

Estudo de blindagens para redução de crosstalk entre linhas de transmissão de microfita

Study of shields to reduce crosstalk between microstrip transmission lines

DOI:10.34117/bjdv8n2-226

Recebimento dos originais: 07/01/2022

Aceitação para publicação: 15/02/2022

Francisco Silva e Serpa

Mestre em Engenharia Elétrica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, Parauapebas,
Brasil

IFPA - Rodovia PA 275, s – Bairro: União, Parauapebas -PA, 68515-000

E-mail: francisco.serpa@ifpa.edu.br

Wellington Oliveira Aguilar Bezerra

Estudante do curso técnico em Eletroeletrônica integrado ao ensino médio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, Parauapebas,
Brasil

IFPA - Rodovia PA 275, s – Bairro: União, Parauapebas -PA, 68515-000

E-mail: wellingtonbrejo94@gmail.com

RESUMO

A transmissão de sinais em circuitos eletrônicos pode interferir outros sistemas dependendo da proximidade. O crosstalk entre as trilhas de printed-circuit board (PCB) é um fator importante no estudo da compatibilidade eletromagnética e integridade de sinal (SI). Neste artigo, são apresentadas formas para a redução de crosstalk nas linhas de microfita acopladas. Os dois modelos de blindagem e o modelo sem blindagem foram obtidos através da modelagem e simulação eletromagnética pelo método dos momentos com o software ADS® (Advanced Design System) e logo em seguida comparados com os resultados experimentais para validação do uso da modelagem e simulação. Além da comparação, foi realizada uma análise dos resultados em relação a redução do ruído e uma investigação das formas de otimização através das variações das propriedades físicas da microfita.

Palavras-chaves: Crosstalk, PCB, Microfitas, Blindagem

ABSTRACT

The transmission of signals in electronic circuits can interfere with other systems depending on the proximity. Crosstalk between printed-circuit board (PCB) tracks is an important factor in studying electromagnetic compatibility and signal integrity (SI). In this article, ways to reduce crosstalk in coupled microstrip lines are presented. The two shielding models and the unshielded model were obtained through electromagnetic modeling and simulation by the method of moments with ADS® (Advanced Design System) software and then compared with the experimental results to validate the use of modeling and simulation. In addition to the comparison, an analysis of the results was

carried out in relation to noise reduction and an investigation of the ways of optimization through the variations of the physical properties of the microstrip.

Keywords: Crosstalk, PCB, Microstriple line, Shielding

1 INTRODUÇÃO

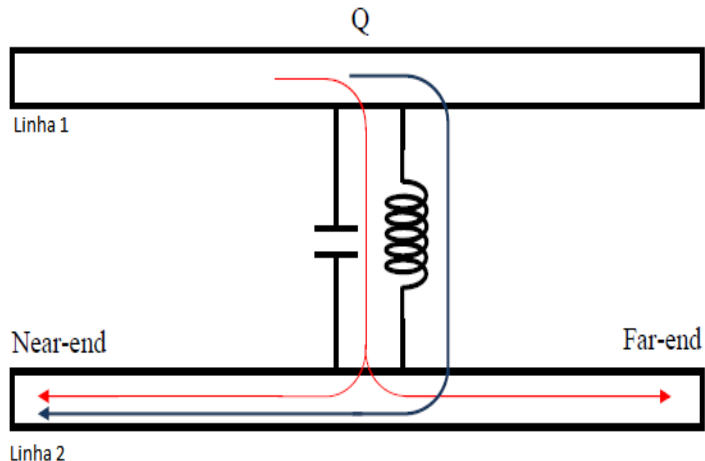
O fenômeno *crosstalk* ocorre quando existem dois ou mais condutores espaçados com proximidade entre si, além da referência ou do condutor de aterramento. A aproximação resulta no acoplamento, que pode ser classificado em acoplamento indutivo ou capacitivo.

Os acoplamentos indutivo e capacitivo que se relacionam entre as duas linhas são devidos a indutância e capacitância mútua, conforme representado na figura 1, onde um pulso de sinal que se propaga ao longo da linha 1 e atinge qualquer ponto arbitrário Q, o sinal é capacitivamente acoplado na linha 2. A tensão acoplada na linha 2 gera uma corrente elétrica que flui no ponto de acoplamento para as duas extremidades da linha 2, chamadas de extremidade próxima e extremidade oposta (*Near-end e Far-end*). No mesmo ponto do acoplamento, a indutância mútua da linha paralela também se acopla a corrente elétrica da linha 2 na direção da extremidade do gerador. Logo, na extremidade próxima (*Near-end*) as duas correntes elétricas ($ILN+ICN$) do efeito de acoplamento se somam, já na extremidade oposta (*Far-end*) as duas correntes de acoplamento ($ILN-ICN$) se subtraem [1].

Os parâmetros relacionados com os efeitos de acoplamento citados podem ser divididos em ruído FEXT (*Far End Crosstalk*) que está relacionado à diferença entre as correntes indutiva e capacitiva acopladas. E o ruído NEXT (*Near End Crosstalk*) está relacionado à soma das correntes indutiva e capacitiva.

Nesse trabalho, as medições e análises NEXT e FEXT foram feitos através dos parâmetros de espalhamento S(4,1) e S(3,1) respectivamente, aplicados ao estudo de diferentes projetos de blindagens de microfita.

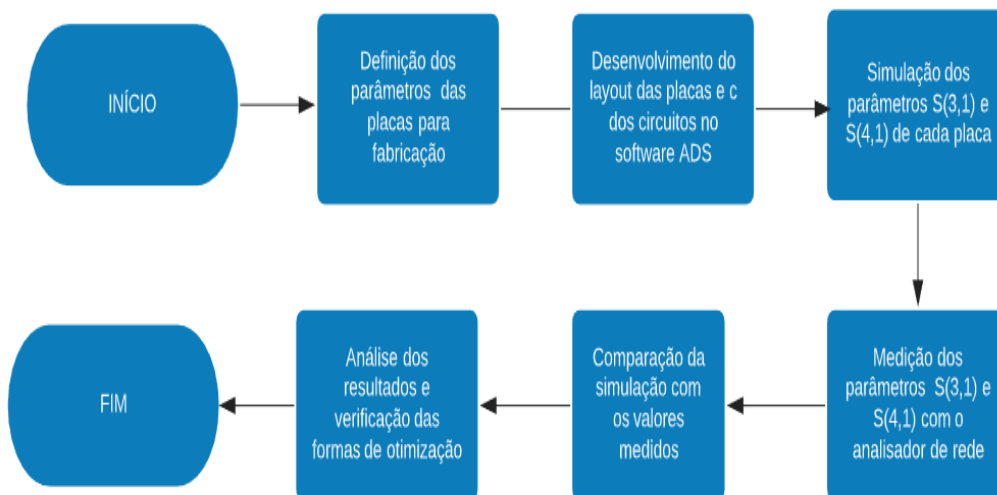
Fig. 1. Efeito *crosstalk* causado pelo ponto Q da linha transmissora. [1]



2 ETAPAS DO PROJETO

O artigo está dividido em etapas, conforme o fluxograma da figura 2.

Fig. 2. Fluxograma das etapas do projeto



2.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA PLACA PARA FABRICAÇÃO

Para o estudo sobre os efeitos da blindagem em microfitas, foram confeccionadas três placas, dois modelos de blindagens diferentes e uma placa sem blindagem. Todas as microfitas possuem as mesmas características listadas abaixo:

- Largura da trilha (W) = 3,2 mm
- Comprimento da placa/trilha (l) = 100 mm.
- Largura da placa (q) = 60 mm.
- Altura do substrato (h) = 1,6 mm.
- Espaçamento entre as placas (s) = 10 mm
- Constante dielétrica relativa (ϵ_r) = 4,1.
- Espessura da trilha (t) = 0.089 mm.
- Perda dielétrica ($\tan \delta$) = 0,035.
- Impedância característica (Z_0) = 50 Ω para a frequência de 2,5 GHz.
- 4 portas com conectores SMA (*Sub-miniature version*) PCB fêmea 90°.
- Modelo do substrato: FR4 (Fibra de vidro).

Já as dimensões das blindagens:

- Placa 1: Trilha aterrada com largura (W) = 3,2 mm, 8 vias com raio $R = 0.8$ mm, distância entre furos de 1,14 cm e distância do furo de término/início da placa de 1 cm.
- Placa 2: Serpentina aterrada com largura da trilha da serpentina = 1 mm, largura da serpentina = 3.2 mm e o comprimento do eixo x de cada segmento = 19.2 mm

Fig. 3. As três microfitas para teste



2.2 DELIMITAÇÕES

O intervalo da frequência de aplicação na simulação e medição está entre 9,0 KHz a 3,0 GHz. O acoplamento na simulação e medição pode também ser classificado como acoplamento forte (múltiplas interações entre as linhas são consideradas), diferente do acoplamento fraco. O par de condutores é eletricamente longo quando ($L > \lambda / 10$), a linha será considerada linha de transmissão.

2.3 DESENVOLVIMENTO DOS LAYOUTS PARA SIMULAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O *software* utilizado como ferramenta foi o ADS®. A Co-simulação eletromagnética é um solucionador eletromagnético que processa os parâmetros S para circuitos planares gerais e que transforma as equações eletromagnéticas de Maxwell em equações integrais [8] e depois aplica a discretização numérica, processo conhecido como método dos momentos. Todas as características citadas no item A foram inseridas para se ter a melhor aproximação possível dos valores medidos. A diferença com o ambiente *Schematic* opcional está na consideração das perdas dielétricas ($\tan \delta$).

Os efeitos do acoplamento podem ser investigados usando a Co-simulação do ADS®. Ressonâncias estreitas em circuitos podem ser medidas, ao contrário da modelagem analítica que não podem ser medidas. Com isso é possível uma aproximação numérica da simulação com as medições, pois o cálculo considera agora as estruturas planas em substrato com camadas e perdas. Os modelos de acoplamento fraco não podem prever que em que frequência do circuito se torna eletricamente longo e o circuito começa a ressoar. Este erro de previsão resulta na omissão do efeito do circuito receptor no circuito gerador.

Fig. 4. Circuito de cada microfita: a) Sem blindagem; b) Blind. com trilha aterrada; c) Blind. com trilha e furos d) Blind. com serpentina

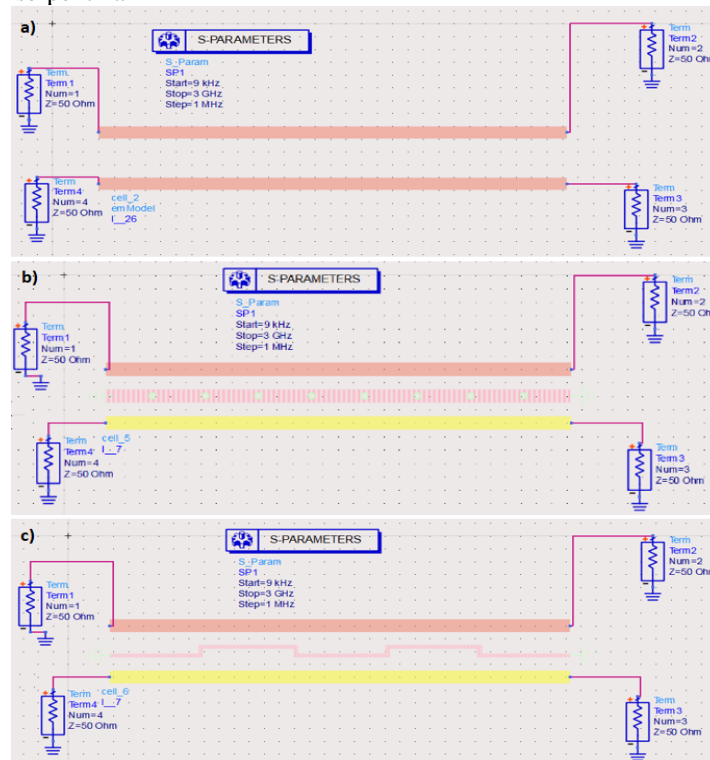


Fig. 5. Características das camadas do substrato

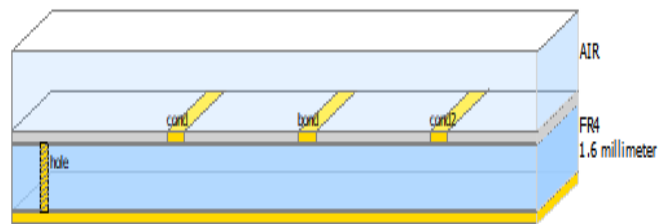
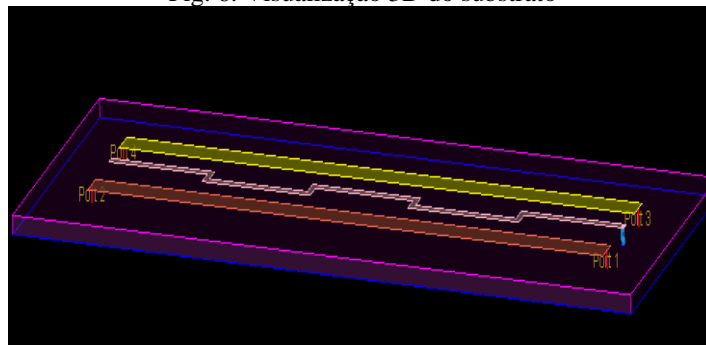


Fig. 6. Visualização 3D do substrato



Nas figuras 4, 5, 6 são mostrados respectivamente, a modelagem das três estruturas no simulador, os terminais representam fisicamente os conectores SMA. No substrato foram especificadas as duas camadas de condução (linha 1 e 2) e a camada blindagem que estava aterrada na camada de aterramento através da via (*hole*). E por fim, a visualização 3D da microfita que é importante para verificação da conectividade das camadas.

2.4 REALIZAÇÕES DAS MEDIÇÕES.

Foi utilizado para medição dos parâmetros $S(3,1)$ e $S(4,1)$ de cada placa o Analisador de rede vetorial (Rohde & Schwarz ZVL6 2Ports), como forma de validação das simulações apresentadas no item B.

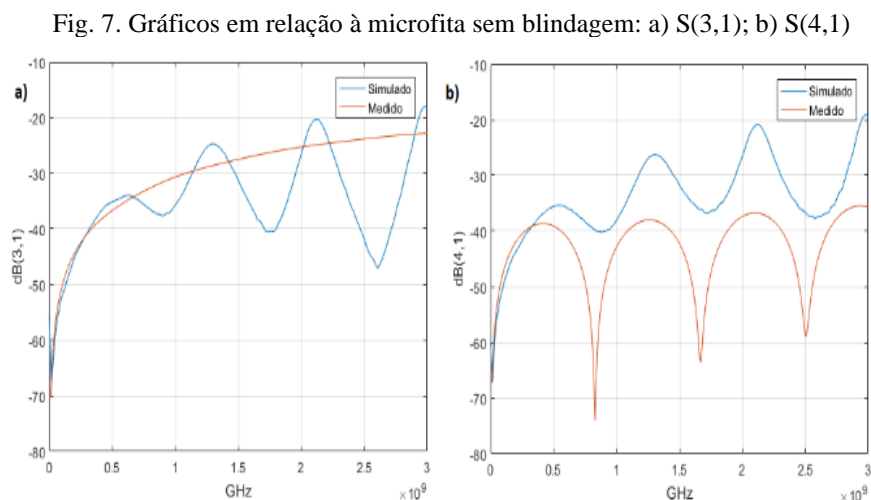
O analisador para correta medição deve ser calibrado para retirar qualquer influência que possa atrapalhar na leitura das medições como os cabos e conectores. Foram coletados 300 pontos em um intervalo de 9,0 KHz a 3,0 GHz.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES SIMULADOS E MEDIDOS

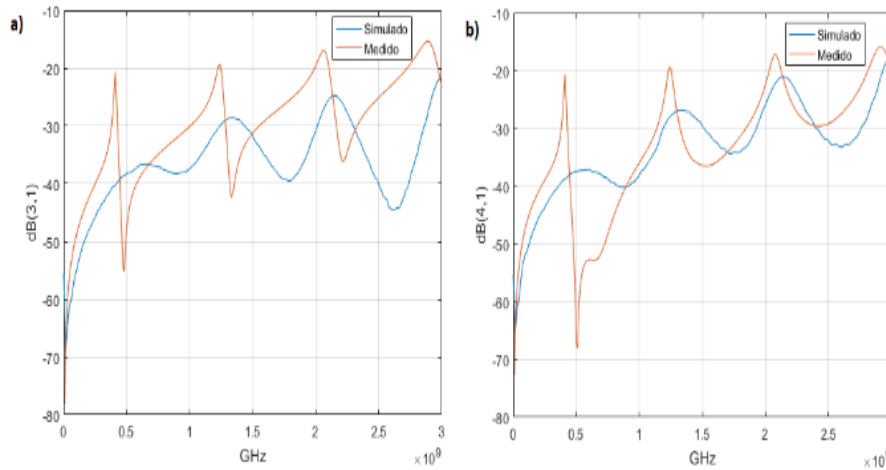
Como já dito, os resultados simulados $S(3,1)$ e $S(4,1)$ foram comparados com os resultados medidos para os três modelos de placas no domínio da frequência.

O primeiro caso, mostrado na figura 7, a simulação apresentou um erro médio percentual de 15,29% em relação a medição no parâmetro $S(3,1)$. Já no parâmetro $S(4,1)$ a simulação apresentou um erro médio percentual de 20,3% em relação a medição, apesar da aproximação dos dados com a frequência em até 500 MHz.



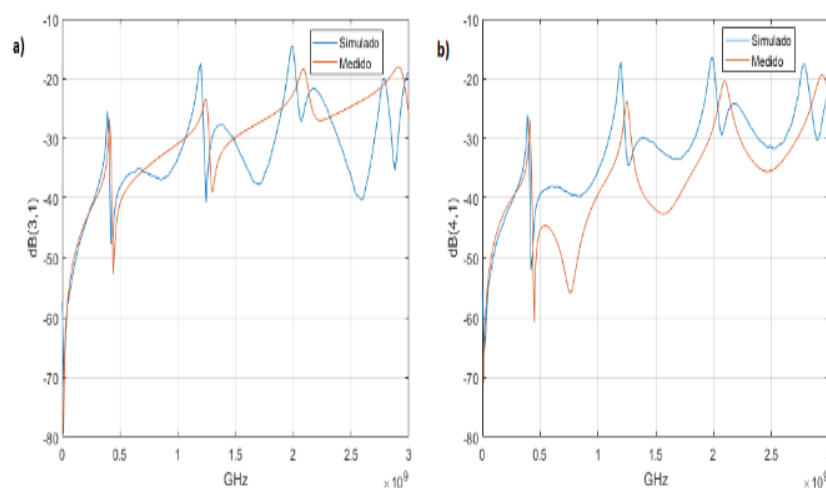
O segundo caso, mostrado na figura 8, a simulação apresentou um erro médio percentual de 20,8% em relação a medição no parâmetro S(3,1). Já no parâmetro S(4,1) a simulação apresentou um erro médio percentual de 0,4% em relação a medição.

Fig. 8. Gráficos em relação à microfita com blindagem de trilha aterrada e furos: a) S(3,1); b) S(4,1)



O terceiro caso, mostrado na figura 9, a simulação apresentou um erro médio percentual de 7,58% em relação a medição no parâmetro S(3,1). Já no parâmetro S(4,1) a simulação apresentou um erro médio percentual de 11,71% em relação a medição, apesar da aproximação dos dados com a frequência em até 500 MHz.

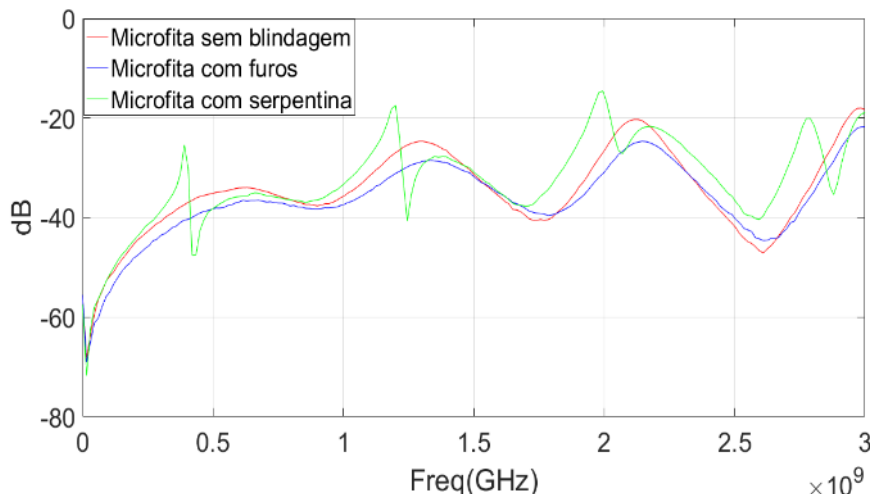
Fig. 9. Gráficos em relação à microfita com blindagem de serpentina: a) S(3,1); b) S(4,1)



Na figura 10, é mostrado um gráfico comparativo sobre o desempenho do parâmetro FEXT entre as placas. Na frequência de 2,5 GHz as blindagens não foram eficientes para reduzir o ruído de *crosstalk*, já na média de valores a microfita com blindagem em furos na trilha central reduziu 2,38 dB o ruído. Podemos observar também que em baixas frequências (Até 1,5 GHz) as blindagens obtiveram melhores resultados

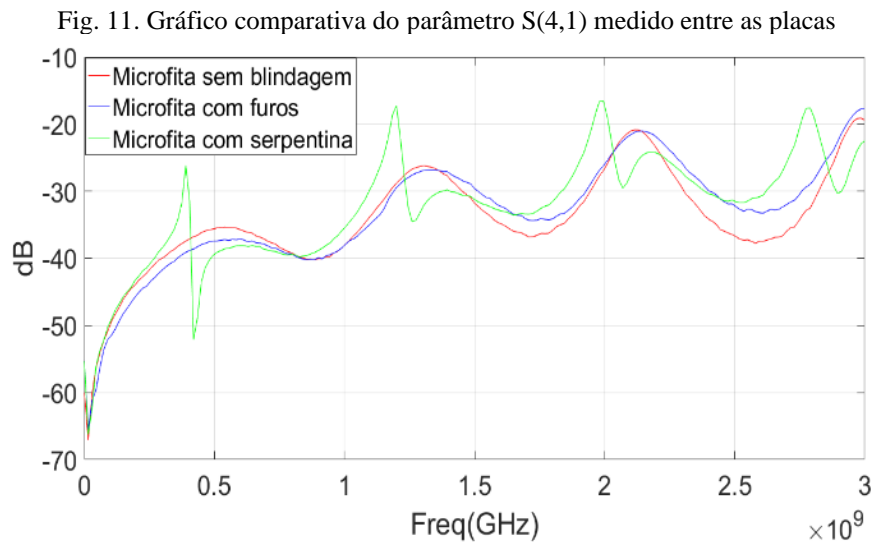
na redução do ruído. A placa com melhor desempenho entre as placas foi a microfita com blindagem em furos na trilha central, a microfita com serpentina em frequências abaixo de 1,5 GHz obteve maior oscilação.

Fig. 10: Gráfico comparativa do parâmetro S(3,1) medido entre as placas



Na figura 11, é mostrado um gráfico comparativo sobre o desempenho do parâmetro NEXT entre as placas. Na frequência de 2,5 GHz as blindagens não foram eficientes para reduzir o ruído de *crosstalk*, assim como a média de valores. Podemos observar também que em baixas frequências (Até 1,5 GHz) a blindagem a placa com melhor desempenho entre as placas foi a microfita com blindagem em furos na trilha central, a microfita com serpentina em frequências abaixo de 1,5 GHz obteve maior oscilação.

Observando que em pequenas frequências, o comprimento da onda eletromagnética é alto e nas elevadas frequências o comprimento da onda eletromagnética baixo, o comprimento da trilha deverá ser projetado para satisfaz a delimitação de uma linha de transmissão ($L > \lambda / 10$), por isso que as blindagens não foram eficientes na redução do ruído com o aumento da frequência, onde a relação das placas experimentais é insatisfeita ($100 \text{ mm} < 12 \text{ mm}$) mm para uma frequência de 2,5 GHz.



3.2 INVESTIGAÇÃO SOBRE A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA UMA MELHOR OTIMIZAÇÃO

A influência do comprimento das linhas é não linear e é mais importante para o NEXT do que para o FEXT. O *crosstalk* diminui à medida que o comprimento das linhas acopladas diminui.

A influência da permissividade dielétrica não é linear. E o *crosstalk* diminui à medida que a permissividade dielétrica diminui.

A influência da largura da linha dependendo do espaçamento entre o acoplamento, o NEXT e o FEXT diminuem exponencialmente com o aumento do espaçamento entre as linhas de transmissão acopladas. Além disso, aumentar a largura da trilha reduz *crosstalk*.

3.3 OUTRAS LITERATURAS SOBRE O ASSUNTO

Conforme [4] - [7] e simulações, deve-se observar que a blindagem com serpentina foi menos eficiente devido à conexão ter apenas em um ponto de aterramento. Outro ponto é que o aumento da frequência torna ineficiente a blindagem com serpentina, pois o comprimento da linha deve obedecer com folga a relação $L < \lambda / 10$ ($\lambda = v / f$).

Conforme [4] - [7] e simulações, o aumento do espaçamento, aumento da permissividade do substrato, diminuição da altura do substrato, aumento da largura da blindagem reduz os ruídos causados pelo efeito do *crosstalk*. O aumento de furos e largura da blindagem aumentaria a redução do ruído, mas em elevadas frequências entraria em ressonância. O diâmetro da via deve ser compatível à largura da linha, a fim de manter a integridade do sinal dentro da largura de banda de interesse.

No estudo [2], foram feitas medições em microfitas com blindagens do tipo trilha central, serpentina, *stubs* e com camada de grafite nas linhas. Os resultados apresentados mostraram que em termos de valores máximos NEXT a blindagem que apresentou uma redução significativa foi a blindagem com camada de grafeno, já o FEXT, a blindagem que apresentou uma redução significativa foram as blindagens com *stubs* e com camada de grafeno na faixa de até 10 GHz. O único problema citado foi a diminuição da potência transmitida e de saída nas linhas revestidas com grafeno.

Já no estudo [3], foram feitas medições em microfitas com blindagens do tipo trilha central sem furos e com trilha central com 12 vias. Os resultados apresentados mostraram uma redução do NEXT/FEXT com blindagem de trilha central de -10 dB e na redução NEXT/FEXT com blindagem de trilha central de 12 vias de -30 dB/- 20 dB na frequência de 10 GHz.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, investigou-se as formas de redução de ruído *crosstalk* em dois modelos de blindagem (trilha aterrada, serpentina e trilha aterrada com 8 vias), e conforme montagem dos layouts de cada placa no *software* ADS®, validação pelas medições com modelos físicos e variação das dimensões, concluímos que para acoplamentos fortes, pela dificuldade analítica, a ferramenta Co-simulação do ADS® é uma ótima opção para otimização e modelagem de blindagens através do projeto de microfitas.

Como trabalhos futuros, propõe-se outras formas de blindagens em frequências maiores, devido à miniaturização do tamanho dos circuitos eletrônicos modernos, ocasionando proximidade das interconexões e a necessidade de redução dos ruídos.

REFERÊNCIAS

- [1] CHAPTER 2 NEAR-END CROSSTALK AND FAR-END CROSSTALK. Anna University. Chennai, Índia. Disponível em https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/180853/8/08_chapter%202.pdf. Acesso em: 26/03/2021.
- [2] Mahmoud I. Refaie, Walid S. El-Deeb, and Mahmoud I. Abdalla. A Study of Using Graphene Coated Microstrip lines for Crosstalk Reduction at Radio Frequency. 2018, 35th NATIONAL RADIO SCIENCE CONFERENCE (NRSC 2018), 2018. Misr International University (MIU), Cairo, Egypt
- [3] Avali Ghosh, Sisir Kumar Das, Annapurna Das, Effect of Vias for Crosstalk Reduction in the Coupled Microstrip Lines. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 6, Issue 4, April 2016. ECE Department, GNIT, Kolkata, West Bengal, India
- [4] N. Tidjani, B. Le Jean-Charles, A. Ouchar, Raingeaud, Yves Electromagnetic Coupling Modeling of Microstrip Lines Used in Switching Power Supplies. Journal of Control Science and Engineering 1 (2013) 55-59.
- [5] A. Ghosh, S. Das, A. Das. Minimization of Crosstalk in PCB. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor :6.887 Volume 6 Issue I, January 2018- Available at www.ijraset.com.
- [6] A. Suntives, A. Khajooeizadeh, R. Abhari. Using Via Fences for Crosstalk Reduction in PCB Circuits. Department of Electrical and Computer Engineering. McGill University Montréal, Québec H3A 2A7, Canada.
- [7] R. Packianathan. R. Srinivasan. Comparative Study of Crosstalk Reduction Techniques in RF Printed Circuit Board Using FDTD Method. International Journal of Antennas and Propagation. Volume 2015, Article ID 294590, 9 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/294590>.
- [8] F. C. Siqueira. As equações de maxwell e as ondas eletromagnéticas. Brazilian Journal of Development. t, Curitiba, v.7, n.9, p. 93571-93589 sep.2021 DOI:10.34117/bjdv7n9-497.