

微带及渐变微带中瞬态信号传输特性的小波变换分析*

韩明华 袁乃昌

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

摘 要 本文利用小波变换对瞬态信号在微带及渐变微带线中的传输特性进行了分析,与传统的傅立叶变换分析相比,小波分析具有速度快、能够分析局部传输特性的优点。文中给出了高斯信号和矩形脉冲信号在微带中及矩形脉冲信号在渐变微带中的传输波形,所得结果对研究超高速与超宽带瞬态信号的传输及电路设计有一定的参考价值。

关键词 小波变换 色散特性 瞬态信号 渐变微带

分类号 TN817

A Study of Propagation of Transient Signals in Microstrip and Taper Microstrip Transmission Lines Using Wavelet Transformations

Han Minghua Yuan Naichang

(Department of Electronic Technique, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract In this paper, we study the propagation property of the transient signals on the microstrip and taper microstrip liner using the method of the wavelet transform. This method has the advantages of fast computing and localizing the wave form at any time and at any point along the transmission line to zoom compared with the the conventional Fourier transform. We give the dispersion of the Gaussian signal and the rectangle pulse signals on the microstrip and the taper microstrip lines. The results can serve as referance in the study of the propagation of the ultra-high-speed and ultra-wide-band transient signals and in the design of MIC and MMIC.

Key words wavelet transform, dispersion, transient signals, taper microstrip

瞬态信号在传输线中的传输特性的分析对 MMIC 设计是必须的,如对 VLSI 电路、

* 国防预研基金资助项目
1996 年 11 月 28 日收稿

皮秒光导开关。随着电路的集成度及复杂度的提高, 传输线中的瞬态信号的传输特性对电路的稳定性影响越来越大。文[1~4]已经用傅立叶变换分析了瞬态信号的传输特性。但是由于瞬态信号有极宽的频谱, 傅立叶积分时必然存在截断误差, 因此反变换时难免会带来误差。本文采用小波变换, 克服了这一不足。

在频率较低时, 对微带特性的分析一般采用准 TEM 方法, 此时传输线可视为线性系统, 信号传输不会产生失真现象。当频率升高, 如高速开关信号, 其谐波信号可达到几百 GHz 到几千 GHz, 此时由于微带的色散效应, 不同频率信号的相速度不同, 导致信号波形失真。

波变换有“变焦”(Zooming)特性, 能够对瞬态信号进行细致的刻画, 分析信号的局部特性。由于利用小波快速变换, 加速了时频分析的速度。

1 非线性传输系统

两类传输线结构如下图所示:

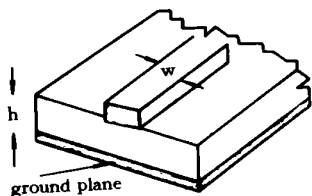


图 1 微带传输线

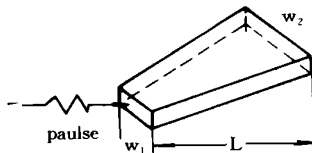


图 2 渐变微带传输线

1.1 微带传输线

微带传输线如图 1 所示, 下面来研究瞬态信号传输特性:

设在 $z = 0$ 时, 信号为

$$v(t, z = 0) = \begin{cases} v(t), & -T/2 \leq t \leq T/2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

此时信号为时域带限信号, 由时频变换可知, 当 $T \rightarrow 0$ 时, 其信号频谱趋于 $\delta(\omega)$ 。常用的瞬态信号为矩形脉冲、高斯脉冲、三角脉冲、双边指数脉冲、PCM 调制脉冲等。

将 (1) 式转化到频域:

$$V(\omega, z = 0) = \int_{-T/2}^{T/2} v(t, z = 0) e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

微带中的传输信号在 L 处可表示为

$$V(\omega, z = L) = V(\omega, z = 0) e^{-\gamma(\omega)L} \quad (3)$$

因此, 一段微带传输线可等效为一系统, 其传输函数 $H(j\omega)$ 为

$$H(j\omega) = e^{-\gamma(\omega)L} \quad (4)$$

当信号无失真传输时必须满足两个条件: (1) 系统的幅频响应为常数, 即 $|H(j\omega)| =$

Const, $-\omega < \omega < +\omega$ 。(2) 系统的相频响应为 ω 的线性函数。当不考虑微带的色散特性及时及传输损耗时, $r(\omega) = \frac{\omega}{C} \epsilon$, 此时微带可等效为一线性系统。但是当频率高于某一频率 f_r 时, 这时微带的色散特性、导体损耗、介质损耗不能再忽略, $r(\omega) = -j\alpha(\omega) + \beta(\omega)$, 其中 $\alpha(\omega)$ 为衰减常数, $\beta(\omega)$ 为相位常数。当介质损耗较小时, $\alpha(\omega)$ 可以忽略, 这在短距离传输时是满足的, 则(3)式可简化为

$$V(\omega, z = L) = V(\omega, z = 0) e^{-j\beta(\omega)L} \quad (5)$$

通过傅立叶反变换可得到时域表达式

$$v(t, z = L) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} V(\omega, z = L) e^{j(\omega t - \beta(\omega)L)} d\omega \quad (6)$$

关于微带的色散效应, 已经研究的比较成熟。E. Yamashita^[5]、T. Itoh^[6]、P. Pramannick^[7]、W. J. Getsinger^[8]均给出了精确的结果。本文中采用 P. Pramannick & P. Bhartia 的方法求得等效介电常数, $\epsilon_{eff}(f)$ 为^[7]

$$\epsilon_{eff}(f) = \epsilon - \frac{\epsilon - \epsilon_{eff}}{1 + \left(\frac{f}{f_r}\right)^2} \quad (7)$$

$$f_r = \frac{c}{2(w + \Delta w) \epsilon} \quad (8)$$

$$\Delta w = \frac{h}{Z_0 \epsilon \epsilon_{eff}} - w \quad (9)$$

其中 ϵ 为介电常数, ϵ_{eff} 为传输 TEM 模时的等效介电常数, Z_0 为常数微带线的特性阻抗, C 为光速, w, h 分别为微带的宽度和介质板的厚度。

这样, 相位常数 $\beta(\omega)$ 可表示为

$$\beta(\omega) = \frac{\omega}{c} \epsilon_{eff}(f) \quad (10)$$

1.2 渐变微带线

如图 2 所示的渐变微带线, 可采用将渐变微带线沿纵向分解成 N 段的方法, 每一段可视为由线宽各不相同的均匀微带线构成。当 N 足够大时, 就可将渐变微带线视为普通微带线的级连。这样将每一段视为二端口网络, 可得到每一段的 A 矩阵, 由级连网络理论可得到端口 1 与端口 2 传输矩阵, 经过变换得到其散射矩阵, 则 S_{12} 即为此等效网络的传输函数。然后通过傅立叶变换进行分析。

2 小波变换

积分小波变换为^[9]

$$W_f(a, b) = \left[f, \Psi_{a,b} \right] = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (11)$$

f 为要变换的信号, 本文中 $f(t) = v(t, z=0)$, Ψ 为允许小波(Admissible Wavelet)。通过反变换可得到时域信号

$$f(t) = \frac{1}{C_{\Psi}} \iint_{R^2} W_f(a, b) \Psi_{a,b}(t) \frac{1}{a \cdot a} da db \quad (12)$$

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega \quad (13)$$

本文中采用 Garbor1 小波基函数,

$$G_b^a f(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) G_{b,a}^a(t) dt \quad (14)$$

$$(G_{b,a}^a f)(t) = e^{i\omega t} g(t - b) \quad (15)$$

其中 $g(t - b)$ 为高斯脉冲信号。

该小波基为紧支撑正交小波, 提供了局部化的功能, 对高频分量具有分辨率高的优点, 即 Zooming 特性, 这决定了小波变换适合于分析瞬态信号。

应用积分小波变化, (2) 式变化为 (14) 式, 将积分离散化, 就能够利用快速小波变化^[9] 求解, 提高了运算的速度, 与文[3]中的稳定相位法积分和 Taylor 级数展开法相比, 计算精度提高。

3 数值结果

下面是对几种典型信号的传输特性分析:

3.1 微带中瞬态信号传输

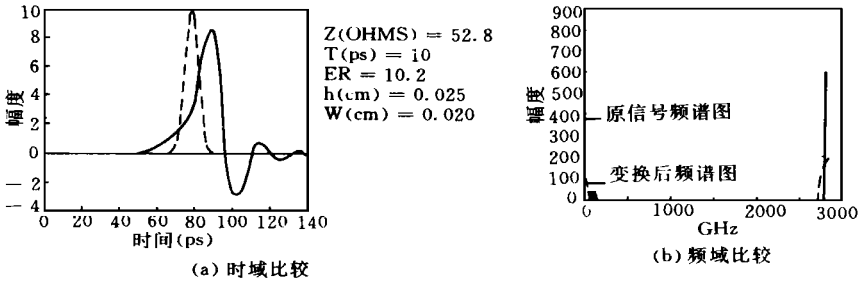


图3 Gaussisn Signal($\tau = 10$ ps) $L = 0.90$ cm



图4 Pulse Signal($\tau = 10$ ps) $L = 0.90$ cm

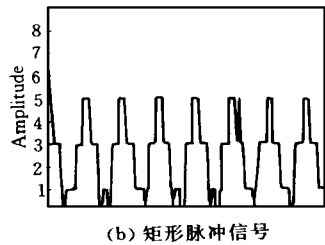
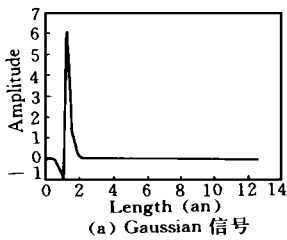


图 5 当 $t = 100\text{ps}$ 时信号沿传输线的传输特性

图 3、4 中显示了在 $\epsilon = 10.2, w/h = 0.8, \tau = 10\text{ps}, L = 0.90\text{cm}$ 时几种典型信号的传输特性。同无色散情况相比, 经过一段传输后, 信号波形产生失真。计算过程中 Gaborl 函数中 b 取 78ps , 产生的效果相当于与时域内衰减迅速的窗函数相乘。由短时傅立叶变换理论知, 通过这种变换可以精确的估计信号的功率谱, 而且通过该变量 b 的大小可以局部分析信号的衰减特性。

图 5 显示了在 $t = 100\text{ps}$ 瞬态信号时沿微带线的传输特性。从中可以看到, 矩形脉冲在传播一段距离后仍然有信号。而 Gaussian 脉冲在微带线中仅传播很短的距离就消失。产生这一现象的原因可由两种信号的频谱来解释: 矩形脉冲的频谱分布于整个频域, 而 Gaussian 脉冲的频谱是带限信号。其衰减特性由图 4 示出。

3.2 渐变微带线

本文中 N 取 10, 激励信号为一矩形脉冲信号, 其脉宽为 0.4ns , $w_1 = 10\mu\text{m}, w_2 = \mu\text{m}, L = 5\text{cm}$, 信号的传输特性如图 6 所示。与 Pspice 仿真结果相比, 可以看出本文方法的有效性。

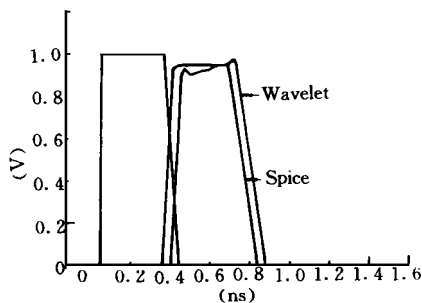


图 6 渐变微带线的传输特性

4 结论

本文中采用了积分小波变换研究了瞬态信号在微带线及渐变微带线中的传输特性,

该方法能够获得任意时刻、任意位置的信号波形,能够精确的描述局部的波形失真。特别是对于复杂的信号,均可通过离散小波变换的快速算法进行求解。本文得到的结果对研究超高速及超宽带瞬态信号的传输及电路设计有一定的参考价值。

参考文献

- 1 Vegthe R. L and Balanis C A. Duseoersion of Transient Signal in microstrip transmission lines. IEEE Trans. MTT. 1986, 34: 1427 ~ 1436
- 2 Hasnainet G. al. Dispersion of picosecond of transient signals in Coplanar Transmission Lines. IEEE Trans. MTT-34: 738 ~ 741
- 3 Attenuation Distortion of Transient Signal in microstrip. IEEE Trans. MTT-36, 1988, 765 ~ 769
- 4 K K Li. Propagation of picosecond pulses on Microwave stripline. IEEE Trans. MTT-30: 1270 ~ 1273
- 5 Eikichi Yamashita. Analysis of microstrip like transmission. Lines by Nonunform Discretization of Integral Equation. IEEE Trans. MTT-24, 1976, (4)
- 6 Yamashita. An Approximate Dispersion Formula of Microstrip Linesfor Computer-Aided Design of Microwave Integrated Cicuits. IEEE Trans. MTT-27, 1979, (12)
- 7 Proptap Pramanick. An Accurate Despersion of Dispersion in Microstrip. microwave Journal, 1983, 12
- 8 Getsinger. W. J. Microstrip dispersion model. IEEE Trans. MTT-21 973: 34 ~ 39
- 9 T. Itoh and Mittra. Spectral-domain approach for calculating the dispersion characteristics of microstrip lines. IEEE Trans. MTT-21, 1973, 496-499
- 10 InGrid Daubechies. the wavelet transform, Time-frequency localization and Signal analysis. IEEE Trans. Inform. theory, 1990, 36: 961 ~ 1005
- 11 崔锦泰[美]. 小波分析导论, 西安交通大学出版社, 1995
- 12 刘贵忠. 小波分析与应用, 西安电子科技大学出版社, 1992
- 13 秦前清, 杨宗凯. 实用小波分析, 西安电子科技大学出版社, 1994

(责任编辑 潘生)