



## MODELAGEM DA SINALIZAÇÃO DE LINHA TELEFÔNICA UTILIZANDO TLM

### MODELING SIGNAL TELEPHONE LINE USING TLM

Antonio C. Pinho<sup>1</sup>

Gianfranco Muncinelli<sup>2</sup>

Fecha de envío: Junio de 2011

Fecha de recepción: Junio de 2011

Fecha de aceptación: Agosto de 2011

#### Resumo

O par trançado da rede telefônica externa ainda é usado para transmitir tanto voz convencional quanto dados. A eficiência do sistema de modems pode ser afetada pela sinalização de linha utilizada pela rede pública comutada. O presente trabalho apresenta o uso do método das linhas de transmissão (TLM) combinado com a análise de Fourier para a modelagem do par trançado para transmissão de dados. São estudados os efeitos do toque do telefone, da supervisão e da discagem.

#### Palavras-chave:

modelagem, sinalização de linha, TLM, análise de Fourier, par trançado, transmissão de dados

#### Abstract.

The twisted pair media is still being used to transmit data as it is used to transmit voice. The efficiency of the modem system is challenged by the impairments of signaling system used by POTS (plain old telephone service). Those twisted pairs mean money and they will be used for a time. This paper presents the use of the transmission line method combined with Fourier analysis, ai-

ming to refine the model of the twisted pair, in special way the use in data transmission. The effects of impairments such ringing, hook flash and dialing can be studied.

#### Key Words:

modeling, signal line, TLM, Fourier analysis, twisted pair, data transmission

#### 1. Introdução

Sabe-se que as operadoras de telecomunicações têm muitos recursos investidos em suas redes de par metálico, o que é corroborado pelas tentativas frequentes de *unbun-*

1 Engenheiro elétrico pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado e o Doutorado. É professor Universidade Tecnológica Federal do Paraná/CPGEI/DAELT. Correo electrónico e-mail: acpinho@utfpr.edu.br

2 Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Catarina, Especialista em Engenharia Elétrica, concentração. Especialista em Moderna Gestão Empresarial, Especialista em Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Mestre em Ciências pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Professor Titular Universidade do Contestado. Correo electrónico e-mail: gianfranco@cni.unc.br

*ding* e pelos novos serviços e tecnologias que cada vez mais utilizam a rede existente, na tentativa de obter retorno sobre o investimento feito. Os estudos relacionados às redes de par metálico são diversos e atuais, visando a otimização da transmissão de dados [1].

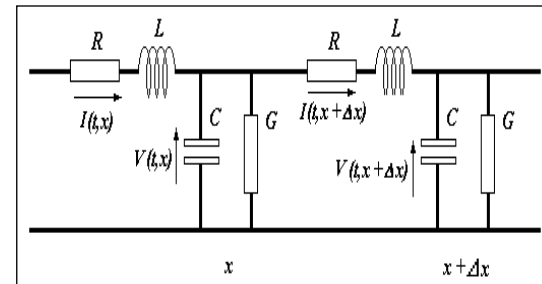
O presente trabalho tem como objetivo contribuir com a modelagem do par trançado mediante a utilização do Método das Linhas de Transmissão (doravante chamado TLM, abreviatura do inglês de *Transmission Line Modelling*) adequadas ao fenômeno da transmissão e reflexão de sinal [2, 3, 4]. A idéia principal é obter um modelo do par trançado que traga informações sobre a integridade do sinal transmitido via este par trançado, na presença da sinalização de linha.

A contribuição é no sentido de se obter informações específicas sobre faixas distintas de frequências de operação dos distúrbios, isolando e analisando cada frequência individualmente, visando comparação com as frequências de operação dos sistemas de transmissão de dados, como HDSL, ADSL, SDSL, etc. A discussão examina alguns eventos de sinalização que podem interferir na transmissão do sinal por indistinguibilidade ou acoplamento em pares adjacentes.

## 2. Método TLM

O TLM é um método diferencial utilizado para a modelagem no domínio do tempo (existe formulação para frequência), sendo que o domínio de estudo é discretizado na forma de segmentos de linha de transmissão em uma dimensão, caracterizados por um conjunto de componentes ( $R$ ,  $L$ ,  $C$  e  $G$ ), em subdomínios onde são executados os cálculos. A figura 1 ilustra a linha de transmissão.

**Fig. 1-** Linha de transmissão com parâmetros distribuídos.



O método numérico da modelagem por linhas de transmissão (TLM) é bastante apropriado para estudos de interferência (EMI) e compatibilidade eletromagnética (EMC) [3]. Por ser um método diferencial no domínio do tempo, a análise de transientes pode ser feita com modelos de rápida aplicação.

O TLM no domínio da frequência encontra-se em estado de evolução bem menor do que no domínio do tempo. Neste caso a excitação é feita em um range de frequências, obtendo-se respostas mais precisas para cada frequência inserida. Admitindo que o objetivo é estudar o fenômeno de forma qualitativa, os resultados obtidos com TLM no domínio do tempo são aceitáveis.

## 3. Modelagem Do Par Trançado

Visto que a estrutura do par metálico associada às redes de acesso (HDSL, ADSL) é extremamente complexa no que diz respeito a emendas; bitolas diferentes do fio; trechos primários, secundários e *drop*; rede interna do assinante e rede interna à central telefônica, e, levando em conta que o objetivo deste trabalho é estudar a influência da sinalização, iremos, baseados nas normas e em trabalhos referenciados, utilizar um modelo onde todos os trechos de cabeamento serão representados por uma única bitola de fio.

Sabe-se que R, L, C e G são variáveis conforme a temperatura e que R e L são variáveis com a frequência. Segundo a norma [4], R e L variam ainda conforme o revestimento (papel ou polietileno), sendo assim adotamos polietileno como revestimento padrão para as simulações – certamente é o revestimento encontrado na maioria das redes externas. A tabela 1 mostra estes parâmetros calculados para algumas frequências de um *loop* padrão [5, 6, 7].

#### 4. Modelagem Da Carga

Um modelo apurado da carga deve levar em conta a impedância relacionada ao circuito equivalente formado pelo par trançado e os *modems*.

Optou-se por simplificar o valor da carga como sendo uma resistência pura de 100Ω, porém o aplicativo gerado [1] possui a capacidade de operar com outros valores de impedância de carga [5, 6].

#### 5. Modelagem Da Fonte

É necessário entender os distúrbios a serem modelados como a fonte (excitação) do TLM, sendo eles o *ringing* (toque do telefone), *hook flash* (supervisão) e a discagem (dialing).

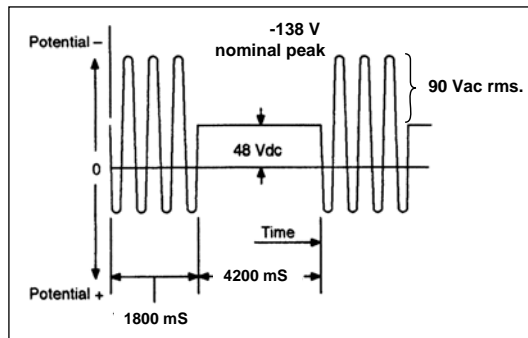
##### 5.1. Modelagem Do Ringing

Conhece-se por *ringing* o “toque do telefone” que é uma tensão AC superposta à uma tensão DC, basicamente uma tensão não-sinusoidal com frequência de 20Hz, 90Vef na fonte. Pode ocorrer variação em algumas centrais telefônicas com range de 16 2/3 a 66 2/3 HZ e tensões de 85 to 135 V. Pela norma ANSI o limite máximo é 150 Vef, aplicado no condutor de “ring” (*tip, ring, ground* = A, B, terra).

No início de cada *burst* do *ringing* há uma transição da tensão DC de -48V de alimentação para a superposição com a tensão AC. Os pulsos duram 2 segundos com a tensão

**Tabela 1. Parâmetros elétricos e de simulação para o loop CSA #6 em 20 kHz, 40kHz, 100kHz e 150kHz [4].**

C loop#6 - fio 24AWG	Características @ 20 kHz	Características @ 40 kHz	Características @ 100kHz	Características @ 150kHz
Comprimento da linha (metro)	2744	2744	2744	2744
Número de nós	51	51	51	51
Número de iterações	512	512	512	512
Resistência da linha por unidade de comprimento	1,76E-01	1,80E-01	2,00E-01	2,23E-01
Condutância da linha por unidade de comprimento	0	0	0	0
Capacitância da linha por unidade de comprimento	5,00E-11	5,00E-11	5,00E-11	5,00E-11
Indutância da linha por unidade de comprimento	7,03E-07	7,00E-07	6,88E-07	6,75E-07
Resistência da carga	100	100	100	100
Resistência da fonte	0	0	0	0
Indutância da carga	0	0	0	0

**Figura 2. Potencial de ringing. [8]**


com interrupções de 4 segundos. A representação da forma de onda do *ringing* é idealmente uma onda senoidal com seu eixo de simetria deslocado do zero em  $-48\text{V}$ . O *burst* é caracterizado em centésimos de milissegundos, conforme mostrado na figura 2 [8].

O *ringing* não é balanceado, pois é aplicado em apenas um condutor (na literatura brasileira o condutor A e na literatura inglesa o condutor R, de *ringing*). Esta aplicação não balanceada da tensão aumenta o acoplamento dentro do par trançado.

### 5.2. Modelagem do Hook Flash (supervisão)

Durante o início de uma ligação, o circuito é fechado e ocorre uma tensão transiente de cerca de  $48\text{V}$  que cai para perto de  $6\text{V}$  no aparelho telefônico.

Esta variação repentina de tensão pode acoplar os pares trançados adjacentes. Os filtros DSL estão conectados apenas ao par em análise, mas os pares adjacentes estão sujeitos ao acoplamento indutivo [8].

### 5.3. Modelagem da Discagem

Estes são transientes periódicos com média de  $40\text{ms}$  de circuito fechado e  $60\text{ms}$  de circuito aberto, proporcional ao tempo para

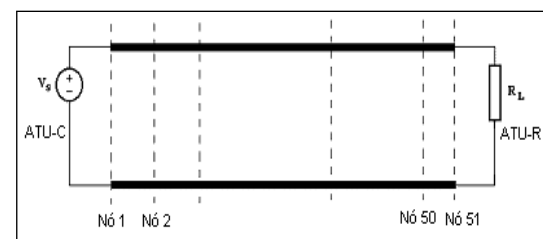
formar o fluxo magnético. Ocorre um paralelo de impedância em todo o circuito e praticamente um curto circuito é feito para obter a máxima corrente [8].

## 6. Estudo Da Interferência

Tendo-se um sistema de transmissão e recepção composto por transmissor e receptor, (onde, na comunicação bidirecional (*full-duplex*), um transmite e o outro recebe, e vice-versa). Cada sistema fará a comunicação em frequências específicas, dependendo da tecnologia utilizada, como por exemplo, no ADSL a faixa de *upload* é de  $20\text{kHz}$  a  $160\text{kHz}$  e a faixa de *download* de  $160\text{kHz}$  a  $1,1\text{MHz}$ .

O exemplo é feito com o sistema ADSL, onde o fluxo do distúrbio causado pelo *ringing* se dá no sentido do ATU-C (*ADSL transceiver unit - central office end*) para o ATU-R (*ADSL transceiver unit - remote end*), pois é gerado pela central de comutação e será recebido pelo aparelho telefônico, localizado na mesma ponta que o ATU-R.

Para estudar a interferência causada pela sinalização do *ringing*, serão feitas simulações com o aplicativo [1] para o sistema onde a excitação é o *ringing* e a carga é o ATU-R, mostrado na figura 3. A excitação é composta pela onda senoidal do *ringing*, com ampli-

**Figura 3. Sistema onde a excitação é o ringing e a carga é o ATU-R.**


tude de 138Vpico; frequência de 20 Hz, aplicada durante 1,8 segundos.

O nível de interferência máximo do *ringing* é nas proximidades da geração do mesmo (próximo ao ATU-C), que coincide com os pontos onde o sinal emitido pelo ATU-R encontra-se em seus níveis mínimos. Dessa forma, as simulações serão realizadas analisando-se o nó 2 do sistema composto pelo *ringing* (segundo nó de maior nível de sinal) e o nó 50 (penúltimo nó, quase na carga do sistema onde a carga é representada pelo ATU-C (equivalente ao nó 2 do sistema anterior)).

Foi usado o aplicativo TLM batizado de LT-DTRING, desenvolvido inicialmente em [2] e alterado em [1] incluindo a capacidade de excitar o sistema utilizando o *ringing*.

## 7. Transformada De Fourier

O sinal de *ringing*, bem como os sinais de interferência localizados, são representados no domínio do tempo. Normalmente consegue-se visualizar melhor o efeito da interferência no domínio da frequência [1], por causa das modulações. Sendo assim é necessário realizar uma análise em frequência utilizando uma FFT (*Fast Fourier Transform*) [9].

Ainda pensando no exemplo do ADSL, e levando em conta que o ADSL usa a modulação DMT, é necessária uma Transformada de Fourier de, pelo menos, 1024 pontos com 4,416 MSPS (*mega samples per second*), que apresenta 512 células cada uma com largura de 4,31265 kHz, e uma frequência máxima de 2,208 MHz, suficiente para análise do sinal ADSL, que atinge máximo de 1,1 MHz. Esta especificação variará conforme a tecnologia empregada.

Para uma maior portabilidade e facilidade no uso dos resultados, optou-se por utilizar o cálculo da FFT via uma planilha do MS Excel, fruto do trabalho do grupo Maxim Dallas Semiconductor [9]. Esta planilha fornece a FFT, bem como gráficos do sinal original e do sinal após a FFT.

## 8. Simulação Com O Ringing

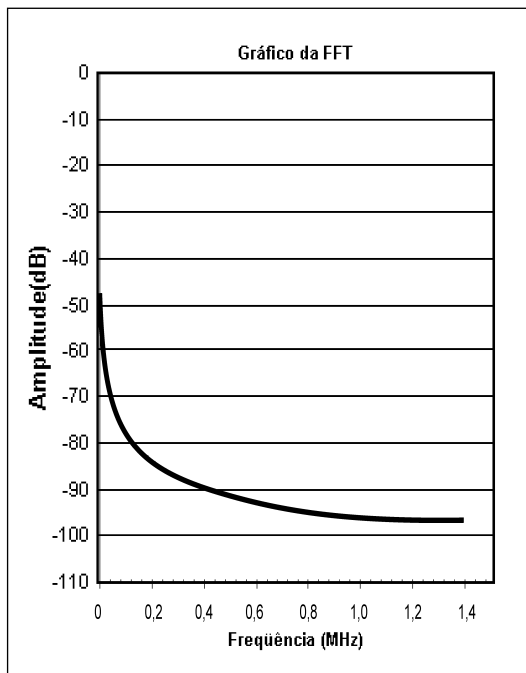
O sinal de *ringing* foi descrito de forma completa anteriormente, porém, para efeito de modelagem, adota-se que, idealmente, é um sinal senoidal, com tensão de 90 Vef (138 Volts de pico), frequência de 20 Hz, aplicado durante 1,8 segundos e retirado durante os 4,2 segundos seguintes. O patamar DC associado de - 48V não será modelado, pois os divisores (*splitters*) têm também a função de filtragem DC.

A carga será modelada por uma resistência pura de 100 W.

**Tabela 2 Parâmetros elétricos e de simulação para o loop C #6 em 20Hz [4].**

CSA loop#6 - fio 24AWG	Características @ 20Hz
Comprimento da linha (metro)	2744
Número de nós	51
Número de iterações	512
Resistência da linha por unidade de comprimento	1,75E-01
Condutância da linha por unidade de comprimento	0
Capacitância da linha por unidade de comprimento	5,00E-11
Indutância da linha por unidade de comprimento	7,03E-07
Resistência da carga	100
Resistência da fonte	0
Indutância da carga	0

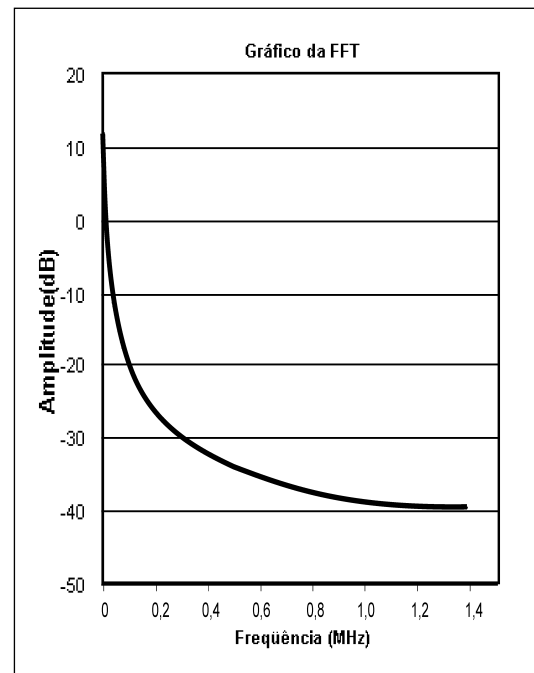
**Figura 7. FFT do ringing calculada no nó 2, C loop #6.**



Os valores dos parâmetros elétricos dos fios do par trançado mudam em função da frequência. No caso específico, para frequência de 20 Hz, a tabela 2 traz os valores dos parâmetros elétricos para o C loop#6. Além das informações físicas, a tabela 1 mostra alguns parâmetros da simulação, como número de nós e número de passos de tempo (número de iterações) que são utilizados no LTDRING – que é o aplicativo modificado do original desenvolvido por Mauro Facioni Filho e Golberi de Salvador Ferreira, publicado em [2]. As alterações realizadas, publicadas em [1], dizem respeito à inserção de novas excitações, contemplando o *ringing*.

Usando o *ringing* como excitação, obtêm-se o seguinte resultado, calculado no nó 51 (carga), apresentado na figura 4, após a FFT [10].

**Figura 4. FFT do ringing calculada na carga (nó 51), C loop #6.**



Verifica-se que a influência da excitação é sentida exatamente no range de frequências de operação do sinal do ADSL.

## 9. Simplificações

Assumindo as considerações de simplificação apresentadas, a metodologia apresentada é utilizada para aproximações qualitativas, ou seja, identificar a perturbação causada pelo distúrbio e em que faixa de frequências ela se apresenta e de que forma influencia a transmissão do sinal. Entre as simplificações principais: a consideração de bitola única no condutor da rede externa, interna do assinante e interna da central telefônica; ausência de paralelos (*bridge tap*); carga, que representa o modem do assinante, foi representada por uma resistência de  $100\Omega$ ; não foram modelados os divisores (*splitters*); a fonte foi modelada simplificada,

sem impedância; o chaveamento do circuito de *ringing* (com a conseqüente modificação da impedância).

## 10. Conclusões

O TLM é um método numérico adequado ao estudo de fenômenos no domínio do tempo; usa-se uma excitação cuja forma de onda consiga excitar os modos de propagação no meio. A resposta é composta de dados no domínio do tempo, onde os diversos modos estão somados, ou seja, é um método onde as respostas transientes têm informações em diversas frequências. A limitação é a excitação utilizada e a conversão para domínio da frequência é feita pela aplicação da FFT.

Para determinar a influência da sinalização na transmissão do sistema em uso, é necessário conhecer esta tecnologia e como ela distribui as tensões em suas portadoras. Assim é possível aferir se o nível da perturbação excede o nível do sinal ocasionando, ou não, indistinguibilidade do sinal.

Sabe-se que estas condições de sinalização coexistem nas linhas ISDN e ADSL. O estudo deve aprofundar-se no sentido de determinar o quanto as interferências são toleráveis e quanto do desempenho é perdido em função delas.

## Referências

- [1] G. Muncinelli, “Aplicação do Método das Linhas de Transmissão (TLM) no Estudo de Distúrbios Não Contínuos em Linhas Digitais Assimétricas de Assinante (ADSL)”. Dissertação de Mestrado. UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.
- [2] M. Faccioni Filho, O Método de Modelagem por Linhas de Transmissão (TLM) e Aplicações em Compatibilidade Eletromagnética (EMC). Dissertação de Mestrado. UFSC. 1997.
- [3] C. Christopoulos, “The Transmission-Line Modeling Method TLM”, IEEE Press, New York, 1995.
- [4] ITU-T. “Recommendation G-996.1 Test Procedures for Digital Subscriber Line (DSL) Transceivers”. International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, 1999.
- [5] T. Ikuma, “Model-Based Identification of POTS Local Loops for DSL Connectivity Prediction”. Dissertação de Mestrado. State University Virginia, 2001.
- [6] D. D. Welsh, “Investigation of Impedance and Mode Conversion of Telecommunications Cables for xDSL Systems Final Report (AY 3944)”. York EMC Services.
- [7] A. Wilkinson, “ADSL/VDSL Line Simulation – A Feasibility Study and Initial Design”. Dissertação de Mestrado. University College London, 1999.
- [8] R. Brown, “Non-Continuous Events in the Telephone Outside Plant”. TIA, 1999.
- [9] Maxim Dallas Semiconductor. Crunching FFTs with Microsoft® Excel. APPLICATION NOTE 3292. [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/3292](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/3292). Acesso em 02 de maio de 2006.
- [10] J. Quarfoot, Managing ADSL Signals and Contending with Noise. CommsDesign. <http://www.commsdesign.com/main/9812/9812feat1.htm>. Acesso em 06/06/2006.