

INFLUÊNCIA DO ISOLADOR DE ENTRADA EM

AMPLIFICADORES DE BAIXO RUÍDO

Marcos A. Luqueze e Edmar Camargo
Laboratório de Microeletrônica da EPUSP
Caixa Postal 8174 - CEP. 01051-São Paulo

RESUMO

O propósito deste trabalho é discutir o efeito do isolador de entrada em amplificadores de baixo ruído, nas suas principais características elétricas, a saber, temperatura de ruído, planicidade do ganho e estabilidade, relativa às oscilações. Os resultados deste estudo permitem concluir em que condições o isolador é imprescindível e quando ele pode ser dispensado.

INTRODUÇÃO

Os amplificadores de baixo ruído (ABR) para recepção de sinais de satélite, normalmente são acoplados a estruturas em guia de onda, geralmente junto à antena, de tal forma que há necessidade de emprego de uma transição para estrutura em microlinhas na qual são construídos os circuitos amplificadores. É comum associar-se à transição um isolador de baixas perdas, constituindo um bloco denominado transisolador cuja principal função é garantir simultaneamente um baixo coeficiente de onda estacionária no acesso de entrada e a impedância ótima de ruído para o primeiro estágio amplificador.

O objetivo deste trabalho é estudar a influência do isolador de baixas perdas nos principais parâmetros do amplificador, a saber, temperatura de ruído, planicidade do ganho de potência e estabilidade relativa às oscilações. Desta forma, pretende-se fornecer subsídios para avaliar o compromisso custo/desempenho elétrico, parâmetro importante no projeto de estações terrenas de baixa capacidade e baixo custo.

TEMPERATURA DE RUÍDO

Em um ABR, a temperatura de ruído é função da impedância do gerador e das perdas ôhmicas introduzidas pelos elementos de circuito.

De acordo com a fórmula de FRISS¹, a maior contribuição na temperatura de ruído provém do 1º estágio de amplificação, e seu valor depende da impedância do circuito de entrada. A teoria de ruído em quadripolos lineares¹, revela que existe uma impedância ótima para que o dispositivo apresente uma temperatura de ruído mínima. Esta impedância é transformada para a impedância do gerador, 50 ohms, através de circuitos reativos sem perdas. O emprego de um gerador de impedância diferente vai provocar um descasamento na impedância de ruído, degradando as características de ruído do amplificador.

A complexidade envolvida no cálculo exato deste efeito no comportamento global do amplificador é grande, de forma que optou-se por uma avaliação aproximada a partir da equação (1).

$$\Delta T(\Gamma_g) = 4 \frac{R_N}{Z_o} T_o \frac{|\Gamma_g|^2}{1 - |\Gamma_g|^2} \quad (1)$$

onde,

$\Delta T(\Gamma_g)$ = acréscimo na temperatura de ruído devido ao descasamento

T_o = temperatura de referência, 290 K

R_N = resistência equivalente de ruído do amplificador

Z_o = impedância de referência, 50 ohms

Γ_g = coeficiente de reflexão do gerador

Evidentemente, no caso de 50 ohms, $\Gamma_g = 0$ e não há acréscimo na temperatura de ruído do amplificador. No caso geral, a variação na temperatura de ruído é função de R_N , um parâmetro que pode ser determinado de forma analítica ou experimental. A variação na temperatura equivalente de ruído, em função do módulo do coeficiente de reflexão do gerador está representada na Figura 1, para valores típicos da resistência equivalente de ruído.

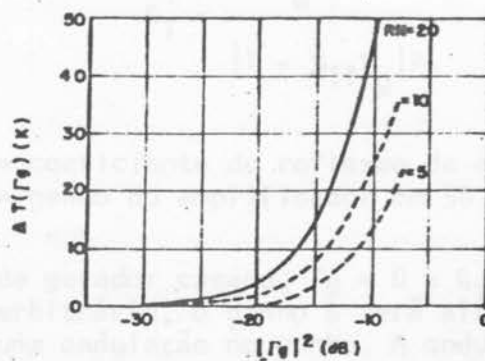


Figura 1 - Variação na temperatura de ruído em função da terminação de entrada

Os elementos de circuito que introduzem perdas ôhmicas (L), quando cascateados com a entrada do ABR, caso do isolador, aumentam sua temperatura equivalente de ruído (T_e) de acordo com a equação (2).

$$\Delta T(L) = (L-1)(T_a + T_e) \quad (2)$$

onde,

$\Delta T(L)$ = acréscimo na temperatura de ruído devido as perdas ôhmicas

T_a = temperatura física. No caso admitiu-se igual a 290 K

Esta equação pode ser facilmente representada de forma gráfica, Figura 2, para valores típicos de perdas de inserção.

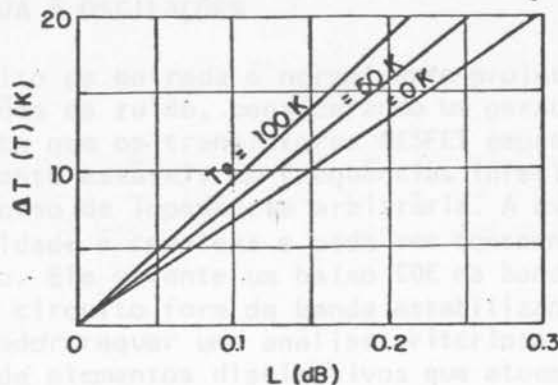


Figura 2 - Variação na temperatura de ruído em função das perdas ôhmicas

PLANICIDADE DO GANHO

A planicidade do ganho do amplificador é ajustada com gerador de impedância igual a 50 ohms. A influência de um gerador de impedância arbitrária no ganho (G_T) de um amplificador pode ser avaliado pela equação (3).

$$G_T = \frac{G}{|1 - S_{11}\Gamma_g|^2} \quad (3)$$

onde,

S_{11} = coeficiente de reflexão de entrada do amplificador
 G = ganho do amplificador em 50 ohms

No caso de gerador casado, $\Gamma_g = 0$ e $G_T = G$. Porém no caso de gerador de impedância arbitrária, o ganho G será alterado pelo termo do denominador, introduzindo uma ondulação no ganho. A ondulação (ΔG) é função do produto $S_{11}\Gamma_g$ e de seu comportamento com a frequência. As curvas da Figura 3 permitem avaliar a máxima ondulação no ganho em função da perda de retorno do amplificador, para valores particulares de (Γ_g).

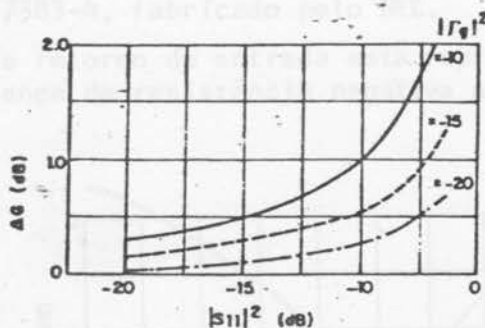


Figura 3 - Máxima ondulação no ganho função de Γ_g e S_{11}

ESTABILIDADE RELATIVA A OSCILAÇÕES

O circuito de entrada é normalmente projetado para que o transistor opere em condições de ruído, considerando um gerador casado ($T_g=0$). No entanto, tendo em vista que os transistores MESFET empregados no ABR normalmente são condicionalmente estáveis em frequências inferiores a 8 GHz, o circuito pode oscilar no caso de impedância arbitrária. A avaliação particular da condição de estabilidade é complexa e pode ser contornada pela presença do isolador no circuito. Ele garante um baixo COE na banda de operação, e carregará resistivamente o circuito fora da banda estabilizando o amplificador. O caso de ABR sem isolador requer uma análise criteriosa de sua estabilidade na banda, e o emprego de elementos dissipativos que atuem fora da banda para realizar a mesma função do isolador.

CARACTERÍSTICAS DO ABR

O ABR cujas características serão utilizadas na análise do efeito do isolador de entrada, foi desenvolvido no LME², para operação na banda de 3,7 a 4,2 GHz. Suas características de ruído à temperatura ambiente de 22°C na referida banda, estão representadas na Figura 4.

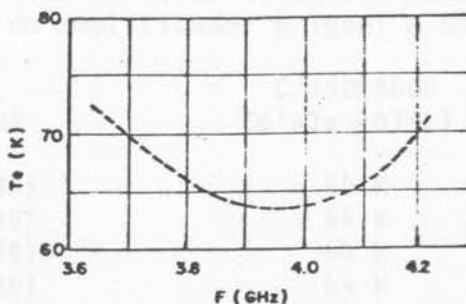


Figura 4 - Temperatura equivalente de ruído do ABR/80 K/LME

Admitiu-se que a resistência equivalente de ruído deste amplificador é, no pior caso, igual a 20 ohms, semelhante à do primeiro transistor o qual é do tipo NE 67383-4, fabricado pelo NEC.

A perda de retorno de entrada está representado na Figura 5, onde se verifica a presença de resistência negativa para frequências inferiores a 3,2 GHz.

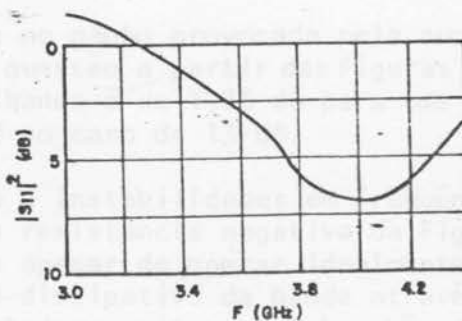


Figura 5 - Perda de retorno na entrada do amplificador

O isolador de baixas perdas empregado, introduz uma perda típica de 0,09 dB e a transição guia/coax uma perda máxima de 0,05 dB, conforme especificações fornecidas pelo fabricante³. A perda de retorno típica em qualquer acesso é da ordem de 30 dB.

A análise da importância do isolador é realizada através da avaliação de dois casos de utilização prática do ABR em sistemas de recepção. No primeiro admite-se que o ABR é conectado diretamente à antena e no segundo, que ele faz parte de um sistema redundante.

ABR CONECTADO À ANTENA

Neste caso, a associação da antena, alimentadores, filtros e trechos de guia de onda constituem o gerador para o ABR. Sua importância⁴, em termos de perda de retorno, para um conjunto corretamente ajustado, é da ordem de 18 dB no pior caso. Esta impedância é crítica e susceptível a eventuais degradações com o decorrer do tempo. Por exemplo, qualquer deslocamento mecânico na estrutura da antena ou alimentador, é suficiente para reduzir a perda de retorno para 15 dB e em casos extremos para 13 dB.

A tabela I apresenta a temperatura de ruído (T_e') do ABR com e sem isolador na entrada para alguns valores de coeficiente de onda estacionária da antena. Estes cálculos foram efetuados para a frequência central de 3,95 GHz na qual a T_e do amplificador é igual a 58 K.

COE/P.R. DA ANTENA	C/ISOLADOR $T_e' = T_e + \Delta T(L)$	S/ISOLADOR $T_e' = T_e + \Delta T(\Gamma_g)$
1,2 (20 dB)	64 K	63 K
1,3 (18 dB)	64 K	65 K
1,5 (14 dB)	64 K	73 K
1,6 (13 dB)	64 K	83 K
2,0 (10 dB)	64 K	115 K

Tabela I - Efeito do isolador na T_e do ABR/80 K/LME

Os resultados da tabela representam o valor da temperatura mínima na banda (centro da banda). O valor máximo, de acordo com a Figura 4, é obtido acrescentando-se 7 K aqueles valores. A temperatura T_e' deve considerar ainda a perda devida à transição, que corresponde aproximadamente a um acréscimo de mais 4 K. Assim, por exemplo, um COE = 1,5 resulta em uma temperatura de ruído máxima de 84 K para o ABR sem isolador, enquanto que com isolador apresenta uma temperatura máxima de 75 K.

A ondulação no ganho provocada pela ausência do isolador, pode ser estimada para o ABR em questão a partir das Figuras 3 e 5. A máxima ondulação resultante ao longo da banda é de 1,25 dB para uma antena de perda de retorno de 18 dB e de 2,5 dB no caso de 13 dB.

A tendência à instabilidades em frequências inferiores a 3,2 GHz é verificada através da resistência negativa da Figura 5. Ela é atenuada pela ação do isolador que apesar de operar idealmente na faixa de 3,7 a 4,2 GHz, fornece um carregamento dissipativo da banda através da carga da porta isolada. A eliminação do isolador envolve a elaboração de formas alternativas de carregamento do circuito de entrada.

Nota-se que no caso de uma antena bem adaptada, a ausência do isolador resulta em melhoria na temperatura de ruído. Verifica-se também que se o aumento da temperatura e da ondulação do ganho devido ao descasamento for aceitável pelas características do sistema, esta é uma solução mais econômica. No entanto, a presença do isolador garante a temperatura de ruído e a planicidade do ganho, bem como a estabilidade mesmo que ocorram variações fora da banda de operação nas características elétricas da antena.

ABR REDUNDANTE

Os sistemas profissionais operam com um nível de segurança tal que requer o emprego de dois ABR's, sendo que na falha de um deles o outro entra imediatamente em operação. Neste caso, o fato de se inserir um sistema de chaveamento e transições em guias de onda, contribuem para a deterioração do COE da antena. Logo, mesmo com um bom conjunto de antena, alimentador, etc ..., a ausência do isolador pode acarretar alterações na temperatura de ruído e na planicidade do ganho maiores do que os previstos na Tabela I. Portanto, o isolador é um elemento imprescindível neste caso para garantir as especificações do sistema.

CONCLUSÕES

Apresenta-se um estudo sobre a influência do isolador de entrada de um ABR na temperatura de ruído, planicidade do ganho e estabilidade. Trata-se de um estudo simplificado pois foi desprezada a influência do segundo estágio, o qual pode se tornar importante principalmente quando ocorre um aumento negativo na ondulação do ganho de potência. De acordo com a fórmula de FRISS este fato aumenta a contribuição do ruído do segundo estágio. Um estudo mais complexo poderia ser realizado com auxílio de programas de computação, porém, apenas a comprovação experimental em uma série de protótipos poderia fornecer uma conclusão final.

Conclui-se deste estudo que a conexão direta de um ABR a uma antena comprovadamente casada ($PR \approx 20$ dB) pode até resultar em melhoria na temperatura de ruído total, visto que elimina-se a perda do isolador. No entanto, o projeto de um sistema profissional tolerante a falhas, incondicionalmente estável, requer um isolador na entrada como única forma de garantir as especificações quando há variações na impedância da antena.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro do CPQD - Centro de Pesquisas da Telebrás S/A.

REFERÊNCIAS

- [1] - Baechtold, W., Strutt, M.J.O. - "Noise in Microwave Transistors"- IEEE Trans. on Micro. Theo. and Techn., vol. MTT-16, nº 9, September 1968
- [2] - Ynoue, E.I. - "Desenvolvimento do Módulo de Baixo Ruído de Amplificadores a MESFET para Recepção de Sinais Via Satélite" - Comunicação Privada.
- [3] - Innowave. - "Products Data Sheet"
- [4] - Abbud, E. - "Características elétricas de Antenas Parabólicas", Comunicação Privada.