

Anexo III

Temperatura equivalente de ruído, Figura de ruído e Fator de mérito para estações de recepção (G/T)

III.1. Temperatura Equivalente de Ruído

A temperatura equivalente de ruído de um componente pode ser definida como sendo o valor de temperatura em que um resistor padrão gera ruído com nível equivalente ao gerado pelo componente em questão, na temperatura de operação. Quanto menor for este parâmetro, melhor será o desempenho do componente.

É um parâmetro baseado em uma grandeza física, mas definido de forma matemática. Para um amplificador ideal tem-se¹:

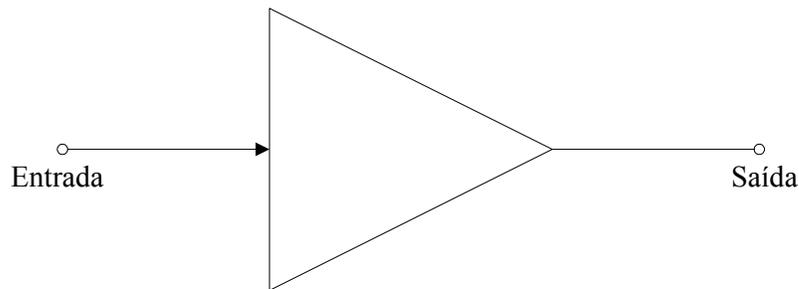


Figura III.1. Amplificador Ideal.

$$N_{I-in} = K \cdot T_0 \cdot B \quad (\text{III.1})$$

$$N_{I-out} = (K \cdot T_0 \cdot B) \cdot G \quad (\text{III.2})$$

onde N_{I-in} é o nível do ruído de entrada no amplificador ideal [W], N_{I-out} é o nível do ruído de saída no amplificador ideal [W], K é a constante de Boltzman ($K=1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/K]), T_0 é a temperatura a que se encontra submetido o amplificador [K] e B é a largura de faixa do canal [Hz].

No caso de um amplificador real, além da parcela de ruído térmico amplificada, existirá em sua saída uma outra parcela referente a própria constituição física do componente. Esta parcela pode ser representada em função da temperatura equivalente de ruído, como apresentada na equação (III.3).

$$N_{out} = (K \cdot T_0 \cdot B) \cdot G + (K \cdot T_e \cdot B) \cdot G \quad (III.3)$$

III.2. Figura de Ruído.

Por definição a figura de ruído é a razão entre a relação portadora/ruído de entrada e a relação portadora/ruído de saída, como apresentada na equação (III.4).

$$F = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{in}}{\left(\frac{C}{N}\right)_{out}} \quad (III.4)$$

Para um amplificador ideal, a figura de ruído pode ser calculada como apresentado abaixo:

$$F = \frac{\left(\frac{C}{K \cdot T_0 \cdot B}\right)_{in}}{\left(\frac{C \cdot G}{(K \cdot T_0 \cdot B) \cdot G}\right)_{out}} = 1 \quad (III.5)$$

onde G é o ganho oferecido pelo amplificador.

No amplificador ideal a relação portadora/ruído de saída se mantém igual a de entrada, pois o amplificador em nada contribui com o aumento do ruído. O mesmo não ocorre com o amplificador real, como apresentado na equação (III.6).

$$F = \frac{\left(\frac{C}{K \cdot T_0 \cdot B}\right)_{in}}{\left(\frac{C \cdot G}{(K \cdot (T_0 + T_e) \cdot B) \cdot G}\right)_{out}} = \frac{T_0 + T_e}{T_0} = 1 + \frac{T_e}{T_0} \quad (III.6)$$

Consequentemente, tem-se:

$$T_e = (F - 1) \cdot T_0 \quad (III.7)$$

III.2. Amplificadores em cascata

O comportamento final de uma cascata de amplificadores pode ser analisado com a ajuda da Figura III.2.

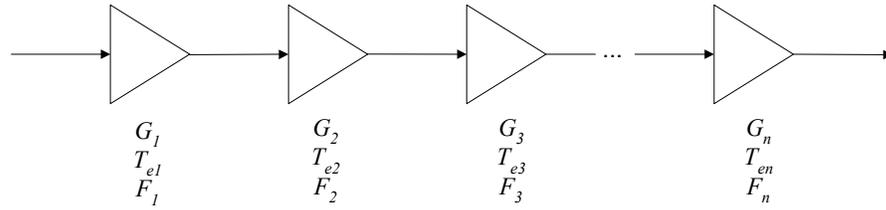


Figura III.2. Associação de amplificadores.

A figura de ruído de todo o conjunto pode ser obtida através da relação entre as grandezas (C/N) de entrada e saída. Para determinar a relação portadora/ruído de saída, tem-se os níveis da portadora e do ruído apresentados nas equações (III.8) e (III.9)².

$$C_{OUT} = C \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots \cdot G_n \quad (III.8)$$

$$N_{OUT} = K \cdot B \{ (T_0 + T_{e1}) \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n + T_{e2} \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots \cdot G_n + \dots + T_{en} \cdot G_n \} \quad (III.9)$$

Consequentemente a figura de ruído do conjunto será dada pela equação apresentada a seguir:

$$F = \frac{\left(\frac{C}{K \cdot T_0 \cdot B} \right)_{IN}}{\left(\frac{C \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots \cdot G_n}{K \cdot B \{ (T_0 + T_{e1}) \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n + T_{e2} \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n + \dots + T_{en} \cdot G_n \}} \right)_{OUT}} \quad (III.10a)$$

$$F = \frac{1}{T_0} \left[(T_0 + T_{e1}) + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{T_{en}}{G_1 \cdot \dots \cdot G_{n-1}} \right] \quad (III.10b)$$

Com as equações (III.6), (III.7) e (III.10b) é possível obter as equações (III.11) e (III.12), que apresentam os valores da figura de ruído e da temperatura equivalente de ruído para todo conjunto.

$$F = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \frac{(F_3 - 1)}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{(F_n - 1)}{G_1 \cdot \dots \cdot G_{n-1}} \quad (III.11)$$

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{T_{en}}{G_1 \cdot \dots \cdot G_{n-1}} \quad (III.12)$$

Como por definição a atenuação é o inverso do ganho, pode-se analisar estruturas híbridas com amplificadores e atenuadores, como apresentado na Figura (III.3) e nas equações (III.13) e (III.14).

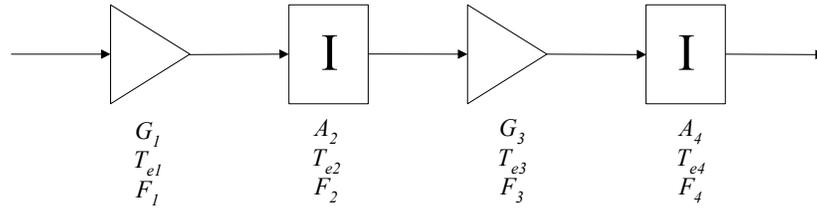


Figura III.3. Associação Híbrida de amplificadores e atenuadores.

$$F = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \frac{(F_3 - 1)}{G_1} \cdot A_2 + \frac{(F_4 - 1)}{G_1 \cdot G_3} \cdot A_2 \quad (\text{III.13})$$

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1} \cdot A_2 + \frac{T_{e4}}{G_1 \cdot G_3} \cdot A_2 \quad (\text{III.14})$$

III.2. Fator de mérito para estações de recepção (G/T)

Para as estações de recepção via satélite, a relação (G/T) mostra o quanto é eficiente a estrutura de recepção, pois quanto mais elevados forem os valores desta relação, melhores serão os resultados de desempenho dos enlaces de descida.

Para encontrar esta relação, leva-se em consideração a temperatura equivalente de ruído de toda a estrutura e o ganho da antena. A Figura (III.4) apresenta uma estação de recepção, através da qual pode-se visualizar como obter a relação (G/T)³.

A temperatura equivalente da estação terrena deverá levar em consideração os seguintes valores parciais:

- Temperatura de Ruído da Antena;
- Temperatura de Ruído do Iluminador;
- Temperatura de Ruído do *LNA* ou *LNB*;
- Temperatura de Ruído do Cabo entre o *LNA* ou *LNB* e os equipamentos de Recepção.

$$T_e = T_{e-ANT} + T_{e-ILUM} + T_{e-AMP} \cdot A_{ILUM} + \frac{T_{e-CABO1}}{G_{AMP}} \cdot A_{ILUM} \quad (\text{III.15})$$

onde T_{e-ANT} é a temperatura equivalente de ruído da antena [K], T_{e-ILUM} é a temperatura equivalente de ruído do iluminador [K], T_{e-AMP} é a temperatura equivalente de ruído do LNA ou LNB [K], $T_{e-CABO1}$ é a temperatura equivalente de ruído do Cabo 1 [K], A_{ILUM} atenuação oferecida pelo iluminador e G_{AMP} é o ganho do LNA ou LNB.

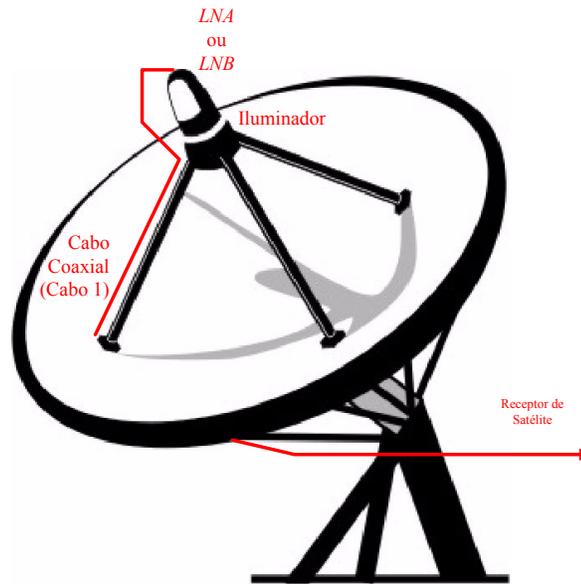


Figura III.4. Estação básica de recepção de sinais via satélite.

Referências Bibliográficas

-
- ¹ Ha, Tri Ti . *Digital Satellite Communications*. Macmillan Publishing Comp., 1986.
 - ² Maral, G.; Bousquet, M., *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*, 4th Ed.. John Wiley & Sons Inc, 2002.
 - ³ Marins, C. N. M. *Notas de Aula de E703-B*. Curso de graduação em Engenharia Elétrica - INATEL, 2002.