

Obtenção dos parâmetros primários de cabos de cobre para o padrão G.fast com os softwares CST e OptEM

D.L.L. Silva, W.B. Monteiro, J.C.W.A. Costa

Resumo— Este artigo apresenta simulações de parâmetros primários para cabos de cobre em frequências até 100 MHz. Especificamente, dois simuladores numéricos – CST *Cable Studio* 2012 e OptEM – foram comparados com um modelo de cabo analítico. Os resultados indicam que o CST *Cable Studio* 2012 não reproduz o efeito de proximidade. O OptEM, sendo um simulador específico para indústria de cabos, apresenta resultados mais próximos da teoria, para os casos considerados.

Palavras-Chave— Simulação numérica, Parâmetros primários, Cabos de cobre.

Abstract—This paper presents the simulations of primary parameters of copper cables, for frequencies up to 100 MHz. Specifically, two numerical simulators – CST *Cable Studio* 2012 and OptEM – were compared with an analytic model cable. The results indicate the CST *Cable Studio* 2012 does not simulate the proximity effect. The OptEM, being a simulator specific for copper cable evaluation, provides results more in line with theory, for the considered cases.

Keywords— Numerical simulation, Primary parameters, Copper cables.

I. INTRODUÇÃO

Os cabos metálicos são ainda hoje a infraestrutura mais utilizada nas redes de acesso banda larga [1]. Atualmente, a 4ª geração da “linha digital do assinante” (*digital subscriber line* – DSL), chamada G.fast [2], encontra-se em processo de padronização. Esse padrão tem por objetivo prover até 1 Gbps, utilizando enlaces de cobre de até 200 m.

Para atingir tal taxa de transmissão, estima-se que o G.fast utilizará frequências até 200 MHz. No entanto, os modelos de cabo padronizados [3] não reproduzem o comportamento anômalo dos cabos metálicos para frequências acima de 30 MHz, devido, por exemplo, às deformidades em sua estrutura. Desta forma, o estudo dos cabos metálicos para a faixa de frequência em questão torna-se crucial no desenvolvimento e avaliação de equipamentos G.fast que explorem ao máximo as características de transmissão desses cabos.

Em princípio, o estudo de cabos metálicos envolve intensa avaliação laboratorial, por meio de medições. No entanto, esse trabalho pode ser reduzido/complementado com o uso de simuladores numéricos, que ajudam na economia de tempo e custos, além de ampliar as possibilidades de investigação.

Este trabalho apresenta os primeiros resultados de um estudo sobre o comportamento de cabos de cobre em frequências até 100 MHz. O objetivo inicial é definir um simulador numérico que seja adequado para o estudo em questão. Para tanto, dois simuladores foram avaliados:

Computer Simulator Tool (CST) *Cable Studio* 2012 [4] e o OptEM [5]. O processo de avaliação deu-se pela definição de três cenários idealizados, os quais podem ser modelados analiticamente com exatidão. É importante frisar que as perdas dielétricas estão fora do escopo deste trabalho. Como a capacitância e a condutância são dependentes das mesmas, a avaliação se restringirá somente aos parâmetros primários de resistência e indutância.

O restante deste artigo está estruturado como segue. A seção II descreve em linhas gerais o modelo teórico usado como referência. A seção III apresenta as configurações utilizadas nas simulações numéricas. A seção IV sumariza os resultados obtidos bem como sua análise enquanto que a seção V apresenta as conclusões deste artigo.

II. MODELO TEÓRICO PARA A RESISTÊNCIA E INDUTÂNCIA

O comportamento eletromagnético de uma linha uniforme com dois condutores paralelos há muitas décadas é descrito na literatura [6]. Especificamente, a impedância série por unidade de comprimento dessa linha é dada por

$$Z_s = 2Z_{pel} + Z_{pro} + j\omega L_{ext}, \quad (1)$$

onde Z_{pel} é a contribuição de impedância devido ao efeito pelicular, Z_{pro} é a contribuição devido ao efeito de proximidade e L_{ext} é a indutância em regime CC. Note que o fator multiplicativo no primeiro termo de (1) faz referência às contribuições devido ao efeito pelicular nos dois condutores.

Os termos de (1) podem descritos em função dos parâmetros físicos da linha, como o raio dos condutores a e distância D entre os seus centros. Por exemplo, L_{ext} é dado por

$$L_{ext} = \frac{\mu_0}{\pi} \ln\left(\frac{D}{a}\right). \quad (2)$$

Para detalhes sobre a descrição de Z_{pel} e Z_{pro} , consultar [7].

A resistência e a indutância por unidade de comprimento do cabo são, respectivamente, $R = \Re\{Z_s\}$ e $L = \Im\{Z_s\}$. Um aspecto importante para a indutância é que, em altas frequências, o termo L_{ext} é predominante em relação às partes imaginárias de Z_{pel} e Z_{pro} . Ou seja, $L_{f \rightarrow \infty} \approx L_{ext}$.

III. SIMULADORES E CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

O CST *Cable Studio* 2012 utiliza em sua modelagem a técnica de linha de transmissão 2D em conjunto com uma 3D de onda completa, enquanto que o OptEM modela através da equação de Helmholtz, diferente de *solvers* de campo estático.

Como dito anteriormente, as simulações avaliaram somente a resistência e a indutância. Além disso, as mesmas levaram em consideração as especificidades do padrão G.fast. Assim sendo, as seguintes configurações foram utilizadas:

- Enlace: um par de condutores paralelos, 100 m;
- Diâmetro dos condutores: 24 AWG (0,511mm);
- Condutividade dos condutores: 58MS/m (cobre);
- Condutores imersos no ar ($\epsilon_r = 1$);
- Espectro de frequência: 100 kHz a 100 MHz.

Essas configurações foram utilizadas em três cenários de simulação, envolvendo três distâncias entre os centros dos condutores de cobre: 0,931mm, 1,210mm e 1,710mm.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A. Resistência

Os resultados para a resistência são apresentados na Fig. 1, onde os dois simuladores são comparados com o modelo teórico descrito na Seção II, para os três cenários considerados. É possível notar que o OptEM apresenta erros abaixo de 4% a partir de 1 MHz, indicando que o simulador reproduz bem os efeitos de proximidade e pelicular.

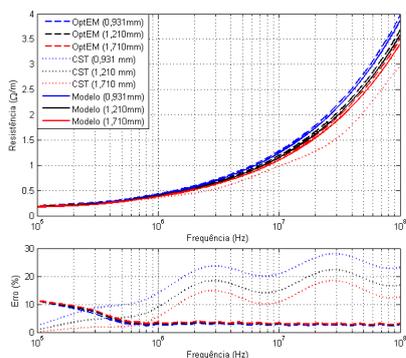


Fig. 1. Comparação das resistências fornecidas pelo OptEM e CST com o modelo analítico de referência, para os três casos propostos neste estudo.

Por outro lado, os resultados do CST estão sobrepostos para os três cenários. Isso provavelmente indica que o efeito de proximidade não é reproduzido adequadamente. Para testar tal hipótese, a Fig. 2 mostra um dos três resultados do CST apresentado na Fig. 1, em comparação com o modelo teórico em (1), excluindo o termo devido ao efeito de proximidade. É possível notar que a partir de 1 MHz o erro percentual oscila em torno de 10% abaixo do modelo, com picos de 15%. Isso atesta que o CST não reproduz o efeito de proximidade.

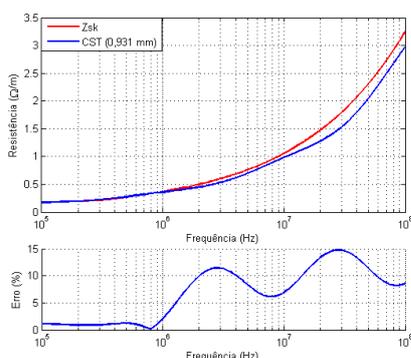


Fig. 2. Comparação do modelo teórico sem o efeito de proximidade com a simulação para a distância de 0,931 mm entre os centros dos condutores.

B. Indutância

Na Fig. 3 são apresentados os resultados para a indutância. Nota-se que a exatidão obtida pelos dois softwares são bem similares, especialmente a partir de 3 MHz. O OptEM obteve um erro percentual máximo abaixo de 4% (caso “0,931 mm”), enquanto o CST obteve erro máximo abaixo de 6% (caso “0,931 mm”). Para frequências próximas a 100 MHz, os dois simuladores apresentam erros percentuais abaixo de 2%.

É importante notar que os resultados para indutância fornecidos pelo CST complementam a análise feita para este simulador com relação à resistência. Como dito anteriormente, a indutância é dada pela soma de L_{ext} e das partes imaginárias de Z_{pel} e Z_{pro} , onde o primeiro termo é o preponderante em altas frequências. A Fig. 2 indica que o CST reproduz o efeito pelicular com exatidão razoável. Além disso, a Fig. 3 mostra que os resultados do CST tem erro desprezível para o final da faixa. Consequentemente, os autores concluem que o CST não reproduz adequadamente o termo Z_{pro} da impedância em série.

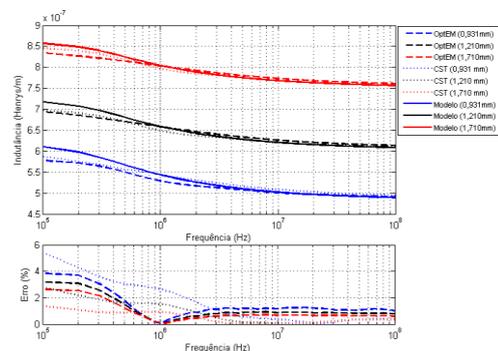


Fig. 3. Comparação das indutâncias fornecidas pelo OptEM e CST com o modelo analítico de referência, para os três casos propostos neste estudo.

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os primeiros resultados de um estudo sobre o comportamento de cabos de cobre para frequências até 100 MHz. Em especial, três casos idealizados, modelados analiticamente com exatidão foram definidos como base para a avaliação dos simuladores numéricos CST *Cable Studio* 2012 e OptEM. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que para simulação de cenários envolvendo cabos de cobre em altas frequências, o OptEM é a escolha mais adequada para o estudo dos parâmetros primários deste tipo de linha de transmissão.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] _____. *World Broadband Statistics: Short Report Q1 2013*. Relatório, Point Topic Ltd, Junho 2013.
- [2] Per Ödling, Thomas Magesacher, Stefan Höst, and Per Ola Börjesson. *The Fourth Generation Broadband Concept*, Lund University. *IEEE Communication Magazine*, Janeiro 2009.
- [3] R.F.M. van den Brink. *Cable Reference Models for Simulating Metallic Access Networks*. ETSI STC. TM6, 1998.
- [4] Computer Simulation Technology AG. *CST Cable Studio User Manual*, 2012.
- [5] OptEM Engineering Inc., Calgary. *OptEM Cable Designer User’s Manual Version 6.4.1*, 2010.
- [6] Clayton R. Paul. *Analysis of Multiconductor Transmission Lines*, 2nd Edition. Wiley, 2007.
- [7] V. Belevitch. Theory of the proximity effect in multiwire cables – Part I. *Philips Res. Rep.*, 32:16–43, September 1977.