



IE766 - Guiamento e Radiação de Ondas

Profs. Hugo E. H. Figueroa e Gilliard N. M. Silveira

Projeto 3 - Radiação – Espaço Livre

O Projeto 3 será dividido em 3 partes.

Parte 1 - Metamateriais (opcional)

Usando o software CST reproduza as figuras 3, 4 e 6 da Ref. [1].

Parte 2 - Exercícios

Resolver os seguintes 5 problemas relacionados com o uso da fórmula de Friis, cujos enunciados estão descritos na Ref. [4]: 2.94; 2.97; 2.102; 2.105 e 2.108.

Parte 3 - Projeto de Antenas de Microfita

1. Objetivos:

Este projeto tem como objetivos o projeto de arranjos de antenas e também de familiarizar @ alun@ com as técnicas de projeto. Para tanto, será tomado como caso de estudo um arranjo composto de antenas de microfita (*patch*) retangular idênticas, levando em conta o casamento individual de cada uma delas com uma linha de microfita de 50Ω utilizando a técnica de *insert feed* em frequências de micro-ondas.

2. Grupos:

Teremos 2 grupos de 2 alunos, sendo que a frequência de operação específica para cada grupo está especificada abaixo.

G1: 2,0 GHz; G2: 2,4 GHz

3. Projeto:

O projeto será realizado utilizando a tecnologia de linha de microfita (*microstrip line*) e o laminado utilizado no projeto será o Rogers RT6006.

a. Cálculo Teórico da Linha de Alimentação

- i. calcular a largura da linha de alimentação da antena usando as expressões abaixo, de tal forma que a impedância característica da linha de alimentação seja 50Ω [2]:



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO (FEEC)

$$\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_R + 1}{2} + \frac{\varepsilon_R - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (0.1)$$

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{ef}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right), & w/h < 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{ef}}} \left[\frac{w}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1,444 \right) \right]^{-1}, & w/h \geq 1 \end{cases}, \quad (0.2)$$

onde ε_{ef} é a constante dielétrica efetiva, ε_R é a constante dielétrica do substrato, h é a espessura do substrato, e w e Z_0 são, respectivamente, a largura e a impedância característica da linha de microfita.

Resolva essas equações de forma recursiva (cálculo de raízes de equações transcendentais). Escolha o maior valor possível para facilitar o acoplamento com o conector de alimentação do tipo SMA. Adote o comprimento da linha de alimentação da antena igual a $\lambda_g/2$.

- ii. simular a linha isoladamente no CST Design Studio e ajustar a largura da mesma, caso a impedância característica informada pelo software não seja 50 Ω . Determinar o valor exato da constante de fase através do software.

b. Cálculo da antena de microfita

- i. Calcular as dimensões da antena de microfita retangular (*retangular patch*) conforme [2].
- ii. Simular no CST Design Studio a antena e a linha de alimentação de comprimento igual a $\lambda_g/2$, como mostrado na Figura 1a, e ajustar a sintonia (ressonância) da antena na frequência f_0 .
- iii. Usar o CST Design Studio para ajustes nas dimensões da antena. Casar a antena com a linha utilizando a técnica de *insert feed* [3] (em particular a subseção 14.2 – o cálculo prático da antena patch retangular está em 14.2.1 – ver os exemplos 14.1 e 14.2), como mostra a Figura 1b. Insira os valores iniciais teóricos e faça os ajustes necessários no CST.

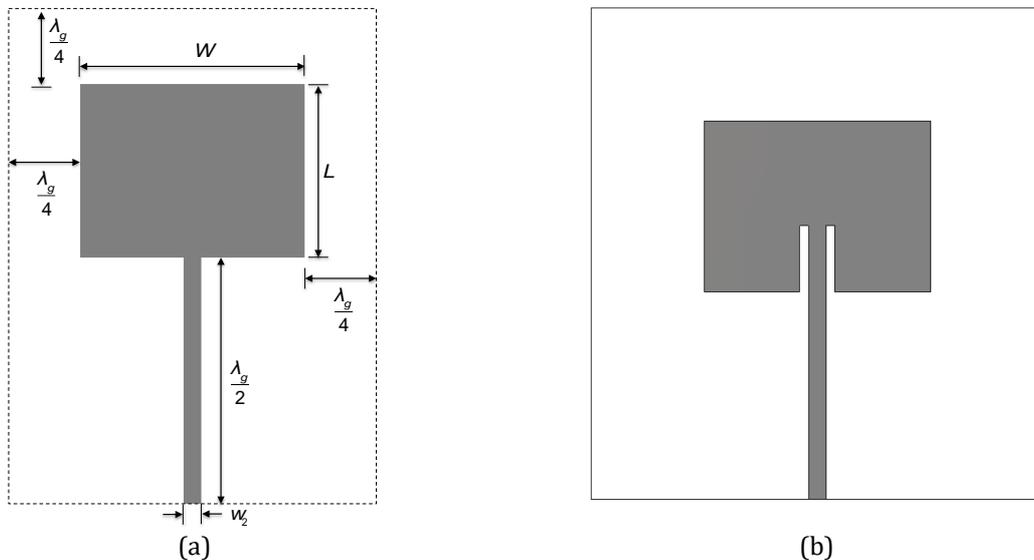


Figura 1: (a) Antena de microfita conectada a uma linha de impedância característica de 50Ω ; (b) Antena de microfita casada com a linha de transmissão através da técnica de *insert feed* [3].

c. Função de arranjo

- i. Usar a ferramenta *array factor* do CST Design Studio para analisar as características de radiação de um arranjo 1X4 com separação de meio comprimento de onda no espaço livre. Para cada uma das configurações abaixo, determine: (a) padrão de radiação tridimensional, (b) ganho máximo, (c) cortes nos planos E e H, (d) níveis dos lóbulos laterais.
 - I. Distribuição uniforme, apontamento *broadside*;
 - II. Distribuição binomial; apontamento *broadside*;
 - III. Apontamentos em $\theta = 20^\circ, 45^\circ$ e 60° .

d. Arranjo físico usando alimentações individuais

- i. Montar um arranjo 1 X 4 no CST Design Studio, como mostrado na Figura 2, utilizando alimentações individuais (4 portas de guia de onda).
- ii. Simular o arranjo usando superposição de fontes (cada porta simulada separadamente);
- iii. Utilizar as ferramentas de pós processamento para analisar as configurações abaixo. Para cada uma das configurações abaixo, determine: (a) padrão de radiação tridimensional, (b) ganho máximo, (c) cortes nos planos E e H, (d) níveis dos lóbulos laterais, (e) sintonia e largura de banda de cada elemento radiador. Compare os resultados obtidos com aqueles obtidos com função de arranjo.
 - I. Distribuição uniforme, apontamento *broadside*;
 - II. Distribuição binomial; apontamento *broadside*;
 - III. Apontamentos em $\theta = 20^\circ, 45^\circ$ e 60° .

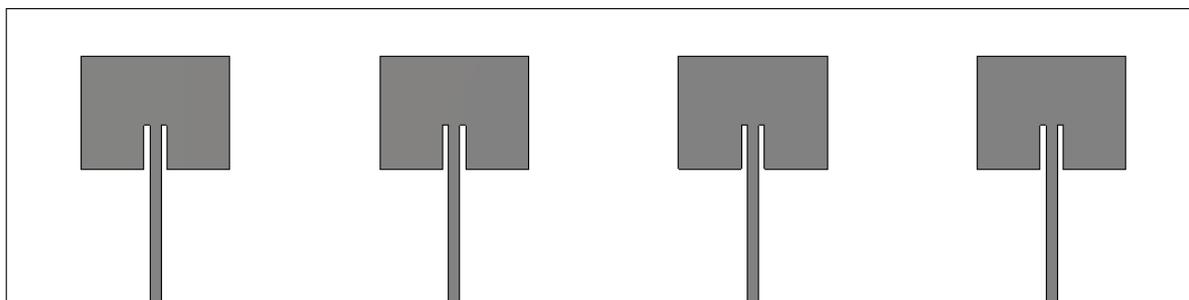


Figura 2: Arranjo físico 1X4 com alimentações individuais das antenas.

e. Arranjo físico usando alimentação única

- i. Montar um arranjo 1 X 4 no CST Design Studio, conforme ilustrado na Figura 3, para gerar um padrão de radiação *broadside*. Determine: (a) padrão de radiação tridimensional, (b) ganho máximo, (c) cortes nos planos E e H, (d) níveis dos lóbulos laterais, (e) sintonia e largura de banda do arranjo. Compare e discuta tais resultados com aqueles obtidos com aqueles obtidos nos itens (c) e (d).

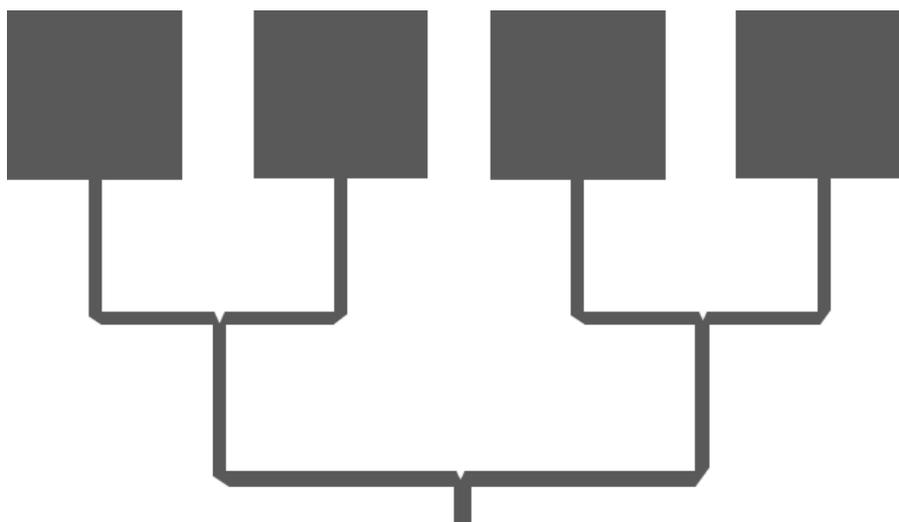


Figura 3: Arranjo 1 X 4 com alimentação uniforme.

OBSERVAÇÕES:

- i. Simular e ajustar no CST Design Studio a curva de 90 graus para obter a menor reflexão. Valores para a variável b são, aproximadamente, $0,6w \leq b \leq 0,7w$. Valores exatos são determinados por simulação eletromagnética. A Figura 4 mostra o esquema que deve ser simulado no CST Design Studio para a menor reflexão (perda de retorno).
- ii. Após ajustas das curvas, deve-se ajustar os divisores individualmente para que haja máxima transmissão (módulo máximo do S_{21}) e saídas em fase (fase do S_{21} deve ser a mesma em todas as saídas) para que a radiação seja uniforme.

- iii. Observar que os divisores de potência 1 X 2 utilizados no sistema de alimentação são conectados em paralelo no ponto de bifurcação e, portanto, as linhas devem ter níveis de impedância adequados.

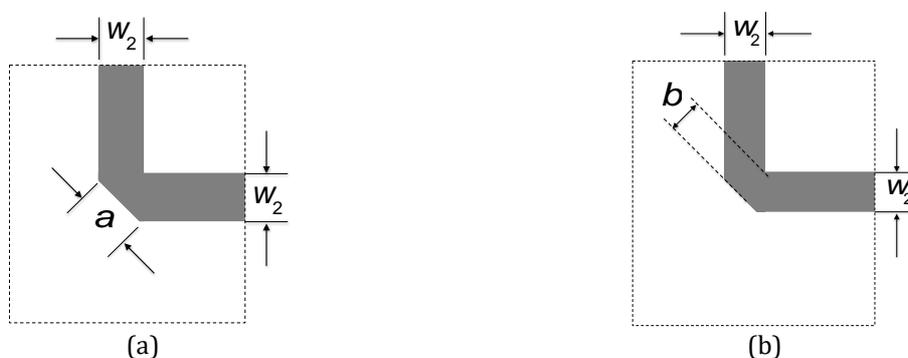


Figura 4: Curva de 90 graus com linha de microfita. (a) Chanfro de comprimento a . (b) Distância b do chanfro ao ponto de inflexão da linha.

- iv. Sugere-se simular/ajustar as partes/componentes separadamente, conforme as orientações anteriores, e somente então montar o modelo completo contendo todas as partes, conforme mostra a Figura 3.

Relatório

Cada grupo deverá elaborar um relatório contendo: (a) resumo; (a) introdução; (b) fundamentação teórica; (c) na parte 3: projeto da antena descasada, casador *insert feed*, arranjo teórico (função de arranjo), arranjo físico com alimentações individuais, arranjo físico com alimentação única; (d) comentários e conclusões; (e) incluir referências bibliográficas, se necessário. O formato a ser adotado é o clássico das conferências do IEEE (<https://www.ieee.org/>), tamanho A4 e será limitado a no mínimo 5 páginas e a no máximo 10 páginas. Os templates para Word e Latex estão postados no Moodle.

Este documento em PDF deve ser enviado por email para hugo@unicamp.br impreterivelmente até o dia domingo, 07 de julho de 2024. A clareza, objetividade e qualidade do texto e figuras presentes neste material farão parte da avaliação.

Bibliografia

[1] Zohreh Vafapour, "Polarization-Independent Perfect Optical Metamaterial Absorber as a Glucose Sensor in Food Industry Applications", IEEE TRANSACTIONS ON NANOBIOSCIENCE, VOL. 18, NO. 4, OCTOBER 2019, pp. 622-627. DOI: [10.1109/TNB.2019.2929802](https://doi.org/10.1109/TNB.2019.2929802)

[2] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley & Sons Inc., 4th Edition, 2012. Capítulo 3: Transmission Lines and Waveguides seção 3.8 – ver o exemplo 3.7).

[3] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", John Wiley & Sons Inc., 4th



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO (FEEC)

Edition (2016).

----- 0 -----