

# Relatório Experimento 04:

Bruno C. Messias

## 1 Introdução

Este relatório é referente ao experimento 04 da matéria EEL7319(Circuitos RF), sobre o tema de Figura de Ruído em circuitos RF, que possui o objetivo de avaliar o comportamento dos componentes em aplicações de RF, considerando os efeitos de ruído no sistema. Foi utilizado o software *QUCS* para o desenvolvimento e obtenção dos resultados considerando o ruído.

## 2 Parte Experimental

### 2.1 Análise de Ruído

A seguir vamos calcular as tensões de ruído de resistores ( $v_{out.vn}$ ), as densidade espectral de potência ( $Sp$ ) e também a potência de ruído para uma banda de  $10MHz$  ( $Sp_{band}$ ), para diversas configurações de resistores e temperatura, representados pelas Figuras 1 e 2.

- i)  $R_1 = R_2 = 50 \Omega$  e  $T_1 = 290K$
- ii)  $R_1 = R_2 = 50 \Omega$  e  $T_1 = 297.15K$

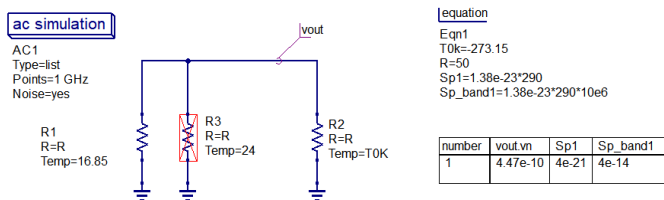


Figura 1: Análise de ruído para  $T = 290K$

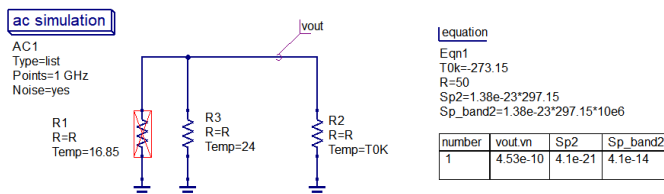


Figura 2: Análise de ruído para  $T = 297.15K$

Temos também a comparações com os valores teóricos ( $v_{out\ teo}$ ) utilizando as equações no próprio *QUCS* representados nas Figuras 3 e 4.

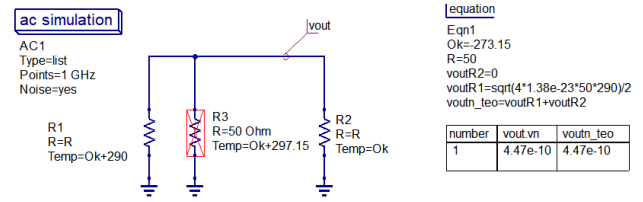


Figura 3: Comparação teórica  $T = 290K$

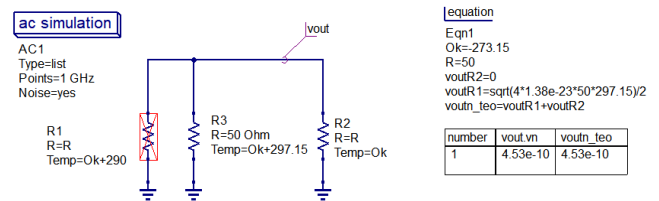


Figura 4: Comparação teórica  $T = 297.15K$

Como também iremos analisar o caso onde  $R_2 = 3R_1$  na Figura 5

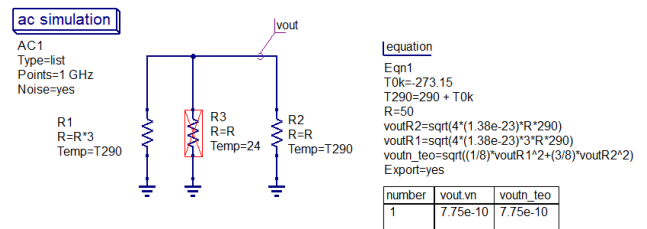


Figura 5: Análise da tensão de ruído para  $R_2=3R_1$

## 2.2 Análise das Figuras de Ruído

### 2.2.1 Projeto Circuito Proposto

Temos a seguir o circuito proposto para a obtenção das figuras de ruído, representado na Figura 6

Para cada elemento calculamos os seguintes parâmetros:

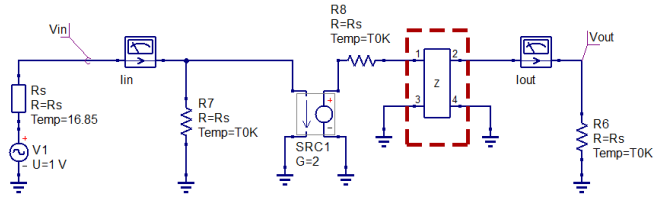


Figura 6: Circuito proposta para o cálculo da Figura de Ruído

- Potência Disponível na fonte( $S_i$ );
- Potência Disponível do circuito( $S_o$ );
- Potência de ruído Disponível na entrada( $N_i$ );
- Potência de ruído Disponível na saída( $N_o$ );
- Ganho de Potência( $G$ );
- Figura de Ruído( $F$ )

Temos a seguir o cálculo das figuras de ruído para duas configurações de resistores, com os resultados nas Figuras 7 e 8, acompanhados de seus valores teóricos para comparação.

- $R_s = 120 \Omega$  e  $T = 30^\circ$
- $R_p = 60 \Omega$  e  $T = 27^\circ$

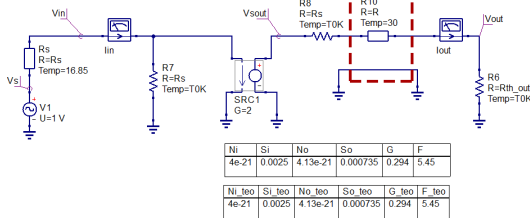


Figura 7: Resultados para o resistor em série

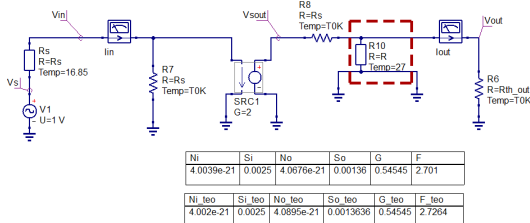


Figura 8: Resultados para o resistor em série

Também foi analisado o seguinte atenuador projetado para uma atenuação de  $10dB$  para uma resistência de referência de  $75\Omega$ , representado na Figura 9, com sua análise em 10

Temos também a análise de sua Figura de Ruído na Figura 10.

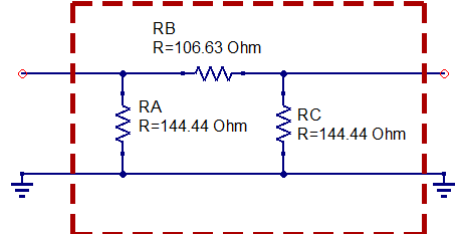


Figura 9: Atenuador projetado para 10dB

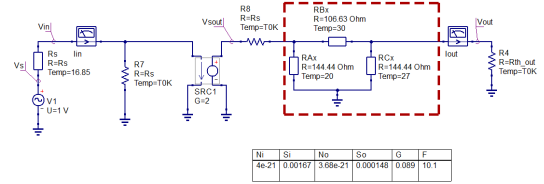


Figura 10: Parâmetros do Atenuador

## 3 Questões

### 3.1 Questão 1:

Análise os resultados de simulação e compare-os com as previsões teóricas.

#### Resolução:

Para o cálculo dos resistores temos as Equações 1 para o cálculo de ruído, onde a Equação 1a é referente a figura de ruído do resistor em série e a equação 1b, para o paralelo.

$$F_s = 1 + \frac{T_s R_s}{T_0 R} \quad (1a)$$

$$F_p = 1 + \frac{T_p R}{T_0 R_p} \quad (1b)$$

Substituindo os valores conhecidos,  $R = 50\Omega$ ,  $R_s = 120\Omega$ ,  $R_p = 60\Omega$ ,  $T_0 = 290K$ ,  $T_s = 303.15K$ ,  $T_p = 300.15$ . Temos os seguintes resultados que coincidem com os obtidos experimentalmente:

$$F_s = 5.45dB \text{ e } F_p = 2.71dB$$

Para o cálculo teórico da figura de ruído do atenuador foi utilizado a Fórmula de Friss que esta definida na Equação 2.

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \quad (2)$$

Temos definido que:

$$F_1 = 1 + \frac{T_1 R_s}{T_0 R_A} \quad (3a)$$

$$F_2 = 1 + \frac{T_2 R_B}{T_0(R_s // R_A)} \quad (3b)$$

$$F_3 = 1 + \frac{T_3(R_B + (R_s // R_A))}{T_0 R_C} \quad (3c)$$

$$G_1 = \frac{R_A}{R_A + R_s} \quad (3d)$$

$$G_2 = \frac{R_s // R_A}{R_B + (R_s // R_A)} \quad (3e)$$

Temos utilizando as equações com os seguintes valores:

$$R_A = R_C = 144.44\Omega; R_B = 106.63\Omega; R_s = 75\Omega$$

$$T_1 = 293.15K; T_2 = 303.15K; T_3 = 300.15K$$

$$T_0 = 290K$$

Temos como resultado  $NF_{dB} = 10.14dB$  que coincide com o obtido experimentalmente.

### 3.2 Questão 2:

Demonstre que a figura de ruído de um atenuador de L dB é igual a L dB

#### Resolução:

Como no atenuador temos que as resistências vistas de cada ponto temos que:

$$N_i = N_o$$

O sinal é atenuado em LdB logo temos que.

$$L_{dB} = 10 \frac{L}{10} \rightarrow S_o = \frac{S_i}{10 \frac{L}{10}}$$

Portanto temos que a figura de ruído é definida por:

$$F = \frac{SNR_i}{SNR_o} = \frac{S_i N_o}{N_i S_o}$$

Substituindo as definições anteriores temos que:

$$NF = 10 \log(10 \frac{L}{10}) = L_{dB}$$

### 3.3 Questão 3:

Quais as consequências do resultado da questão 2 na escolha de filtros ou conexões a colocar na entrada de receptores de RF? (a resposta deve ser adequadamente fundamentada)

#### Resolução:

As conexões devem ser altamente casadas, pois, caso contrário, não podemos considerar  $N_i = N_o$ , também num sistema real ficaria proibitivo utilizar um atenuador grande no circuito por conta de sua figura de ruído ser proporcional ao seu valor de atenuação, principalmente caso ficasse próximo do primeiro estágio.

### 3.4 Questão 4:

Disserte sobre o que aprendeu nesta atividade, procurando identificar os pontos que foram acrescentados ao seu repertório de conhecimento e suas dificuldades. Seja o mais sincero possível (sobretudo consigo).

#### Resolução:

Tive no começo uma dificuldade em lidar com a soma das tensões de ruído, resolvido por se tratar de potências e não de tensões utilizando as expressões para o cálculo.

Também tive uma dificuldade em saber em como aplicar a Fórmula de Friss para o cálculo da figura de ruído do atenuador, resolvido considerando as variações de impedância para cada componente. E no fim tive um problema em retirar os parâmetros corretos, resolvido por adequar as equações e considerar os modelos de Thévenin, para a modelagem do ruído

### 3.5 Questão 5:

Que sugestões você oferece para tornar esta atividade mais interessante? (Por que não as implementou voluntariamente?).

#### Resolução:

Possivelmente seria interessante a averiguação de outros tipos de ruído e como eles se interagem no circuito, seria complicado pois o *QUCS* parece não possuir suporte a estes outros tipos de ruídos, como ruídos flicker e shot.

## 4 Conclusão

Neste relatório, procuramos analisar o efeito dos ruídos nos diversos componentes, e comparamos como os valores que seriam obtidos teoricamente, e como o cálculo da Figura de ruído pode ser importante para a adequação de um projeto que

tem como objetivo o baixo ruído, para não afetar o sinal recebido.

## 5 Referências

### Referências

- [1] A. Davis, *Radio Frequency Circuit Design*, 2010.
- [2] W. M. Leach, “Fundamentals of Low-Noise Analog Circuit Design,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 82, no. 10, pp. 1515–1538, 1994.
- [3] B. H. Schmid, “Open column,” *New Library World*, vol. 80, no. 9, p. 181, 1979.
- [4] M. Steer, *Microwave and RF design*, 2010, vol. 4.
- [5] Agilent, “Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements,” *Application Note*, vol. 57-1, pp. 25–29, 2002.
- [6] B. Razavi, *RF Microelectronics*, 2nd ed. New York: Pearson Education Inc., 2011.
- [7] Rickj, “CoDesign • Second Thoughts on Electronics • Theory • All the noise in resistors,” 2014. [Online]. Available: [http://www.hartmantech.com/codesign/forum/blog.php?action=view&article\\_id=1](http://www.hartmantech.com/codesign/forum/blog.php?action=view&article_id=1)
- [8] A. M. Niknejad, “Lecture 11: Electrical Noise,” pp. 1–20, 2005.