

## Projeto de Defasadores e Atenuadores usando Elementos Concentrados

Natalia Ferrão da Silva, discente de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete  
Edson Rodrigo Schlosser, docente, Universidade Federal do Pampa

nataliaferrao.aluno@unipampa.edu.br

Circuitos atenuadores e defasadores são fundamentais em projetos de redes de antenas, visto que estes dispositivos possibilitam o ajuste das amplitudes e das fases dos coeficientes de excitação dos elementos quando conectados em cascata. Assim, a direção do feixe principal e o nível dos lóbulos secundários do diagrama de irradiação podem ser controlados, o que permite aumentar a interoperabilidade do sistema de comunicação. Neste trabalho são apresentados projetos de circuitos atenuadores e defasadores, onde suas propriedades são analisadas através da matriz de espalhamento [S]. Os parâmetros S podem ser representados por um número complexo na forma exponencial, descrito através de magnitude e fase. Um circuito atenuador com dimensão muito menor que o comprimento de onda guiado na estrutura e composto por resistores hipoteticamente ideais permite ajustar a amplitude de saída sem modificar a fase do sinal através de configurações  $T$  ou  $\pi$ . Um atenuador de duas portas apresenta simetria ( $S_{11} = S_{22}$ ) e reciprocidade ( $S_{21} = S_{12}$ ), em que a magnitude de  $S_{11}$  deve estar abaixo de -10 dB para toda a banda do projeto, garantindo assim o casamento de impedância da entrada quando uma carga casada é conectada na saída, enquanto que a magnitude de  $S_{21}$  deve ser especificada conforme a atenuação desejada. A rede  $T$  é composta por três resistores, sendo dois em série ( $R_{1T}$ ) e um em paralelo ( $R_{2T}$ ). Os valores das resistências são determinadas por  $R_{1T} = [(1-S_{21})/(1+S_{21})]Z_0$  e  $R_{2T} = [Z_0^2/R_{1T} - R_{1T}]/2$ , onde  $Z_0$  é a impedância característica da linha de transmissão. A rede  $\pi$  é composta por três resistores, sendo dois em paralelo ( $R_{1\pi}$ ) e um em série ( $R_{2\pi}$ ). Os valores das resistências são determinadas por  $R_{1\pi} = [(2S_{21})/(1-S_{21})+1]Z_0$  e  $R_{2\pi} = [2R_{1\pi}Z_0^2]/[R_{1\pi}^2-Z_0^2]$ . Enquanto isso, circuitos defasadores com elementos concentrados são compostos por indutores e capacitores, e possibilitam realizar o controle da fase desejada na saída. Defasadores que priorizam o uso de capacitores, ou seja, possuem dois capacitores, apresentam configuração de filtro passa-alta (rede  $T$ ) ou passa-baixa (rede  $\pi$ ). Para ambas estruturas considera-se que a magnitude  $S_{21}$  é unitária, enquanto que a fase deve ser especificada. O circuito defasador com topologia  $T$  é composto por dois capacitores em série e um indutor em paralelo, com capacitâncias iguais a  $C_T$  e indutância  $L_T$ , e permite avançar a fase na saída dentro da faixa de  $0 < \Psi < \pi$  rad. As impedâncias capacitiva e indutiva dos elementos são determinadas por  $Z_{CT} = [1-\exp(j\Psi)]/[1+\exp(j\Psi)]Z_0$  e  $Z_{LT} = [Z_0^2/Z_{CT} - Z_{CT}]/2$ . O circuito defasador com topologia  $\pi$  é composto por dois capacitores em paralelo e um indutor em série, com capacitâncias iguais a  $C_\pi$  e indutância  $L_\pi$ , e permite atrasar a fase na saída dentro da faixa de  $-\pi < \Psi < 0$  rad. As impedâncias capacitiva e indutiva dos elementos são determinadas por  $Z_{C\pi} = [[2\exp(j\Psi)]/[1-\exp(j\Psi)]+1]Z_0$  e  $Z_{L\pi} = [2Z_{C\pi}Z_0^2]/[Z_{C\pi}^2-Z_0^2]$ . Os valores das capacitâncias

e indutâncias para ambos os defasadores são obtidos por  $C_v = [-j]/[2\pi f v]$  e  $L_v = [-j\zeta]/[2\pi f]$ , sendo  $f$  a frequência do projeto,  $v = Z_{C\pi}, Z_{CT}$  e  $\zeta = Z_{L\pi}, Z_{LT}$ . Os componentes dos circuitos foram modelados no simulador eletromagnético HFSS e inseridos em uma placa de circuito impresso na tecnologia de guia de onda coplanar aterrado (CPWG). O laminado utilizado foi o Rogers RO4360G2, com permissividade relativa  $\epsilon_r = 6,15$ , tangente de perdas 0,0038 e espessura  $h = 0,61$  mm. As linhas de transmissão (LTs) em CPWG foram projetadas na frequência central de 2,4 GHz para uma impedância característica de  $50 \Omega$  e *gap* de 0,2 mm, resultando em um comprimento de onda guiado de  $\lambda_g = 66,87$  mm e LTs de largura  $w = 0,5$  mm. Os indutores, capacitores e resistores do circuito possuem encapsulamento 0402 imperial. Para fins de validação da formulação desenvolvida para os circuitos, foram projetados dois circuitos atenuadores de 3 dB, sendo obtido os seguintes valores para os componentes:  $R_{1T} = 8,5 \Omega$  e  $R_{2T} = 141,9 \Omega$ , e  $R_{1\pi} = 292,4 \Omega$  e  $R_{2\pi} = 17,6 \Omega$ , resultando em  $S_{11}$  de -29,5 dB e -35,6 dB para as redes T e  $\pi$ , respectivamente. Para ambos os casos, o  $S_{21}$  foi de -3 dB. Já para os defasadores, projetou-se redes T ou  $\pi$  para obter sinais de saída com fase de  $\pm 90^\circ$ . Os componentes calculados foram:  $C_T = 1,3$  pF e  $L_T = 3,3$  nH, e  $C_\pi = 0,9$  pF e  $L_\pi = 4,7$  nH para as redes T e  $\pi$ , respectivamente, resultando em fases de  $81,6^\circ$  e  $-97,0^\circ$ . Percebe-se que ambos os resultados não atendem as fases especificadas devido à forte influência das capacitâncias parasitas entre as conexões dos componentes. Desta forma, ajustes nos componentes foram necessários, obtendo-se os seguintes valores:  $C_T = 1,2$  pF e  $L_T = 3,0$  nH, e  $C_\pi = 1,1$  pF e  $L_\pi = 3,2$  nH, o que resultou em fases de  $89,7^\circ$  e  $-89,3^\circ$ , e  $S_{11} = -16,7$  dB e  $S_{11} = -13,6$  dB. Por fim os circuitos apresentaram bom desempenho e serão utilizados na alimentação de antenas embarcadas em veículos aéreos não-tripulados (VANTs).

**Agradecimentos:** O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) - Termo de Outorga nº 21/2551-0000664-1 e bolsa PRO-IC da Unipampa.

**Palavras-chave:** Atenuadores; Defasadores; CPWG; VANTs.