



Universidade Federal de Uberlândia

## Prática 5: casamento de impedância

*Prof. Alan Petrônio Pinheiro*

Faculdade de Engenharia Elétrica  
Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações

---

### Referências teóricas

Para entendimento teórico mais aprofundado sobre os temas aqui tratados recomenda-se a leitura da referência [1], especialmente o capítulo 4.

### 1 - Objetivos da prática

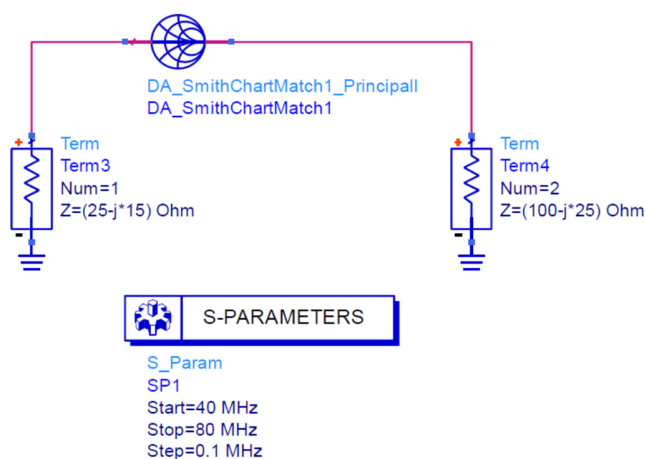
O objetivo desta prática é mostrar, através de simulação, a importância do casamento de impedância para a máxima transferência de potência de um sinal.

### 2 - Práticas

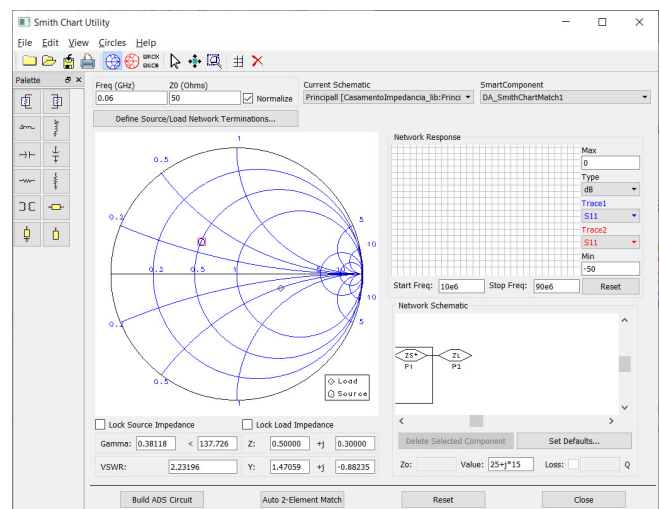
#### 2.1 – Casando impedância entre duas cargas complexas com o ADS

##### Procedimentos:

- 1) Monte o circuito da Figura 1a. Deseja-se para este exemplo casar a impedância entre carga e fonte. Estes valores de impedância são referentes à frequência de interesse neste circuito que é de **60MHz**.
  - a. O componente DA\_SmithCharMatch1 pode ser encontrado na paleta Smith Char Matching.
  - b. Observe que o componente Term deve ter a propriedade Num valendo 1 (fonte) e 2 (na carga). Trata-se da porta que é usada como análise dos parâmetros S e por isto deve ser incremental e começar em 1.





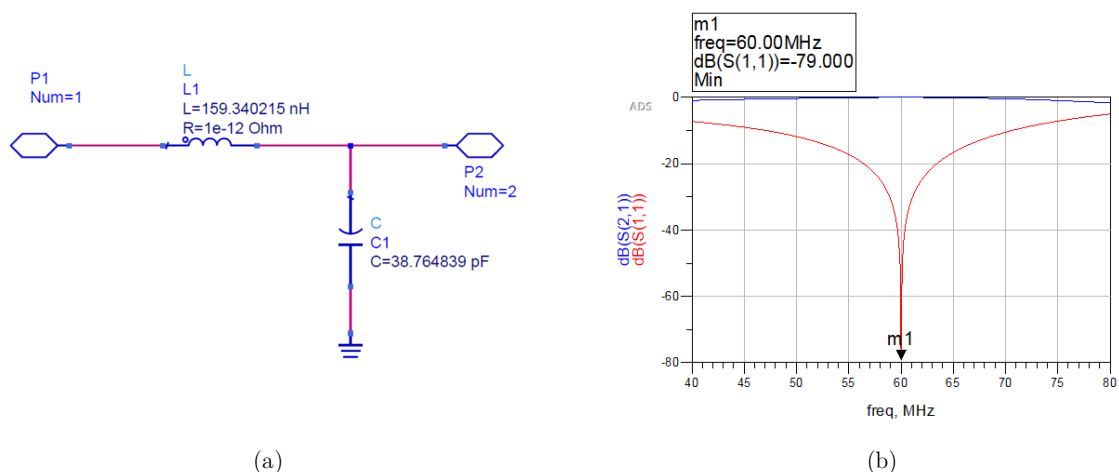
(a)



(b)

**Figura 1** – (a) Circuito para realizar casamento de impedância. (b) Janela da ferramenta Tool >> Smith Chart...

- 2) Agora, deve-se configurar o componente DA\_SmithCharMatch1 inserido. Para isto, faça:
  - a. No campo SmartComponent(canto superior direito), selecione o objeto que você inseriu entre as duas cargas para indicar onde se quer casar impedância.
  - b. No quadro "Network schematic", selecione com o mouse a carga clicando em "Zs\*" e logo em seguida clicando inserindo no campo Value logo abaixo o valor conjugado da carga de fonte. O valor deste campo deve ser  $25+j*15$  (complexo conjugado).
  - c. Faça o mesmo para ZL atribuindo a ele o valor  $100-j*25$ .
  - d. Sugere-se marcar o campo "Lock load impedance" para evitar que cliques do mouse na área do gráfico da carta de Smith mudem a posição da carga e fonte no mapa.
  - e. No campo "Freq (GHz)" na porção superior esquerda da tela, indique a frequência que você deseja trabalhar. Neste caso é 60MHz (ou 0.06 GHz).
- 3) Depois de configurado, clique no botão "Auto 2-Element Match" e por fim, em "Build ADS Circuit".
  - a. Outra opção (mais manual) para se fazer o casamento é ir selecionando na paleta de componentes (lado esquerdo superior da Figura 1b) os componentes que você deseja usar para casar impedância e no gráfico da carta de Smith, ir traçando o caminho da carga até a fonte. Quando interligar os arcos destes 2 caminhos, tem-se os elementos (C e L) necessários para o casamento. Neste caso, o circuito vai sendo desenhando na porção da tela designada de "Network schematic".
- 4) Feito o casamento, selecione o componente que fez o casamento de impedância e clique no botão  para ver os componentes gerados (ver Figura 2a). Para regressar a tela de projeto principal, basta clicar em .
- 5) Para entender os efeitos, deve-se criar um gráfico plotando os parâmetros  $S_{11}$  e  $S_{21}$  do circuito. O resultado é visto na Figura 2b. Lembre-se que  $S_{21}$  pode ser entendido como ganho do circuito e  $S_{11}$  pode ser avaliado diretamente como coeficiente de reflexão da porta de entrada (e indiretamente como impedância de entrada, ou descasamento da impedância de entrada). Observe que ele é mínimo justamente na frequência de projeto (60MHz).



**Figura 2** – (a) Circuito resultante para casar a impedância entre as cargas ilustradas na Figura 1a. (b) Gráfico comparando S11 e S21 do circuito com impedância casada.

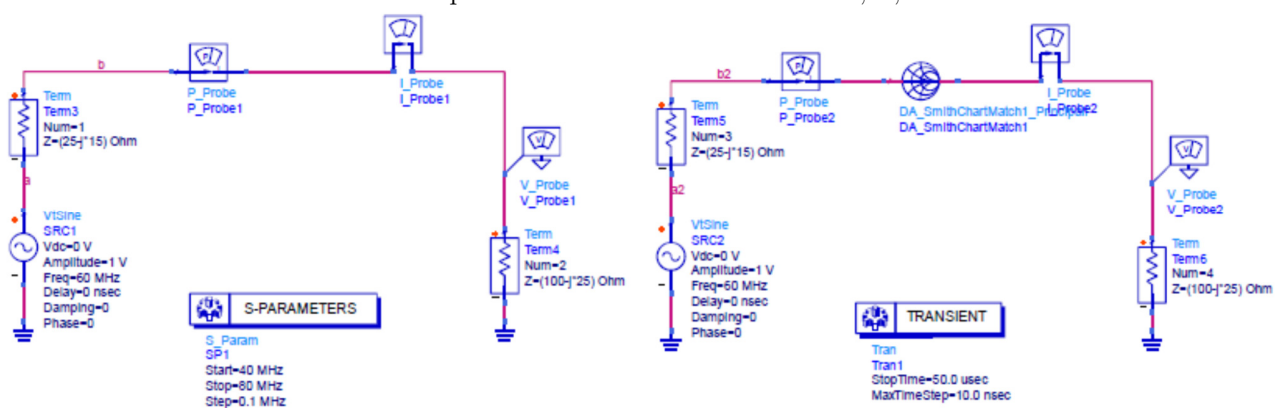
Com base neste exemplo, responda:

- Qual foi o ganho de que se obteve (em dB) ao se fazer o casamento de impedância? (compare o ganho antes do casamento e após o casamento).

## 2.2 – Verificando o ganho de potência

### Procedimentos:

- Com base no circuito anterior (Figura 1a), deve-se agora identificar os efeitos no tempo do casamento de impedância. Para isto, monte simultaneamente no mesmo projeto os circuitos que se vê na Figura 3.
  - Neste caso, foi inserido os componentes I\_Probe, P\_Probe e V\_Probe. Ambos podem ser encontrados na paleta Probe Components e medem, respectivamente, a corrente, potência e tensão no ponto onde se encontram do circuito.
  - Observe também que foram definidas as variáveis a, b, a2 e b2 em ambos circuitos.

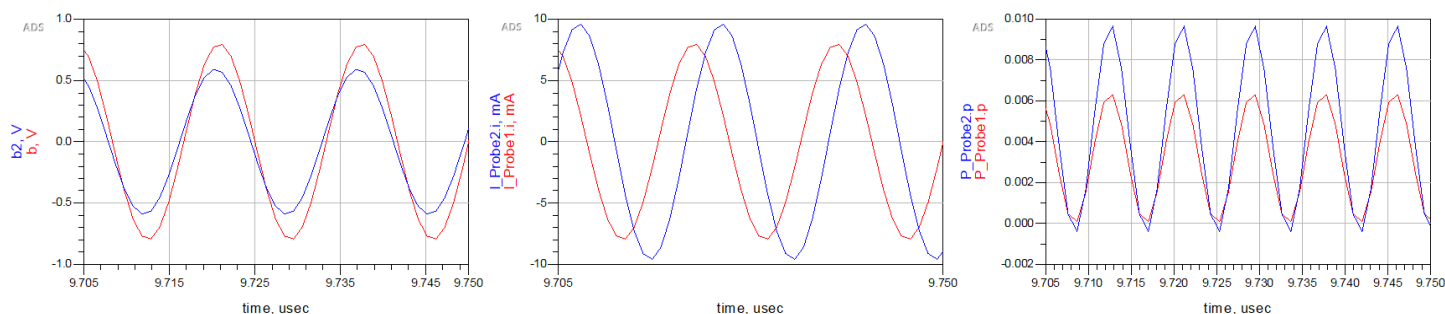


**Figura 3** – Dois circuitos para mostrar os efeitos do casamento de impedância. No circuito da esquerda não há casamento da impedância e no da direita (mesmo  $Z_s$  e  $Z_L$ ) há.

- Depois de inseridos os circuitos, simule e gere 3 gráficos *no tempo* a saber:

- De **tensão** que entra na carga nos 2 cenários (com casamento e sem casamento de impedância). Neste caso, são os pontos b e b2.
- De **corrente** que entra na carga nos 2 cenários (com casamento e sem casamento de impedância).
- De **potência** que chega à carga nos 2 cenários (com casamento e sem casamento de impedância).

O resultado final destes 3 gráficos deve ser algo similar ao que se vê na Figura 4. Observa-se pelo gráfico visto em 4c que a carga casada teve aumento de potência próximo de 50% apenas com a inserção de 1 capacitor e 1 indutor. Ou seja, uma simples inserção de 2 componentes reativos consegue aumentar o ganho de potência do próximo estágio (representando como uma carga) em até 50%.



**Figura 4** – (a) Comparação entre os gráficos de tensão na carga descasada (vermelho) e casada (azul). (b) Comparação entre os gráficos de corrente na carga descasada (vermelho) e casada (azul). (c) Comparação entre os gráficos de potência na carga descasada (vermelho) e casada (azul).

- Outra forma de se visualizar os efeitos do casamento de impedância e analisando os parâmetros S de ambos circuitos (com casamento e sem casamento). Para isto, observe que as portas (propriedade Num do componente Term) 1 e 2 do circuito da esquerda da Figura 3 são 1 e 2. Já as portas 1 e 2 do circuito da direita da Figura 3 são numeradas como 3 e 4 (correspondente ao número que se vê no parâmetro Num do componente Term). Assim, para gerar o gráfico de parâmetros S, observe a nomenclatura do ADS, sabendo que neste exemplo:

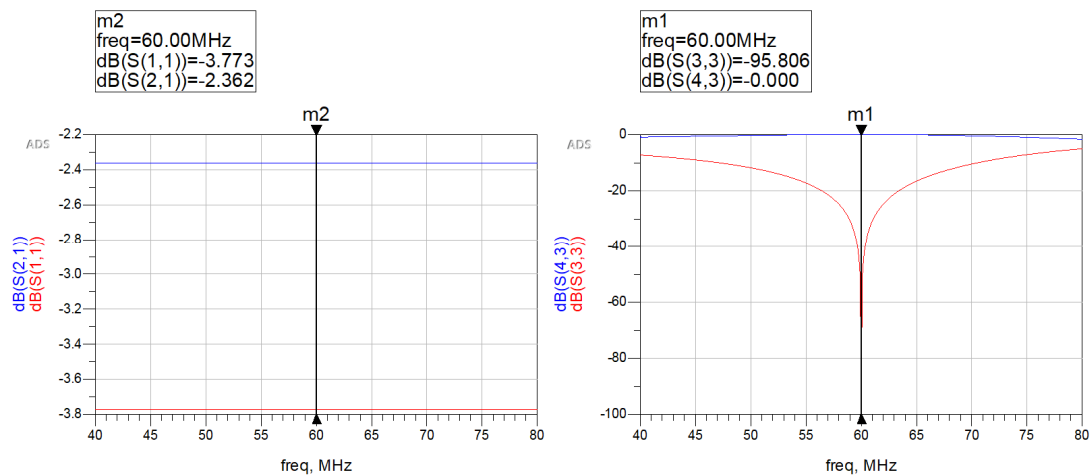
$$S_{11\_circuito\_sem\_casamento} = S(1,1)$$

$$S_{21\_circuito\_sem\_casamento} = S(2,1)$$

$$S_{11\_circuito\_com\_casamento} = S(3,3)$$

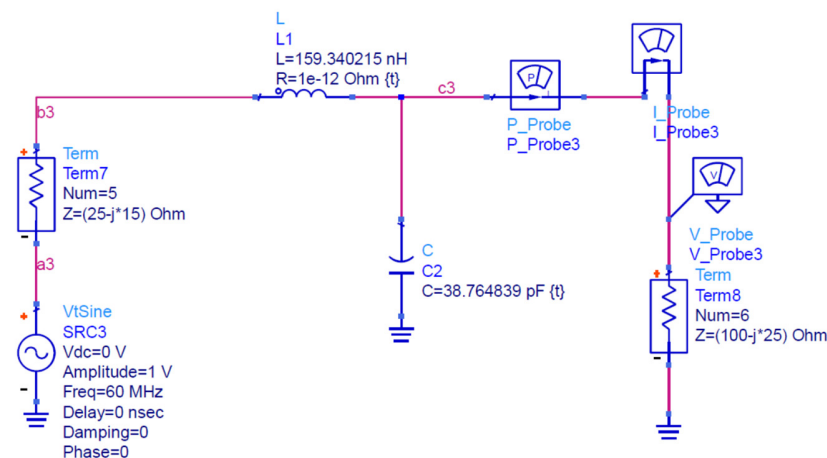
$$S_{21\_circuito\_com\_casamento} = S(4,3)$$

O resultado final é mostrado na Figura 5.



**Figura 5** – Comparação entre as curvas de S11 e S21 do circuito sem casamento de impedância (esquerda) e do circuito com casamento de impedância (direita).

- 4) Por fim, vamos verificar se de fato foi alcançado um ponto ótimo neste casamento. Para isto, converta o bloco `Da_SmithChartMatch1` (Figura 3 direita) nos componentes calculados como se vê na Figura 6. Recomenda-se, para fins de custo computacional, deixar neste caso apenas o adaptador “S-Parameters” (mesmo visto na Figura 3). Feito o circuito, aplique o recurso de tuning em L1 e C2 desta figura. Varie estes valores e veja o resultado no gráfico de S(6,5) versus S(5,5) que equivalem, respectivamente, a  $S_{21}$  e  $S_{11}$  do circuito.



**Figura 6** – Remodelagem do circuito com impedância casada para 60MHz. Agora pode-se aplicar tuning nos componentes usados para casar impedância (L1 e C2) para verificar os efeitos destes no circuito.

### 3 - Reflexões a serem feitas sobre o experimento

- Por que, ao aumentar a eficiência da potência recebida, podemos dizer que o efeito prático é permitir que o receptor possa afastar-se cada vez mais do transmissor propiciando um maior alcance na transmissão.
- Ao inserir os capacitores e indutores de casamento de impedância, mudamos a potência total recebida pelo circuito? Ainda, ao casar a impedância, aumentamos em aproximada 50% a

potência recebida. Antes de casarmos a impedância, eram gastos esta potência que passou a chegar na carga?

- c) Repita o exemplo anterior (ou seja, encontre L4 e C8) para casar impedância considerando agora uma portadora de 1GHz. Mostre seus resultados e o circuito (simulado) sem o casamento de impedância e com o casamento de impedância para verificar se ele teve efeito.
-