

MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA FIGURA DE MÉRITO (G/T)

Eloy André R. Silva¹, Paulo Renato Rodrigues², Jair Cândido de Melo³

¹Univap/Engenharia Elétrica, Av. Shishima Hifumi nº 2911 Jd. Urbanova, eloy.andre@yahoo.com

²Univap/ Engenharia Elétrica, Av. Shishima Hifumi nº 2911 Jd. Urbanova, paulosjc@gmail.com

³Univap/Engenharia Elétrica, Av. Shishima Hifumi nº 2911 Jd. Urbanova, jair@univap.br

Palavras-chave: Sistema de recepção, temperatura de ruído, antenas, rádio-freqüência (RF)

Área do Conhecimento: Telecomunicações

Resumo – No presente trabalho faz-se uma explanação teórica sobre o conceito de figura de mérito e apresentam-se alguns métodos para sua determinação. Este parâmetro é de fundamental importância na caracterização de sistemas onde o sinal recebido possui intensidade muito fraca e o ruído elétrico possui intensidade significativa, como em comunicações via satélite, telemetria de aeronaves etc.

Introdução

Nos sistemas de comunicações via rádio onde as distâncias envolvidas são muito grandes, o sinal recebido normalmente possui intensidade muito fraca e chega fortemente contaminado pelo ruído elétrico em seus vários tipos: atmosférico, cósmico, produzido pelo homem etc. O ruído possui especial importância em sistemas que utilizam antenas de grande abertura, pois captam todo tipo de ruído externo tais como a radiação solar. Além disso, há o ruído térmico gerado internamente nos equipamentos elétricos. Nestes sistemas torna-se de grande importância um parâmetro conhecido como Figura de mérito, que determina a relação entre o ganho do sistema para cada grau de temperatura de ruído.

De todos os tipos de ruído elétrico, o único que é levado em consideração nos cálculos é o ruído térmico, pois possui um comportamento matemático bem definido. Ele pode ser tratado como ruído branco, pois está presente em toda a faixa de freqüências e possui densidade espectral constante, ou seja, sua potência é igualmente distribuída em todo o espectro. Também, possui distribuição gaussiana: possui média zero e variância σ (sigma). Por isso, quando há referência ao ruído, normalmente fala-se em temperatura de ruído, numa alusão ao fato de que o único ruído levado em conta é o ruído térmico [2, pag. 89-96, item 3.7].

Portanto, a potência do ruído térmico é diretamente proporcional à temperatura e à largura de faixa de trabalho:

$$P_N = k \cdot T \cdot B$$

Equação 1: Potência do ruído térmico

Assim, se os ganhos e as perdas de um sistema de recepção bem como a temperatura de ruído dos dispositivos forem conhecidos, pode-se facilmente determinar a Figura de Mérito (G/T) deste sistema.

$$\frac{G}{T} (dB / K) = 10 \log \left(\frac{\text{Ganho}}{\text{Temperatura de ruído}} \right)$$

Equação 2: Figura de mérito

Este é o primeiro método para determinação da Figura de mérito apresentado neste trabalho. O segundo método é extremamente simples e rápido. Ele é conhecido como Método do fator Y, o qual faz uso do sol como fonte de radiação. Como o método do fator Y é muito utilizado em telemetria de foguetes, ele será descrito na Banda S, mas pode ser adaptado para outras faixas de freqüências.

Materiais e Métodos

A figura de mérito pode ser determinada através de cálculos utilizando as perdas e ganhos do sistema [4, pag. 3-23, item 3.8.2] ou através de medidas [3, pag. 1-36, item 1.11] [3, pag. 1-41, item 1.12] [3, pag. C-2], utilizando o sol como fonte de radiação.

Primeiro método: Cálculo de G/T a partir das perdas e ganhos do sistema e da temperatura de ruído dos dispositivos

Primeiramente, é estabelecido um plano de referência, que normalmente é a entrada do pré-amplificador (LNA), que deve ser de baixíssimo ruído. A figura a seguir mostra um típico sistema de recepção:

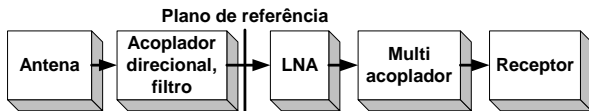


Figura 1: Típico sistema de recepção

Cada elemento do sistema contribui com um ganho g_n e com uma temperatura de ruído t_n . A soma da temperatura de ruído dos elementos entre o LNA e a antena (plano de referência) é chamada de T_{ant} e depois do LNA é chamada de T_r . A temperatura total do sistema é:

$$T_s = T_{ant} + T_r$$

Equação 3: Temperatura de ruído total do sistema

A temperatura da antena até o plano de referência é calculada da seguinte maneira:

$$T_{ant} = \frac{t_{céu} + (l_{ant} - 1)T_0}{l_{ant}}$$

Equação 4: Temperatura de ruído da antena até o plano de referência

Onde:

$t_{céu}$ = temperatura de ruído proveniente do céu

T_0 = temperatura ambiente = 290 K

l_{ant} = perdas entre a antena e o plano de referência

$$l_{ant} = \frac{1}{g_{ant}} = 10^{\left(\frac{\text{Perdas em dB}}{10}\right)}$$

Equação 5: perdas entre a antena e o plano de referência

A temperatura de ruído do sistema receptor é calculada como mostrado a seguir:

$$T_r = t_3 + \frac{t_4}{g_3} + \frac{t_5}{g_3 \cdot g_4} + \dots + \frac{t_n}{g_3 \cdot g_4 \cdot g_5 \cdots g_{n-1}}$$

Equação 6: Temperatura de ruído do plano de referência até o receptor

Para atenuadores, como guias de onda, cabos coaxiais etc., tem-se:

$$g_n = \frac{1}{l_n} = 10^{\left(\frac{\text{Perdas em dB}}{10}\right)}$$

Equação 7: Equação para as atenuações dos dispositivos passivos

Se a Figura de Ruído (F) de um componente for conhecida, ao invés de sua temperatura de ruído, fazemos a conversão da seguinte forma:

$$t_n = (F - 1)T_0$$

Equação 8: Temperatura de ruído em função da figura de ruído

Onde:

$$F = \frac{\text{Relação sinal-ruído na entrada}}{\text{Relação sinal-ruído na saída}} = 10^{\left(\frac{F(\text{dB})}{10}\right)}$$

Equação 9: Figura de ruído

T_0 = temperatura ambiente (290 K)

Segundo método: Medidas de G/T usando o método do receptor com saída de FI linear utilizando o sol como fonte de radiação:

1. Colocar o receptor no modo AGC e apontar a antena para longe do sol com uma elevação de pelo menos 10° para evitar a recepção de radiação do solo
2. Medir o nível DC de AGC na saída de monitoramento do receptor Banda S utilizando um multímetro e o nível de FI na saída de segunda FI do receptor utilizando um power meter e anotar estes valores
3. Colocar o receptor no modo de controle manual de ganho (MGC)
4. Ajustar o nível de controle de ganho para o mesmo valor medido no item 2
5. Apontar a antena em direção ao sol (se possível em auto tracking)
6. Medir o nível da segunda FI. A diferença entre os dois valores de FI é chamada de Fator Y

7. Repetir os itens de 1 a 6 várias vezes e obter um Fator Y médio

8. Repetir os itens 1 a 7 para as frequências desejadas

9. As densidades de fluxo solar são medidas a cada hora TU em alguns locais do planeta em algumas frequências determinadas e atualizadas no site www.sec.noaa.gov. Os valores para a conversão de densidades de fluxo solar a serem convertidas em densidades de fluxo de potência devem ser obtidas das medidas realizadas na hora mais próxima à hora do teste e no local mais próximo ao local de teste.

10. Abaixo é fornecida a fórmula para o cálculo da Figura de Mérito:

$$\frac{G}{T} (dB/K) = 10 \log \left(\frac{8 \cdot \pi \cdot k \cdot L}{S \cdot \lambda^2} [Y - 1] \right)$$

Equação 10: Equação para determinação da Figura de mérito utilizando o sol como fonte de radiação

k = constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

L = fator de correção de abertura da antena = $\left(1 + 0,18 \cdot \left[\frac{0,53^\circ}{\theta} \right]^2 \right)^2$

$0,53^\circ$ = diâmetro efetivo do sol na Banda S

$\theta = 72 \frac{\lambda}{D}$ = largura de feixe de uma antena parabólica

S = densidade de fluxo de potência solar corrigida para a frequência de teste. É obtida através de interpolação matemática, pois as frequências mais próximas da Banda S em que são medidos os valores de densidade de fluxo solar são 1415 MHz e 2695 MHz:

$$S = S_{2695} \left[\frac{S_{1415}}{S_{2695}} \right]^\Gamma 10^{-22} \text{ W/Hz/m}$$

$$\Gamma = \frac{\log \left(\frac{f_i}{2695} \right)}{\log \left(\frac{1415}{2695} \right)}$$

$\lambda = \frac{c}{f}$ = comprimento de onda na frequência de teste

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s = velocidade da luz no vácuo

$Y = 10^{\Delta FI/10}$ = diferença entre as amplitudes de segunda FI expressa como antilogaritmo de base 10

Conclusão

Os dois métodos apresentados para determinação da Figura de mérito são amplamente utilizados nos sistemas de recepção de RF para antenas de grande abertura e de enlaces envolvendo grandes distâncias.

Embora o primeiro método seja mais exato, é mais trabalhoso, pois envolve o conhecimento da temperatura de ruído e do ganho ou perda de todos os componentes do sistema.

O segundo método é extremamente simples de ser executado, pois utiliza a radiação solar, que possui componentes espectrais em toda a faixa de frequências, passando por toda a cadeia de recepção e por isso pode ser utilizado em um teste rápido para verificação do sistema de recepção.

Referências

- ORFANIDIS, SOPHOCLES J. Electromagnetic waves and antennas, Última revisão: 21 de Junho de 2004. Disponível em: <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidis/ewa>. Acesso em: 22 de março de 2007.

-MEDEIROS, JÚLIO CÉSAR DE OLIVEIRA. Princípios de Telecomunicações, Editora Érica, 2005.

- RCC – RANGE COMMANDERS COUNCIL – TELEMETRY GROUP. Test methods for Telemetry Systems and Subsystems – Volume 2 – Test Methods for Telemetry RF Subsystems – Document 118-02, U.S. Army White Sands Missile Range, Junho de 2002.

- RCC – RANGE COMMANDERS COUNCIL – TELEMETRY GROUP. Telemetry Systems Radio Frequency (RF) Handbook – Document 120-01, U.S. Army White Sands Missile Range, Dezembro de 2001.