



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE
COMPUTADORES

ELECTRÓNICA RÁPIDA

Projecto e Simulação de Amplificadores Lineares para Altas Frequências

Guilherme Branco Teixeira	n.º 70214
Maria Margarida Dias dos Reis	n.º 73099
Nuno Miguel Rodrigues Machado	n.º 74236

Grupo n.º 2 de quarta-feira das 11h00 - 12h30

Lisboa, 25 de Abril de 2015

Índice

1	Introdução	1
2	Plano de Trabalhos	1
2.1	Projecto de um amplificador uniandar	1
2.1.1	a) Projecto do amplificador com linhas ideais	1
2.1.2	b) Projecto do amplificador utilizando tecnologia microfita	7
2.2	Concretização do amplificador em tecnologia de microfita	7
2.2.1	a) Introdução de elementos que simulam descontinuidades nas linhas	7
2.2.2	b) Substituição do transístor e condensadores	7
3	Conclusões	7

1 Introdução

O objectivo deste laboratório é estudar técnicas de projecto de amplificadores lineares de alta frequência, análise das suas características (estabilidade, ganho, adaptação e factor de ruído) e comportamentos. A caracterização dos dispositivos do amplificador será realizada através dos parâmetros distribuídos - parâmetros S.

Utiliza-se um transistor da Hewlett-Packard (HP) ATF-35176, um transistor que utiliza tecnologia PHEMT (*Pseudomorphic High Mobility Transistor*), preparado para trabalhar em altas frequências.

2 Plano de Trabalhos

As especificações do amplificador a construir podem ser consultadas na tabela seguinte, tal como as características do substrato plástico para alta-frequência da Taconic (TLY -3-0310-CH/CH), sobre qual o transistor irá ser implantado.

Tabela 1: Características do amplificador a projectar.

Especificação	Símbolo	Valor
Ganho de Transdução	GT	GT _{max}
Tensão <i>drain-source</i>	V _{DS}	1.5 V
Corrente <i>drain-source</i>	I _{DS}	20 mA
Resistência da fonte e da carga	R _G e R _C	50 Ω
Constante dieléctrica	ε _r	2.3
Espessura do substrato	h	0.35 mm
Espessura da metalização	t	0.018 mm
Tangente de perdas	σ	0.001
Frequência central	f ₀₁	22 GHz

De notar que o valor da espessura do substrato foi modificado de 0.78 mm para 0.35 mm com o objectivo de garantir propagação transversal nas linhas de microfita, ou seja, garantir que estas têm um comprimento maior que a largura.

Numa primeira fase do trabalho laboratorial é projectado e simulado o amplificador uniandar com linhas simétricas. Na segunda fase o amplificador é projectado com tecnologia de microfita.

2.1 Projecto de um amplificador uniandar

2.1.1 a) Projecto do amplificador com linhas ideais

Nesta primeira fase, o amplificador é constituído pelo transistor descrito anteriormente, no entanto, todos os dispositivos utilizados no seu projecto e simulação são dispositivos ideais.

PFR Pretendido

Em primeiro lugar, é feita uma análise DC ao transistor que tem em vista obter o ponto de funcionamento em repouso (PFR) especificado. O circuito que nos permitiu alcançar essa análise é o que se vê na Figura 1.



Figura 1: Circuito utilizado para obter o PFR desejado.

A análise DC serve para descobrir o valor de V_{GS} correspondente ao PFR desejado. No circuito da Figura 1 existe um componente denominado de I_Probe que tem como objectivo controlar o valor de I_D à medida que o valor de V_{GS} varia. Um excerto dos resultados desta análise pode ser consultado na Figura 2, onde se pode concluir que o valor da tensão V_{GS} que melhor corresponde a uma corrente I_D de 20 mA (20.03 mA) é de -0.277 V.

Vgs	I_Probe1.i
-0.290	19.06 mA
-0.289	19.13 mA
-0.288	19.21 mA
-0.287	19.28 mA
-0.286	19.35 mA
-0.285	19.43 mA
-0.284	19.50 mA
-0.283	19.58 mA
-0.282	19.65 mA
-0.281	19.73 mA
-0.280	19.80 mA
-0.279	19.88 mA
-0.278	19.95 mA
-0.277	20.03 mA
-0.276	20.11 mA

Figura 2: Valores de V_{GS} correspondentes à corrente de I_Probe .

Análise em Alta-Frequência

Com o transistor a funcionar no PFR desejado, é preciso construir um novo circuito que contenha condensadores e bobines ideais, DC_Block e DC_Feed , respectivamente, para que seja possível realizar a simulação dos parâmetros S. Este circuito apresenta-se de seguida.

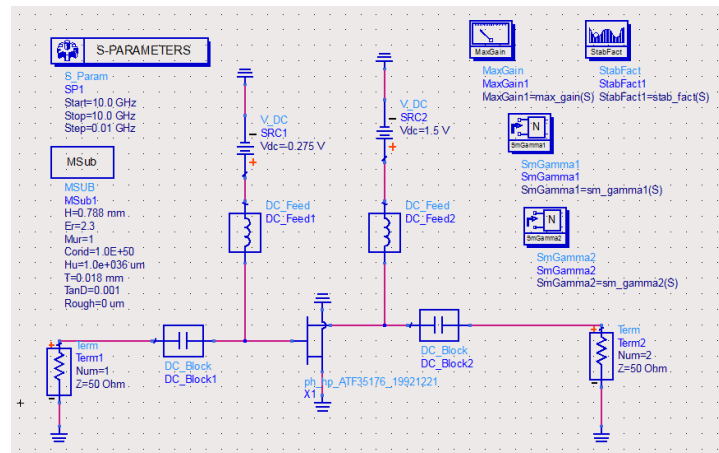


Figura 3: Circuito utilizado para obter o valores dos parâmetros S.

Simulando o circuito anteriormente projectado foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros S, K (parâmetro de estabilidade), MAG (*maximum available gain*) e para as cargas de adaptação para o transistor à frequência central.

Tabela 2: Parâmetros que definem o transistor.

S_{11}	S_{12}	S_{21}	S_{22}	K	MAG	$\rho_{S(ACS)}$	$\rho_{L(ACS)}$
$0.621\angle 57.623^\circ$	$0.108\angle -135.301^\circ$	$1.958\angle -117.117^\circ$	$0.311\angle 31.533^\circ$	1.236	9.664	$0.784\angle -59.529^\circ$	$0.628\angle -39.020^\circ$

De notar que os valores obtidos experimentalmente para os parâmetros S não podem ser verificados na *datasheet* do transistor, uma vez que esta apenas especifica o comportamento do ATF-35176 para frequências entre 2 GHz e 18 GHz.

Com os valores da Tabela 2 determinados pode-se calcular o valor de Δ , ou seja, o determinante da matriz de dispersão:

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{21}S_{12} = 0.067\angle -7.24^\circ. \quad (2.1)$$

Como se pode ver, $K = 1.236 > 1$, $|\Delta| = 0.067 < 1$ e $|S_{ii}| < 1$, pelo que o transistor é incondicionalmente estável.

Projeção da Malha de Entrada e de Saída

Optou-se por projectar a malha de entrada e de saída com a Carta de Smith, recorrendo ao ADS. Como $K > 1$ é possível efectuar adaptação conjugada simultânea (ACS) e, como se pretende adicionar elementos às malhas sabe-se que:

$$\rho_{in} = \rho_S^* \text{ e } \rho_{out} = \rho_L^*. \quad (2.2)$$

O circuito com malhas de adaptação é apresentado de seguida.

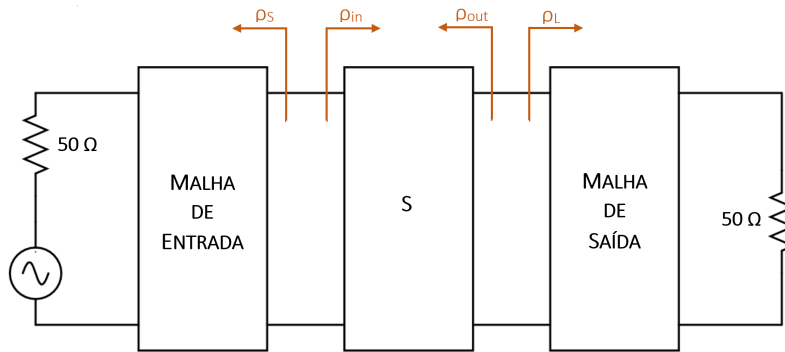


Figura 4: Circuito que inclui as malhas de adaptação à entrada e à saída.

Começando pela malha de entrada, ou seja, pelo gerador e sabendo que a malha de adaptação é do tipo linha-*stub*, o circuito que se pretende projectar é da seguinte forma.

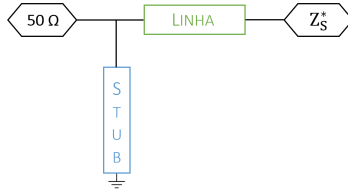


Figura 5: Malha de adaptação de entrada.

Esta malha é construída com a adição de elementos, ou seja, *towards generator*. O valor de Z_S^* é de $0.784/-59.529^\circ$.

No ADS, com recurso à Carta de Smith, determinou-se o comprimento eléctrico da linha de entrada, $\theta_{L_{in}}$, e o comprimento eléctrico do *stub*, $\theta_{S_{in}}$.

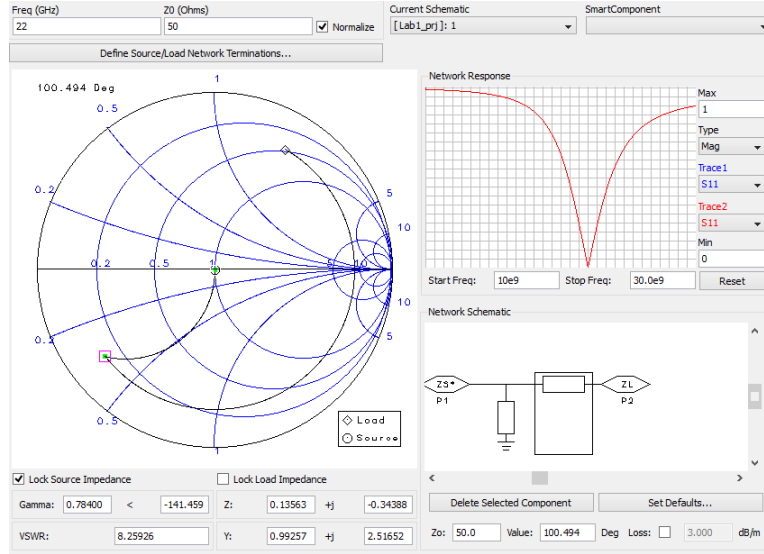


Figura 6: Determinação do comprimento eléctrico da linha de entrada - situação de CC.

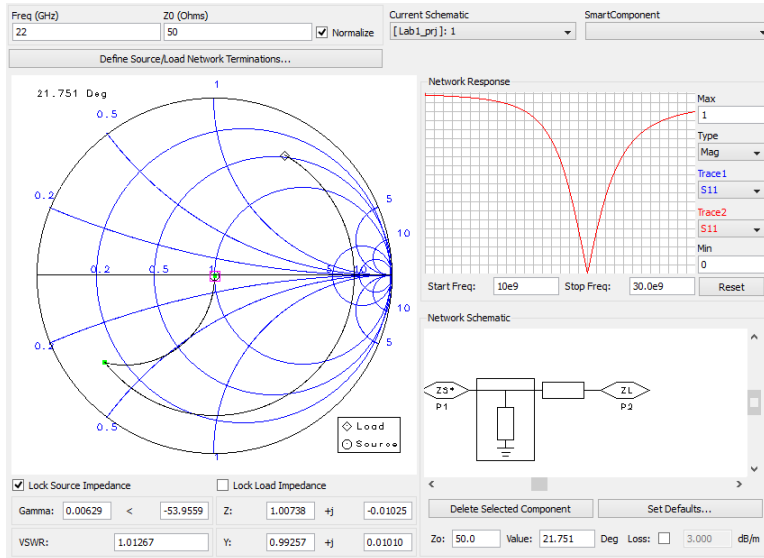


Figura 7: Determinação do comprimento eléctrico do *stub* de entrada - situação de CC.

$$\theta_{L_{in}} = 100.494^\circ \text{ e } \theta_{S_{in}} = 21.751^\circ. \quad (2.3)$$

É de notar que os valores determinados anteriormente são para o *stub* terminado em curto-circuito (CC), pois é nessa situação que o *stub* é menor, tal como pretendido. Para verificar, optou-se por projectar a malha de entrada para o *stub* terminado em circuito-aberto (CA).

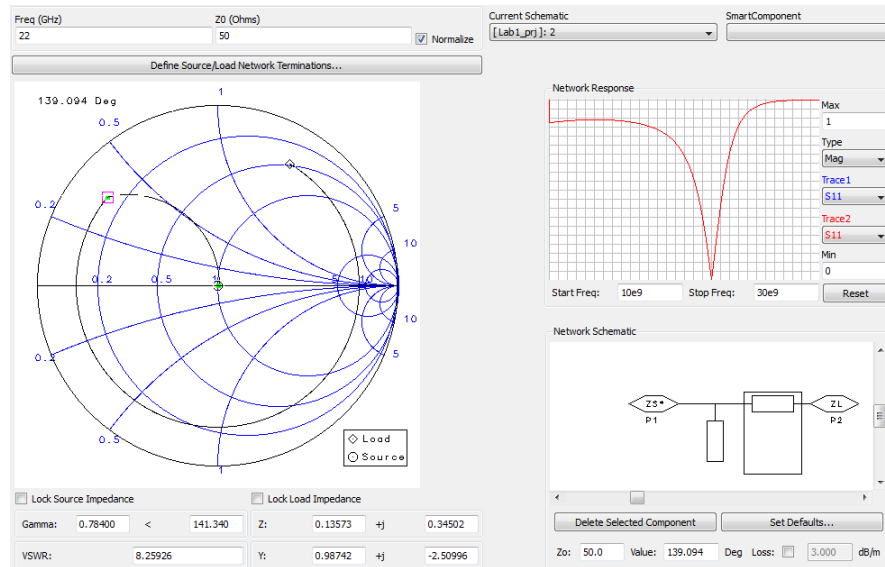


Figura 8: Determinação do comprimento eléctrico da linha de entrada - situação de CA.

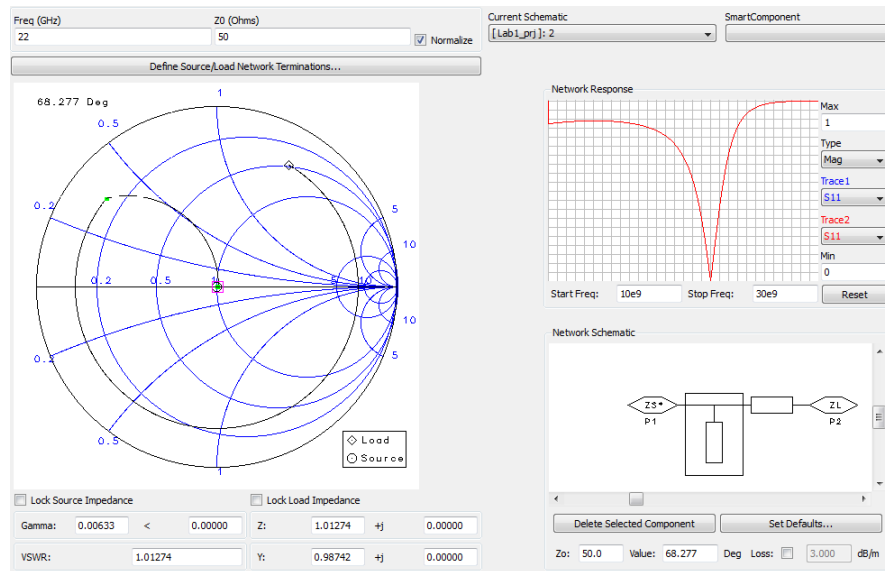


Figura 9: Determinação do comprimento eléctrico do *stub* de entrada - situação de CA.

Como se pode ver, para este caso o *stub* é maior e, como tal, não é a solução preferível.

Olhando agora para a malha de saída, ou seja, para a carga e sabendo que a malha de adaptação é do tipo linha-*stub*, o circuito que se pretende projectar é da seguinte forma.

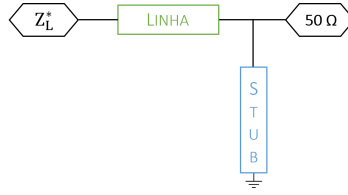


Figura 10: Malha de adaptação de saída.

Esta malha é construída com a adição de elementos, ou seja, *towards generator*. O valor de Z_L^* é de $0.628/39.020^\circ$.

No ADS, com recurso à Carta de Smith, determinou-se o comprimento eléctrico da linha, $\theta_{L_{out}}$, e o comprimento eléctrico do *stub*, $\theta_{S_{out}}$.

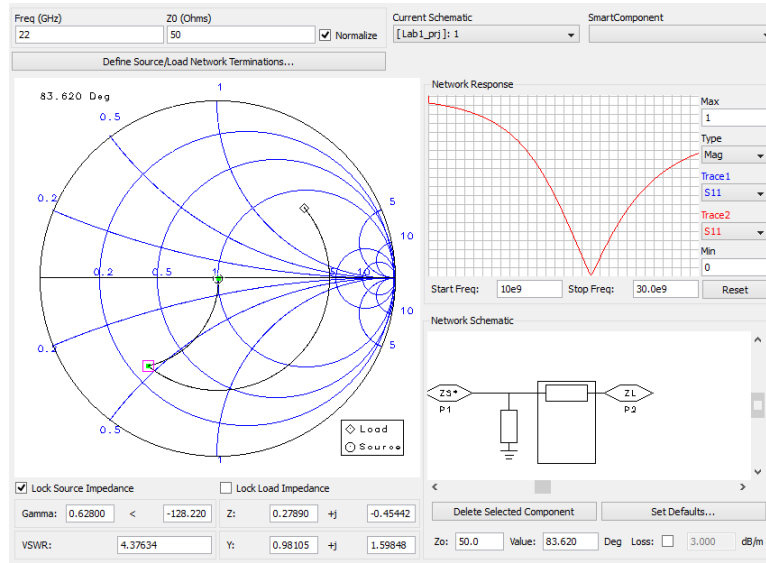


Figura 11: Determinação do comprimento eléctrico da linha de saída - situação de CC.

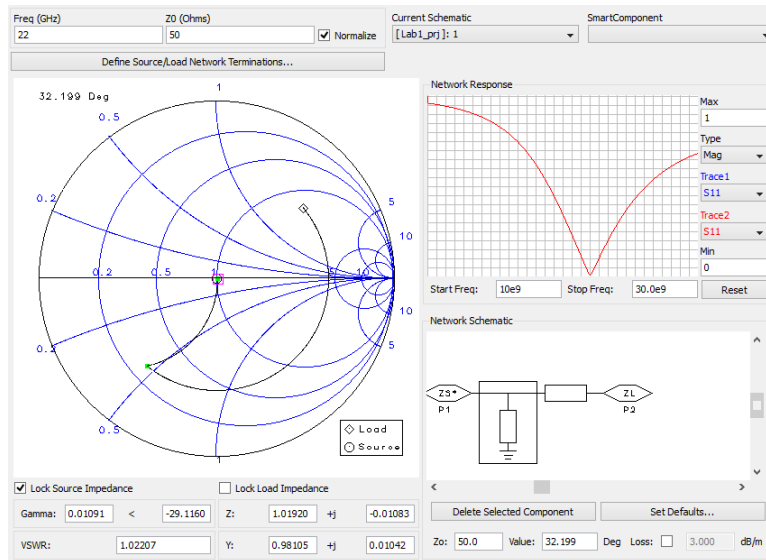


Figura 12: Determinação do comprimento eléctrico do *stub* de saída - situação de CC.

$$\theta_{L_{out}} = 83.620^\circ \text{ e } \theta_{S_{out}} = 32.199^\circ. \quad (2.4)$$

Simulação do Amplificador Ideal

Após obtermos os valores dos comprimentos eléctricos dos dispositivos que compõem as malhas de adaptação de entrada e saída através do ADS, poderemos então projectar um amplificador com malhas ideais compostas por dispositivos sem perdas. O circuito projectado pode ser observado na Figura 13.

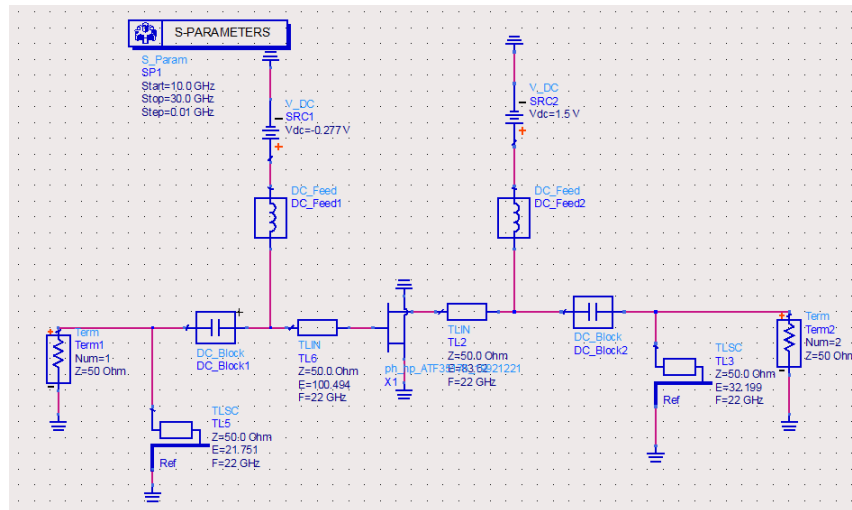


Figura 13: Determinação do comprimento eléctrico do *stub* de saída - situação de CC.

2.1.2 b) Projecto do amplificador utilizando tecnologia microfita

2.2 Concretização do amplificador em tecnologia de microfita

2.2.1 a) Introdução de elementos que simulam descontinuidades nas linhas

2.2.2 b) Substituição do transístor e condensadores

3 Conclusões