



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Campus Universitário de Florianópolis
Curso de Engenharia Eletrônica
Disciplina EEL7319 - Circuitos RF
Professor Dr. Fernando Rangel de Sousa

Trabalho de Simulação

Projeto de LNA

Alunos: Guilherme Yuji Aoki Mat.: 15204942

Florianópolis, 26 de outubro de 2020

1 Introdução

Esse trabalho irá apresentar os resultados da simulação do circuito LNA desenvolvido no dia 12/08/2020.

Serão feitos 2 simulações para as correntes do coletor com valores de 5mA e 13mA, observando a figura de ruído mínima em função da frequência e os dados obtidos serão comparados com os dados fornecidos pelo datasheet. Além disso, serão avaliados os pontos de interceptação de segunda e terceira ordem e o ponto de compressão de 1 dB.

2 Circuito LNA

2.1 Simulação NFmin

Primeiramente foi desenvolvido o circuito da Figura 1 na aula do dia 12/08/2020. Nele foi feito a simulação S Parameter Simulation para obter o NFmin para as correntes de 5mA e 13mA.

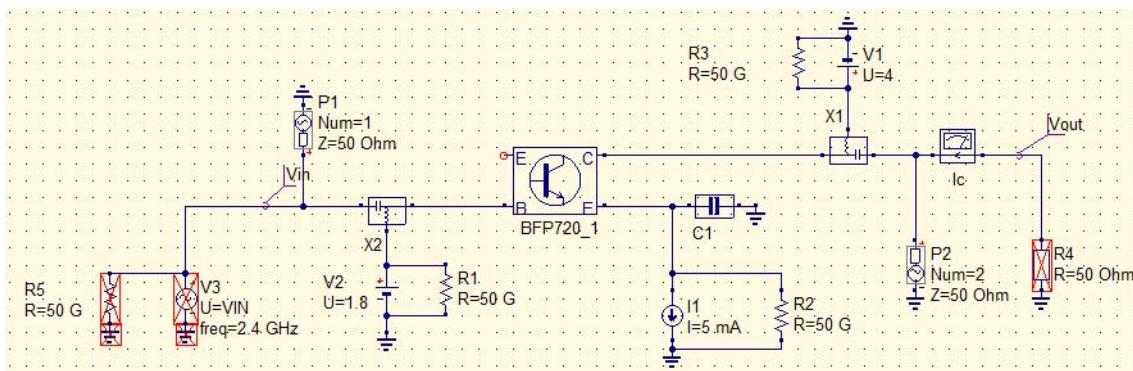


Figura 1: Circuito Analisado Para encontrar NFmin nas correntes de 5mA e 13mA

Para simular o circuito, foi utilizado a simulação S Parameter Simulation disponível pelo software Qucs.

Os resultados podem ser observados na Figura 2

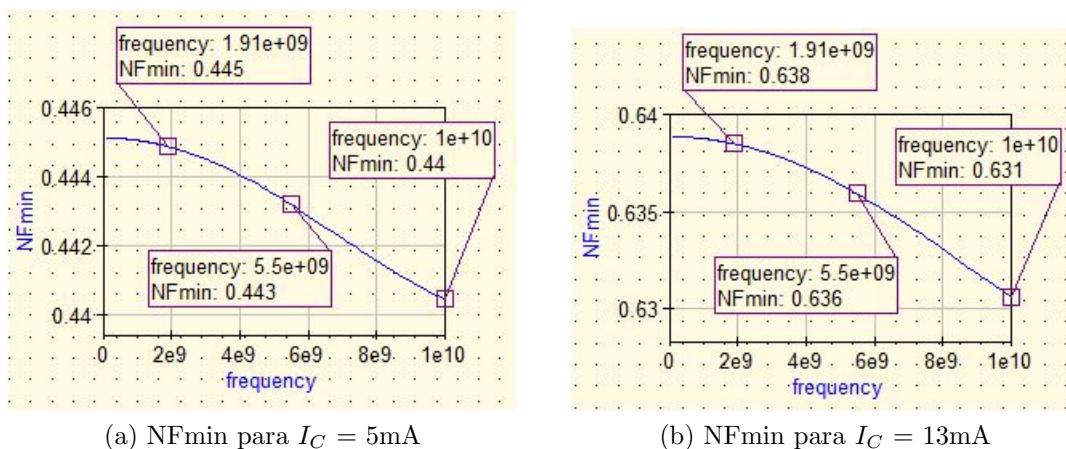


Figura 2: Resultado Obtidos do NFmin para $I_C = 5\text{mA}$ e $I_C = 13\text{mA}$

Dos dados obtidos na simulação, podemos compara com os valores fornecidos pelo Datasheet.

Frequencia	Datasheet	Simuaçao	Erro
1.9GHz	0.45dB	0.445dB	1.11%
5.5GHz	0.7dB	0.443dB	36.71%
10GHz	0.95dB	0.44dB	53.68%

Tabela 1: Comparação Datasheet e Simulação com $I_C = 5mA$

Frequencia	Datasheet	Simuaçao	Erro
1.9GHz	0.67dB	0.638dB	4.78%
5.5GHz	0.86dB	0.636dB	26.04%
10GHz	1.05dB	0.631dB	39.90%

Tabela 2: Comparação Datasheet e Simulação com $I_C = 13mA$

Os dados obtidos apresentam valores próximos dos mostrados no Datasheet para frequências menores, porém para valores mais elevados começam a apresentar valores mais distintos. Essa diferença pode ser atribuída pelo fato que na simulação não são adicionados algumas interferências que o modelo real apresenta.

Além disso, observamos que para correntes menores, obtemos uma figura de ruído menor para análises na mesma frequência.

2.2 Pontos de Interceptação de Segunda e Terceira Ordem e Ponto de Compressão de 1 dB

Nessa parte serão feitas 2 tipos de simulação, uma para encontrar os pontos de interceptações e outra para o ponto de compressão. O circuito que irá ser utilizado é mostrado na Figura 3

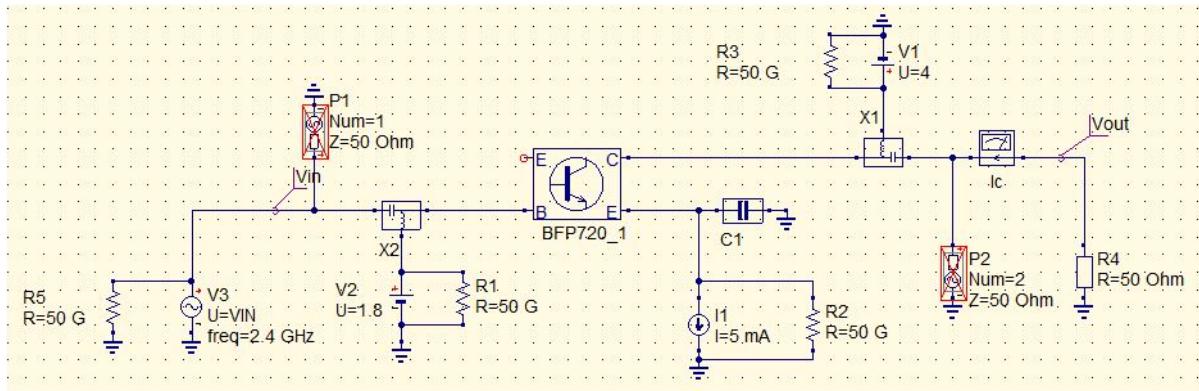


Figura 3: Circuito Analisado Para Encontrar os Pontos de Interceptação de Segunda e Terceira Ordem e Ponto de Compressão de 1 dB nas correntes de 5mA e 13mA

2.2.1 $I_C = 5mA$

Primeiramente vamos simular os pontos de interceptação de segunda e terceira ordem. Para isso, precisamos saber o α correspondentes. Para encontrar seus valores, utilizamos da ferramenta Tunning do Qucs. O resultado pode ser observado na Figura 4

```

equation
Eqn1
alfa1=9.189
alfa2=82.08
alfa3=664.15
vin_linha=alfa1*VIN
vout_2linha=alfa2*VIN*VIN
vout_3linha=alfa3*VIN*VIN*VIN
Export=yes

```

Figura 4: Resultados para os α

Assim, utilizando as simulações Parameter Sweep e a Harmonic Balance Simulation, obtemos os seguintes gráficos apresentados na Figura 5

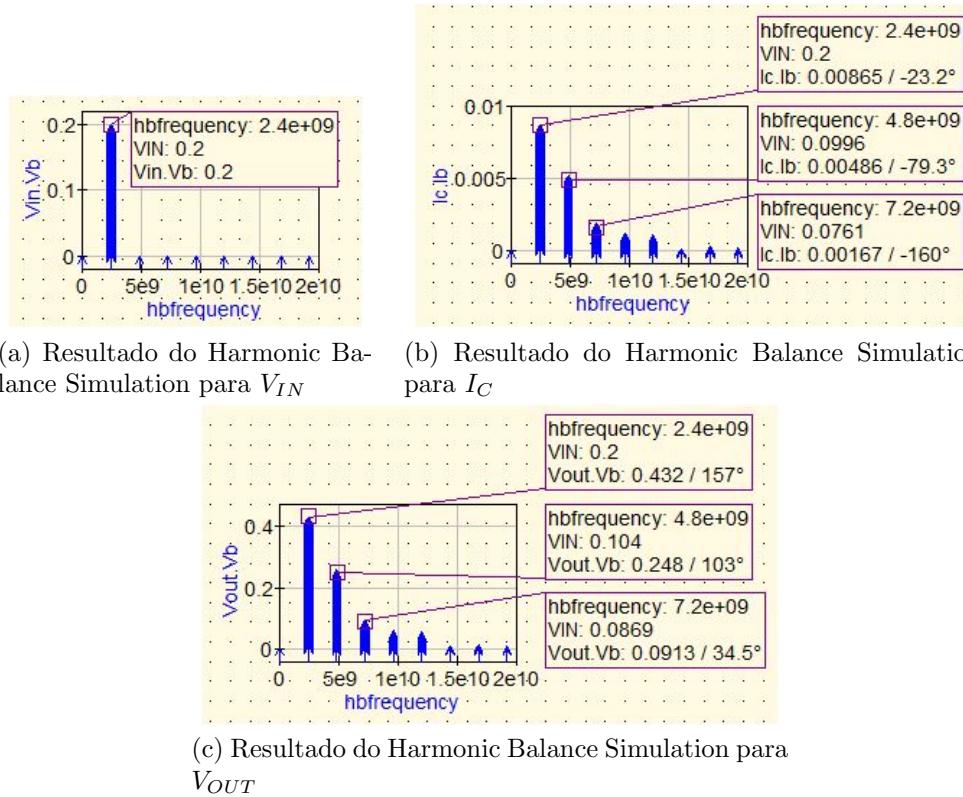


Figura 5: Gráficos Obtidos dos Pontos de Interceptação de Segunda e Terceira Ordem

Dos gráficos da Figura 5, podemos encontrar os pontos de interceptação de segunda e terceira ordem através das frequências de cada harmônico. Isso pode ser observado na Figura 6 e 7

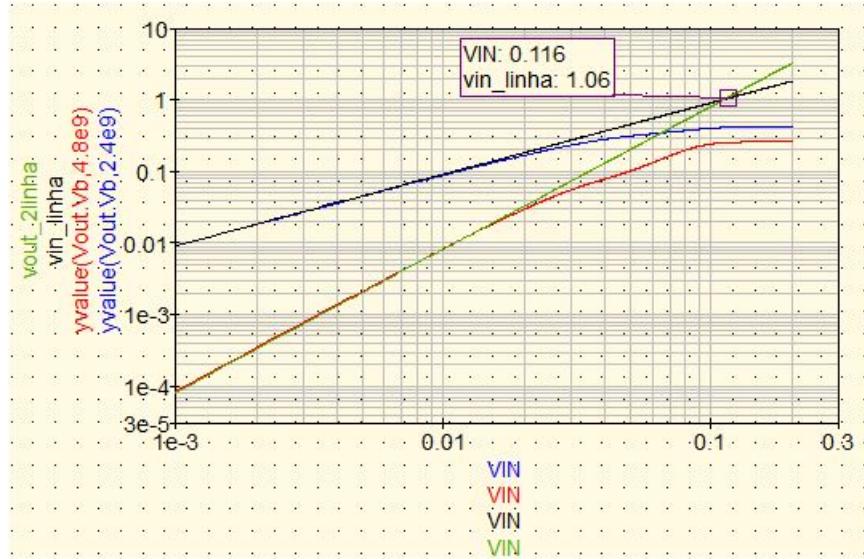


Figura 6: Ponto de Interceptação de Segunda Ordem

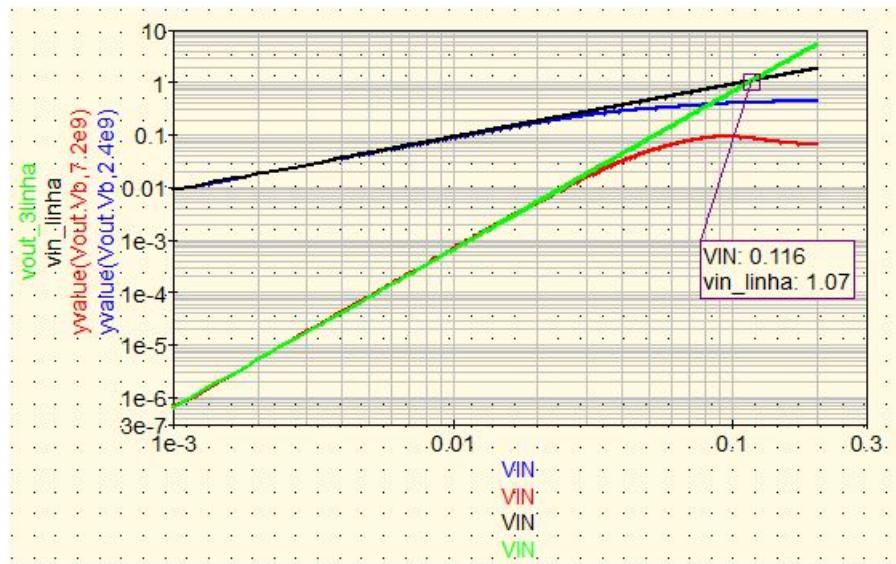


Figura 7: Ponto de Interceptação de Terceira Ordem

Com os valores obtidos, podemos obter os pontos de interceptação na saída:

$$OIP_{2h} = 20 \log\left(\frac{1.06}{1 \times 10^{-3}}\right) = 60.51 dBm$$

$$IIP_{2h} = 20 \log\left(\frac{0.116}{1 \times 10^{-3}}\right) = 41.29 dBm$$

$$OIP_{3h} = 20 \log\left(\frac{1.07}{1 \times 10^{-3}}\right) = 60.59 dBm$$

$$IIP_{3h} = 20 \log\left(\frac{0.116}{1 \times 10^{-3}}\right) = 41.29 dBm$$

O próximo passo foi encontrar os valores teóricos para fazer a comparação.

$$IIP_{2h} = 2 \times \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 0.2239 = 47 dBm$$

Analizando o circuito, podemos concluir que o seu ganho é de:

$$G = gm \times R_C = \frac{5 \times 10^{-3}}{0.0258} \times 50 = 9.67 = 19.7dB$$

Sabendo o ganho, podemos saber o valor na saída, pois:

$$OIP_{2h} = IIP_{2h} + G = 47 + 19,7 = 66.7dBm$$

Para encontrar os pontos da terceira ordem, utilizamos agora de outra fórmula, sendo ela:

$$IIP_{3h} = 2 \times \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_3}} = 0.235 = 47.43dBm$$

Sabendo o ganho, podemos saber o valor na saída, pois:

$$OIP_{3h} = IIP_{3h} + G = 47.43 + 19,7 = 67.13dBm$$

Assim, podemos comparar os valores teóricos com os simulados. Isso pode ser observado na Tabela 3

	Teórico	Simulação	Erro
IIP_{2h}	47dBm	41.29dBm	12.15%
OIP_{2h}	66.7dBm	60.51dBm	9.28%
IIP_{3h}	47.43dBm	41.29dBm	12.94%
OIP_{3h}	67.13dBm	60.59dBm	9.74%

Tabela 3: Comparação Datasheet e Simulação com $I_C = 5mA$

Essa diferença pode ser explicada pelo método utilizado para encontrar α_1 , α_2 e α_3

A segunda etapa foi encontrar o ponto de compressão de 1dB, para isso, temos de observar o valor no qual a diferença entre a reta que representa VinLinha e os valores do yvalue(Vout,2.4GHz) é igual a 1dB. Isso pode ser observado na Figura 8

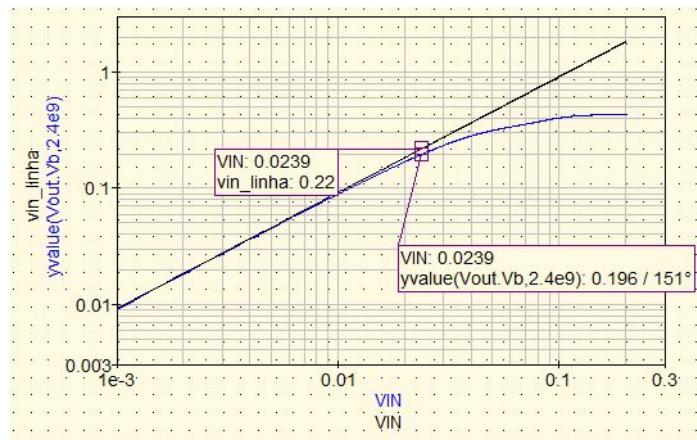


Figura 8: Gráfico do Ponto de Compressão de 1dB

Pelo gráfico da figura 8, podemos obter o seguinte:

$$20 \log(0.22) - 20 \log(0.196) = 1dB$$

Assim, o ponto de compressão de 1dB obtido é, aproximadamente, $V_{IN} = 0.0239$. Com isso, podemos comparar com o seu valor teórico, que pode ser obtido a seguir:

$$ICP_1 = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_3} \times 0.145} = \sqrt{\frac{9.189}{664.15} \times 0.145}$$

$$ICP_1 = 0.04479$$

Comparando os dois valores obtidos, vemos que possue um erro de 46.64%, isso pode ser explicado pelo fato de como foram obtidos os valores dos α_1 e α_3

2.2.2 $I_C = 13\text{mA}$

O próximo passo foi realizar todas obter todos os resultados, porém agora utilizando uma corrente de 13mA.

Assim, primeiramente foi encontrado os pontos de interceptação de segunda e terceira ordem através dos α encontrados utilizando o Tunning. Isso poder ser observado na Figura 9

```
equation
Eqn2
alfa1=18.5066
alfa2=81.9979
alfa3=432.362
vin_linha=alfa1*VIN
vout_2linha=alfa2*VIN*VIN
vout_3linha=alfa3*VIN*VIN*VIN
Export=yes
```

Figura 9: Resultados para os α

O próximo passo foi utilizar as simulações Parameter Sweep e a Harmonic Balance Simulation, obtemos os seguintes gráficos mostrados na Figura 10

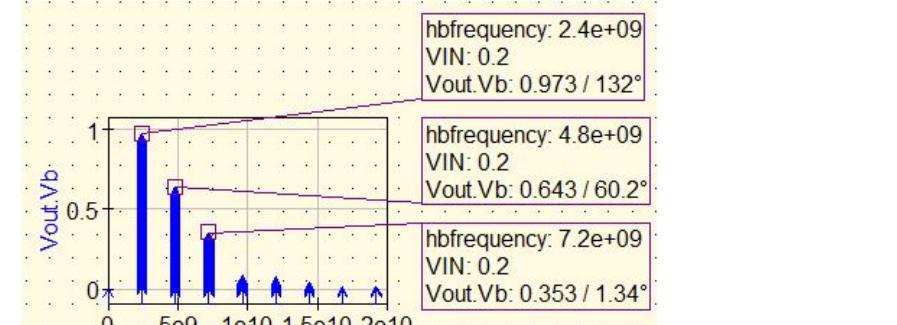
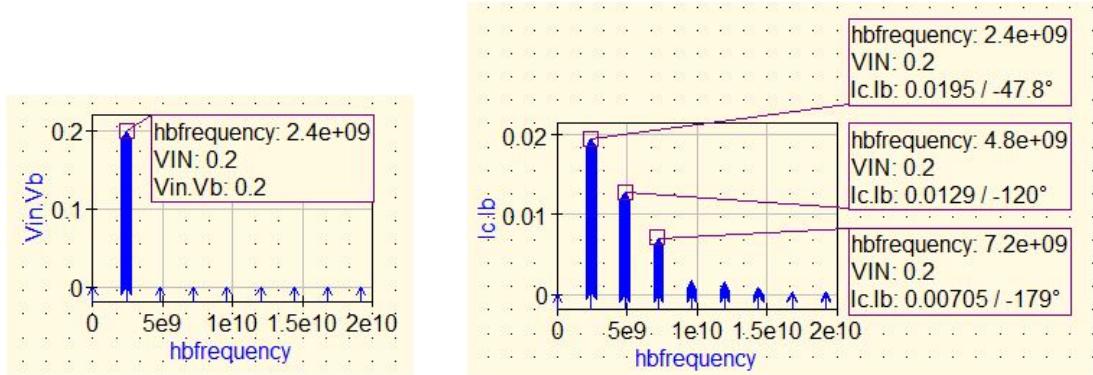
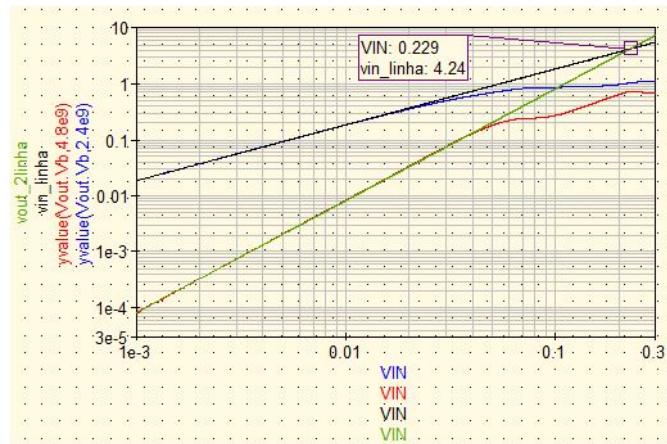


Figura 10: Gráficos Obtidos dos Pontos de Interceptação de Segunda e Terceira Ordem

Dos gráficos da Figura 10, podemos encontrar os pontos de interceptação de segunda e terceira ordem através das frequências de cada harmônico. Isso pode ser observado na Figuras 11 e 12



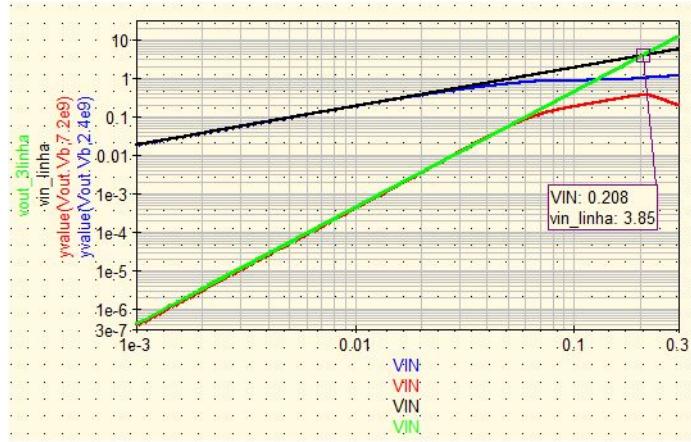


Figura 12: Ponto de Interceptação de Terceira Ordem

Com os valores obtidos, podemos obter os pontos de interceptação na saída:

$$OIP_{2h} = 20 \log\left(\frac{4.24}{1 \times 10^{-3}}\right) = 72.55 dBm$$

$$IIP_{2h} = 20 \log\left(\frac{0.229}{1 \times 10^{-3}}\right) = 47.19 dBm$$

$$OIP_{3h} = 20 \log\left(\frac{3.85}{1 \times 10^{-3}}\right) = 71.71 dBm$$

$$IIP_{3h} = 20 \log\left(\frac{0.208}{1 \times 10^{-3}}\right) = 46.36 dBm$$

O próximo passo foi encontrar os valores teóricos para fazer a comparação.

$$IIP_{2h} = 2 \times \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 0.4514 = 53.09 dBm$$

Analizando o circuito, podemos concluir que o seu ganho é de:

$$G = gm \times R_C = \frac{13 \times 10^{-3}}{0.0258} \times 50 = 25.13 = 28 dB$$

Sabendo o ganho, podemos saber o valor na saída, pois:

$$OIP_{2h} = IIP_{2h} + G = 53.09 + 28 = 81.09 dBm$$

Para encontrar os pontos da terceira ordem, utilizamos agora de outra fórmula, sendo ela:

$$IIP_{3h} = 2 \times \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_3}} = 0.4137 = 52.33 dBm$$

Sabendo o ganho, podemos saber o valor na saída, pois:

$$OIP_{3h} = IIP_{3h} + G = 52.33 + 28 = 80.33 dBm$$

Assim, podemos comparar os valores teóricos com os simulados. Isso pode ser observado na Tabela 4

	Teórico	Simulação	Erro
IIP_{2h}	53.09dBm	47.19dBm	11.11%
OIP_{2h}	81.09dBm	72.55dBm	10.53%
IIP_{3h}	52.33dBm	46.36dBm	11.41%
OIP_{3h}	80.33dBm	71.71dBm	10.73%

Tabela 4: Comparação Datasheet e Simulação com $I_C = 13mA$

Essa diferença pode ser explicada pelo método utilizado para encontrar α_1 , α_2 e α_3

A próxima etapa foi encontrar o ponto de compressão de 1dB, para isso, temos de observar o valor no qual a diferença entre a reta que representa VinLinha e os valores do yvalue(Vout,2.4GHz) é igual a 1dB. Isso pode ser observado na Figura 13

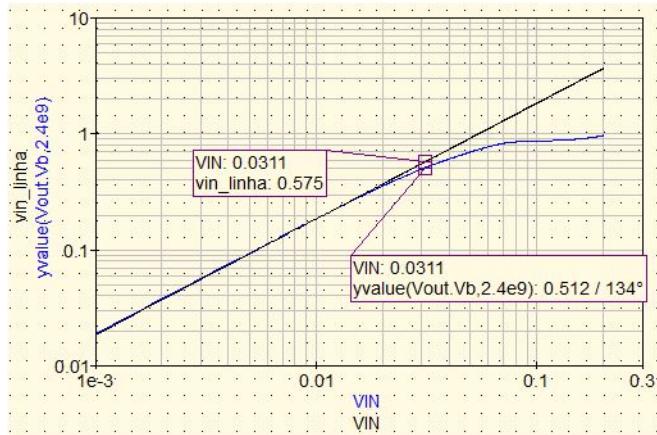


Figura 13: Gráfico do Ponto de Compressão de 1dB

Pelo gráfico da figura 13, podemos obter o seguinte:

$$20 \log(0.575) - 20 \log(0.512) = 1dB$$

Assim, o ponto de compressão de 1dB obtido é, aproximadamente, $V_{IN} = 0.0311$. Com isso, podemos comparar com o seu valor teórico, que pode ser obtido a seguir:

$$ICP_1 = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_3} \times 0.145} = \sqrt{\frac{18.5066}{432.362} \times 0.145}$$

$$ICP_1 = 0.07878$$

Comparando os dois valores obtidos, vemos que possui um erro de 60.52%, isso pode ser explicado pelo fato de como foram obtidos os valores dos α_1 e α_3 .

3 Conclusão

Esse experimento nos permitiu entender melhor sobre os conceitos do NF_{Min} , os pontos de interceptação e o ponto de compressão. Além disso, permitiu entender melhor os resultados obtidos das simulações utilizadas, como por exemplo os harmônicos.

Um ponto importante desse experimento foi projetar um amplificador que utilizamos na realidade e assim, podemos entender o seu funcionamento. Com isso, podemos analisar os diversos tipos de amplificadores LNA que encontramos no mercado atualmente e escolher o que melhor encaixe no projeto que estivermos desenvolvendo.

Além disso, os resultados obtidos na simulação se mostraram diferentes dos fornecidos pelo fabricante e dos resultados calculados teoricamente. Isso se deve por diversos motivos, sendo um deles o fato de o Qucs não adotar algumas interferências externas.

Assim, partindo desse resultado (ja apresentando erro) obtemos os α através da ferramenta Tunning, isso insere mais erro, pois adotamos o valor através de uma análise visual.

Esses divergências são "boas", pois nos mostra resultados mais próximos do que vamos encontrar no mercado, visto que é impossível obtermos resultados ideias.