

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9910

**Modelo Não-Linear de MESFET
para Simulação de
Amplificadores de Alta Eficiência**

Antonio Sandro Verri
Fatima Salete Correra

São Paulo – 1999

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Antonio Sandro Verri sob orientação da Profa. Dra. Fatima Salete Correra: "Amplificadores de Potência em Microondas com Alta-Eficiência", defendida em 03/09/98, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Verri, Antonio Sandro

Modelo não-linear de MESFET para simulação de amplificadores de alta eficiência / A.S. Verri, F.S. Correra. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9910)

1. Microondas 2. Amplificadores de alta eficiência I. Correra, Fátima Salete II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série
ISSN 1413-2206

CDD 621.3813
621.381535

Modelo Não-Linear de MESFET para Simulação de Amplificadores de Alta-Eficiência

Antonio Sandro Verri & Fatima Salete Correra

Laboratório de Microeletrônica
Departamento de Engenharia Eletrônica da Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n° 158, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil

Abstract - Conventional models of GaAs MESFETs are unable to represent adequately the transistor behavior for gate-source voltages below the threshold voltage and can't predict accurately the characteristics of high-efficiency amplifiers operating at AB, B or F class. This paper presents a new model which includes an improved representation of the dependence of the output conductance and input capacitance of GaAs MESFETs on gate-drain voltage below cut-off. Only DC and scattering parameter data are required to extract the model parameters, which can be easily implemented in commercially available circuit simulators. The proposed model was applied to represent a medium power GaAs MESFET. The validity of this model was demonstrated by comparing the predict static I_xV curves and S parameters data at A, AB and B class bias points with the measured ones.

I. Introdução

Os programas computacionais de simulação de circuitos comercialmente disponíveis contém diferentes modelos não-lineares para representar o comportamento de grandes sinais de transistores MESFET de Arseneto de Gálio. Os modelos mais populares são o Statz-Raytheon¹ e o TOM (Triquint Own Model)² que empregam circuitos elétricos equivalentes. Esses modelos são capazes de fornecer uma boa representação das características I_xV estáticas do transistor, considerando adicionalmente a dispersão das características do MESFET com a frequência, sendo adequados para a simulação e projeto de amplificadores de potência de microondas operando em classe A.

No entanto, com o incremento das comunicações móveis, é crescente a demanda por amplificadores de microondas de alta eficiência, que apresentem baixo consumo de potência, dando maior autonomia a equipamentos portáteis de comunicação. No projeto de amplificadores de alta eficiência emprega-se MESFETs polarizados em classes AB, B ou F, de modo que o transistor está cortado em parte do ciclo de sinal de RF. Nessas condições de operação, os modelos de MESFET implementados em simuladores de circuitos comerciais falham em representar o comportamento da condutância de saída e da capacitância de entrada do transistor em função das tensões de dreno-fonte e porta-fonte, como mostrado a seguir.

A deficiência dos modelos de MESFET em representar o valor RF da condutância de saída do transistor na região de corte afeta a previsão de potência de saída e de linearidade obtidas a partir da simulação de amplificadores de alta eficiência. Esses modelos assumem erroneamente que o valor da capacitância de entrada cai a zero para tensão porta-fonte abaixo da tensão de limiar de condução, o que dificulta a convergência dos cálculos, inviabilizando muitas vezes a simulação de circuitos operando nas classes AB, B e F.

Neste artigo propõem-se um modelo não-linear para MESFETs visando a simulação de amplificadores de potência de alta eficiência. Esse modelo é composto pela associação de um modelo tradicional de MESFET, como Statz-Raytheon ou TOM, com outros elementos

de circuito. Dessa forma o modelo pode ser facilmente implementado em simuladores de circuitos comercialmente disponíveis.

Nas sessões que se seguem comenta-se as limitações de modelos tradicionais de MESFET, apresentando-se a estrutura do modelo de MESFET aqui proposto, bem como seu princípio de funcionamento. Discute-se o procedimento de ajuste do modelo transistor a partir das curvas experimentais I_xV estáticas do dispositivos e dos parâmetros S na faixa de microondas para o transistor polarizado em classe A, AB e B. Finalmente, avalia-se o modelo através da aplicação do mesmo à representação de um MESFET de média potência.

II. Modelos usuais de MESFET

Em MESFETs de Arseneto de Gálio, fabricados pela tecnologia corrente, o parâmetro que sofre dispersão mais significativa com a frequência é a condutância de saída do transistor³. A figura 1 mostra o comportamento típico de dispersão da condutância de saída de MESFETs de GaAs com a frequência. Como indicado na figura, a condutância tem um valor baixo em DC, o qual se mantém constante até frequências que variam de 1 a 100 KHz, dependendo da tecnologia de fabricação do dispositivo. Com o aumento da frequência, o valor da condutância de saída cresce rapidamente, atingindo seu valor RF, o qual permanece constante até frequências de microondas. Destaque-se que o comportamento da condutância de saída apresentado na figura 1 é válido para o MESFET polarizado na região de saturação, com tensão porta-fonte acima da tensão de limiar de condução do dispositivo. Quando o transistor está cortado a condutância de saída tende a valores muito baixos, tanto em DC como em RF.

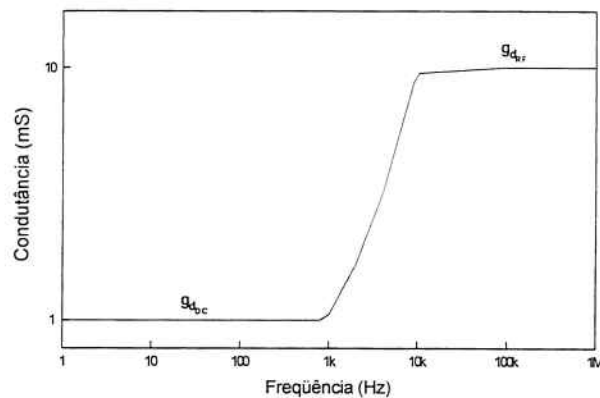


Figura 1. Dispersão da condutância de saída de MESFETs de GaAs com a frequência³.

No modelo de Statz-Raytheon, apresentado na figura 2, a fonte de corrente $I_d(V_{gs}, V_{ds})$ representa as características DC do dispositivo, de modo que o valor DC da condutância de saída é dado pela derivada: $\partial I_d(V_{gs}, V_{ds}) / \partial V_{ds}$. Em frequências elevadas a capacitância C_{rf} tem reatância desprezível, de modo que a condutância g_{ds} está em paralelo com a fonte de corrente, adicionando-se ao valor DC da condutância para compor o valor de RF da mesma. Dessa forma temos:

Para $V_{gs} > V_T$:

$$g_{dDC} = \frac{\partial I_d(V_{gs}, V_{ds})}{\partial V_{ds}}$$

$$g_{dRF} = g_{dDC} + g_{ds}$$

Para $V_{gs} \leq V_T$:

$$g_{dDC} = \frac{\partial I_d(V_{gs}, V_{ds})}{\partial V_{ds}} = 0$$

$$g_{dRF} = g_{dDC} + g_{ds} = g_{ds}$$

onde:

V_{ds}	tensão dreno-fonte
V_{gs}	tensão porta-fonte
V_T	tensão de limiar de condução
I_d	fonte de corrente de dreno
g_{dDC}	valor DC da condutância de saída do MESFET
g_{dRF}	valor RF da condutância de saída do MESFET
g_{ds}	diferença entre os valores RF e DC da condutância de saída na região ativa

Dessa forma a representação da dispersão da condutância de saída com a frequência modela adequadamente o transistor operando em classe A, mas fornece um valor irreal de g_{dRF} sempre que a tensão V_{gs} assume valores abaixo de V_T .

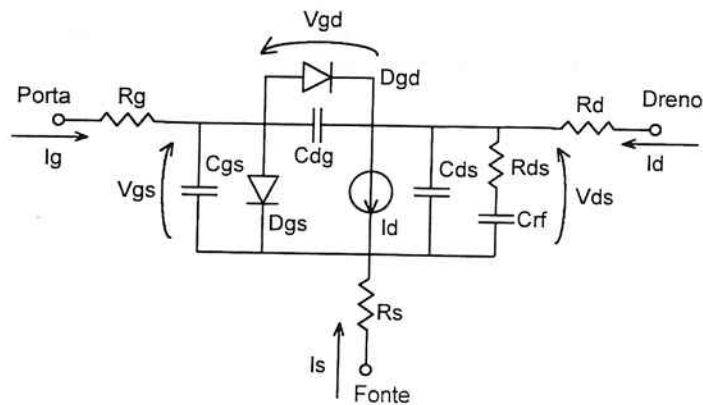


Figura 2. Modelo Statz-Raytheon para MESFETs.

Outra limitação dos modelos de MESFET comercialmente disponíveis refere-se ao comportamento da capacitância de entrada do transistor com a tensão. A função $C_{gs}(V_{gs}, V_{ds})$ utilizada nos modelos de MESFET mais elaborados^{1,2} considera que a capacitância de entrada vai a zero quando a tensão porta-fonte cai a valores inferiores à tensão de limiar de condução, cortando o dispositivo. Na prática esse capacitância tende a um valor constante na região de corte, correspondente à variação da região lateral da camada de depleção do transistor com a tensão porta-fonte⁴. A figura 3 apresenta uma curva típica da capacitância de entrada do MESFET em função da tensão porta-fonte utilizada nos modelos Statz-Raytheon e TOM e uma curva real dessa capacitância.

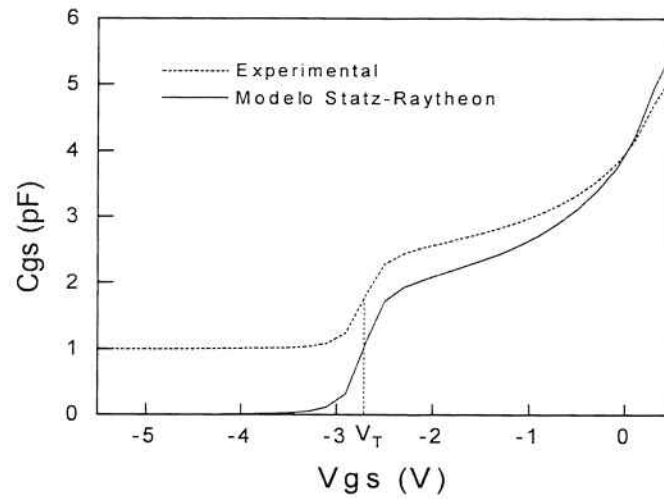


Figura 3. Capacitância de entrada do MESFET em função da tensão porta-fonte.

III. Modelo proposto para MESFET

O modelo proposto para MESFETs de GaAs é apresentado na figura 4. Nesse modelo o transistor FET1 é ajustado de forma a representar as curvas I_xV estáticas do transistor através do modelo Statz-Raytheon ou TOM. A capacitância de entrada do MESFET é modelada pela associação paralela da capacitância C_e com a capacitância $C_{gs1}(V_{gs}, V_{ds})$ do FET1. Dessa forma, a capacitância de entrada do transistor fornecida pela modelo segue as equações:

$$C_{gs} = C_{gs1}(V_{gs}, V_{ds}) + C_e \text{ para } V_{gs} > V_T$$

$$C_{gs} = C_e \text{ para } V_{gs} \leq V_T$$

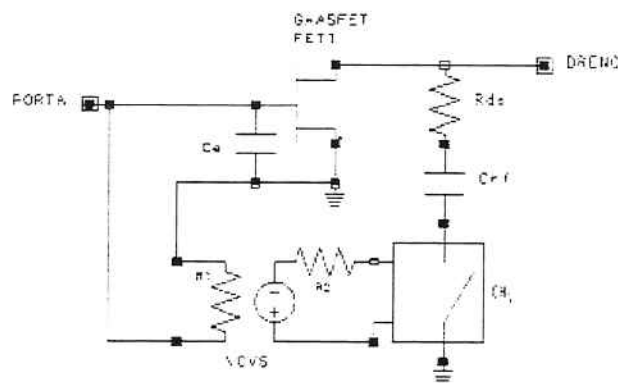


Figura 4. Modelo proposto para o MESFET

O modelamento da condutância de saída é obtido através da resistência R_{ds} , conectada em série com C_{df} e com uma chave controlada por tensão, CH_1 . Para $V_{gs} > V_T$ a chave está fechada, podendo ser representada por uma resistência muito baixa, R_{on} . Quando o transistor

é cortado, $V_{gs} \leq V_T$, a chave abre, apresentando resistência muito elevada, R_{of} . Dessa forma a condutância de saída do MESFET fornecida pelo modelo passa a ser:

Para $V_{gs} > V_T$:

$$g_{dDC} = \frac{\partial I_d(V_{gs}, V_{ds})}{\partial V_{ds}}$$

$$g_{dRF} = g_{dDC} + \frac{1}{R_{ds} + R_{on}} \approx g_{dDC} + \frac{1}{R_{ds}}$$

Para $V_{gs} \leq V_T$:

$$g_{dDC} = \frac{\partial I_d(V_{gs}, V_{ds})}{\partial V_{ds}} = 0$$

$$g_{dRF} = g_{dDC} + \frac{1}{R_{ds} + R_{off}} \approx g_{dDC} + \frac{1}{R_{off}} \approx 0$$

Para o modelamento de MESFETs através do modelo proposto adotou-se um procedimento baseado em três grupos de medidas⁵: características DC, parâmetros S na faixa de centenas de MHz e parâmetros S em frequências de microondas.

Inicialmente, são determinadas as características experimentais I_xV estáticas do MESFET. A seguir procede-se ao ajuste dos parâmetros do transistor FET1, de modo que o mesmo reproduza com precisão o comportamento DC do dispositivo.

Os parâmetros S do transistor são medidos na faixa de centenas de MHz, na qual o efeito de elementos parasitas da montagem podem ser desprezados. Essas medidas são realizadas para diversos pontos de polarização, cobrindo tanto a região normal de condução ($V_{ds} \geq 0$ V e $V_T < V_{gs} \leq 0.5$ V), como a região de corte ($V_{ds} \geq 0$ e $2.V_T \leq V_{gs} \leq V_T$). Através de equações analíticas⁵ obtém-se os valores das capacitâncias porta-fonte, porta-dreno e dreno-fonte, da transcondutância e da condutância de saída do transistor em função de V_{gs} e V_{ds} . Com esse dados calcula-se os valores dos demais parâmetros do FET1, bem como de R_{ds} , R_{on} e R_{off} .

Finalmente, os parâmetros S do transistor são medidos na faixa de microondas para os pontos de polarização ideais de operação nas classes A, AB e B. Os parâmetros do modelo são então refinados visando aprimorar a representação do transistor nessas diferentes condições de operação.

IV. Avaliação do modelo

O modelo proposto foi utilizado para representar o MESFET ATF45100 fabricado pela Hewlett-Packard. Trata-se de um transistor de média potência, com porta de $0,5 \mu\text{m} \times 2,5 \text{ mm}$, capaz de fornecer 800 mW em 4GHz. Os resultados do modelamento são apresentados nas figuras 5 a 10 que comparam curvas experimentais do transistor com as fornecidas pelo modelo do MESFET.

O ajuste das curvas estáticas I_xV é apresentado na figura 5. Observa-se a excelente concordância entre valores medidos e simulados, que resulta do uso do modelo TOM para representar o FET1 contido no modelo proposto.

As figuras 6 a 8 apresentam os parâmetros S do transistor para polarização em classe A, AB e B. A boa concordância entre valores medidos e simulados indica o potencial do modelo proposto para representar o desempenho do transistor tanto na região de saturação como na região de corte, recomendando sua aplicação na simulação e projeto de amplificadores de alta eficiência.

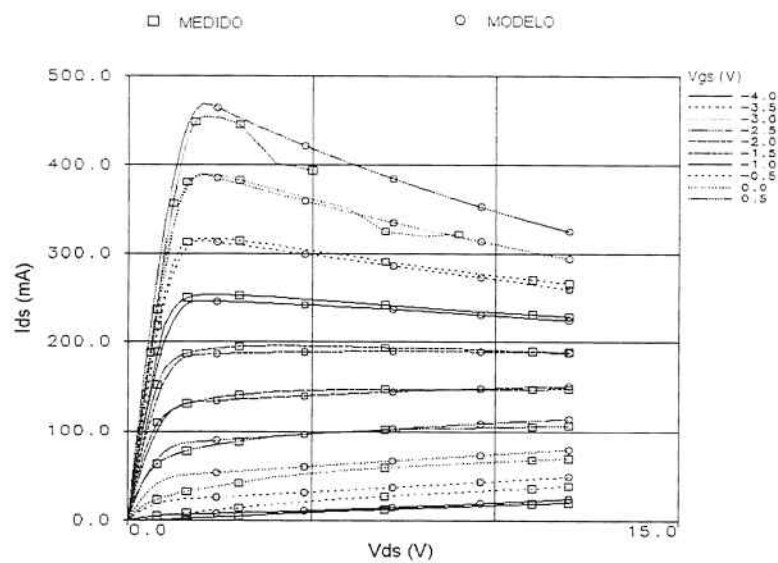
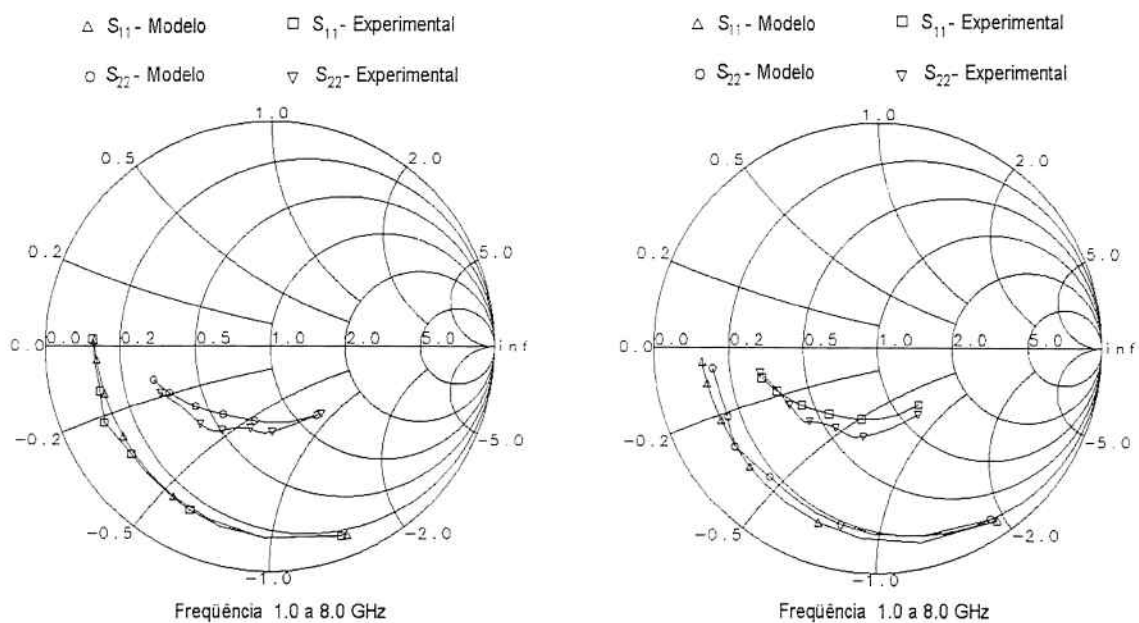


Figura 5. Curvas I_d - V estáticas do MESFET ATF45100



(a)

(b)

Figura 6. Curvas de S_{11} e S_{22} versus frequência - (a) classe A; (b) classe AB.

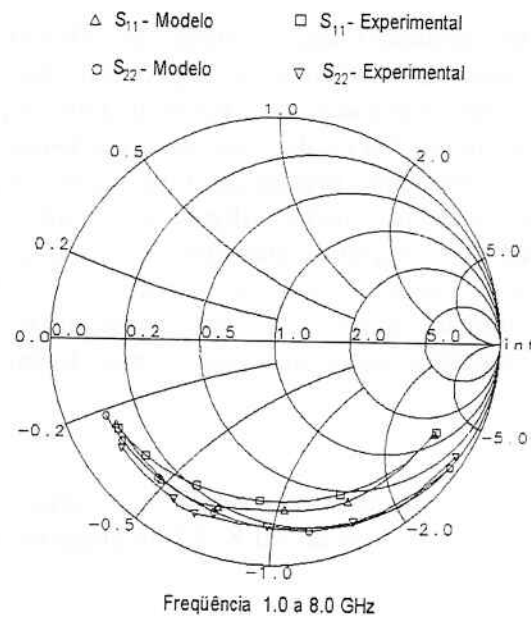


Figura 7. Curvas de S_{11} e S_{22} versus frequência - classe B

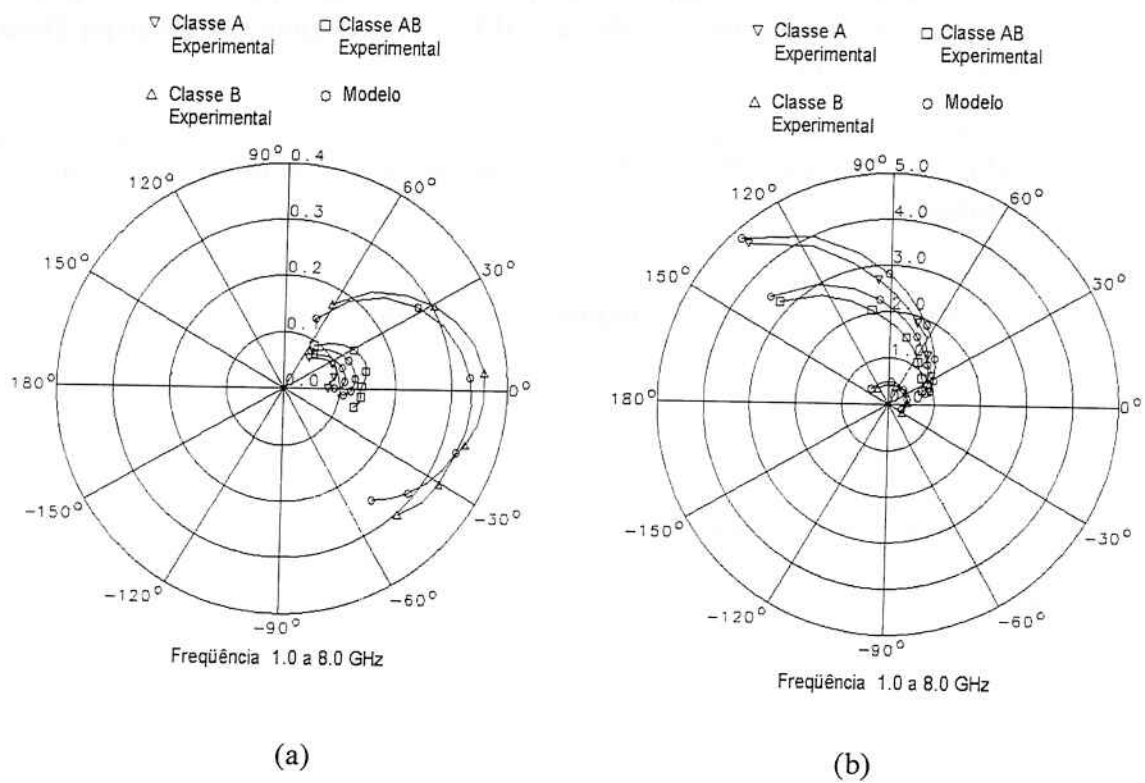


Figura 8. Curvas de (a) S_{12} e (b) S_{21} versus frequência - classes A, AB e B

V. Conclusões

Discutiu-se as limitações dos modelos de MESFETs de GaAs disponíveis em simuladores de circuito, destacando-se a imprecisão dos mesmos na representação da condutância de saída e da capacitância de entrada quando a tensão porta-fonte assume valores inferiores à tensão de limiar. Para solucionar esse problema, foi proposto um novo modelo que inclui uma representação mais precisa do comportamento do transistor na região de corte. O modelo proposto pode ser facilmente utilizado em simuladores de circuito comercialmente disponível pois é uma combinação de elementos de circuito implementados nos mesmos. O modelo proposto foi utilizado para representar um MESFET de média potência, demonstrando sua habilidade de prever o comportamento DC e os parâmetros S do transistor em frequências de microondas para o transistor polarizado nas classes A, AB e B.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a HP-Laboratories, e em particular ao Dr. Edmar Camargo, pela doação das amostras de MESFET empregadas neste trabalho.

Referências

1. STATZ, H., NEWMAN, P., SMITH I.W., PUCCEL, R.A. and HAUS, H.A. GaAs FET device and circuit simulation in SPICE. **IEEE Transactions on Electron Devices**, v.34, n.2, p.160-9, Feb. 1987.
2. McCAMANT, A.J., McCORMACK G.D. and SMITH, D.H. An improved GaAs MESFET model for SPICE. **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, v.38, n.6, p.822-4, June 1990.
3. PITZALIS, O. Computer-aided design of GaAs FET power amplifiers. In: WALKER, J.L.B., **High power GaAs FET amplifiers**. Norwood, Artech House, 1993, p.147-88.
4. LANE, J.R., FREITAG, R.G., HAHN, H.K., DEGENFORD, J.E. and COHN, M. High efficiency 1, 2 and 4 W class-B FET power amplifiers. **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, v.34, n.12, p.1318-26, Dec. 1986.
5. CAMARGO, E. **Fenômenos não-lineares em transistores de efeito de campo de microondas e sua aplicação a multiplicadores de frequência**. São Paulo, 1985. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Lista de tabelas

- Tabela 1. Resumo comparativo de publicações sobre amplificadores de potência de alta eficiência
- Tabela 2. Principais características DC e ganho do transistor FLC091WF
- Tabela 3. Previsão de desempenho de amplificadores classes A, B, AB e F utilizando transistor FLC091WF
- Tabela 4. Eficiência máxima considerando transistor ideal e transistor comercialmente disponível
- Tabela 5. Principais características do transistor FLC091WF
- Tabela 6. Parâmetros do modelo TOM para o transistor FLC091WF
- Tabela 7. Ponto quiescente de polarização e previsão de desempenho do amplificador classe A
- Tabela 8. Ponto quiescente de polarização e previsão de desempenho do amplificador classe AB
- Tabela 9. Ponto quiescente de polarização e previsão de desempenho do amplificador classe F
- Tabela 10. Nível das harmônicas do amplificador classe A no ponto de compressão de ganho de 2 dB
- Tabela 11. Nível das harmônicas do amplificador classe AB no ponto de compressão de ganho de 2 dB
- Tabela 12. Nível das harmônicas do amplificador classe AB no ponto de compressão de ganho de 4 dB
- Tabela 13. Ganho de potência, eficiência de potência adicionada e potência de saída obtidas experimentalmente

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- T/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Condutoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINALIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e ©Notch^a para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - ©Ray Tracing^a Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para ©Gate-Arrays^a Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERAFILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais ©IIR^a (da especificação em alto nível ao leiaute do ©ASIC^a) - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de Clustering para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON

- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- T/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TiN Formation Using a RF Magnetron System" - SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9607 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confecção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES
- BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO
- BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUÍS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO
- BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA
- BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO₂ Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÉS PEREYRA
- BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADA O ISOTANI
- BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCHE, LAÉRCIO LUCCHESI
- BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões Multicast para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SÉRGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.

- BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9711 - Um Estudo Sobre a Redução de Ruídos em Sinais Caóticos - ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9712 - Geradores não Lineares de Sequência para uso em Sistemas Spread Spectrum - ANGEL ANTONIO GONZALEZ MARTINEZ, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9713 - Modelamento Físico do Sistema Heteroestrutura - Metal - CECÍLIA WETTERLE RODRIGUES, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9714 - Tensões Induzidas em Linhas Aéreas por Descargas Atmosféricas Indiretas - Modelagem e Aplicação ao Cálculo de Interrupções - ALEXANDRE PIANTINI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEE/9715 - RECMAP - Uma Ferramenta para Otimização em Síntese de Alto Nível Baseada em Reconhecimento Funcional e Mapeamento de Componentes - ANDRÉ GERHARD, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9716 - Estudo da Sinterização de Contatos Al/Ti por Recozimento Térmico Rápido Visando a Aplicação em Circuitos Integrados - ANGELO EDUARDO BATTISTINI MARQUES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PEE/9717 - Mixed H2/H- Control of Discrete-Time Markovian Jump Linear Systems - OSWALDO L. V. COSTA, RICARDO P. MARQUES
- BT/PEE/9718 - Aluminium Etching with CCl4-N2 Plasmas - ANGELA MAKIE MAKAZAWA, PATRICK VERDONCK
- BT/PEE/9719 - O Uso de Resistes Amplificados Quimicamente e de Sililação em Litrografia por Feixe de Elétrons - ANTONIO C. SEABRA, PATRICK B. VERDONCK
- BT/PEE/9720 - Implementação de um Simulador de um Circuito Neuro-Medular que Atua no Controle da Força Motora - LUIZ JURANDIR SIMÕES DE ARAÚJO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9721 - Avaliação das Características Físico-Químicas e Elétricas de Filmes de SiO2 Depositados por PECVD a Partir da Reação entre O2 e TEOS - ALVARO ROMANELLI CARDOSO E CLAUS MARTIN HASENACK
- BT/PEE/9722 - Controle e Simulação Dinâmica de Colunas de Destilação: Aplicação Prática em uma Coluna com Refluxo por Gravidade
- BT/PEE/9723 - Circuitos de Portas Lógicas Primitivas Implementados a Partir de uma Classe de Lógicas Paraconsistentes Anotadas - JOÃO INÁCIO DA SILVA FILHO, JAIR MINORO ABE, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- BT/PEE/9724 - Lattice Heating and Energy Balance Consideration on the I-V Characteristics of Submicrometer Thin-Film Fully Depleted SOI NMOS Devices - CLAUDIA BRUNETTI, NELSON L. A. BRAGA, LUIZ S. ZASNICOFF
- BT/PEE/9725 - Identificação de um Processo de Neutralização de pH via Redes Neurais - SILVIO FLABOREA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9726 - Uma Estratégia de Migração de Sistemas de Telefonia Móvel com Tecnologia AMPS para a Tecnologia CDMA - RONALD LUÍS CLARKSON EISNER, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9727 - Controle de pH Usando Conceitos de Invariantes de Reações e Geometria Diferencial - OSCAR A. ZANABARIA S., CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9728 - Estudo da Influência dos Parâmetros de Recozimento Térmico Rápido na Morfologia dos Filmes de TiSi2 Formados e sua Correlação com a Tensão Mecânica - SILVANA GASPAROTTO DE SOUZA, ARMANDO ANTONIO MARIA LAGANÁ, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9729 - Analysis of Silicon Surface Microirregularities by LASER Light Scattering - JOSÉ CÂNDIDO DE SOUSA FILHO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9730 - Wavelets in Music Analysis and Synthesis: Timbres Analysis and Perspectives - REGIS ROSSI ALVES FÁRIA, RUGGERO ANDREA RUSCHIONI, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9731 - Estudo de Efeitos Mútuos da Distribuição de Corrente em Condutores - AUGUSTO CARLOS PAVÃO, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9801 - Equivalência entre a Semântica da Lógica de Transações e a Semântica de sua Implementação Prolog - PAULO E. SANTOS, FLÁVIO S. C. DA SILVA
- BT/PEE/9802 - Nash Game in Mixed H2/Hoo Control Theory a Convex Optimization Approach- HELENICE OLIVEIRA FLORENTINO, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9803 - Text-Independent Speaker Recognition Using Vector Quantization and Gaussian Mixture Models - THOMAS E. FILGUEIRAS Fº., RONALDO O. MESSINA E EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9804 - Elementos Piezoresistivos para Sensores de Pressão com Tecnologia CMOS - LUIZ ANTONIO RASIA, E. C. RODRIGUEZ

- BT/PEE/9805 - Automação do Processo de Casamento de Impedância em Sistemas de Aquecimento por Microondas - J. C. DE SOUZA, J. T. SENISE, V. C. PARRO, F. M. PAIT
- BT/PEE/9806 - Considerações para o Projeto de Células de Memória SI com Transistores HEMT - JAIME H. LASSO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PEE/9807 - Covariance Controller with Structure Constraint and Closed Loop H Bound - ANTÔNIO CARLOS DE LIMA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9808 - Controle Unidimensional de Objetos: Uma Aplicação Prática em Fresadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicadas ao Reconhecimento Automático do Locutor - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9810 - Topological Computation and Voluntary Control - HENRIQUE SCHÜTZER DEL NERO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA, ALFREDO PORTINARI MARANCA
- BT/PEE/9811 - Casamento de Impedância em Guia de Onda Retangular Utilizando como Variável Medida a Potência Refletida - J. C. DE SOUZA JR., J. T. SENISE
- BT/PEE/9812 - Applied Surface Science - RONALDO D. MANSANO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL
- BT/PEE/9813 - Contribuição ao Estudo da Morfologia da Superfície e da Interface do Siliceto de Titânio Formado sobre Si (100) Empregando a Técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM) - N. M. HASAN, A. A. M. LAGANÁ, S. G. SANTOS FILHO
- BT/PEE/9814 - Estudo Experimental da Tensão Mecânica em Filmes Finos de Cobre Obtidos por Evaporação ou Deposição Eletroquímica Espontânea - A. I. HASHIMOTO, S. G. FILHO
- BT/PEE/9815 - Controle Híbrido de Manipuladores Robóticos - WEBER ALLEGRI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PEE/9816 - Entropia Informacional e Cronobiologia - ANA AMÉLIA BENEDITO SILVA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9817 - Estabilidade de Lyapunov e Controle de Atitude - FERNANDO SOUSA, FREITAS JÚNIOR, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PEE/9818 - Projeto de um Conversor de Frequências Resistivo em Tecnologia MMIC - CLÁUDIA C. A. APARÍCIO, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9819 - Estudo de Sensibilidade de um Sistema de Modulação Digital via Simulação - RONALDO DI MAURO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PEE/9820 - Engenharia do Conhecimento Aplicada ao Conhecimento Aplicado ao Domínio de Gerenciamento de Falhas em Redes de Comunicação: Uma Abordagem Baseada em Modelo - MARILZA ANTUNES DE LEMOS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9821 - Uma Biblioteca de Métodos de Resolução de Problemas de Planejamento para Fornecer Apoio à Aquisição de Conhecimento - LELIANE NUNES DE BARROS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9822 - Um Estudo de Técnicas de Aprendizado por Reforço Livre de Modelo - Aplicação ao Pêndulo Invertido - SÉRGIO RIBEIRO AUGUSTO, ADEMAR FERREIRA
- BT/PEE/9823 - Identificação de Sistemas Dinâmicos com Redes Neurais - FRANCISCO CARLOS PONS, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PEE/9824 - Comparison between Single and Double Langmuir Probe Techniques for Analysis of Inductively Coupled Plasmas - RAUL M. DE CASTRO, GIUSEPPE A. CIRINO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL, MARCOS MASSI, MARCELO B. PISANI, RONALDO D. MANSANO
- BT/PEE/9825 - DECMEF: Um Sistema de Decomposição Aplicada à Síntese de Máquinas de Estados Finitos - CARLOS HUMBERTO LLANOS QUINTERO, MARIUS STRUM
- BT/PEE/9826 - Controladores Preditivos Através de Desigualdade Matriciais Lineares - RENATO C. BARÃO, RICARDO P. MARQUES, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9827 - Parametrization of all H2 Optimal Output Feedback Controllers - JOÃO YOSHIYUKI ISHIHARA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9901 - Digital Equalization Using Time Delay Neural Network (TDNN) - MARIO ANDRÉS VERGARA ESCOBAR, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9902 - Simulação e Análise Estrutural do Modelo de Deposição da Publicação ICRP 66 - JOAQUIM CARLOS SANCHES CARDOSO, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9903 - Modelamento e Ajuste por Regra Sub-Ótica de Maximização da Informação da Mútua de um Sistema Reconhecedor de Palavras Isoladas, Independente do Falante, para Ambientes Adversos, com Redundância de Informação - MÁRIO MINAMI, IVANDRO SANCHES
- BT/PEE/9904 - Modelagem Matemática e Controle Multivariável do Tanque de Contato Empregado no Processo de Lixiviação dos Minerais Niquelíferos - DANIEL GUZMÁN DEL RÍO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9905 - Avaliação de Transdutores para Análise Metabólica Humana - HENRIQUE TAKACHI MORIYA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9906 - Estudo da Aplicação do Método TLM-2D à Análise de Campos Eletromagnéticos - MARCO ANTONIO MATHIAS, JORGE M. JANISZEWSKI

BT/PEE/9907 – Comportamento Transitório de Campos Eletromagnéticos em Meios Condutores: Simulação Computacional Eficiente por Diferenças Finitas no Domínio do Tempo – ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI

BT/PEE/9908 – H_2 and H_∞ Control for Maglev Vehicles – ANSELMO BITTAR, ROBERTO MOURA SALES

BT/PEE/9909 – Amplificador Distribuído em GaAs – 1 a 17 GHz – CRISTIANE FERREIRA DE ARAÚJO, FATIMA SALETE CORRERA

