

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
EEL 7319 - CIRCUITOS RF

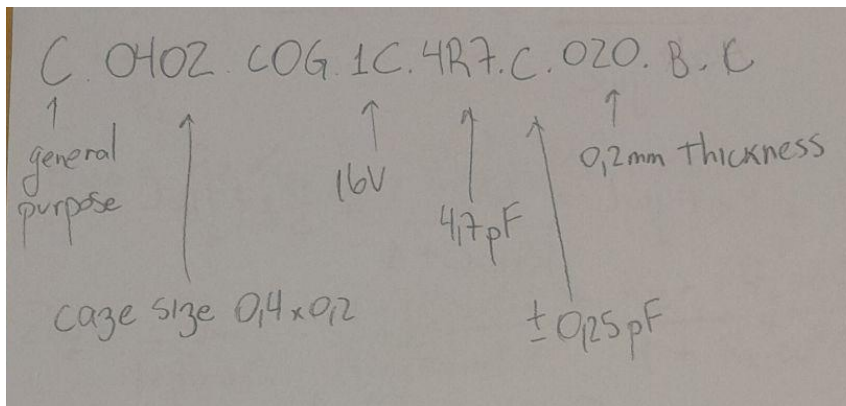
PATRIK LOFF PERES
20103830

Relatório 7 - Componentes Passivos

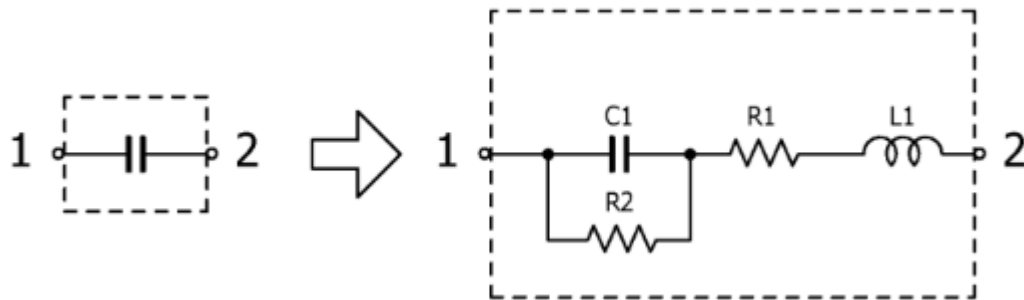
FLORIANÓPOLIS
2023

Prélab

1) Usando o arquivo "mlcc_partnumber_description.pdf" disponível no moodle como suporte, componha o "part number" de um capacitor de 4,7 pF, dielétrico C0G, tamanho 0,4 mm x 0,2 mm x 0,2 mm, 16V, tolerância de $\pm 0,25$ pF;

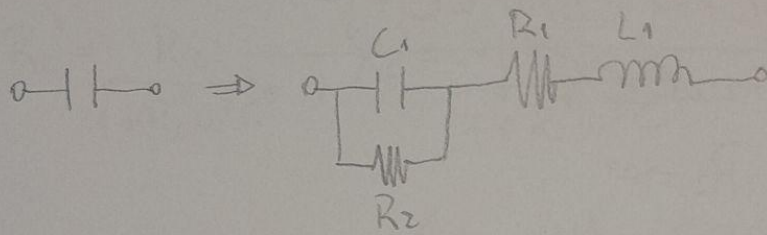


2) No documento "modelos_de_capacitores_TDK.pdf" disponível no moodle procure um modelo de circuito equivalente ao componente especificado na questão 1;



Part No.	C1[pF]	L1[nH]	R1[ohm]	R2[Gohm]
C0402C0G1C4R7C020BC	4.7	0.280	0.3711	10.0

3) Desenhe o modelo equivalente em seu caderno de laboratório e analise-o. Encontre a frequência de auto-ressonância e o $Q@100\text{ MHz}$;

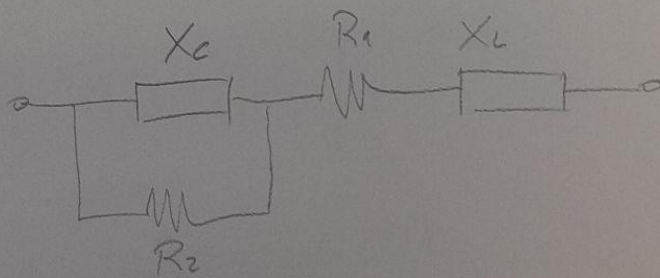


$$C_1 = 4,7\text{pF}$$

$$L_1 = 0,28\text{nH}$$

$$R_1 = 0,3711\Omega$$

$$R_2 = 10\text{ G}\Omega$$



Considerando que $R_2 \rightarrow \infty$

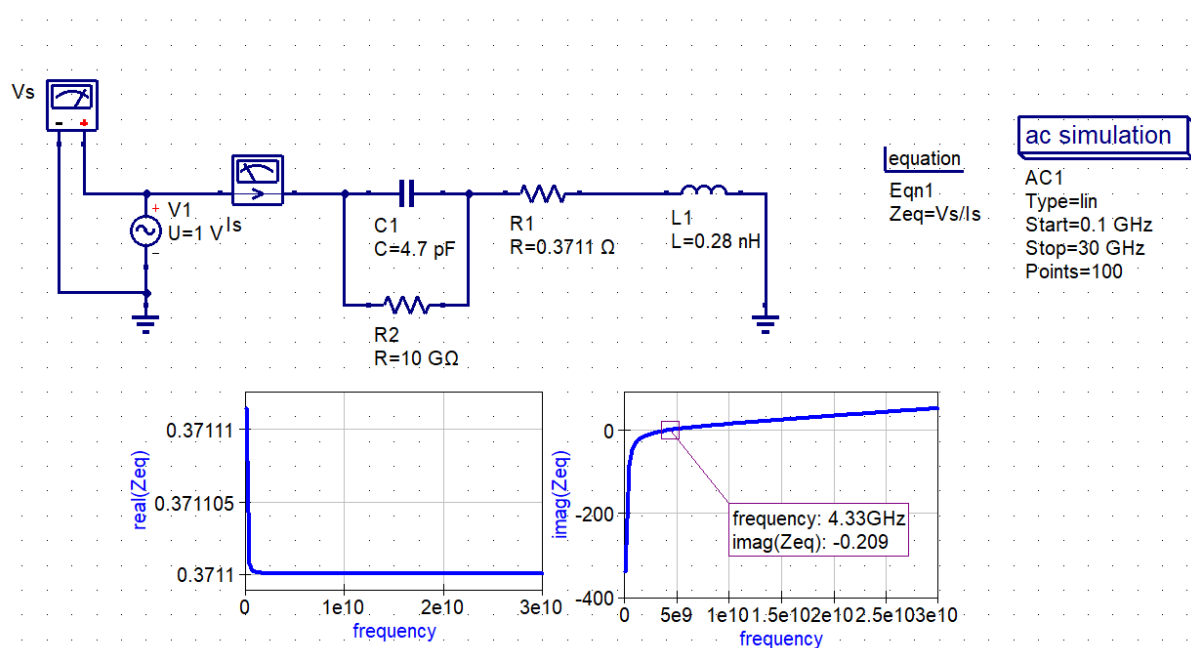
$$Z_{eq} = R_1 + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R_1 + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Ressonância acontece quando $\text{Im}\{Z_{eq}\} = 0$



$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}} \approx 27,56\text{ G rad/s}$$


$$f_r = 4,38\text{ GHz}$$

Fazendo uma simulação simples para conferir os cálculos teóricos:



4). Pesquise o preço de um capacitor similar ao do item 1 em sites de e-commerce de componentes eletrônicos (Digikey, Mouser, Aliexpress);

Imagem	Número de peça	Fabricante	Descrição	Ficha técnica	Disponibilidade	Preços (USD)
Preço por quantidade.						
	Fabricante Nº de ref.: 0603YA4R7CAT2A Nº de ref. da Mouser # 581-0603YA4R7CAT2A	KYOCERA AVX	Capacitores de cerâmica multicamada MLCC - SMD/SMT 16V 4.7pF C0G 0603 0.25pF Obter mais informações	Ficha técnica	9,324 Em estoque	Corte de fita 1: \$0.22 10: \$0.152 100: \$0.077 1,000: \$0.047 Bobina 4,000: \$0.044 8,000: Exibir MouseReel disponível
	Fabricante Nº de ref.: 0402YA4R7CAT2A Nº de ref. da Mouser # 581-0402YA4R7CAT2A	KYOCERA AVX	Capacitores de cerâmica multicamada MLCC - SMD/SMT 16V 4.7pF C0G 0402 .25pF Tol Obter mais informações	Ficha técnica	31,885 Em estoque	Corte de fita 1: \$0.27 10: \$0.183 100: \$0.104 1,000: \$0.064 Bobina 10,000: \$0.05 20,000: Exibir MouseReel disponível

N.º de peça do fabricante	QUANTIDADE DISPONÍVEL	Preço	Séries	Embalagem	Situação do produto	Capacitância	Tolerância	Tensão
1808J0164P70CCT	0	3.000 : \$ 0,54787	-	Fita e carretel (TR)	Ativo	4.7 pF	±0,25pF	16V
CAP CER 4.7PF 16V C0G/NP0 1808	Em estoque	Fita e carretel (TR)						
	Verifique o tempo de espera							
Knowles Syfer								

Os preços estão na faixa dos 20 centavos de dólar, e podem chegar até 5 centavos se comprados grandes quantidades do mesmo componente.

Atividades

1) O bias-Tee da figura abaixo foi projetado para um amplificador que processa sinais na faixa $1 \text{ MHz} < f < 10 \text{ GHz}$.

a) Implemente-o no QucsStudio e reproduza os resultados;

Figura 1 - Bias-Tee ideal

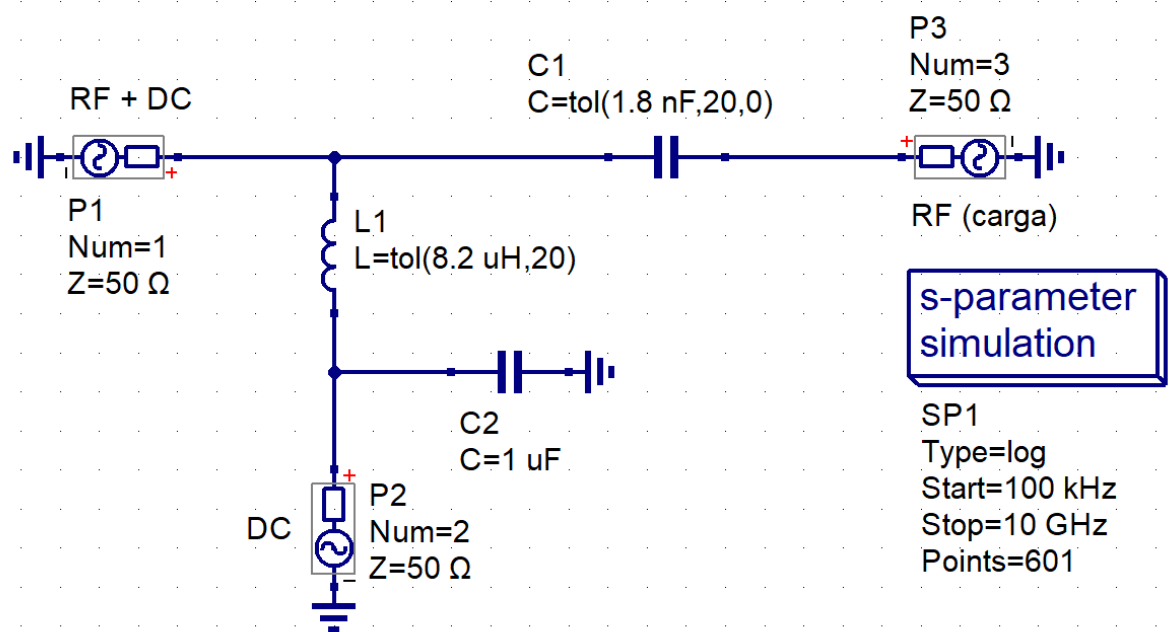


Figura 2 - Ábaco de Smith do circuito da Figura 1

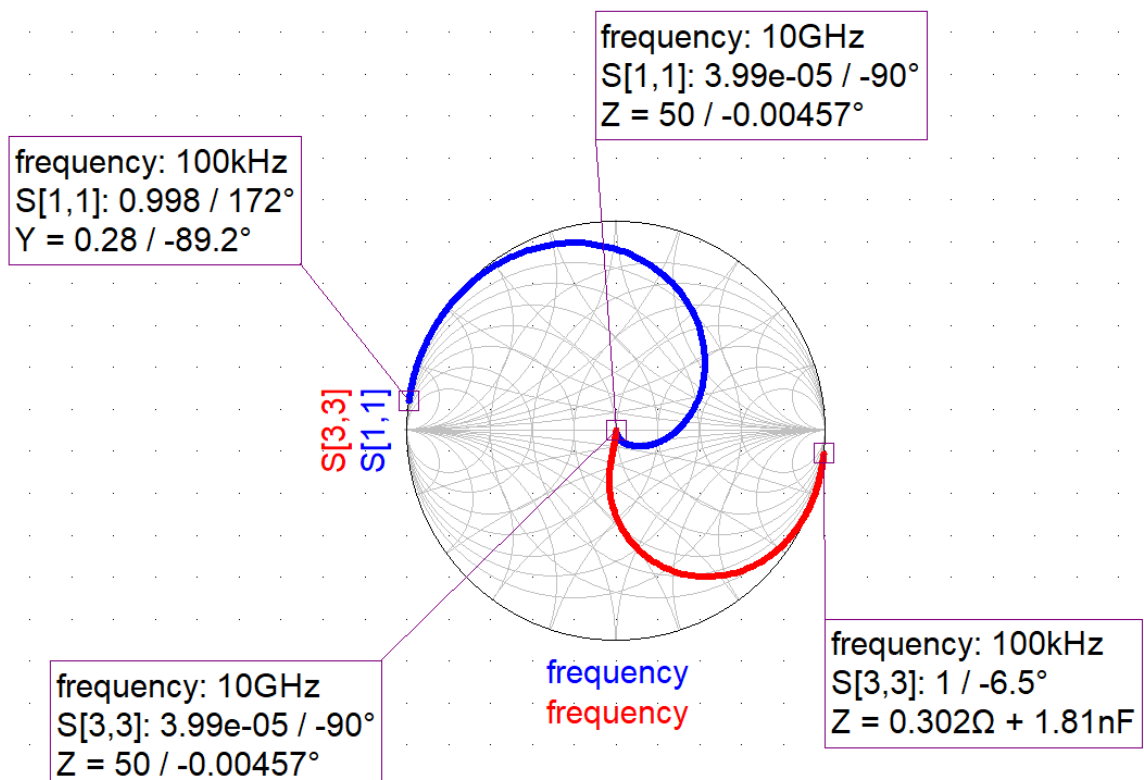


Figura 3 - Ganho da porta 1 para portas 2 e 3

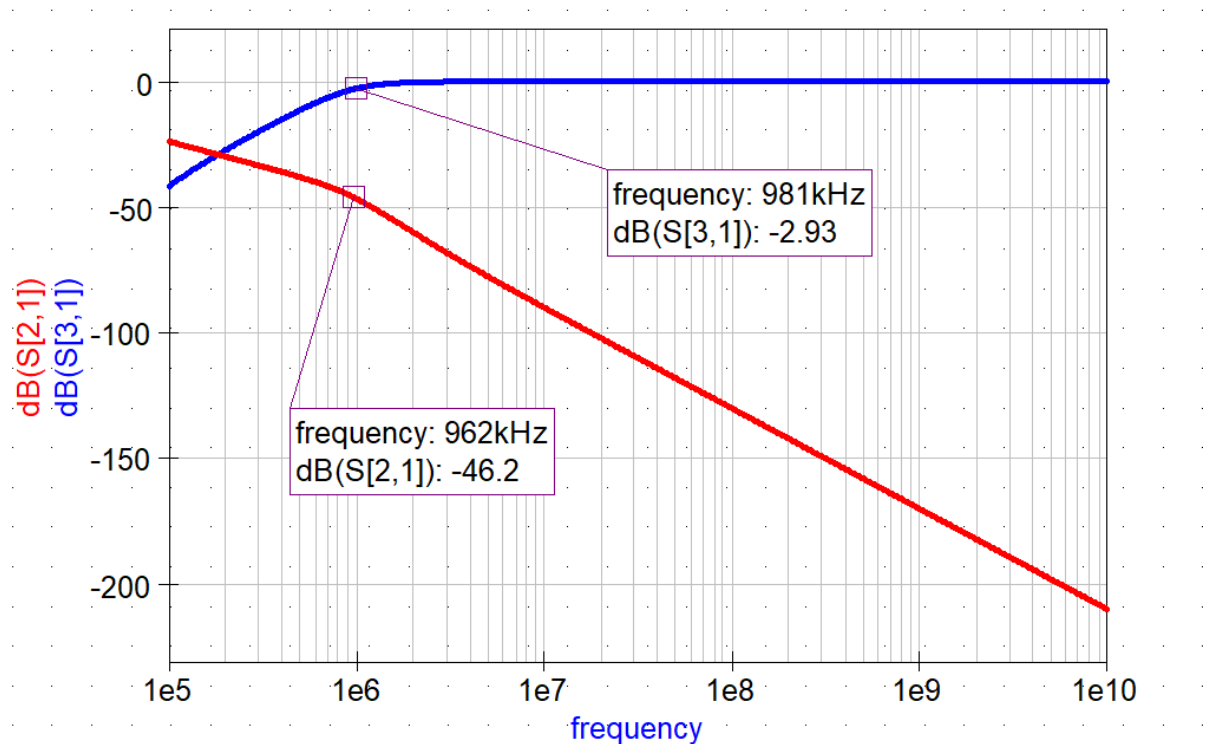
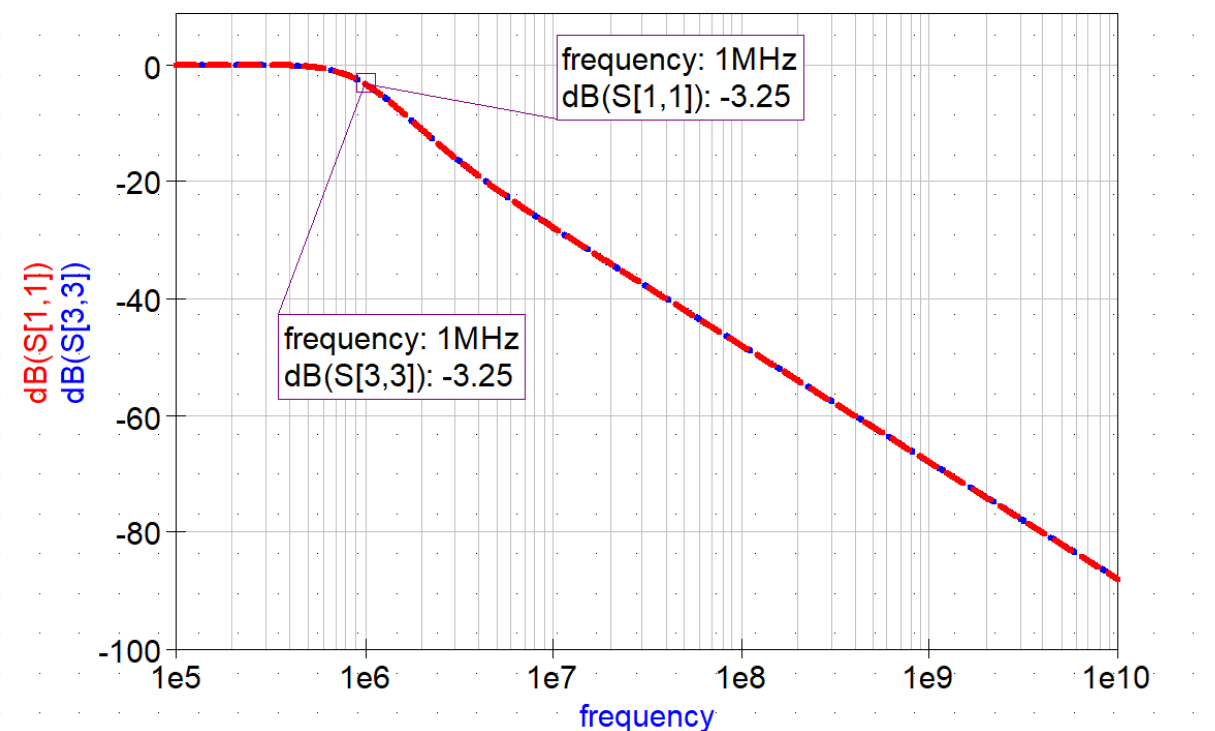


Figura 4 - Coeficientes de reflexão da porta 1 e da porta 3



b) Interprete os gráficos

Do gráfico da figura 3, podemos ver que a curva vermelha se refere ao ganho da porta 1 (RF + DC) para a porta 2 (DC), de fato, esse acoplamento é do tipo passa baixas, então a atenuação é fraca em (relativamente) baixas frequências e aumenta na faixa dos kHz. A curva em azul se refere ao ganho da porta 1 para a porta 3 (RF[carga]), e como queremos que apenas a parte AC do sinal passe

para a carga, sendo a frequência de projeto maior que 10 MHz, a frequência de corte (ou de 3dB) acontece em aproximadamente 100 kHz, 1 década antes do início da faixa de frequência de projeto, de forma a garantir que o sinal que deseja-se mandar para a carga não seja atenuado.

Do gráfico da figura 4, vemos que a magnitude do coeficiente de reflexão da porta 1 e 3 coincidem, sendo 0dB para baixas frequências (ganho 0, o que chega é totalmente refletido de volta) e aumentando a atenuação a partir de 1MHz. Porém nota-se no ábaco de Smith da figura a que há uma divergência entre as curvas, mas com uma certa simetria, que faz com que a magnitude dos coeficientes sejam iguais, mas as fases diferentes, isso pode ser observado com clareza nos pontos de 100kHz no ábaco de Smith onde ambos os coeficientes de reflexão se aproximam de 1, mas o coeficiente da porta 3 não tem inversão de fase, enquanto o coeficiente da porta 1 tem.

c) Explique com detalhes as trajetórias na carta de Smith

A trajetória em azul se refere ao coeficiente de reflexão da porta 1, para frequências baixas a porta 1 vê o terra, pois o indutor L1 é aproximadamente um curto e o capacitor C2 é aproximadamente um curto também pois tem capacitância muito alta para frequências de kHz. O fato da curva estar na parte de cima se deve a porta 1 estar vendo um indutor em paralelo.

Já a trajetória em vermelho, que se refere ao coeficiente de reflexão da porta 3, para frequências baixas a porta 3 vê um circuito aberto, porque o capacitor C1 é suficientemente pequeno (faixa de nanofarads) para garantir isso. O fato da curva estar na parte de baixo se deve a porta 3 estar vendo um capacitor em série.

d) Inclua tolerância de 20% em cada componente (use a função tol(x,y,z) do Qucsstudio) e faça simulação de Monte Carlo. Interprete os resultados.

Figura 5 - Ábaco de Smith do bias-Tee não ideal

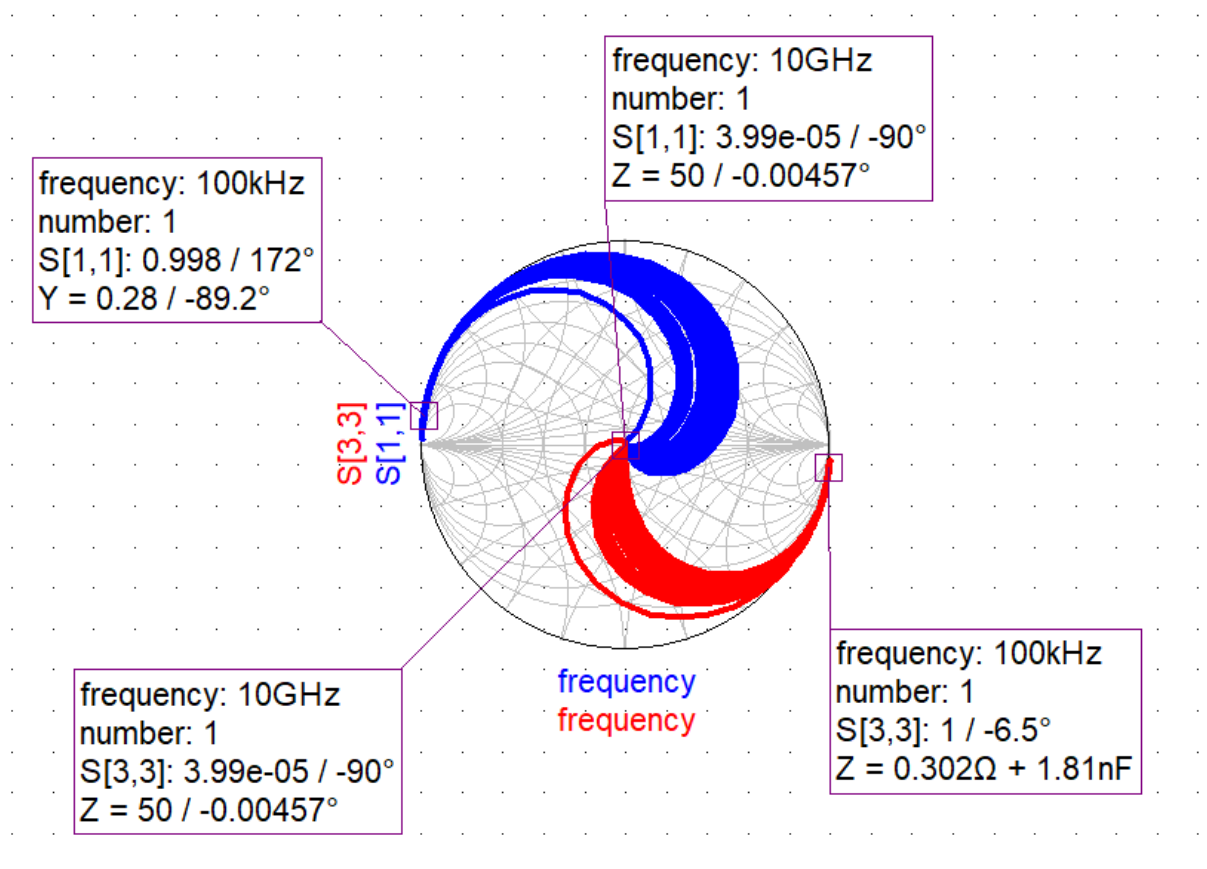
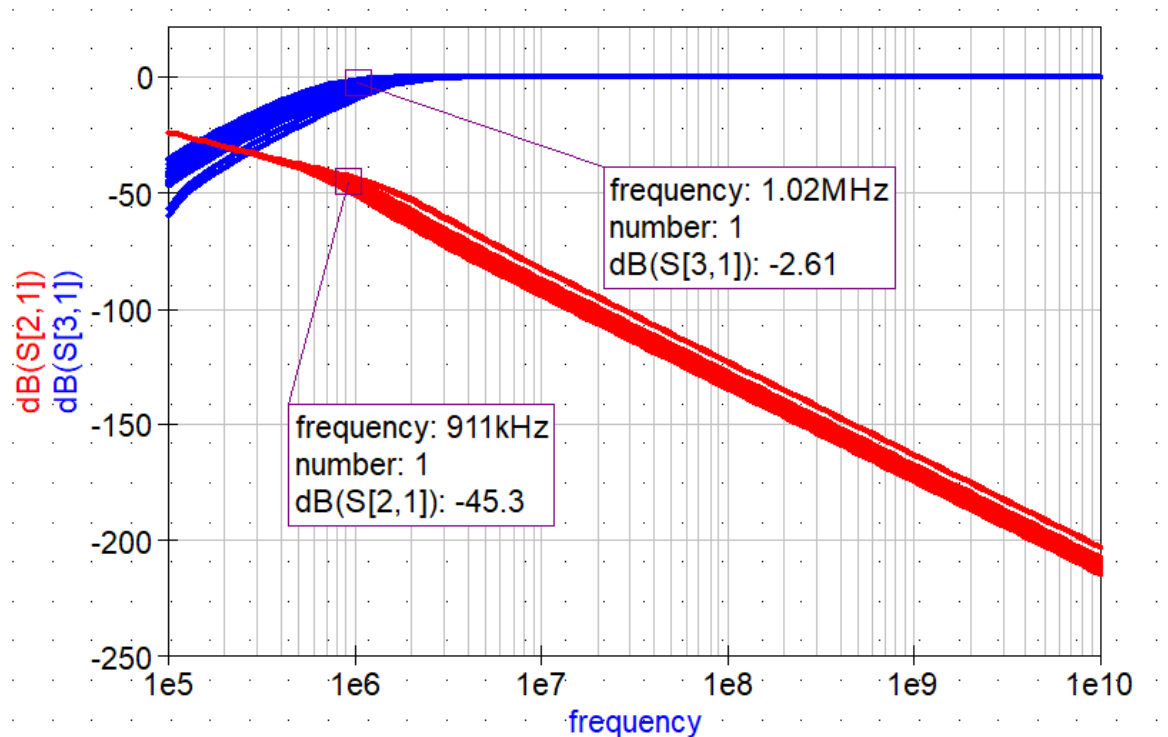


Figura 6 - Ganho da porta 1 para portas 2 e 3 para o circuito não ideal



Variação nos resultados, mas a tendência continua a mesma.

2) Substitua os componentes por modelos de parâmetros S disponibilizados no site do fabricante [1]. Refaça as simulações, plote as novas curvas sobrepostas às aquelas obtidas na questão anterior e interprete os resultados.

Figura 7 - Bias-Tee com parâmetros S do fabricante

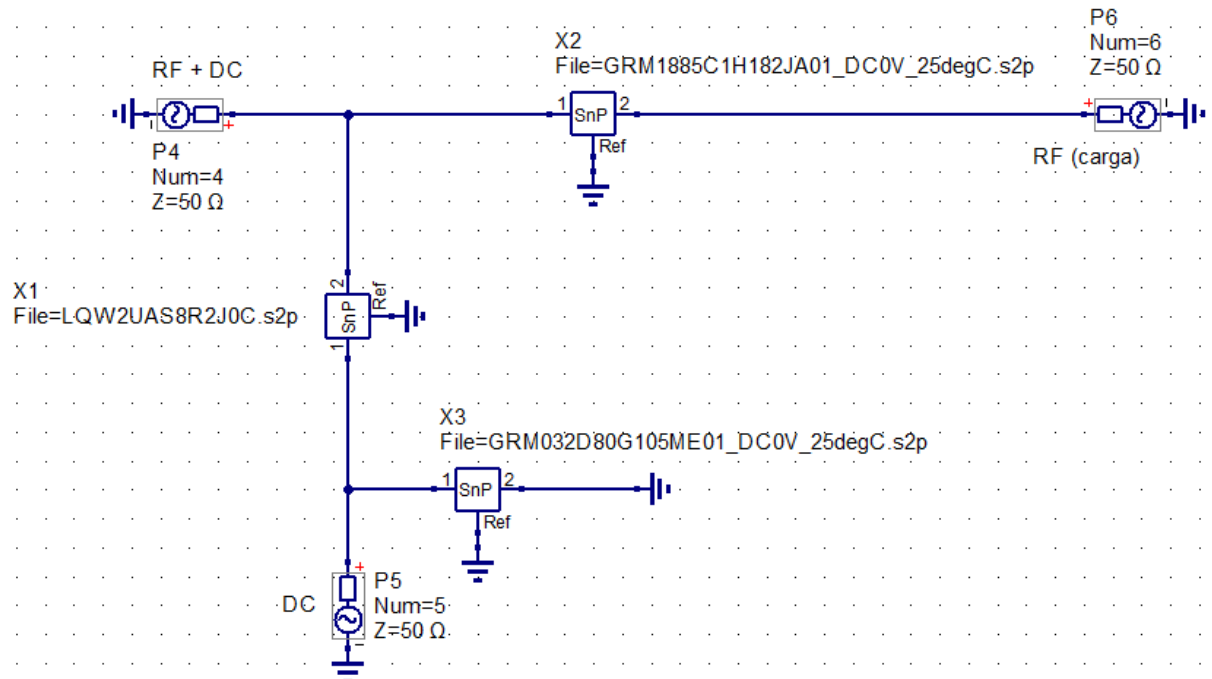


Figura 8 - Ganho da porta RF + DC para Carga

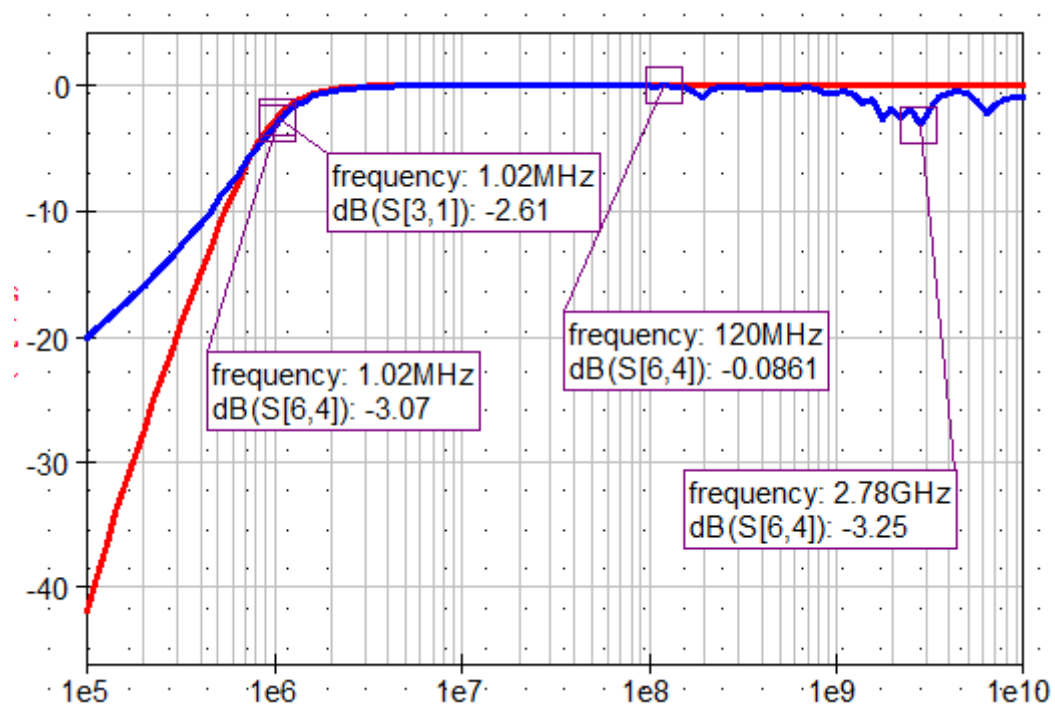


Figura 9 - Ganho da porta RF+DC para DC

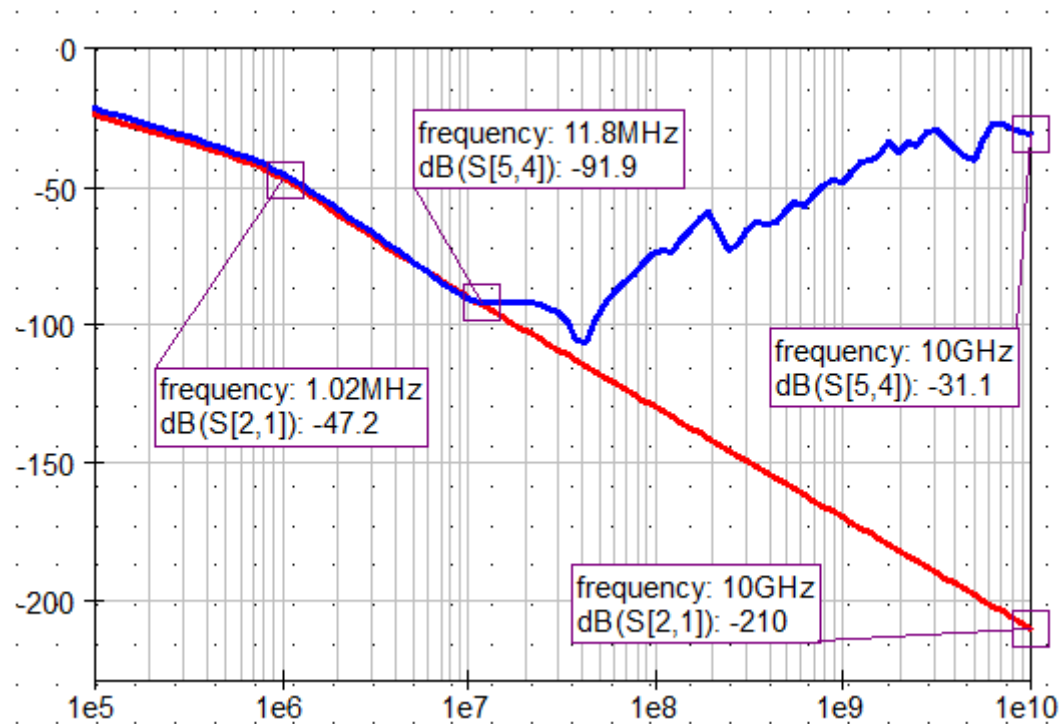


Figura 10 - Coeficiente de reflexão da porta RF+DC

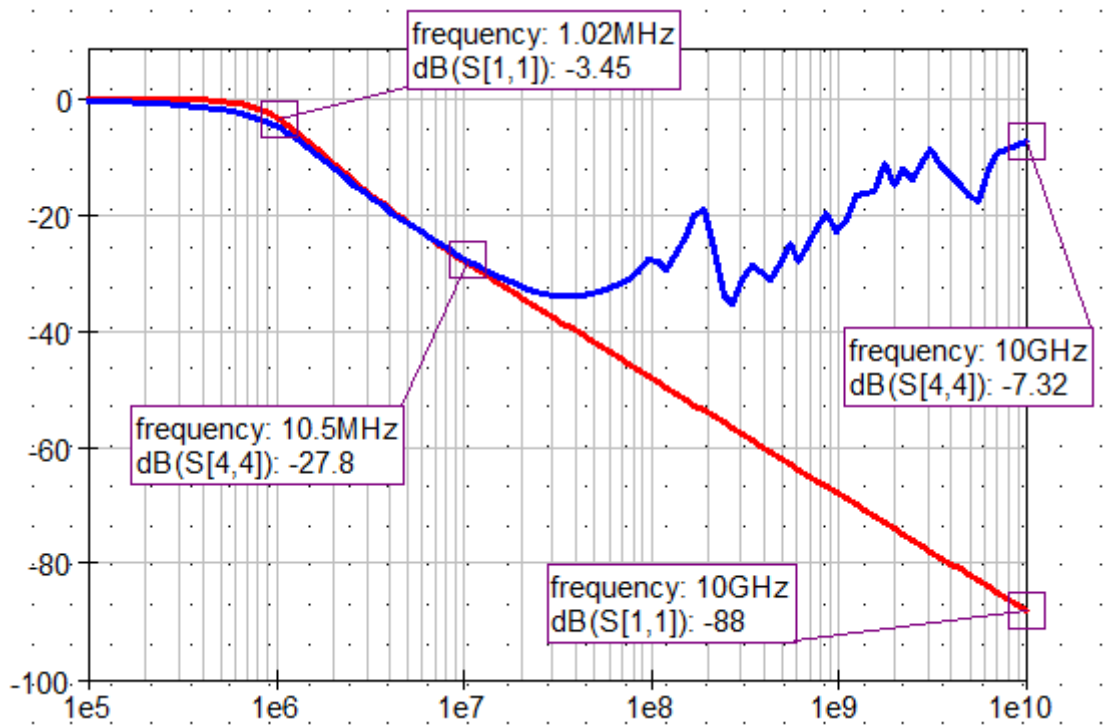
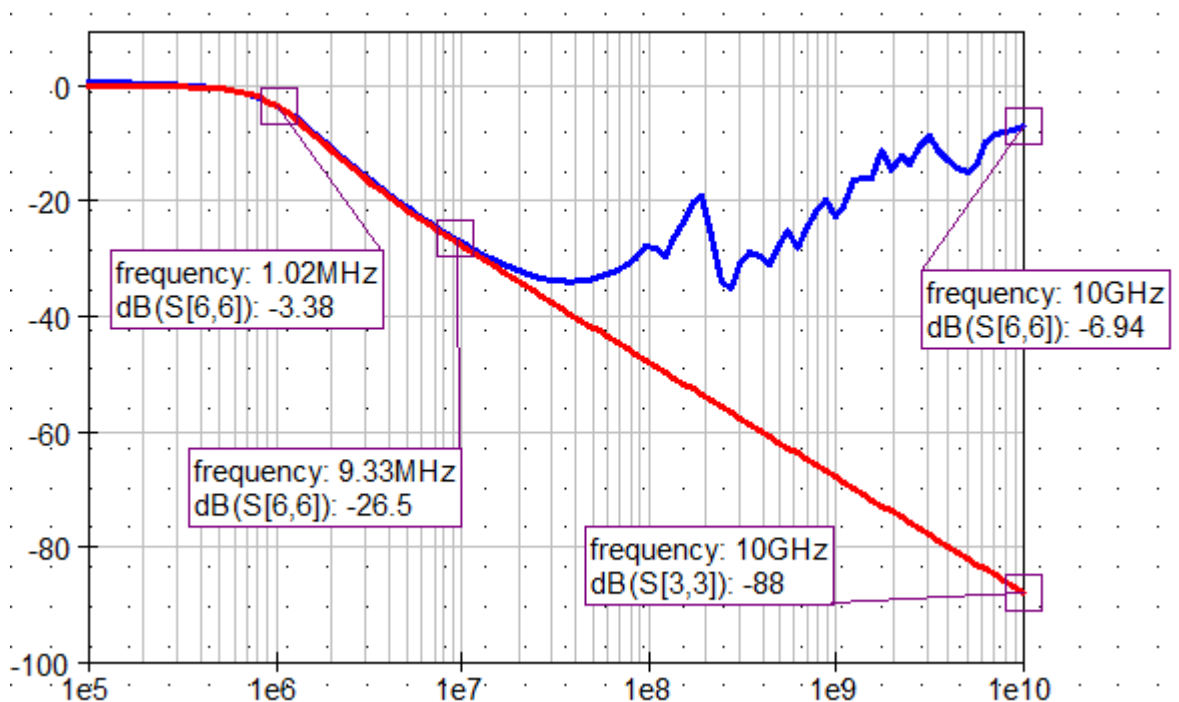


Figura 11 - Coeficiente de reflexão da porta RF(Carga)



As curvas em vermelho representam os resultados do circuito ideal e as curvas em azul os resultados do circuito com os parâmetros S do fabricante. Podemos ver que em todos os parâmetros observados, menos o ganho da entrada para a saída, o circuito tem uma respostas similar a ideal até 10MHz, ponto onde o circuito deixa de aumentar a atenuação com o aumento da frequência, porém continua atenuando até um mínimo de -7dB, dentro da faixa de operação.

Para o ganho da entrada para a saída, vemos que o circuito é muito mais consistente, dentro da faixa de operação se mantém muito próximo do 0dB esperado, com uma atenuação máxima de 3dB próximo a 3GHz.

3) Proponha modificações no circuito para que ele opere na faixa de frequências especificada com a menor perda por inserção e a menor perda por retorno. Refaça as simulações, interprete e justifique os resultados. Caso precise de novos modelos, procure-os no site do fabricante.

Os componentes reais não apresentam as características nominais em toda a faixa de operação, por ela ser muito larga, então uma solução possível é colocar outros indutores em série com L1 ou capacitores em paralelo com C2.

4) O fabricante dos componentes utilizados no item anterior também disponibiliza modelos SPICE (você os encontrará no Moodle). Realize simulações para comparar os modelos SPICE com os modelos de parâmetros S. Interprete os resultados.

Figura 12 - Circuito com o modelo SPICE

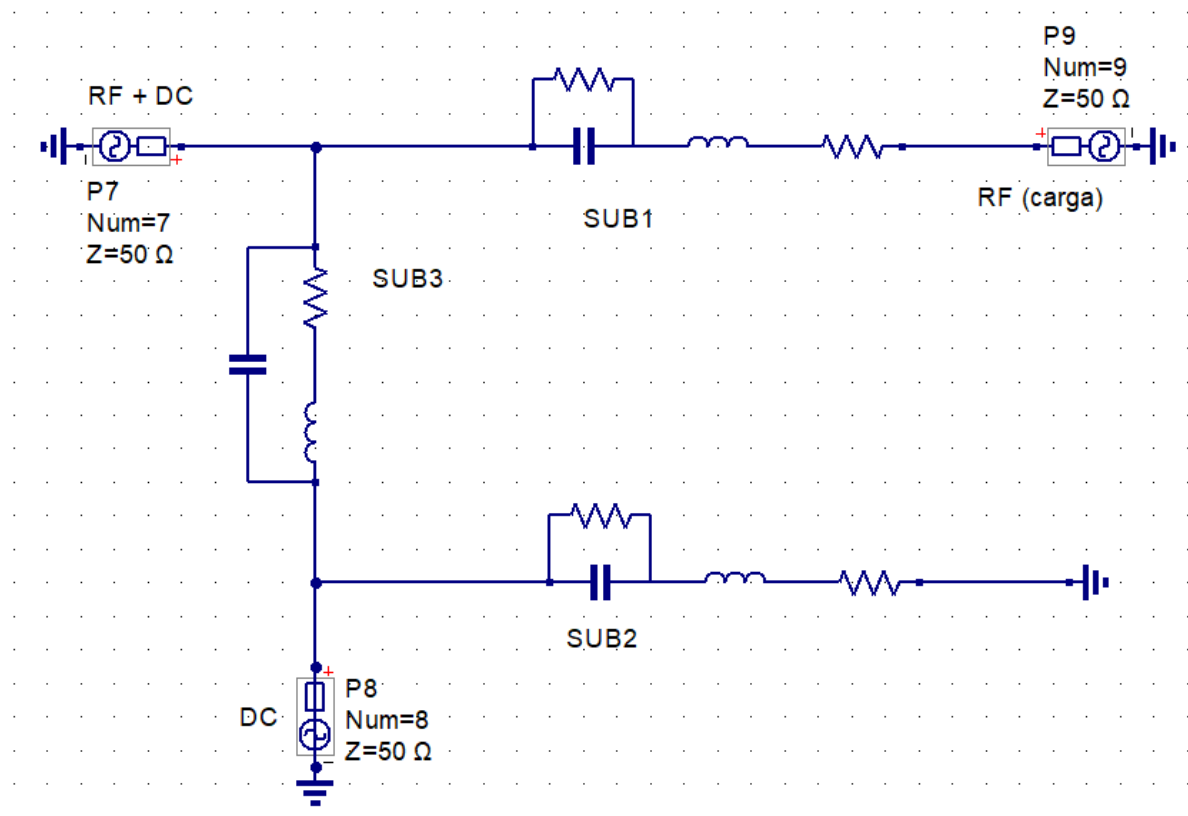
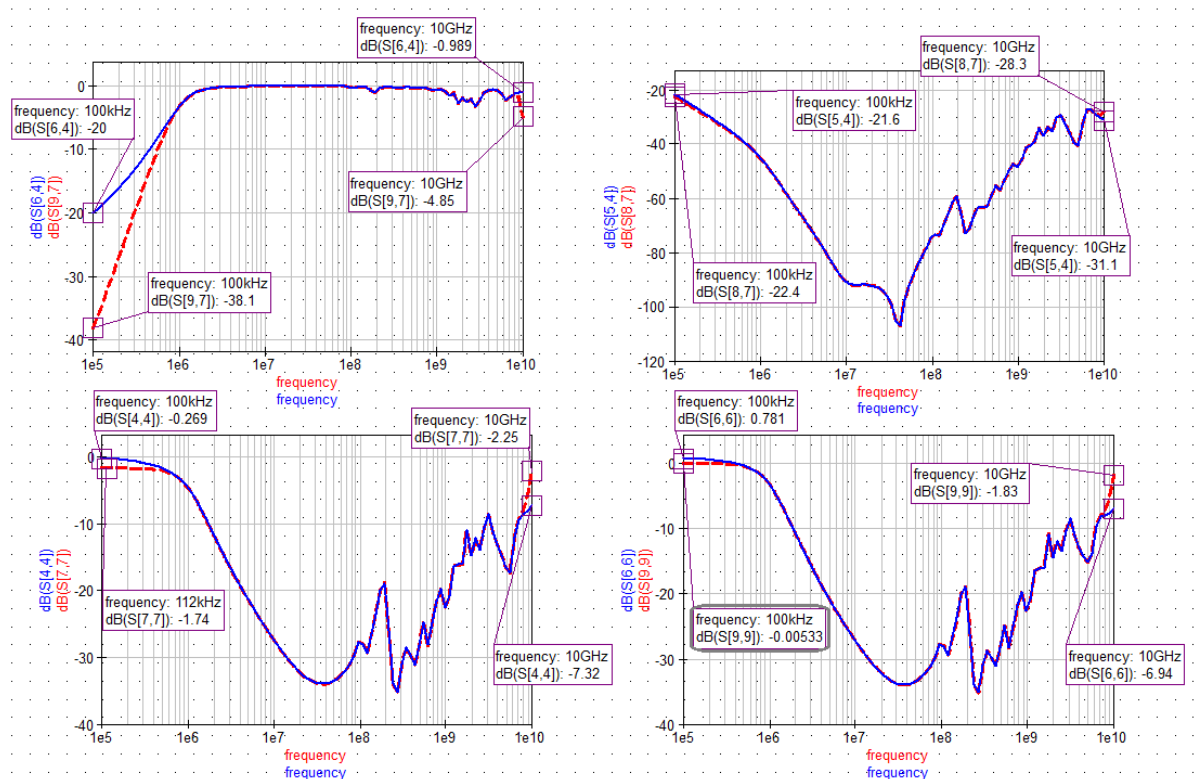


Figura 13 - Comparação entre respostas dos modelos de parâmetros S e SPICE



Podemos ver que ambos coincidem em quase toda a faixa de operação, com pequenas diferenças nos limites da faixa de frequência observada.

5). Inspeção o diagrama esquemático dos modelos SPICE e organize os circuitos para que o modelo seja visualmente compreensível.

Figura 13 - esquemático capacitores

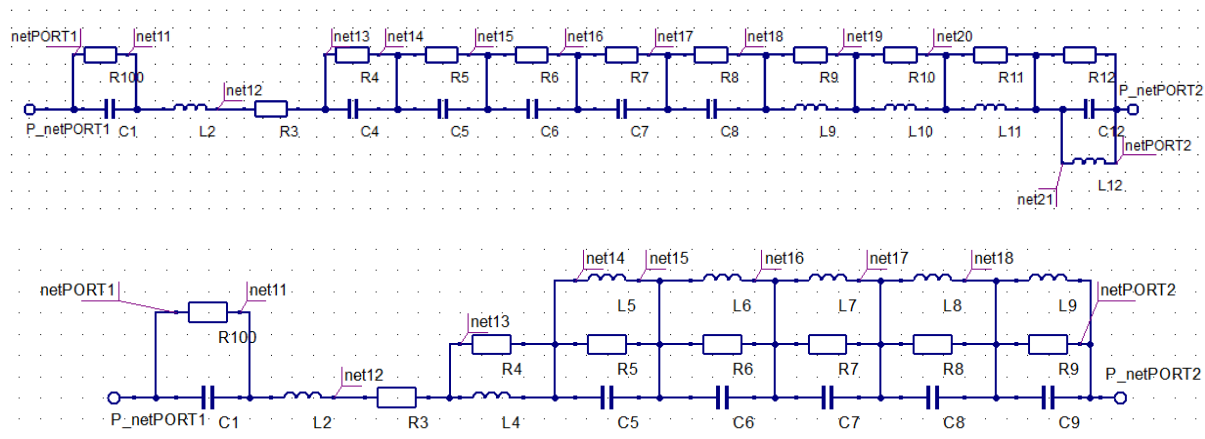
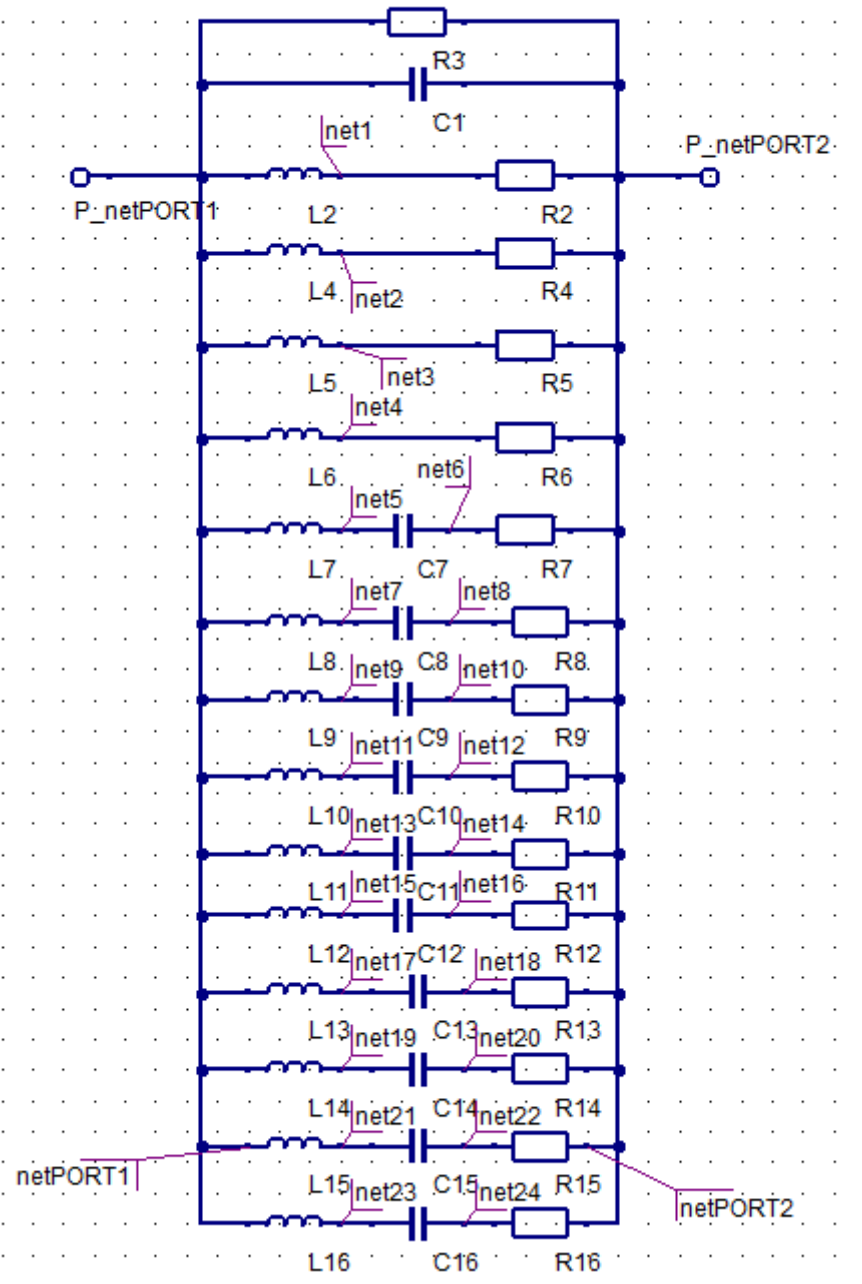


Figura 14 - esquemático indutor



Vemos que o modelo de capacitor são capacitores em série com resistências e indutores para simular o comportamento em altas frequências, e o modelo do indutor são indutores em paralelo com componentes em série para simular o comportamento em altas frequências.

Questões

1) Explicar o significado de ESR, ESL, tangente de perdas.

ESR significa *Equivalent Series Resistance* é a resistência dos terminais do resistor, que geram perdas, e podem ser modeladas por um resistor em série com o capacitor.

ESL significa *Equivalent Series Inductance*, representa as características indutivas que começam a aparecer em capacitores reais quando submetidos a frequências muito altas.

Tangente de perdas se refere às perdas causadas pela corrente do dielétrico do capacitor (no caso não ideal, não é um isolante perfeito) e pode ser definida como a $\tan(\delta)$, onde δ é a *skin depth* da corrente no condutor, que assim como a ESR e ESL, começa a aparecer de forma relevante em frequências altas.

2) Reflita e disserte sobre como medir o fator de qualidade na frequência de auto-ressonância de um indutor?

?

3) Explicar a diferença entre capacitores XR7 e C0G.

XR7 e C0G se referem ao tipo de dielétrico utilizado no capacitor. XR7 tem maior variabilidade do valor da capacitância em relação a temperatura e tensão aplicada. Já os capacitores com dielétrico do tipo C0G são muito mais estáveis e garantem o valor de capacitância nominal para uma faixa larga de temperatura e tensão, mas ocupam mais espaço físico que os capacitores com dielétrico do tipo XR7.

4) Você aprendeu algo que considere relevante nesta atividade?

A análise de circuitos a partir de modelos desenvolvidos pelo fabricante ou através de experimentos práticos com componentes reais que gerem arquivos s2p para fazer análise da faixa de frequência em que o circuito opera como se espera e identificar em que ponto os componentes começam a apresentar não idealidades significativas, até mesmo propriedades que não são deles, como capacitores apresentarem indutâncias ou indutores apresentar capacitâncias.