em especial ao professor Marbey Mosso pelo incentivo.

A todos colegas do PAA, pelo apoio e colaboração.

A todos os funcionários do CETUC, pelo carinho e atenção.

Ao CNPQ, pelo suporte financeiro que contribuiu para a viabilização deste trabalho.

Resumo

Porto, Ana Cristina dos Santos da Silva. **Antenas Tipo Fenda em Cavidades**. Rio de Janeiro, 2004. 78p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Devido às propriedades de banda larga e polarização circular, as antenas espirais tornaram-se bastante atrativas para diversos serviços de telecomunicações modernos e móveis.

Neste trabalho uma antena espiral tipo fenda apoiada em uma cavidade cilíndrica metálica foi analisada.

Por causa de sua geometria complexa, optou-se por um método numérico híbrido, realizado através de uma implementação de elementos mistos do método dos elementos finitos - integral de fronteira.

Baseado nesta formulação, um programa computacional foi desenvolvido. Um grande esforço foi realizado a fim de escrever o programa de maneira que o armazenamento e as necessidades computacionais fossem mínimos, boa parte conseguida pela aplicação das condições de contorno na superfície metálica.

Com o objetivo de melhor explorar a geometria do problema, definiu-se uma malha de elementos finitos onde a parte que cabia a abertura foi dividida em quadriláteros enquanto que no restante da superfície, elementos triangulares foram utilizados. Repetiu-se então esta malha ao longo da altura da cavidade, de maneira que hexaedros e prismas formaram a malha final. Para cada espécie de elemento, funções de base vetoriais específicas foram aplicadas.

A fim de verificar a precisão do algoritmo, o mesmo programa computacional foi utilizado na análise de uma antena tipo fenda retangular, também apoiada em uma cavidade cilíndrica metálica.

Palavras-chave

Antenas espirais; antenas tipo fenda; cavidades; métodos híbridos; método dos elementos finitos.

Abstract

Porto, Ana Cristina dos Santos da Silva. **Cavity-Backed Slot Antennas**. Rio de Janeiro, 2004. 78p. Msc Dissertation – Electric Engineer Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Known for the properties of broadband and circular polarization, spiral antennas have become sufficiently attractive for services of modern and mobile telecommunications.

In this work a cavity-backed slot spiral antenna was analyzed. Because of its complex geometry, it was chosen a hybrid numerical method, carried through an implementation of mixing elements of the finite elements – boundary integral method.

Based in this formulation, a computer program was developed. A great effort was carried out in order to write the program thus the computational storage and necessities were minimum, good part obtained by application of the boundary conditions on the metallic surface.

With the goal of better exploring the geometry of the problem, a mesh of finite elements was defined where the part that fit the aperture was divided into quadrilaterals, while that in the rest of the surface, triangular elements were used. By repeating this mesh along the height of the cavity, hexahedrals and prisms formed the final mesh. For each kind of element, specific vector base functions were applied.

In order to verify the accuracy of the algorithm, the same computational program was used in the analysis of a cavity-backed slot rectangular antenna.

Keywords

Spiral antenna; slot antennas; cavities; hybrid methods; finite-elements method.

Sumário

1 Introdução	14
2 Antenas Independentes da Frequência e do Tipo Fenda	16
2.1. Considerações Gerais	16
2.2. Teoria das Antenas Independentes da Frequência	17
2.3. Antenas Espirais	19
2.3.1. Antena Espiral Logarítmica	21
2.3.2. Antena Espiral Equiangular Plana Tipo Fenda	23
2.3.3. Espiral de Arquimedes	24
2.4. Antenas Tipo Fenda Retangular	25
3 Métodos Numéricos de Análise de Antenas	28
3.1. Métodos Numéricos	28
3.1.1. Método dos Momentos	30
3.1.2. Método dos Elementos Finitos	32
3.1.3. Método Híbrido Elementos Finitos – Integral de Fronteira (FE-BI)	36
4 Análise de Antenas pelo Método FE-BI	42
4.1. Descrição da Antena Espiral Tipo Fenda	42
4.2. Formulação Geral	43
4.2.1. Região Interior	44
4.2.2. Região Exterior	53
5 Resultados Numéricos	54
5.1. Considerações Preliminares	54
5.2. Frequências Ressonantes em Cavidades	54
5.3. Resultados para Antenas do Tipo Fenda Retangular	57
5.4. Resultados para Antenas Espirais Tipo Fenda	62
6 Conclusão	69
7 Referências Bibliográficas	70

Lista de figuras

Figura 2.1 - Exemplo de antena log-periódica e antena equiangular.	17
Figura 2.2 – Emprego de antena espiral na indústria automobilística.	20
Figura 2.3 – Espiral Equiangular.	22
Figura 2.4 – Diagrama de radiação de uma antena espiral.	23
Figura 2.5 – Espiral de Arquimedes.	25
Figura 2.6 - (a) Antena tipo fenda retangular. (b) Dipolo complementar.	26
Figura 3.1 – Ilustração dos vários elementos utilizados em volumes tridimensionais.	32
Figura 3.2 – Estrutura não-homogênea fechada por uma malha S_0 , condutora eletricamente perfeita.	34
Figura 3.3 – Exemplos de sistemas de matrizes geradas pelo método FE-BI.	40
Figura 3.4 – Ilustração de uma cavidade terminada por um plano de terra.	40
Figura 4.1 – Exemplo de antena espiral de Arquimedes tipo fenda.	42
Figura 4.2 – prismas com as incógnitas baseadas em arestas. (a) Vista em perspectiva. (b) Vista superior.	45
Figura 4.3 – Hexaedro com as incógnitas baseadas em arestas.	49
Figura 4.4 – Transformação plano $xy - \xi\eta$.	49
Figura 4.5 – Coordenadas locais dos quadriláteros.	53
Figura 5.1 - Vista Superior da cavidade retangular discretizada por hexaedros retangulares.	55
Figura 5.2 - Vista Superior da cavidade cilíndrica discretizada por prismas.	56
Figura 5.3 – Vista superior (a) e vista lateral (b) da antena tipo fenda retangular discretizada por prismas e hexaedros, em 3.5 GHz. (c) detalhe da fenda retangular discretizada.	58
Figura 5.4 - Diagramas de radiação para frequência 0.8 GHz, $L/\lambda = 0.32$, nos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$, respectivamente.	58
Figura 5.5 - Diagramas de radiação para frequência 1.0 GHz, $L/\lambda = 0.40$, nos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$, respectivamente.	59
Figura 5.6 - Diagramas de radiação para frequência 1.5 GHz, $L/\lambda = 0.60$, nos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$, respectivamente.	59
Figura 5.7 - Diagramas de radiação para frequência 2.0 GHz, $L/\lambda = 0.80$, nos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$, respectivamente.	59

- Figura 5.8 - Diagramas de radiação para frequência 2.5 GHz, $L/\lambda = 1.00$, nos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$, respectivamente. 60
- Figura 5.9 - Diagramas de radiação para frequência 4.5 GHz, $L/\lambda = 1.80$, nos planos $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$, respectivamente. 60
- Figura 5.10 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 0.8 GHz, $L/\lambda = 0.32$. 61
- Figura 5.11 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 1.0 GHz, $L/\lambda = 0.40$. 61
- Figura 5.12 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 1.5 GHz, $L/\lambda = 0.60$. 61
- Figura 5.13 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 2.0 GHz, $L/\lambda = 0.80$. 62
- Figura 5.14 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 2.5 GHz, $L/\lambda = 1.00$. 62
- Figura 5.15 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 4.5 GHz, $L/\lambda = 1.80$. 62
- Figura 5.16 - Vista superior (a) e vista lateral (b) da antena espiral tipo fenda discretizada por prismas e hexaedros, em 2.0 GHz (c) detalhe das dimensões da antena espiral. 63
- Figura 5.17 – Relação Axial x Frequência. 64
- Figura 5.18 - Diagramas de radiação para frequência 2.5 GHz nos planos H e E, respectivamente. 65
- Figura 5.19 - Diagramas de radiação para frequência 3.0 GHz nos planos H e E, respectivamente. 65
- Figura 5.20 - Diagramas de radiação para frequência 4.0 GHz nos planos H e E, respectivamente. 65
- Figura 5.21 - Diagramas de radiação para frequência 5.0 GHz nos planos H e E, respectivamente. 66
- Figura 5.22 - Diagramas de radiação para frequência 6.0 GHz nos planos H e E, respectivamente. 66
- Figura 5.23 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 2.5 GHz. 66
- Figura 5.24 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 3.0 GHz. 67
- Figura 5.25 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 4.0 GHz. 67

Figura 5.26 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 5.0 GHz.

67

Figura 5.27 - Módulo e fase das correntes magnéticas para frequência 6.0 GHz.

67

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Índices utilizados nas entradas das matrizes $[A_{ij}^e]$ e $[B_{ij}^e]$.	49
Tabela 5.1 – Valores exatos e calculados numericamente de frequências de ressonância para uma cavidade retangular.	55
Tabela 5.2 - Valores exatos e calculados numericamente de frequências de ressonância para uma cavidade cilíndrica.	56
Tabela 5.3 - Larguras de feixe aproximadas para os diagramas apresentados nas figuras 5.4 a 5.9.	60
Tabela 5.4 - Larguras de feixe aproximadas para os diagramas apresentados nas figuras 5.18 a 5.22.	64