



APLICAÇÃO DO TDR PARA ANÁLISE E MELHORIA DO DESEMPENHO DE UMA CÉLULA TEM

João Henrique Angelo, Fabrício Gonçalves Torres, Jorge Mieczyslaw Janiszewski
IPT- jangelo@ipt.br, IPT- fabrigt@ipt.br, Escola Politécnica, USP- Jorge@lcs.poli.usp.br

Resumo – O Coeficiente de Onda Estacionária ou VSWR é um parâmetro importante na caracterização de uma célula TEM e seu limite usualmente é dado em norma, uma vez que ele tem influência na adequação da célula para realização de testes preliminares de imunidade a campos elétricos. Este trabalho apresenta a construção de uma célula TEM e a melhoria obtida no comportamento do VSWR após medições com a aplicação da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo ou TDR.

Palavras-chave: Célula TEM; campo elétrico; VSWR; TDR.

INTRODUÇÃO

A preocupação em mitigar problemas de interferência e projetar equipamentos eletromagneticamente compatíveis entre si faz com que os testes de compatibilidade eletromagnética se tornem cada vez mais essenciais, principalmente devido à crescente demanda de dispositivos de comunicação sem fio, cada vez mais sofisticados, decorrentes da nova tecnologia de comunicação móvel (5G) e dos dispositivos IoT [1].

Ao projetar um equipamento de pequenas dimensões, é necessário que se realize um teste prévio de imunidade a campos externos, e uma das formas possíveis é por meio de uma célula TEM (*Transverse ElectroMagnetic*). Este tipo de célula permite que sejam gerados campos eletromagnéticos de alta intensidade, acima de 100 V/m, em uma faixa de frequência de até 3 GHz, a depender das dimensões da célula.

A célula TEM pode ser entendida como sendo a modificação de uma linha de transmissão coaxial, possuindo um condutor externo bipartido e um condutor interior chamado de septo posicionado na região central da célula. As características destas células são baseadas na norma IEC 61000-4-20:22 [2], que passou recentemente por uma atualização. Ela aborda a utilização e as especificações mínimas de uso de uma célula TEM, sendo uma dessas especificações o valor do índice de coeficiente de onda estacionária VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), o que garante que a célula apresente uma boa uniformidade de campo gerado em seu interior, obtida com o adequado casamento de impedâncias em termos de sua impedância característica.

Diversos tipos e modelos de células TEM são disponibilizados comercialmente. Entretanto, os fabricantes não são de origem nacional, impactando substancialmente no custo para a aquisição deste equipamento no Brasil, o que motivou a equipe do IPT a construir uma célula TEM de baixo custo. Ela vem sendo testada e aprimorada, principalmente no que diz respeito à sua impedância característica, por meio da redução do VSWR.

DESENVOLVIMENTO

A célula TEM desenvolvida pelo IPT foi baseada no artigo [3]. A Fig.1 apresenta a célula construída, que possui as seguintes dimensões:

Comprimento total de 76 cm, altura total de 18 cm e largura de 30 cm. Para o condutor externo foram usadas chapas de alumínio e para o condutor central, ou seja, o septo, foi usada uma chapa de PCI cobreada, posicionada na região central da célula.

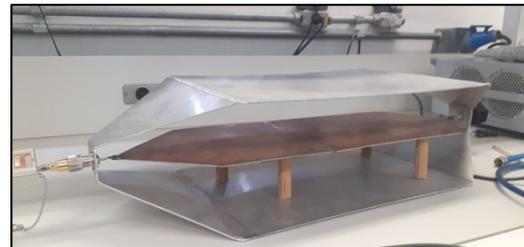


Figura 1 - Célula TEM construída pelo IPT

Para evitar perturbações externas, a célula TEM foi testada no interior da câmara blindada do IPT. Para as medidas de campo elétrico foram aplicados na entrada da célula sinais de RF da ordem de 10 V e frequência até 200 MHz, obtendo-se uma intensidade de campo elétrico por volta de 100 V/m no interior da célula. Na outra extremidade, uma carga de 50 Ω foi acoplada para manter o casamento de impedâncias. As medidas de campo foram realizadas por meio de um sensor de campo elétrico do tipo isotrópico, com resposta em frequência até 3 GHz, conforme apresentado nas Fig. 2 e 3.



Figura 2 - Montagem de teste da célula TEM.



Figura 3 - Detalhe da medição de campo elétrico entre a base da célula e o septo.



Num primeiro momento, as medidas de VSWR foram obtidas por meio do uso de um VNA (*Vector Network Analyzer*) (Fig. 4), que apresentou os valores de VSWR no domínio da frequência.



Figura 4 – Uso do VNA para medida do VSWR da célula TEM.

Com os primeiros testes de intensidade de campo elétricos e VSWR realizados, constatou-se que a célula apresentava em seu interior intensidade de campo elétrico compatível com o esperado, ou seja, a relação entre a tensão aplicada pelo gerador e a intensidade de campo elétrico medido no interior da célula estava próxima dos valores dados pela expressão.

$$E = \frac{V}{d} \quad (1)$$

em que,

V: tensão aplicada pelo gerador.

d: altura da base até o septo da célula TEM.

Verificou-se, porém, que não foi atendido o limite máximo de 1,3 para o VSWR (requisito da norma), em diversas frequências, afetando a homogeneidade do campo na área útil da célula.

Para a melhoria do VSWR, foi, então, utilizado um osciloscópio digital de amostragem (Fig. 5), com módulo elétrico de TDR (*Time Domain Reflectometry*), com capacidade para medição de parâmetros S entre 0 e 50 GHz, devido ao seu pulso com tempo de subida menor que 16 ps [4]. Com este equipamento, diferentemente de um VNA convencional, conhecendo-se a velocidade de propagação é possível obter o coeficiente de reflexão ao longo de todo o comprimento do dispositivo, já que ele apresenta os resultados no domínio do tempo. A partir do módulo do coeficiente de reflexão e da respectiva fase, o equipamento determina a impedância do dispositivo sob medição. Assim, é possível identificar a localização exata em que a célula apresenta um alto valor de impedância, permitindo que seja realizada melhoria por meio da alteração deste trecho de forma pontual.



Figura 5 - Montagem utilizando o TDR.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A maior dificuldade durante o processo de construção desta célula foi devido ao ajuste adequado do septo (placa de PCI cobreada), para que o conjunto todo apresentasse uma impedância característica próxima de 50Ω , necessário para haver um bom casamento de impedância entre a instrumentação e a célula TEM.

O primeiro modelo de septo construído apresentava valores de VSWR muito superiores a 1,3 estabelecido na norma, chegando a apresentar VSWR em torno de 9. Pela técnica do TDR, foi possível localizar pontualmente os trechos de maior descasamento de impedância, como apresentado na Fig. 6 a seguir. Nesta medida foi constatado um pico na ordem de 253Ω no início da transição do septo.



Figura 6 – Impedância ao longo da célula.

No detalhe apresentado na Fig. 7, é possível observar que o septo possui formato pontiagudo, afastado do terminal do conector tipo N, que, por sua vez, gera uma alta descontinuidade na linha. A partir destas informações, o septo foi reajustado de forma a reduzir o valor do VSWR.



Figura 7 - Detalhe do aspecto construtivo do septo da célula antes das melhorias realizadas na célula TEM.

Foi, portanto, desenvolvido um novo septo de tal forma que houvesse uma aproximação maior com o início do terminal dos conectores e um formato trapezoidal nas terminações, permitindo, assim, uma transição mais suave entre o início do conector e o septo (Fig. 8 e 9).



Figura 8 - Modificação realizada no septo após medidas com o TDR.

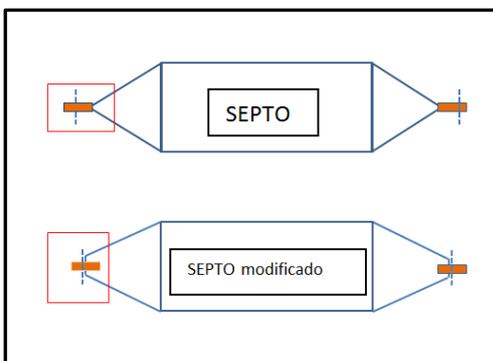


Figura 9 – Representação esquemática das alterações.

Após a construção de um novo septo, considerando as modificações comentadas, um novo teste com o VNA e com o TDR foi realizado e, então, foi observada uma redução significativa do pico de impedância para 76Ω , permitindo alcançar o valor de VSWR entre 1,0 e 1,5 (no pior caso), ou seja, bastante próximo ao valor sugerido pela norma técnica (Fig. 10 e 11).

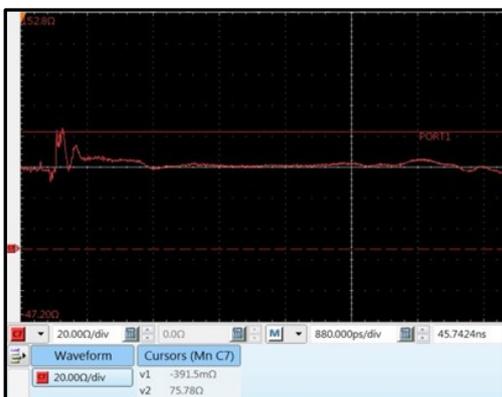


Figura 10 - Impedância considerando o novo septo, medida com o TDR.

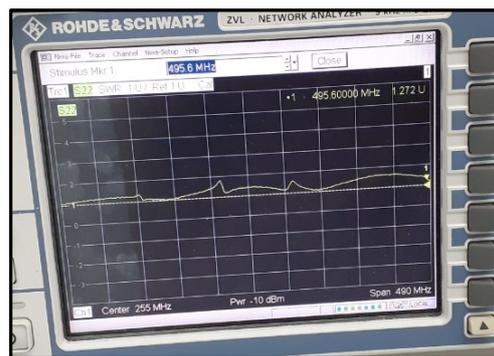


Figura 11 - Impedância considerando o novo septo, medida com VNA.

CONCLUSÃO

Diferentemente de um VNA convencional, o TDR permite obter as medidas de Parâmetros S no domínio do tempo e, conseqüentemente, pode-se avaliar o comportamento da impedância ao longo de uma linha de transmissão. Isto é de grande valia quando se deseja aperfeiçoar a geometria do sistema em projetos que envolvam análise de casamento de impedância. O trabalho apresentou uma dessas possíveis aplicações, reajustando as dimensões físicas de uma célula TEM, cujo valores de VSWR eram elevados, o que prejudicava a homogeneidade de campo elétrico gerado em seu interior. Com o novo septo reestruturado, foi possível reduzir a impedância obtida pelo TDR, num ponto, de 253Ω para 76Ω , permitindo aproximarmos-nos do VSWR ideal, adequado para emprego da célula TEM.

REFERÊNCIAS

- [1] F. G. TORRES e J. H. ÂNGELO, "A Importância dos Testes de Compatibilidade Eletromagnética," Revista O Papel, Ano LXXXIII, N° 7, p. 88-89, Jul. 2022.
- [2] IEC 61000-4-20 "Testing and measurement techniques - Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides," Edition 3.0, ISBN 978-2-8322-1083-0, 02-2022.
- [3] S. M. SATAV and V. AGARVAL, "Do-it-Yourself Fabrication of an Open TEM Cell for EMC Pre-compliance," IEEE EMC Society Newsletter., no. 218, pp 66-71, 2008.
- [4] TEKTRONIX, "DSA8300 Digital Serial Analyzer and 80A00, 80C00, 80E00, 82A00 Sampling Modules 80N01, 80X00 Electrical Sampling Module Extender Cables Declassification and Security – Instructions," Part Number 077057604, Set. 2019.