CAD PARA PROJETO E REALIZAÇÃO DE AMPLIFICADORES PARA MICROONDAS

CARVALHO, Paulo Henrique Portela de
ABDALLA J.R., Humberto
BERMÚDEZ, Luis Afonso
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília - UnB
70910 - Brasília - D.F. - BRASIL

RESUMO

AMPLICAD-UnB é um programa, em linguagem BASIC, instalado em microcomputadores da linha PC de 16 bits, desenvolvido para auxiliar no projeto de amplificadores, que utilizam quadripolos ativos.
Para utilizar o AMPLICAD-UnB, é necessário o conhecimento da matriz espalhamento S do transistor, na frequencia de operação, além de dados referentes ao circuito de polarização.
São apresentados ao usuário, como sugestão de projeto, círculos de estabilidade, de ganho de operação constante e de ruído, circuitos de casamento de impedância, em MICROSTRIP e em elementos discretos, circuito de auto-polarização, estubes delta para obtenção de curto-circuito, configurações do amplificador e do circuito de polarização, curva de ganho de potência em função da frequencia, além da caixa que abrigará a estrutura.

INTRODUÇÃO

A teoria necessária para o projeto de amplificadores para microondas, utilizando transistores, está presente em uma vasta bibliografia, sendo dadas algumas referências no final do artigo.
As principais equações que regem o comportamento de um transistor, quando utilizado como dispositivo ativo em amplificadores de altas frequências, são as que definem:

- ganho de operação máximo;
- círculo de ganho de operação constante;
- círculo de estabilidade;
- círculo de figura de ruído constante.

O AMPLICAD-UnB surge da implementação destas equações, tanto para o amplificador unilateral quanto para o não-unilateral, utilizando como ferramenta a teoria da Carta de Smith, a lei dos triângulos e particularidades da geometria e da intersecção entre círculos.
Além disso, o programa sugere circuitos de casamento de impedância e de polarização, e ainda sugestões de ordem prática de tal modo a facilitar projeto, como:

- obter curto-circuito sem a necessidade de parafuso de aterramento;
- circuito de atenuação, capacitâncias de bloqueio e de escoamento para frequências espúrias.
- esquema da caixa do amplificador.

Portanto, AMPLICAD-UnB é um programa de grande utilidade para o projetista de amplificadores de microondas e serve como ferramenta didática para cursos introdutórios sobre amplificadores.

INTRODUZINDO O PROGRAMA

O AMPLICAD-UnB está implementado em microcomputadores de 16 bits e sistema operacional próprio. O programa é compilado e está dividido em quatro blocos (AMPL1, AMPL2, AMPL3, AMPL4).
Antes de iniciar a execução do programa, o sistema GRAPHICS é carregado. Este sistema permite que toda tela gerada pelo AMPLICAD seja transferida para a impressora.
Tanto o GRAPHICS quanto o AMPLICAD-UnB são carregados automaticamente pelo programa AUTOEXEC.BAT.

INICIANDO O PROGRAMA

Após as telas de apresentação e introdução o AMPLICAD-UnB pede ao usuário a definição da frequência de operação e oferece duas funções de projeto:

1 - projetar circuito para fornecer ganho de operação máximo;
2 - projetar circuito para fornecer ganho de operação especificado.

Caso o ítem 2 seja escolhido, o programa pede a especificação do ganho desejado e uma margem, caso o usuário deseje.
Feito isto, o usuário deve introduzir os parâmetros S para a frequência de operação desejada. Cada parâmetro da matriz S é definido pelo seu módulo, maior ou igual a zero, e pela sua fase, dada em graus, podendo ser da forma 0-360 ou 180.

CÍRCULOS DE GANHO CONSTANTE, DE ESTABILIDADE E DE FIGURA DE RUÍDO CONSTANTE

Se for um projeto de ganho especificado, o AMPLICAD-UnB, pergunta se o usuário deseja definir a figura de ruído.
Caso não a deseje, o programa fornece os círculos de estabilidade e de ganho constante na Carta de Smith (FIG. 01 e 02).
Se o transistor for incondicionalmente estável, o programa mostra o número de estágios o ganho máximo e o ganho por estágio e pe-

de um ângulo de giro (0,360) para o círculo de ganho constante, a fim de que o usuário escolha o coeficiente de reflexão que fornecerá o ganho desejado (FIG. 03).
Se não for incondicionalmente estável, o AMPLICAD-UnB, procura o melhor coeficiente de reflexão para a menor possibilidade de instabilidade. Caso este coeficiente de reflexão seja possível, uma mensagem quanto o número de estágios é apresentada. Caso não seja possível, o AMPLICAD-UnB gira de um em um grau no círculo de ganho, procurando um possível coeficiente de reflexão que permita o projeto, se existir, a mensagem já mencionada aparece. Se não existir, uma mensagem de impossibilidade de realização de projeto é apresentada.
Levando em consideração o ruído, os círculos de figura de ruído e de ganho constante são mostrados. O programa analisa, assim, o tipo de intersecção entre os círculos e calcula o melhor coeficiente de reflexão pela menor soma entre os coeficientes de reflexão de entrada e de saída (FIG. 04) e uma mensagem quanto o número de estágios é apresentada.
Se o projeto é de ganho máximo, o coeficiente de reflexão ótimo é calculado.

CIRCUITOS DE CASAMENTO DE IMPEDÂNCIA

Após a determinação dos coeficientes de reflexão das portas de entrada e de saída, o AMPLICAD-UnB calcula o circuito de casamento de impedância em elementos discretos. Utilizando as equações de Wheeler, o circuito de casamento de impedância em MICROSTRIP é computado, considerando todas as linhas como sendo de impedância característica igual a 50 Ohms (FIG. 05).
É importante frisar, que o AMPLICAD-UnB, determina a melhor maneira de se obter as impedâncias necessárias para produzir o ganho desejado, para isto, ele dispõe de linhas em aberto ou em curto circuito. Todos os estágios estão terminados em linhas de 50 Ohms.

CIRCUITO DE POLARIZAÇÃO

Feito isso, o programa pede os dados referentes ao circuito de polarização: Vce, Vcc Ic e HFE e apresenta o circuito de auto-polarização.

CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

O AMPLICAD-UnB utiliza a técnica de estubes delta e de 1/4 de comprimento de onda para obter os curtos caso necessário (FIGs 06, 07 e 08).
Se o estube paralelo da porta for curto-circuitado, o acesso do circuito de polarização será feito por este curto (FIGs 06 e 08). Caso não o seja, uma linha de alta impedância de 1/4 de comprimento de onda curto circuitada será adicionada paralelamente a linha série e o acesso do circuito de polarização será feito pelo curto (FIGs. 07 e 08).
O estube delta oferece uma reatância calculada e apresentada pelo programa que varia de acordo com o ângulo de abertura.
Após todos os cálculos, são apresentados 2 (dois) modelos de amplificadores (FIGs. 09 e 10), um modelo de circuito de polarização, mostrando as capacitâncias de bloqueio e de escoamento e um circuito de amortecimento (FIG. 11).
As figuras 12,13,14 mostram uma sugestão para projeto de caixa. Notar a dupla face da caixa: uma para o circuito RF e a outra para o circuito de polarização.

CURVA DE GANHO DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA

Por último é apresentada a curva do ganho X frequência para o amplificador projetado. Esta curva é resultado de interpolação do polinômio de Newton, para o número de conjuntos de matriz espalhamento S, que devem ser fornecidos (FIG. 15).

CONCLUSÃO

O AMPLICAD-UnB é um programa versátil e com muito conteúdo prático que pode auxiliar o projetista de amplificadores.
Ele mostra com detalhes todo o procedimento para projeto. Utiliza a teoria estubes delta para fins práticos de aterramento e mostra os circuitos de proteção contra oscilações e espúrios de frequência inferiores.
Caso exista interesse de obter a listagem do programa, os autores se comprometem de enviá-la. Aguardando-se a permuta de informações ou melhorias da versão enviada.
Este programa, além do aspecto técnico, possui um forte conteúdo didático e tem sido utilizado como auxílio em aulas de projeto de dispositivos ativos de microondas.
Este programa faz parte do trabalho "Projeto e Realização de Amplificadores para microondas, que Utilizam Transistores" e está integrado ao programa de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

BIBLIOGRAFIA

|01| CARSON, R.S.; High-Frequency Amplifiers,John Wiley & Sons,2ª Ed.,1987.
|02| COIMBRA, M.L & REIS, E.C.; The Generalized Delta Stubs,CPqD-TELEBRAS,Brasil.
|03| GRIVET, P.; Microwave Circuits and Amplifiers, Academic Press, 1986.
|04| LIAO, S.Y. ; Microwave Solid-State Devices, Prentice-Hall, 1985.
|05| GUPTA,K.C.;GARG,R.&CHADHA,R.; Computer Aided Design of Microwave Circuits, Artech, 1981.
|06| AVANTEK; High-Frequency Transistor Primer.
|07| CONRADO, L.F.M. ; Um Estudo Sobre Amplificadores de Microondas, PUC, 1979.
|08| BASIC REFERENCE;

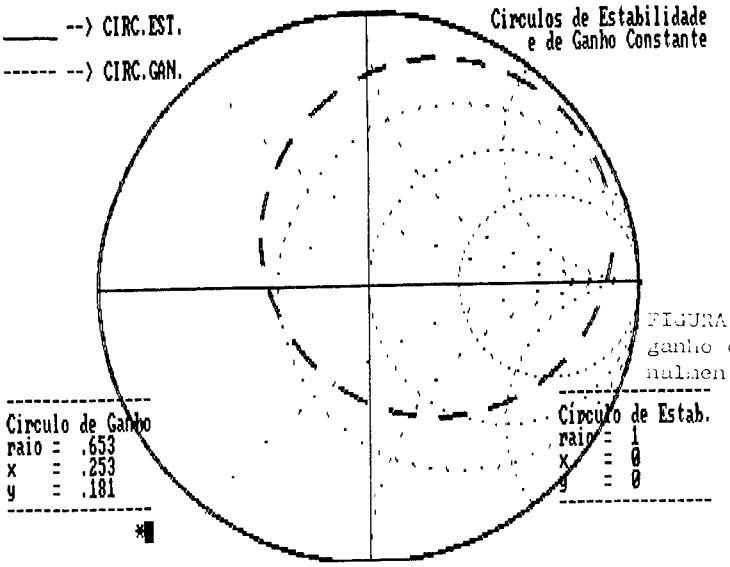


FIGURA 01 - Círculos de estabilidade e de ganho constante - amplificador incondicionalmente estável.

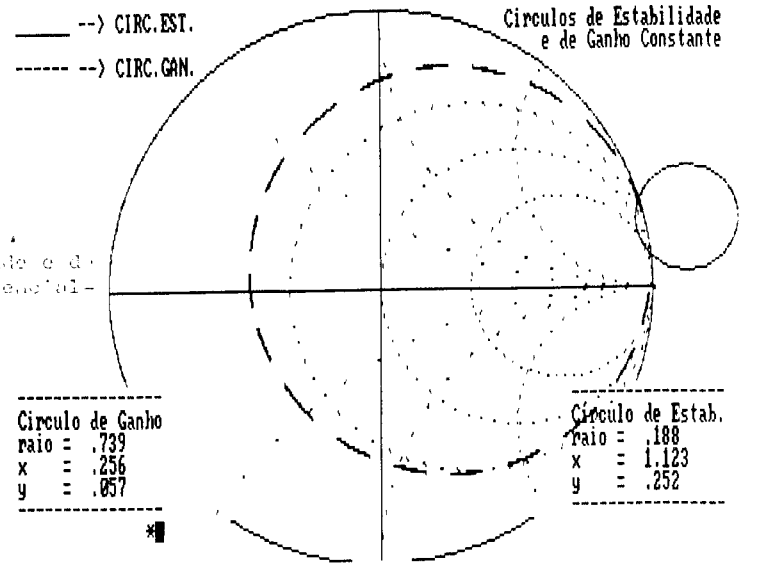


FIGURA 02 - Círculos de estabilidade e de ganho constante - amplificador potencialmente estável.

O AMPLIFICADOR

NUMERO DE ESTAGIOS : 3

GANHO MAXIMO POR ESTAGIO (dB) = 15.93553

GANHO POR ESTAGIO (dB) = 10.66667

CONSIDERACOES INICIAIS

COMO O TRANSISTOR POSSUI ESTABILIDADE INCONDICIONAL,O USUARIO PODERA' ESCOLHER QUALQUER IMPEDANCIA PERTENCENTE AO CIRCULO DE GANHO CONSTANTE

* ANGULO DE GIRO NO CIRCULO DE GANHO CONSTANTE [0,360]

---------> 55

FIGURA 03 - Características do amplificador: número de estágios, ganho máximo e ganho por estágio. Definição do coeficiente de reflexão.

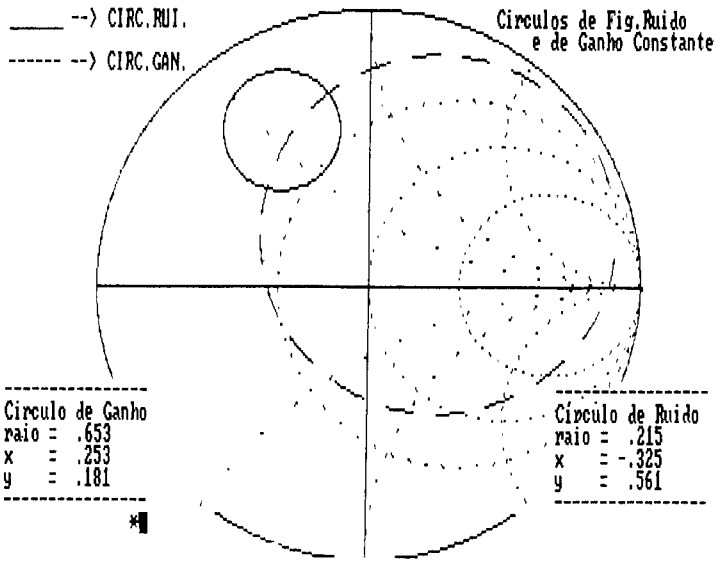
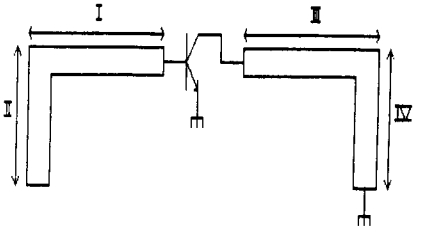


FIGURA 04 - Círculos de figura de ruído e de ganho de potência constantes.

CIRCUITO DE CASAMENTO DE IMPEDANCIA EM MICROSTRIP

LARGURA DAS LINHAS (mm): 1.159621



PORTA DE ENTRADA

PORTA DE SAIDA

El. I (mm) : 6.294386

El. II (mm) : 17.79646

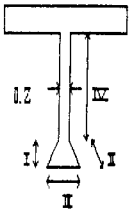
EL. III (mm) : 15.39402

EL. IV (mm) : 10.13218

FIGURA 05 - Circuito de casamento de impedâncias em MICROSTRIP.

CONSIDERACOES FINAIS

PORTAS DE ENTRADA E DE SAIDA



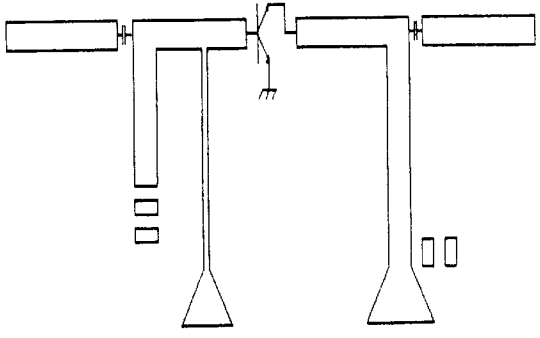
* DIMENSOES DO ESTUBE DELTA			
*ANGULO( )	* I (mm)	*II(mm)	*III(mm)
* 30	* 17.62	* 18.25	* 9.64
* 60	* 15.65	* 18.07	* 18.27
* 90	* 14.42	* 20.4	* 29.05
* 120	* -----	* -----	* -----

El. 0.Z (mm) : .5798106
El. IV (mm) : 28.48473

FIGURA 06 - Dimensões do estube delta e da linha de alta impedância de 1/4 de comprimento de onda.

CONFIGURACAO DO AMPLIFICADOR

Modelo I

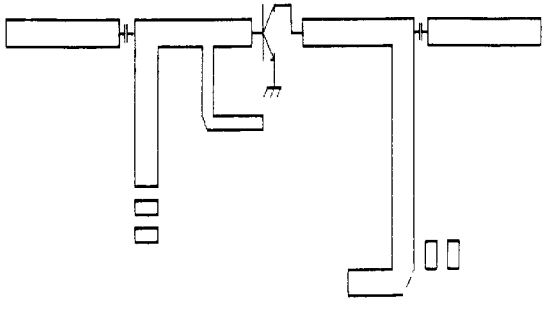


Obs.: - Capacitores de desacoplamento
- Linha extra para ajuste fino

FIGURA 09 - Configuração do amplificador utilizando estubes delta.

CONFIGURACAO DO AMPLIFICADOR

Modelo II

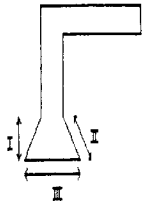


Obs.: - Capacitores de desacoplamento
- Linha extra para ajuste fino

FIGURA 10 - Configuração do amplificador utilizando linhas de 1/4 de comprimento de onda para obter curto-circuito.

CONSIDERACOES FINAIS

PORTA DE SAIDA



* DIMENSOES DO ESTUBE DELTA *			
ANGULO( )	I (mm)	*II(mm)	*III(mm) *
* 30	* 18.6	* 19.25	* 11.12 *
* 60	* 16.48	* 19.03	* 20.19 *
* 90	* 15.14	* 21.42	* 31.45 *
* 120	* -----	* -----	* ----- *

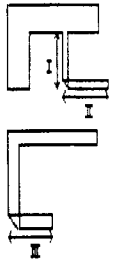
FIGURA 07 - Dimensões do estube delta.

CONSIDERACOES FINAIS

OUTRA MANEIRA DE SE OBTER OS CURTOS DESEJADOS E'ATRAVES DE ESTUBES DE 1/4 DE COMPRIMENTO DE ONDA, EM ABERTO, DE ACORDO COM:

** SE A PORTA POSSUIR O ESTUBE PARALELO EM ABERTO :

** SE A PORTA POSSUIR O ESTUBE PARALELO EM CURTO :



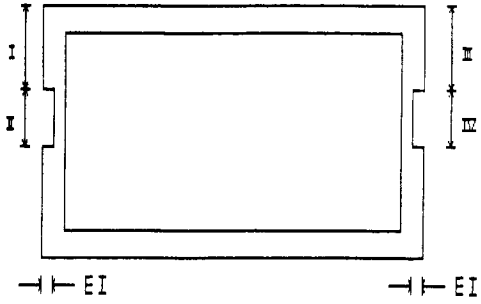
El. I (mm) : 29.06454 DE ESPESSURA .5798106 mm

El. II (mm) : 28.67855 DE ESPESSURA .5798106 mm

El. III (mm) : 29.25835 DE ESPESSURA IGUAL AO ESTUBE PARALELO

FIGURA 08 - Curto-circuito obtido por linhas de 1/4 de comprimento de onda.

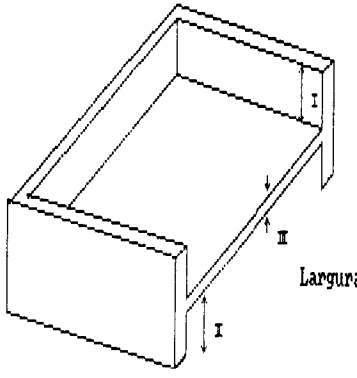
VISTA SUPERIOR



Elemento I (mm) :
Elemento II (mm):
Elemento EI (mm):
Elemento III (mm) :
Elemento IV (mm) :
Elemento EII(mm) :

FIGURA 14 - Configuração da caixa - vista superior.

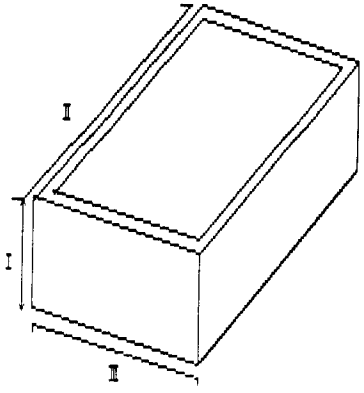
CORTE TRANSVERSAL



Elemento I (mm) :
Elemento II (mm) :
Elemento III (mm) :
Largura das paredes da caixa (mm) :

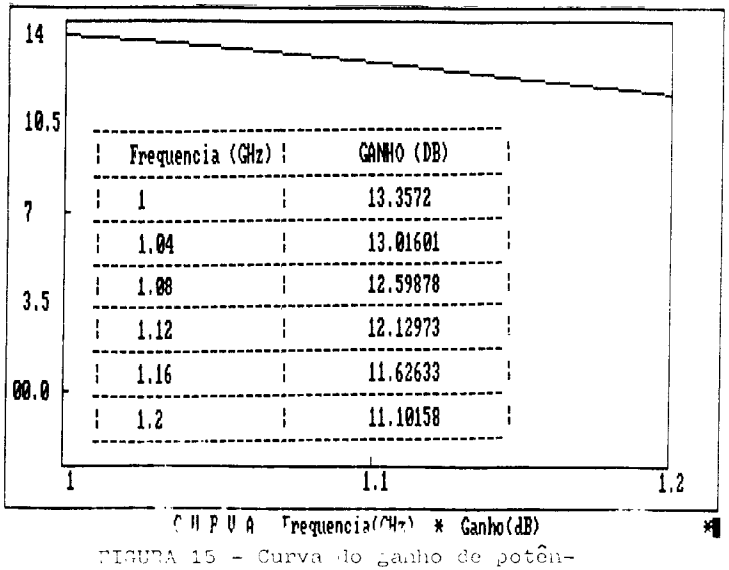
FIGURA 13 - Configuração da caixa - corte transversal.

CONFIGURACAO DA CAIXA



Elemento I (mm) :
Elemento II (mm) :
Elemento III (mm) :

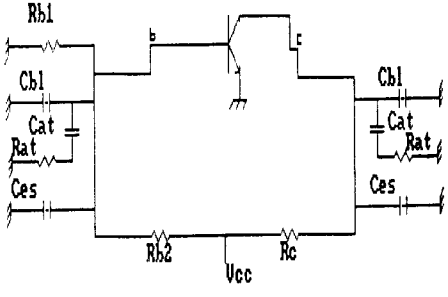
FIGURA 12 - Configuração da caixa - Vista externa.



Frequencia (GHz)	GANHO (DB)
1	13.3572
1.04	13.01601
1.08	12.59878
1.12	12.12973
1.16	11.62633
1.2	11.10158

FIGURA 15 - Curva do ganho de potência em função da freqüência-

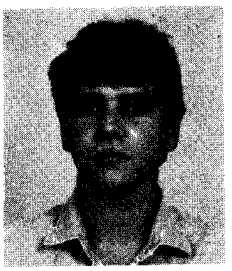
CIRCUITO DE POLARIZACAO



Cbl=Cap.de Bloqueio(Altas Freq.)-Cat e Rat=Cap.e Res. do Circ.de Amortecimento-
Ces=Cap.de Escoamento(60Hz) - Rb1 , Rb2 e Rc =Res. de Polarizacao

FIGURA 11 - Configuração do circuito de polarização.

BIOGRAFIAS



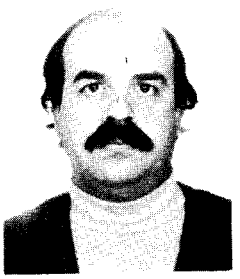
Paulo H.P. de CARVALHO

Nasceu em 26 de abril do ano de 1964, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. É aluno de Projeto Final do último semestre de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília e é bolsista de Iniciação Científica pelo Governo brasileiro. Área de interesse: dispositivos ativos para microondas.

Humberto Abdalla Junior

Nasceu em 29 de abril de 1950, na cidade de Recife, Brasil. Formou-se em Engenharia Elétrica em 1972, pela Universidade Federal de Pernambuco. Obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica opção Telecomunicações na PUC/RJ no ano de 1976. Foi Professor da PUC RJ de 1976 a 1978. Concluiu seu Doutorado na Universidade de Limoges-França em 1982. Desde 1983, trabalha como professor na Universidade de Brasília. Atualmente vem desenvolvendo trabalho de Pós-Doutorado no CNET-França; sua área de interesse é a teoria de filtros.

Luis Afonso Bermúdez



Nasceu em Uruguaiana, Brasil em 1953. Recebeu o título de Engenheiro Eletrônico pela PUC/RS em 1977 e o grau de Mestre pelo CETUC/RJ em 1980 na área de Microondas. É Doutor pelo Institut de Recherche en Communication Optiques et Microondes da Université de Limoges-França em 1987. Atualmente é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, UnB onde a sua área de interesse são os dispositivos ativos de microondas.