

# Estudo de Parâmetros e Otimização de um Conjunto de Antenas SIW para Aplicações em Ondas Milimétricas

José Bruno O. de Araújo, Roberto B. Di Renna, Carina R. B. Corrêa, Vanessa P. R. Magri Souza, Tadeu N. Ferreira, Leni J. Matos

**Resumo**—Neste trabalho é apresentado um estudo da influência de parâmetros que compõem uma antena guia de onda integrado a substrato (SIW), com frequência de operação centrada em 28,3 GHz. A influência de parâmetros como dimensão e espaçamento das vias, abertura do guia, dimensões do acoplador, tamanho do substrato entre outros é verificada e analisada no simulador HFSS 15 (*High Frequency Structure Simulator*). Após o estudo, uma proposta de conjunto de antenas é apresentada com bons resultados de perda de retorno (35,86 dB), largura de feixe ( $33,67^\circ$ ) e ganho (6,88 dB). Estamos em fase de fabricação.

**Palavras-Chave**—Guia de onda integrado a substrato, estudo paramétrico, conjunto de antenas, ondas milimétricas.

**Abstract**—This paper presents a study of the influence of substrate integrated waveguides antenna parameters, centered in 28,3 GHz. Metalized via hole diameter, waveguide aperture, coupling dimensions and substrate thickness are some of the parameters analysed on HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) software. Results allows a proposal of an antenna array with -35.86 dB of return loss,  $33.67^\circ$  of beamwidth and 6.88 dB of gain. Models are in manufacturing process.

**Keywords**—Substrate Integrated Waveguide, parametric analysis, antenna array, millimeter wave.

## I. INTRODUÇÃO

Ano após ano, aumenta a demanda de dados em redes sem fio [1]. Sistemas com múltiplas antenas apresentam-se como boas candidatas a atender essas novas demandas [2]. Por vezes, é necessário um grande número de antenas. Desse modo, antenas compactas, simples de fabricar, com banda larga, leves e de baixo custo possuem o perfil ideal para os dispositivos previstos para rede móvel de quinta geração (5G).

O guia de onda integrado a substrato (*substrate integrated waveguide*, SIW) é uma solução em implementações de dispositivos de ondas milimétricas. Trata-se de duas sequências de vias metálicas em uma placa dielétrica (substrato) eletricamente conectadas por duas placas metálicas (linha *microstrip* e plano de terra). Essa estrutura possui aplicações como filtros, acopladores direcionais, osciladores, amplificadores de potência, circuladores e antenas [3].

Ao inserir fendas nos SIW, a onda estacionária presente na cavidade é irradiada, formando uma antena. Em relação aos guias metálicos, os SIW possuem a desvantagem de um menor

fator de qualidade, porém têm menor perda de retorno, baixo custo e tamanho reduzido [4].

Assim, as antenas SIW são boas candidatas para os sistemas a serem implementados no 5G, assim seu estudo e otimização é justificado. Neste artigo, a seção II apresenta o modelo do conjunto de antenas e a análise dos parâmetros. Os resultados são analisados na seção III e a seção IV contém as conclusões.

## II. ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Buscando uma otimização para antenas SIW [5], um conjunto é proposto neste trabalho [6], e seu modelo pode ser visto na Fig. 1. O mesmo consiste em um sistema de quatro antenas alimentado por uma linha de transmissão, excitado por um conector SMA. O substrato utilizado foi o ROGERS RT/duroid 5880, com constante dielétrica de 2,2, espessura de 0,127 mm e tangente de perdas de 0,0019. Os parâmetros finais são encontrados na Tabela I.

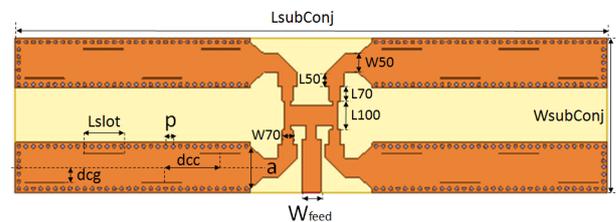


Fig. 1. Modelos proposto de conjunto e suas dimensões.

TABELA I

PARÂMETROS OTIMIZADOS DO CONJUNTO DE ANTENAS SIW PROPOSTO.

Parâmetros	Valor (mm)	Parâmetros	Valor (mm)
d	0,5	WsubConj	21,048
p	1,0	LsubConj	80,657
a	5,8	W50 (50Ω)	1,896
dcc	4,0	L50 (50Ω)	2,623
dcg	1,953	W70 (70Ω)	1,491
Wslot	0,112	L70 (70Ω)	1,935
Lfeed	7,276	W100 (100Ω)	0,759
Wfeed	2,623	L100 (100Ω)	3,962

Antes de se chegar à configuração final apresentada na Fig. 1, foram realizados diversos testes de otimização de parâmetros. Através da proposta de Magri [7], uma antena SIW foi projetada e características como perda de retorno,

Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica e de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, Brasil, e-mails: [josebruno, robertobrauer, carina.barbio, vanessa.magri, tadeu.ferreira, lenijm]@id.uff.br.

ganho e largura de feixe foram avaliadas através de um procedimento de testes. Inicialmente, foram calculados diferentes valores de abertura do guia SIW para cada uma das espessuras padrão do substrato RT/duroid 5880 e foram avaliados valores de 0,5 a 1 mm de diâmetro das vias ( $d$ ). Foi verificado também que a partir de 2 mm, pelo Teorema de Floquet [8] o guia teria muitas reflexões internas. Com isso, calculou-se a largura da linha *microstrip* com impedância de  $50 \Omega$  e o casador de impedâncias (*taper*) de comprimento de  $\lambda/4$  foi incluído [5]. A esse ponto os guias em todas as espessuras de substrato e diâmetros de vias estavam calculados, bastando inserir as fendas em posição e espessura arbitrárias. Com os guias de dimensões projetadas, o processo de otimização foi iniciado.

O primeiro parâmetro a ser avaliado foi a melhor espessura de substrato. Dentre os melhores resultados, o substrato de espessura 0,127 mm foi o que trouxe o menor valor de  $S_{11}$ , na frequência de 27,3 GHz. O passo seguinte foi alterar o valor da abertura do guia SIW para centralizar o vale da perda de retorno em 28 GHz. Após alguns testes, encontrou-se um novo valor de  $a$  de 7,1 mm, ou seja, uma diferença de 0,7 mm do valor anteriormente calculado. Foram alteradas também a dimensão do substrato, ou seja, o aumento do mesmo mantendo as dimensões do guia SIW e a dimensão de acoplamento entre o *taper* e a abertura do guia SIW. Entretanto, não houve mudanças significativas nessas tentativas.

O próximo parâmetro a ser avaliado é a posição das fendas. Os teoremas da Imagem e o da Equivalência Superficial permitem o cálculo das correntes equivalentes nas fendas do guia SIW que serão responsáveis pela irradiação da antena [9]. Então, é possível perceber que caso as fendas sejam colocadas no centro do guia não haverá irradiação e a distância entre o centro de cada fenda deve ser a metade do comprimento de onda guiado ( $\lambda_g/2$ ), assim como a distância entre os extremos do guia de  $\lambda_g/4$ . Apesar do Teorema da Equivalência Superficial indicar que a espessura das fendas deve ser a menor possível, esse parâmetro também foi avaliado. Deste modo, após simulações de 0,2 mm de distância, e outras variações da abertura do guia SIW, chegou-se aos valores da Tabela I.

Como o ganho de apenas uma antena SIW era em torno de apenas 1,59 dB, foi projetado um conjunto. As linhas de alimentação são baseadas em sequências de defasadores de  $90^\circ$  e linhas divisoras de potência. Em alguns trechos, o comprimento elétrico foi modificado para que o comprimento físico da linha fosse adequado para o conjunto.

### III. RESULTADOS

Para o guia que foi otimizado, foi obtida uma perda de retorno de 35,86 dB centrada na frequência de 28,3 GHz e uma banda (abaixo de -10 dB) de 309,7 MHz (28,12 GHz a 28,52 GHz), como pode ser observado na Fig. 2. O conjunto de figuras 3 traz o diagrama de radiação nos planos E e H, além do diagrama 3D de ganho. Na Fig. 3(a), em vermelho há a curva referente ao plano E e em azul, o plano H. A respeito da largura de feixe, foram obtidos  $7,36^\circ$  no plano E e  $33,67^\circ$  no plano H. O ganho máximo obtido foi de 6,88 dB.

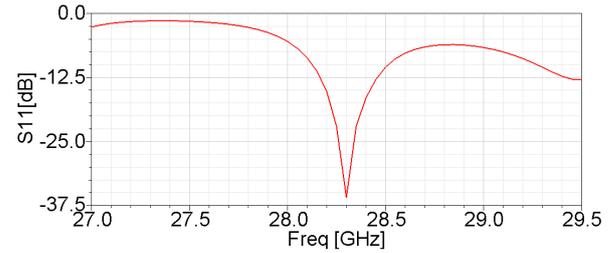
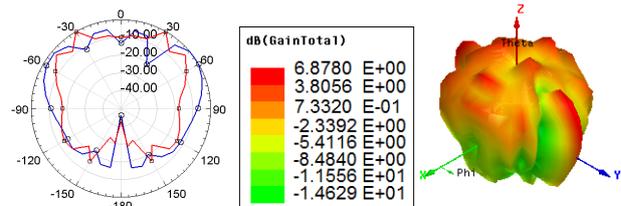


Fig. 2. Perda de retorno do conjunto de antenas.



(a) Diagrama de radiação nos planos E e H. (b) Diagrama tridimensional de ganho de radiação no plano E e conjunto de antenas.

Fig. 3. Resultados de campo distante do conjunto de antenas.

### IV. CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi realizado um estudo e otimização das antenas do tipo SIW e foi proposto um conjunto de antenas para utilização em aplicações de ondas milimétricas. Parâmetros como diâmetro das vias, abertura do guia, espessura do substrato e posição das fendas foram avaliados. Dados os valores de perda de retorno, largura de feixe, ganho e tamanho reduzido apresentados, a antena pode ser considerada candidata a aplicações como na rede móvel de próxima geração, 5G. A proposta está em fase de fabricação e testes com resultados a serem relatados em um trabalho futuro.

### AGRADECIMENTOS

Trabalho financiado por Capes e CNPq. Foi usado ANSYS HFSS 15 com licença acadêmica.

### REFERÊNCIAS

- [1] Ericsson, *5G Systems, Enabling the Transformation of Industry and Society*, White Paper, UEN 284 23-3251 rev B, 2017. Link: <https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g-systems.pdf> Acessado em: abril de 2017.
- [2] J. Thompson et al., *5G wireless communication systems: prospects and challenges*, IEEE Comm. Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 62-64, Feb. 2014.
- [3] M. Bozzi et al., *Review of substrate-integrated waveguide circuits and antennas*, Microwaves, Antennas & Propagation, IET, vol.5, no.8, pp.909-920, 2011.
- [4] X. P. Chen and K. Wu, *Substrate Integrated Waveguide Filter*, IEEE Microwave Magazine, v. 15, n. 5, 9p, 2014.
- [5] D. Deslandes, K. Wu, *Accurate modeling, wave mechanisms, and design considerations of a substrate integrated waveguide*, IEEE Trans. Microwave Theory & Techniques, v. 54, no. 6, pp. 2516-2526, Jun 2006
- [6] R. B. Di Renna, *Antenas SIWG impressas com fendas e alimentação do tipo stripline para aplicações indoor no padrão 5G*, Dissertação de Mestrado, UFF, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, 2017.
- [7] V. P. R. Magri et al., *Substrate Integrated Wave Guide filter at 10 GHz using commercial FR-4 lossy substrate*, SBMO/IEEE Int. Microwave and Optoelectronics Conf. (IMOC), Belem, 2009, pp. 595-599.
- [8] R. E. Collin, *Field Theory of Guided Waves*, John Wiley & Sons, 1990.
- [9] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, 2ª Edição, 1040p, 2012.