

## Short Papers Series

### Nominal Propagation Velocity

**Dr. Paulo S. Marin, Eng<sup>o</sup>.**

paulo\_marin@paulomarinconsultoria.eng.br

Um sinal que se propaga por um canal é atrasado no tempo por uma quantidade igual ao comprimento do cabo dividido pela velocidade de propagação ( $v$ ) deste. No caso de uma linha de transmissão ideal composta por dois condutores no espaço livre, a velocidade de propagação é igual à velocidade da luz no vácuo ( $c$ ). Para cabos reais, a velocidade de propagação depende das propriedades do dielétrico de seus condutores. Em frequências muito altas,  $v$  se aproxima de uma constante de acordo com a expressão abaixo.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mathbf{m}_r \mathbf{e}_r}} \quad (1)$$

Onde:

$c$  é a velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\mathbf{m}_r$  é permeabilidade relativa do dielétrico

$\mathbf{e}_r$  é a permissividade relativa do dielétrico

A velocidade de propagação nominal (NVP, *Nominal Velocity of Propagation*) pode ser simplificada como

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mathbf{e}_r}} \quad (2)$$

Onde:

$c$  é a velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\mathbf{e}_r$  é a permissividade relativa do dielétrico

Esta simplificação para o cálculo de  $v$  é válida na prática. Fisicamente (e formalmente)  $v$  depende também da permeabilidade magnética relativa do dielétrico ( $\mathbf{m}_r$ ) e para materiais dielétricos  $\mathbf{m}_r$  se aproxima à unidade ( $\mathbf{m}_r = 1$ ). Como há correntes fluindo através dos condutores, haverá alguma perda também. As ondas que se propagam por estes condutores sofrerão os efeitos desta perda. Entretanto, este efeito é tão insignificante que pode ser desprezado para altas frequências.

Assim, a NVP é normalmente referida como uma porcentagem da velocidade da luz no vácuo e pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão

## Short Papers Series

$$NVP = \frac{v}{c} = \frac{\frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}}{c} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cdot \frac{1}{c} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cdot 100 \text{ (%)}$$
 (3)

Onde:

$v$  é a velocidade de propagação e depende das características do dielétrico assim como da frequência de operação

$c$  é a velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\mu_r$  é a permeabilidade relativa do dielétrico

$\epsilon_r$  é a permissividade relativa do dielétrico

Em termos práticos se um dado cabo tem uma NVP de 62%, isso significa que a velocidade de propagação dos sinais ou ondas através de seus condutores é de 186.000.000 m/s or  $1,86 \cdot 10^8$  m/s.

**Exemplo de aplicação:** Considere um meio de transmissão cujo dielétrico é feito de polietileno e a frequência de operação é de 10 GHz. Considerando-se  $c$  (a velocidade da luz no vácuo) igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s calcule a NVP deste meio de transmissão.

*Solução*

$\epsilon_r = 2,25$  (Polietileno a 10 GHz)

$\mu_r = 1$  (a menos que informado outro valor) – materiais dielétricos

Por meio da equação dada em (3), segue

$$NVP = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cdot 100 = \frac{1}{\sqrt{1 \cdot \epsilon_r}} \cdot 100 = \frac{1}{\sqrt{2.25}} \cdot 100 = \frac{1}{1.5} \cdot 100 = 0,6667 \cdot 100 = 66,67 \%$$

$$NVP = 66,67 \% \Rightarrow v \cong 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Em sistemas de cabeamento estruturado o uso de um valor adequado (preciso) da NVP para um dado cabo sob teste nos permite obter valores de comprimentos “medidos” mais precisos também. É importante lembrar que os equipamentos de testes de campo não medem o comprimento do enlace ou canal sob teste. Na verdade, estes equipamentos calculam o comprimento a partir da medição do tempo de ida e volta (reflexão) de um sinal de teste e da NVP do cabo em questão. A figura 1 ilustra o processo de medição do comprimento de um segmento de cabo utilizado nos equipamentos de testes de campo.

## Short Papers Series

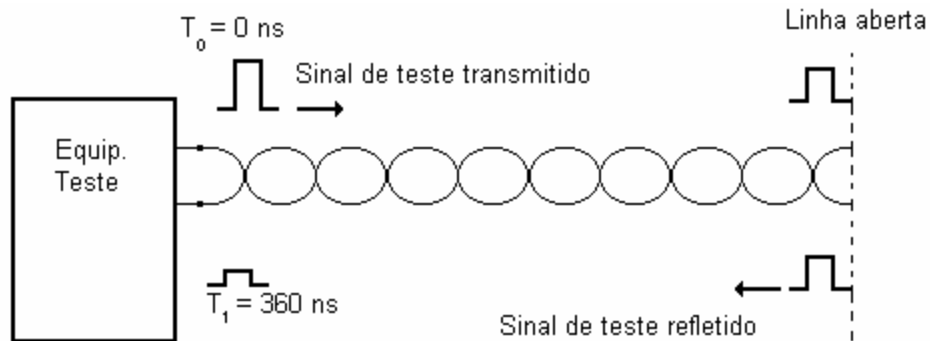


Figura 1 – Medição do comprimento de um segmento de cabo

O equipamento de teste gera um sinal de teste de características conhecidas (amplitude e fase). Este sinal é transmitido pelo meio e quando chega ao final da linha pode sofrer os seguintes efeitos:

- ser refletido mantendo a fase original se a linha estiver aberta (Figura 1);
- ser refletido com uma defasagem de 180 graus se a linha estiver em curto-circuito;
- ser absorvido pela carga se esta tiver uma impedância de mesmo valor que a impedância característica do cabo.

O equipamento de teste, “aciona um cronômetro” quando o sinal de teste é transmitido ( $T_0 = 0 \text{ ns}$ ) e “para” o mesmo quando o sinal refletido (e atenuado pelo meio) é recebido ( $T_1 = 360 \text{ ns}$ ).

Considerando-se que a NVP do cabo em questão é de 72%, pode-se determinar o comprimento do segmento de cabo sob teste da seguinte forma

$$l_{\text{cabo}} = \frac{(T_1 - T_0) \cdot NVP}{2} = \frac{(360 \cdot 10^{-9}) \cdot 216 \cdot 10^6}{2} = \frac{77,8}{2} = 38,9 \text{ m}$$

Nota:  $NVP = 72\%c = 2,16 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Portanto, a NVP tem um papel bastante importante nos testes de campo de sistemas de cabeamento estruturado e, por este motivo, deve-se sempre utilizar o valor mais adequado. Este valor pode ser medido utilizando-se um segmento do mesmo cabo utilizado nas instalações ou obtido nas especificações de produto do fabricante do cabo em questão.