

# Projeto de um Acoplador Híbrido de $90^\circ$ para aplicações 5G em Banda C

Beatriz B. Assis, Livia R. Lima, Antonio A. Ferreira Jr. e Evandro C. Vilas Boas

**Resumo**— Esse trabalho apresenta o projeto e análise numérica de um acoplador híbrido de  $90^\circ$  para operação em Banda C, visando aplicações em 5G. Empregou-se um substrato de FR4 com espessura de 1,6 mm, constante dielétrica de 4,4 e tangente de perdas de 0,02. Avaliou-se a estrutura por meio do método dos elementos finitos utilizando o EMPro para obter desempenho adequado dentro da faixa de projeto. A estrutura final apresentou banda de operação de 1,24 GHz ( $S_{11} \leq -10$  dB) perda por inserção inferior a 0,89 dB e isolamento entre as Porta 01 e Porta 04 de  $-27$  dB para a frequência de projeto.

**Palavras-Chave**— 5G, acoplador híbrido de  $90^\circ$ , Banda C.

**Abstract**— This work presents the design and numerical analysis of a  $90^\circ$  branch-line coupler aiming at 5G applications in the C-Band. An FR4 substrate with a thickness of 1.6 mm, a dielectric constant of 4.4, and a loss tangent of 0.02 was used. The device has been evaluated using the finite element method through EMPro software from Keysight. The final structure has a bandwidth of 1.24 GHz ( $S_{11} \leq -10$  dB) insertion loss less than 0.89 dB and isolation between Port 01 and Port 04 of  $-27$  dB for the design frequency.

**Keywords**— 5G,  $90^\circ$  branch-line coupler, C-Band.

## I. INTRODUÇÃO

As redes de telefonia móvel de quinta geração (5G) foram padronizadas pelo 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP) para operação em bandas de frequências entre 450 e 6000 MHz (Frequency Range 1, FR1) e entre 24,25 e 52,60 GHz (Frequency Range 2, FR2) [1]. Em FR2, verifica-se maior perda de propagação devido à intensificação dos mecanismos de atenuação [2]. Dessa forma, visa-se utilizar a FR2 para aplicações de suplemento de capacidade por meio de arquiteturas *self-backhaul* com células de menor raio de cobertura. Por outro lado, observa-se uma atenuação menor em FR1 incentivando o uso dessa banda de frequência para implementação das primeiras redes 5G com células de raio de cobertura maior. O espectro sub-3GHz oferece largura de banda de 20 MHz. Enquanto, obtêm-se canais de 100 MHz em Banda C. Consequentemente, designa-se a Banda C para a implementação das primeiras redes 5G em detrimento do uso das frequências em sub-3GHz para aplicações relacionadas ao suplemento de cobertura no *uplink*.

O uso da Banda C requer o desenvolvimento de elementos passivos para viabilizar a transmissão e recepção de sinais entre a estação base e o usuário por meio da interface aérea do 5G. Dentre esses dispositivos, acopladores de potência

Beatriz B. Assis, Livia R. Lima, Antonio A. Ferreira Jr e Evandro C. Vilas Boas, Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, Santa Rita do Sapucaí - MG, e-mail: beatriz.bastos@get.inatel.br, livia.ribeiro@gea.inatel.br, antonioa@inatel.br, evandro.cesar@inatel.br. Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e parcialmente pelo Cyber Security and IoT Lab. (CS&I Lab.)

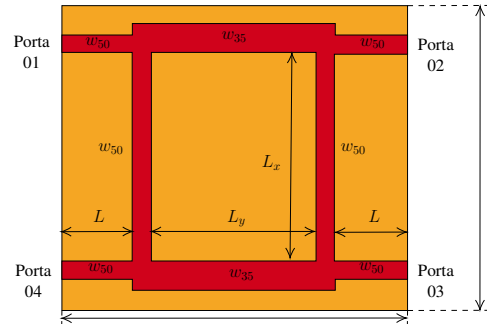


Fig. 1. Parâmetros do acoplador híbrido de  $90^\circ$ .

são necessários para a adaptação direta de antenas, provendo baixa perda por inserção. Implementam-se esses dispositivos em substratos utilizando seções de linha de microfita com impedâncias características distintas e definidas de acordo com o tipo de dispositivo [3]–[5]. Exemplos desses dispositivos são os acopladores de  $90^\circ$  e  $180^\circ$ . Nesse trabalho, propõe-se o projeto e análise numérica de um acoplador híbrido de  $90^\circ$  (*branch-line coupler*), cujas saídas caracterizam-se por apresentar sinais defasados de  $90^\circ$  entre si. Esse dispositivo possui aplicações como combinadores e divisores de potência, sendo abundantes em redes defasadoras para formatação de feixe em arranjos de antenas.

Estruturou-se o trabalho em três seções. Na Seção II, discutem-se os princípios básicos relacionados ao projeto do acoplador híbrido de  $90^\circ$  e métricas de desempenho. Projeta-se a estrutura para a frequência de 3,5 GHz, analisando-a numericamente para extrair as métricas de desempenho. Incluem-se os comentários e conclusões na Seção III, assim como trabalhos futuros.

## II. ACOPLADOR HÍBRIDO DE $90^\circ$

O acoplador híbrido de  $90^\circ$  é uma estrutura composta por quatro portas, como visto na Figura 1. Ao aplicar um sinal à Porta 01, essa estrutura provoca um defasamento de  $90^\circ$  entre os sinais acoplados às saídas das Porta 02 e Porta 03. Enquanto, provê isolamento entre as Porta 01 e Porta 04.

Projetam-se as seções de acesso para impedância característica ( $Z_o$ ) igual à impedância de entrada das portas do dispositivo com comprimento ( $L$ ). As seções transversais àquelas de acesso também possuem impedância característica igual a  $Z_o$  e comprimento interno igual à  $L_x$ . As seções longitudinais de comprimento interno  $L_y$  devem apresentar impedância característica igual a  $Z_l = Z_o/\sqrt{2}$ .  $L_x$  e  $L_y$  devem assumir valores iguais à um quarto do comprimento de onda efetivo ( $\lambda_e/4$ ) para a frequência de projeto.

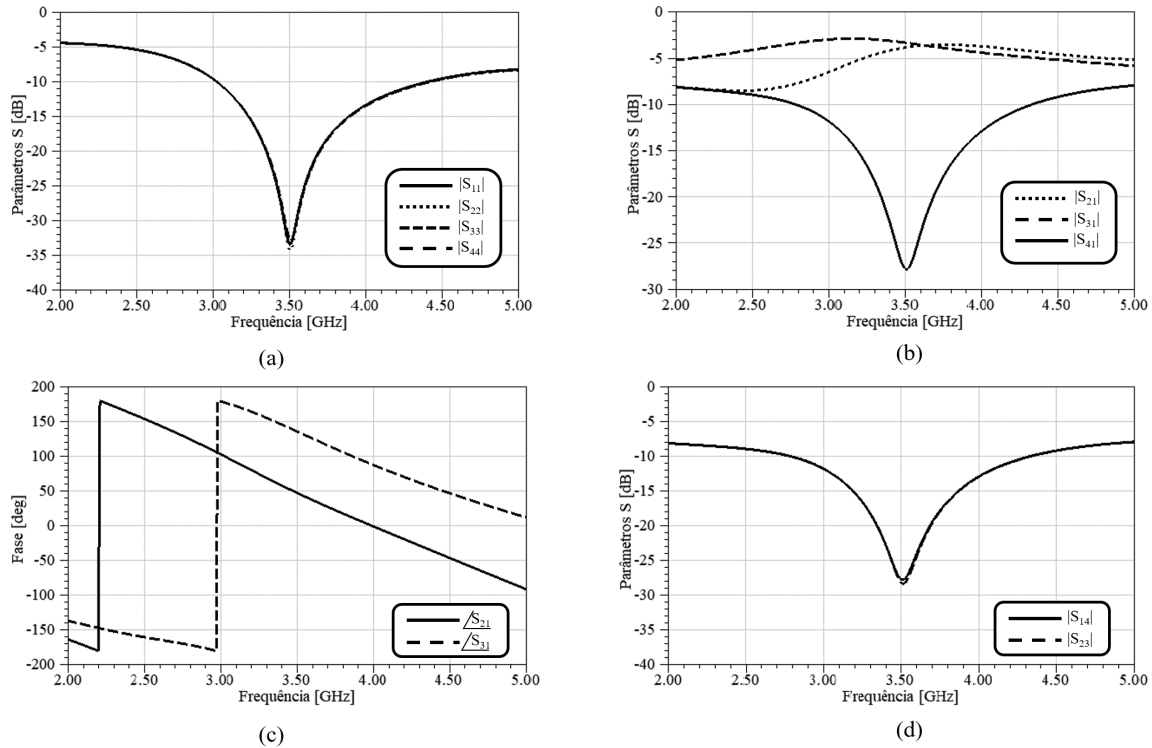


Fig. 2. Métricas de desempenho do acoplador híbrido de  $90^\circ$  (a) casamento de impedância, (b) acoplamento, (c) fase dos sinais de saída das Porta 02 e Porta 03 (d) isolamento.

TABELA I

DIMENSÕES INICIAIS E FINAIS PARA O ACOPLADOR HÍBRIDO DE  $90^\circ$

Parâmetro	Valor inicial [mm]	Valor final [mm]
$w_{50}$	3,05	2,96
$w_{35}$	5,29	4,4
$L$	7,39	7,39
$L_x = L_y$	10,21	9,3

As métricas de desempenho do acoplador híbrido são definidas como o casamento de impedância, acoplamento, isolamento e diretividade [3]–[5]. O casamento de impedâncias pode ser medido por meio dos coeficientes de reflexão das respectivas portas ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$  e  $S_{44}$ ). Obtém-se o acoplamento por meio da relação da porta onde o sinal é aplicado para as portas de saída do dispositivo ( $S_{21}$  e  $S_{31}$ ). O isolamento estabelece uma relação entre as portas de saída, sendo determinado pelos parâmetros  $S_{14}$  e  $S_{23}$ . A diretividade é definida pela relação entre as Porta 03 e Porta 04 por meio do parâmetro  $S_{34}$ . Para o projeto de uma estrutura simétrica, tem-se a potência do sinal aplicado à Porta 01 dividida de forma igual para as Porta 02 e Porta 03.

Para o projeto do dispositivo, empregou-se um laminado de FR4 de dimensões 40 mm x 30 mm com  $\epsilon_r = 4,4$  e  $\tan(\delta) = 0,02$ . Definiu-se  $Z_0 = 50 \Omega$  e frequência de projeto de 3,5 GHz. Na Tabela I, tem-se os parâmetros iniciais empregados para a construção do acoplador no programa de análise numérica EMPro da empresa Keysight e obtidos por meio de relações analíticas [3]–[5]. Utilizou-se o método dos elementos finitos (*finite element method*, FEM) para obter os

parâmetros finais da estrutura (Tabela I).

Na Figura 2, tem-se as métricas de desempenho do acoplador referentes ao casamento de impedância, acoplamento entre o acesso 01 e demais portas, à fase dos sinais de saída das Porta 02 e Porta 03 e o isolamento entre os acessos 01 para 04 e 02 para 03. A estrutura final apresentou banda de operação de 1,24 GHz ( $S_{11} \leq -10$  dB) perda por inserção inferior a 0,89 dB, diferença de fase de  $89,22^\circ$  e isolamento entre as Porta 01 e Porta 04 de  $-27$  dB para a frequência de 3,5 GHz.

### III. CONCLUSÕES

Apresentou-se o projeto e análise numérica de um acoplador híbrido de  $90^\circ$  para operação em Banda C, visando aplicações em 5G. Avaliou-se a estrutura por meio do método dos elementos finitos utilizando o EMPro para obter desempenho adequado dentro da faixa de projeto. Trabalhos futuros compreendem a implementação prática e medidas das métricas de desempenho para comparação com as curvas numéricas.

### REFERÊNCIAS

- [1] “5G NR, Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 15.2.0 Release 15),” Tech. Rep., 2018.
- [2] T. S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. N. Wong, J. K. Schulz, M. Samimi, and F. Gutierrez, “Millimeter wave mobile communications for 5g cellular: It will work!” *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013.
- [3] J. A. J. Ribeiro, “Engenharia de microondas: fundamentos e aplicações,” São Paulo: Érica, 2008.
- [4] C. Bowick, *RF circuit design*. Elsevier, 2011.
- [5] R. Ludwig, *RF Circuit Design: Theory & Applications, 2/e*. Pearson Education India, 2000.