

テーパ形状を持つマイクロストリップ線路の過渡解析

Transient analysis of microstrip lines with taper shapes

○ 荘 武尊¹, 松居佑樹², 古川慎一³

*Takeru Sho¹, Yuki Matsui², Shinichi Furukawa³

Abstract: There is a taper shape as a typical structure of microstrip lines. In this study, the transient response of a pulse propagating in a microstrip line with a sinusoidally varying taper in multiple steps is analyzed with high accuracy by NSODE-FILT (numerical solution of ordinary differential equations, NSODE, and fast inversion of Laplace transform, FILT).

マイクロストリップ線路の設計において、伝搬方向の線路の不均一性を考慮した特性解析は重要である^{[1][2]}。線路の代表的な形状としては、伝搬方向に対してテーパ状に変化する線路（テーパ線路）がある^{[1][5]}（図1参照）。最近では、テーパ線路を1段または2段に組み合わせた場合の過渡応答特性の解析結果も報告されている^{[3][5]}。文献[2]では、テーパが正弦波状に多段で変化する興味深い線路について検討しているが、正弦波の形状を直線区間で近似することによって解析しており、その特性は周波数特性のみで過渡応答特性については検討していない。

本研究では、テーパが正弦波状に多段で変化するマイクロストリップ線路にパルスが伝搬したときの過渡応答を解析した。解析法は、パルスの伝搬方向に対する不均一な空間（1次元）の解析に常微分方程式の数値解法（Numerical solution of ordinary differential equation, NSODE）を適用し、過渡解析にFILT法^{[6][7]}を適用した手法（Numerical solution of ordinary differential equations and FILT, NSODE-FILT）を用いている^[8]。電圧と電流の初期分布を0として時間 t でラプラス変換した伝搬方向（ x 方向）の基本方程式は、一般的に次のように表される。

$$-\frac{dV(x,s)}{dx} = [sL(x) + R(x)]I(x,s) \quad (1)$$

$$-\frac{dI(x,s)}{dx} = [sC(x) + G(x)]V(x,s) \quad (2)$$

但し、 $V(x,s) := \mathcal{L}_t[v_i(x,t)]$, $I(x,s) := \mathcal{L}_t[i_i(x,t)]$ ($\mathcal{L}_t[\cdot]$: \cdot の時間 t でのラプラス変換) は、線路電圧と線路電流ベクトルの演算子関数、 $L(x), R(x), C(x), G(x)$ は線路単位長当たりのインダクタンス、抵抗、キャパシタンス、コンダクタンスをそれぞれ表す。本解析では

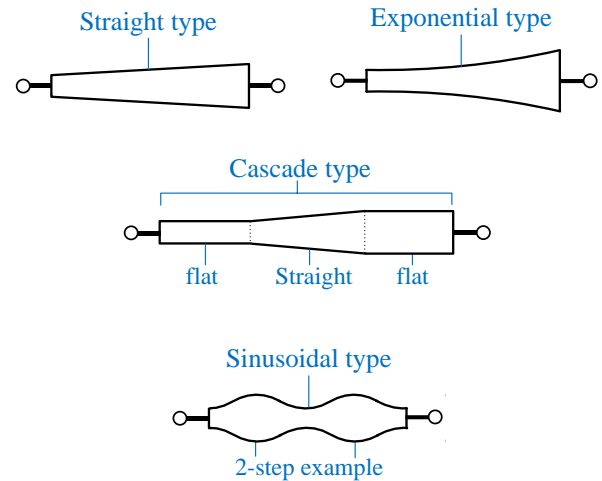


Figure 1. Typical microstrip lines with taper shape.

$R(x) = G(x) = 0$ である。NSODE-FILT の数値計算において、電圧または電流の時間応答（以下、応答と略す、 $v(x,t) := \mathcal{L}^{-1}[V(x,s)]$, $i(x,t) := \mathcal{L}^{-1}[I(x,s)]$) の解析にはオイラー変換を用いた EFILT 法^[6]を適用し、式(1)と式(2)の連立常微分方程式の数値解法には4次の Runge-Kutta 法を適用している。

参考文献

- [1] C. P. Womack : “The use of exponential transmission lines in microwave components”, IRE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-10, pp.124-132, Mar.1962.
- [2] N. Y. Nair and A. K. Mallick : “An analysis of a width-modulated microstrip periodic structure”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. ,vol.MTT-32, pp.200-204, Feb. 1984.
- [3] J. E. Schutt-Aine : “Transient analysis of nonuniform transmission lines”, IEEE Transactions on circuits and systems-I: Fundamental theory and applications, vol.39, no.5, pp.378-385,1992.
- [4] 関根, 小林, 横川 : 「FDTD 法を用いた不均一線路の時間領域解析」, 信学論 A, vol.J83-A, no.9, pp.1062-1070, 2000.
- [5] J. Zhao, L. Fan, Y. Gao, H. Zhou, and X. Guo : “Transient Analysis of Nonuniform Transmission Lines with Composite Simpson’s Rule”, 2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD), pp.2173-2177, 2016.
- [6] 細野 : 「数値ラプラス変換」, 電気学会論文誌 A, Vol.99, No.10, pp.44-50, 1979.
- [7] T.Hosono : “Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics”, Radio Science, Vol.16, No.6, pp.1015-1019, 1981.
- [8] 松居, 荒川, 古川 : 「不均一伝送線路の過渡解析」, 信学技法, EST2024-49, pp.207-212, 2024.

1 : 日大理工・学部・電気 2 : 日大理工・院 (前)・電気 3 : 日大理工・教員・電気