



Caracterização e análise de desempenho da permissividade dielétrica efetiva de placas de circuito impresso utilizadas em Amplificadores de Potência de Estado Sólido (SSPA,s)

Pedro Henrique Santos, Rodolfo Antônio da Silva Araújo, Eleandro Marques
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Resumo — A constante dielétrica de substratos presentes nas placas de circuito impresso utilizadas em sistemas eletrônicos de RF que operam na região micro-ondas, como filtros, antenas e Amplificadores de Potência de Estado Sólido (SSPA,s), são de extrema importância para a análise, otimização e devida implementação física destes sistemas. Para isso, este trabalho demonstra a caracterização elétrica da permissividade dielétrica efetiva de uma placa utilizada em SSPA,s utilizados em satélites. São demonstrados os resultados obtidos na caracterização para, posteriormente, a realização de uma comparação com trabalhos anteriores de outros autores, o que confere a eficiência da técnica adotada. Os dados obtidos serão utilizados em futuros projetos de RF, para a devida otimização e melhoria dos mesmos, bem como na geração de condições de contorno necessárias para melhor performance do sistema a ser desenvolvido para testes.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de placas de circuito impresso em circuitos eletrônicos de RF que operam nas faixas micro-ondas é um dos desafios a serem enfrentados pelo projetista desses circuitos, visto que alguns fatores como interferências, perdas no dielétrico e sensibilidades a ruídos devem ser levados em conta para a devida precisão das respostas dos sinais após a interação com o substrato da placa [1], [2].

A utilização de linhas *microstrip* para a construção de estruturas utilizadas em Amplificadores de Potência de Estado Sólido (SSPA,s) são essenciais, visto que o projeto pode implementar elementos distribuídos como resistores, capacitores e indutores, diretamente nas placas, utilizando o substrato das mesmas como dielétrico, sendo necessários para a sintonia e casamento de impedâncias dos transistores utilizados nestes sistemas, o que reduz o custo do projeto e também a otimização do mesmo [2].

Dessa forma, a caracterização elétrica destas placas são necessárias para a avaliação dos padrões relativos ao dielétrico utilizado, pois os desvios inerentes à construção podem comprometer ou até mesmo invalidar os projetos que operam em frequências RF micro-ondas, fornecendo respostas que não condizem com as simulações.

Sendo assim, este trabalho demonstra a caracterização da permissividade efetiva relativa de uma placa de circuito impresso utilizada em SSPA,s de sistemas radares embarcados em satélites, através de simulações para a construção e realização dos testes elétricos necessários para avaliar os parâmetros da placa utilizada. Os resultados obtidos no teste foram comparados com trabalhos anteriores e demonstraram tanto a eficácia do método utilizado quanto seu potencial para a devida otimização de circuitos eletrônicos que operam em RF na frequência de micro-ondas.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização do dielétrico, foi utilizado uma placa de substrato PTFE DUROID 6010-5 marca ROGERS. Inicialmente foram projetadas e simuladas duas linhas *microstrips* de diferentes comprimentos, linha 1 e linha 2, em uma frequência de 1,25 GHz, utilizando o software CST. Posteriormente as mesmas foram construídas utilizando uma fresadora LPKF, PROTOMAT M60.

As placas contendo as linhas fresadas foram divididas por pontos, em linhas e colunas, sendo que cada um dos pontos foi medido utilizando um micrômetro com precisão de 0,01mm. Tal procedimento se fez necessário para avaliar a rugosidade e a penetração da fresa no substrato. Os dados foram devidamente tratados e com isso gerou-se um perfil das placas construídas.

Posteriormente, as mesmas foram montadas em uma estrutura de fixação, medindo-se os parâmetros S através de um VNA AGILENT E8364B para a devida correlação e análise de diferença de fase dos sinais nas linhas 1 e 2, conferindo assim a validação da permissividade efetiva do substrato utilizado. O procedimento da técnica de diferença de fase pode ser verificada em [1], [2]. O VNA foi programado para uma varredura em uma faixa de frequências de 0,5 GHz à 9 GHz.

A Figura 1 demonstra as etapas realizadas no processo de caracterização da permissividade da placa.



Figura 1: Etapas realizadas na caracterização da permissividade do substrato.

Na Figura 1, em 1, é possível perceber a diferença na profundidade do substrato devido à fresagem da placa, detalhada em roxo. Em 2 temos a estrutura já montada para a devida caracterização e em 3, temos o setup de teste adotado para a caracterização elétrica da permissividade da placa.

A partir destas etapas, foi possível gerar os dados dos parâmetros S relativos as duas linhas construídas e, com isso, realizar a análise e o tratamento dos mesmos para a determinação da permissividade efetiva do substrato analisado.

III. RESULTADOS

Após a coleta e o processamento dos dados obtidos das duas linhas, foi possível gerar o gráfico que relaciona a permissividade efetiva para as diferentes frequências que foram utilizadas. O gráfico obtido pode ser visualizado na Figura 2.

Neste caso, é possível perceber que conforme se aumenta a frequência, a permissividade efetiva tende a se igualar à permissividade relativa do substrato, que é fornecida pelo fabricante.

Segundo [2], este fenômeno ocorre devido a maior concentração das linhas de campo elétrico dentro do substrato.

Observando a figura 2, também é possível observar uma pequena variação nas frequências compreendidas entre 3,5 GHz à 9GHz.

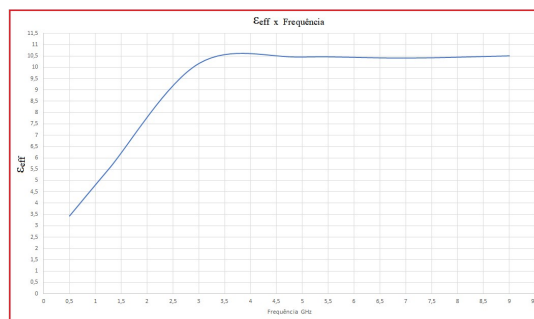


Figura 2: Permissividade efetiva em função da frequência utilizada

Infer-se que podem ter ocorrido devido à variações na profundidade do substrato, geradas a partir da etapa de fresagem, pois, como previamente comentado, em maiores frequências os campos são mais concentrados dentro do substrato e, como existe uma variação no mesmo, como descrito a resposta não será homogênea em sua extensão.

Posteriormente, os dados foram comparados com trabalhos realizados por [3]. Neste caso, os autores realizaram simulações utilizando o mesmo substrato e, a partir do Método de Monte Carlo, analisou-se os efeitos relativos à permissividade efetiva do material para diferentes situações, através de valores aleatórios gerados na simulação. A Tabela 1 demonstra a comparação deste trabalho com o trabalho de [3]. Também são descritas as larguras e os comprimentos das linhas caracterizadas neste trabalho.

Permissividade efetiva Δw	Média	Mínima	Máxima	Desvio Padrão	Largura da linha (w)(mm)	Comprimento (L)(mm)
10%						
Medidas após fresagem	7,11	7,024	7,164	0,07	-	-
Trabalhos realizados em [3]	6,966	6,752	7,187	0,096	-	-
Linha 1	-	-	-	-	1,19	85,7
Linha 2	-	-	-	-	1,19	36,1

TABELA 1: Comparação das medidas de permissividade encontradas.

Sendo assim, a técnica utilizada para a análise da permissividade do substrato, utilizando o método da diferença de fase dos sinais, se demonstra satisfatório e pode ser aplicado quando se deseja caracterizar a permissividade efetiva do mesmo, fornecendo assim maior precisão para os projetos que utilizam linhas *microstrips* em frequências RF nas faixas de de micro-ondas. Ressalta-se que tal método possui a vantagem de ser de baixo custo, além de sua simplicidade, especialmente quando comparado com outras técnicas, como por exemplo o método de cavidades ressonantes [1].

IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível observar que o método de diferença de fase entre os sinais das linhas para a caracterização de substratos se mostra devidamente eficaz e com resultados satisfatórios. Tais resultados foram comparados com trabalhos anteriores onde os autores utilizaram o mesmo substrato e que se mostraram de acordo com as especificações do fabricante.

Também foi possível avaliar que os eventuais erros relativos à etapa de fresagem das linhas da placa não interferem de forma significativa na resposta dos sinais obtidos. No entanto, devem ser levados em conta quando no desenvolvimento de elementos distribuídos em torno da placa, de forma a garantir melhor sintonia e casamento dos sistemas.

Logo, os dados obtidos neste trabalho servem como parâmetros de entrada tanto para os modelos de simulação quanto para o desenvolvimento de novos projetos, que estejam de acordo com sistemas que operam em micro-ondas, dentro de uma faixa de 0,5 GHz a 9GHz, e que utilizam o mesmo substrato caracterizado.

REFERÊNCIAS

- DAS, Nirod K.; VODA, Susanne M.; POZAR, David M. Two methods for the measurement of substrate dielectric constant. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, v. 35, n. 7, p. 636-642, 1987.
- POZAR, David M. Microwave engineering. John Wiley & sons, 2011.
- TUDE, E. A. P.; CHIARELLO, M. G. Análise de tolerâncias de uma linha em microstrip pelo método de Monte Carlo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 1., 1983, Rio de Janeiro, BR. Disponível em: <ibi:6qIX3pFwXQZ3r59YCT/GTCNU>.