



Estudo de Irradiação de Sinais Pulsados de RF Gerados por uma LTNL Capacitiva

SILVA, L. C.¹, ROSSI, J. O.², RANGEL, E. G. L.²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Aluno de Mestrado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Laboratório Associado de Plasmas – LABAP

leandro@lit.inpe.br

Resumo. *As Linhas de Transmissão Não Lineares (LTNLs) estão sendo estudadas para aplicações em radares aeroespaciais, telecomunicações e dispositivos médicos. Os sinais pulsados de radiofrequência (RF) gerados pelas LTNLs podem ser irradiados por antenas. Contudo, poucos artigos apresentaram resultados experimentais com relação à transmissão e recepção de sinais de RF gerados por LTNLs. Este artigo apresenta os resultados de simulações e medições realizadas com uma LTNL capacitiva de 30 seções usando diodos varactores como elementos não lineares. O estudo foi realizado através de análises dos sinais medidos nos domínios do tempo e frequência. Os resultados experimentais apresentaram boa concordância com os resultados de simulações. Os sinais pulsados de RF com frequência de 40 MHz foram perfeitamente transmitidos e recebidos por antenas do tipo dipolo de meia onda.*

Palavras-chave: linha de transmissão não linear; diodo varactor; sinal pulsado; antenas.

1. Introdução

As LTNLs têm sido identificadas como uma promissora fonte de sinais de radiofrequência e micro-ondas de alta potência. Esta tecnologia pode ser usada como uma alternativa para o desenvolvimento de transmissores de sinais pulsados de alta potência, que incluem os geradores de pulsos de RF e os amplificadores de potência de estado sólido ou TWT (Traveling Wave Tube) [DARLING; SMITH, 2009]. Já foi demonstrado que uma LTNL pode gerar até 20 MW de potência de pico na faixa de frequência entre 200 MHz e 2 GHz [SEDDON; SPIKINGS; DOLAN, 2007]. Outro estudo apresentou o desenvolvimento de uma LTNL de baixa potência para aplicação médica, onde os pulsos de RF são usados para tratamento de câncer [YOSHIDA et al., 2013]. Os sinais pulsados de radiofrequência são normalmente usados em radares aeroespaciais, onde os sinais transmitidos refletem na superfície de um objeto e retorna para o receptor possibilitando os cálculos de distância, velocidade e localização, bem como a produção de imagens do objeto, como, por exemplo, as imagens de alta definição produzidas pelos Radares de Abertura Sintética (Synthetic Aperture Radars - SAR).



As características dos sinais pulsados produzidos pelas LTNLs, como atraso, largura do pulso, número de oscilações, frequência e profundidade de modulação podem ser facilmente analisadas em experimentos de baixa tensão. Além disso, as LTNLs de baixa tensão podem ser construídas com componentes comerciais de baixo custo e as medições podem ser realizadas em laboratório com ótima precisão.

Um estudo anterior estudou o desempenho desta mesma LTNL capacitiva de 30 seções. Foi analisada a influência da forma do pulso de entrada da linha na geração de RF [RANGEL et al., 2016]. Portanto, este estudo apresenta a continuidade do trabalho de pesquisa que está sendo realizado com esta LTNL. Desta vez foi analisado o desempenho da linha quando conectada a uma antena. Neste experimento foram utilizadas duas antenas dipolos de meia onda para transmitir e receber os sinais pulsados de RF gerados pela LTNL. Simulações usando o software LT-SPICE foram utilizadas para comparar com os resultados das medições.

2. Metodologia

Este estudo foi realizado através da análise dos sinais pulsados de RF gerados por uma LTNL capacitiva de 30 seções. Uma LTNL capacitiva utiliza capacitores variáveis em paralelo e indutores em série. Neste experimento foram utilizados diodos do tipo varactor/varicap como elemento não linear (Figura 1). Neste caso, a capacitância do diodo varia de acordo com a tensão reversa aplicada (Figura 2). Foram utilizados os diodos BB809 e indutores de $2,7 \mu\text{H}$.

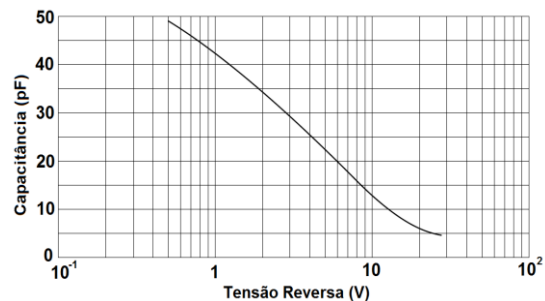
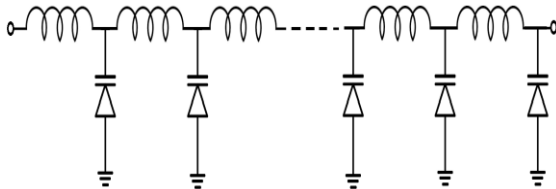


Figura 1. LTNL com varactores e indutores.

Figura 2. Curva do Diodo Varactor BB809.

As simulações foram realizadas no software LT-SPICE. O modelo do circuito da LTNL levou em consideração as perdas ôhmicas nos indutores e diodos, bem como a capacitância parasita entre as espiras dos indutores (Figura 3).

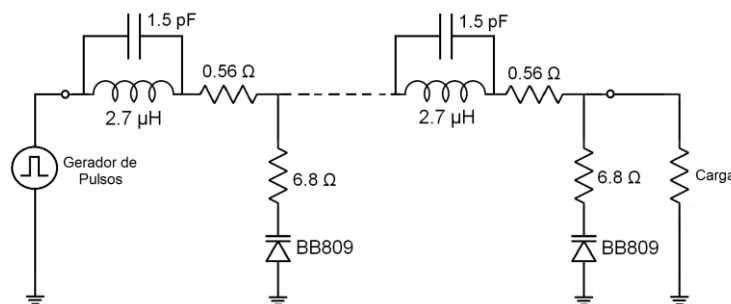


Figura 3. Modelo LT-SPICE da LTNL.



Foi utilizado um gerador de funções (Agilent 33250A) e um amplificador de tensão (Apex PA98) para aplicar pulsos de 30 Vpp com largura de 150 ns e taxa de repetição de 2,5 MHz. Um osciloscópio digital (Rohde&Schwarz RTE 1052) foi utilizado para realizar as medições (Figuras 4 e 5).



Figura 4. Foto da LTNL.

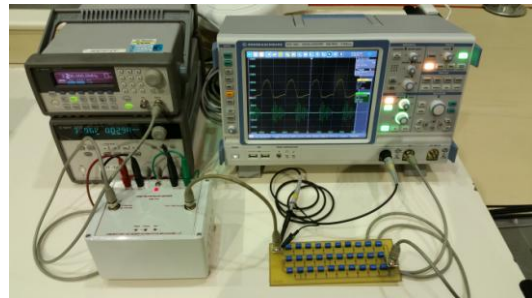


Figura 5. Foto do Setup de Medição.

3. Resultados e Discussão

As primeiras medições foram realizadas com uma carga resistiva de 470Ω conectada na saída da linha. Este valor de resistência foi escolhido por ser o valor médio da impedância característica da linha, que varia com a tensão reversa aplicada no diodo varactor ($220 \Omega < Z_0 < 735 \Omega$). Os resultados das simulações e medições no domínio do tempo na carga de 470Ω são apresentados nas Figuras 6a e 6b, para pulso único e uma sequência de 5 pulsos, respectivamente. Os resultados no domínio da frequência são apresentados na Figura 7.

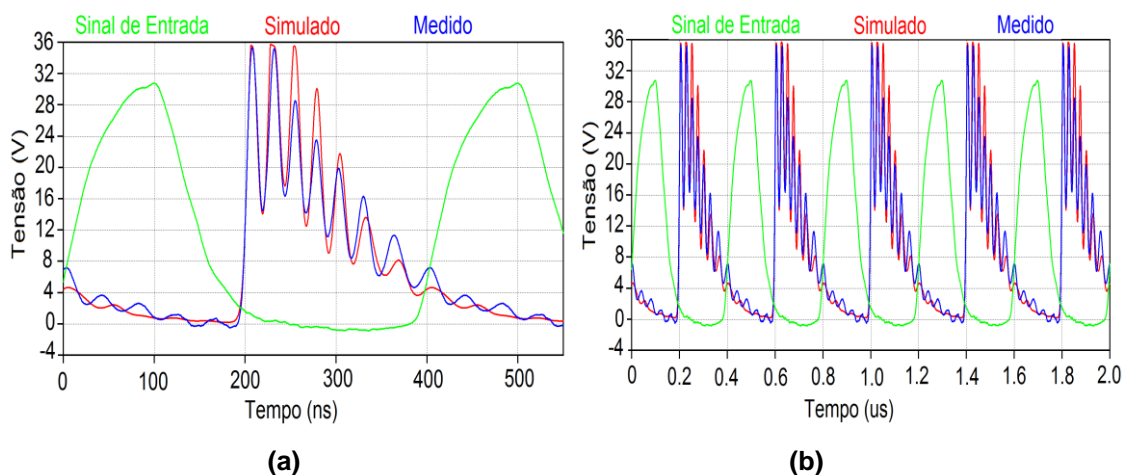


Figura 6. Gráficos no domínio do tempo dos sinais de entrada (medido) e saída da LTNL na carga de 470Ω (simulado e medido) mostrando 1 pulso (a) e 5 pulsos (b).

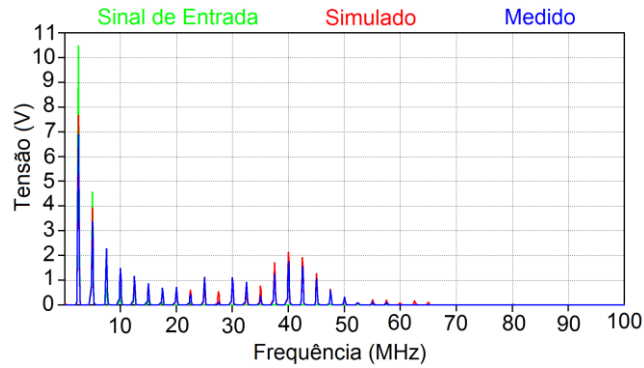


Figura 7. Gráfico no domínio da frequência dos sinais de entrada (medido) e saída da LTNL na carga de 470Ω (simulado e medido).

Após as medições na carga resistiva, uma antena dipolo de meia onda foi conectada na saída da LTNL. Um casador de impedâncias foi utilizado para fazer o casamento entre a LTNL (470Ω) e a antena (50Ω). Outra antena dipolo de meia onda conectada ao osciloscópio digital foi utilizada para receber o sinal pulsado de RF irradiado pela antena transmissora. As antenas transmissora e receptora foram posicionadas a uma distância de 2 metros. As medições foram realizadas no interior de uma câmara anecóica para evitar interferência eletromagnética nos sinais de RF gerados pela LTNL. Os resultados das medições no domínio do tempo do sinal recebido são apresentados nas Figuras 8a e 8b, para pulso único e uma sequência de 5 pulsos, respectivamente. O resultado no domínio da frequência é apresentado na Figura 9.

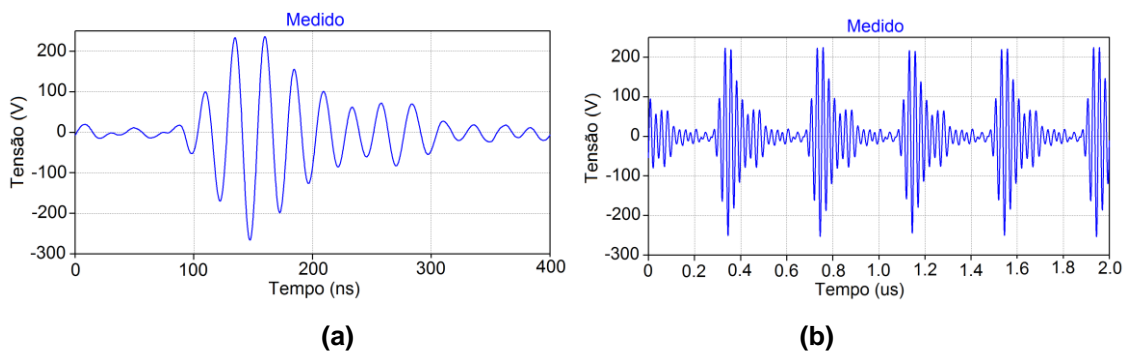


Figura 8. Gráficos no domínio do tempo do sinal captado pela antena receptora mostrando 1 pulso (a) e 5 pulsos (b).

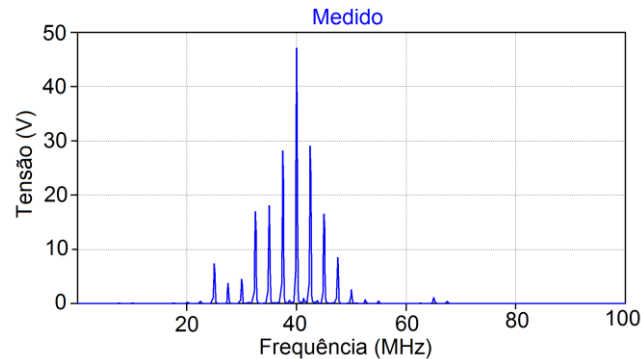


Figura 9. Gráfico no domínio da frequência do sinal captado pela antena receptora.

4. Conclusão

Este artigo descreveu um experimento com uma LTNL capacitiva de 30 seções. Com o auxílio de um amplificador de tensão foi possível injetar uma tensão de 30 Vpp na entrada da linha. Desta forma foi possível atingir a máxima linearidade do diodo varactor (BB809). O desempenho da linha foi analisado através de simulações através do software LT-SPICE, bem como através de medições realizadas em laboratório.

A LTNL alimentada por um sinal pulsado com amplitude de 30 Vpp e taxa de repetição de 2,5 MHz produziu um sinal com oscilações com profundidade de modulação de 22 V e frequência de 40 MHz. O número de oscilações e a largura do pulso permaneceram praticamente iguais tanto para a carga resistiva de 470 Ω como para a antena.

Os resultados das simulações mostraram boa concordância com os resultados experimentais e os sinais produzidos pela LTNL foram perfeitamente irradiados e recebidos pelas antenas dipolo de meia onda.

Referências

- Darling, J. D., Smith, P. W., “High power pulse burst generation by soliton-type oscillation on nonlinear lumped element transmission lines,” in Proc. *2009 IEEE Int. Pulsed Power Conf. (PPC)*, Washington, DC, June 2009, pp. 119-123.
- Rangel, E. G. L., Barroso, J. J., Rossi, J. O., Yamasaki, F. S., Silva Neto, L. P., Schamiloglu, E., “Influence of input pulse shape on RF generation in nonlinear transmission lines,” *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 44, no. 10, pp. 2258-2267, Oct. 2016.
- Seddon, N., Spikings, C. R., and Dolan, J. E., “RF pulse formation in nonlinear transmission lines,” in Proc. *2007 IEEE Int. Pulsed Power Conf. (PPC)*, Albuquerque, NM, June 2007, pp. 678-681.
- Yoshida, D., Ishizawa, H., Tanabe, T., Sugimoto, K., Hosseini, S. H. R., Katsuki, S., Akiyama, H., “Development of burst high frequency wave source for medical application,” in Proc. *2013 IEEE Int. Pulsed Power Conf. (PPC)*, San Francisco, CA, June 2013, pp. 1-4.