

Short Papers Series

Nominal Propagation Velocity

Dr. Paulo S. Marin, Eng^o.

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

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

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)

μ_r é a permeabilidade relativa do dielétrico

ϵ_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

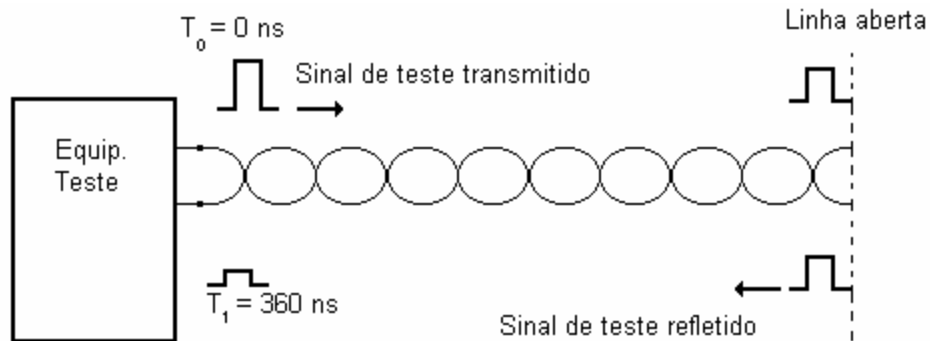


Figura 1 – Medição do comprimento de um segmento de cabo

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.