

マイクロストリップ線路を用いた素子の設計

Design of devices using microstrip lines

○ 荘 武尊¹, 比志島光洋², 古川慎一³

*Takeru Sho¹, Koyo Hishijima², Shinichi Furukawa³

Abstract: When designing devices using microstrip lines, characteristic analysis considering the non-uniformity of the line is essential. In this study, the transient characteristics and frequency characteristics of a microstrip line varying parabolically along the propagation direction are analysed with high accuracy using NSODE-FILT (numerical solution of ordinary differential equations, NSODE, and fast inversion of Laplace transform, FILT).

これまで、マイクロストリップ線路を用いた素子(フィルタ等)が種々報告されている^{[1]-[3]}. その設計において、伝搬方向に対する線路の不均一性を考慮した特性解析は重要である^{[2][3]}. 代表的な線路の形状として、伝搬方向に沿って放物線状に変化する構造が提案されている^{[2][4][5]}(図1(a)(b)参照). 文献[2]は、数種類の形状について周波数特性のみが報告されており、周期的に配置した構造については検討されていない. 文献[4]と文献[5]では、線路のパルス応答に関する検討が中心である.

本研究では、伝搬方向に沿って放物線状に変化するマイクロストリップ線路(図1参照)について、過渡特性と周波数特性を検討した. 解析法は、伝搬方向に対する不均一な空間(1次元)を解析する常微分方程式の数値解法(Numerical solution of ordinary differential equation, NSODE)と過渡解析手法の高速逆ラプラス変換法(Fast inversion of Laplace transform, FILT^{[6][7]})を組み合わせた方法(NSODE-FILT^[8])を用いている. 電圧と電流の初期分布を0とし、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.

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

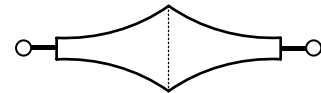
$$-\frac{dI(x,s)}{dx} = [sC(x) + G(x)]V(x,s) \quad (2)$$

但し、 $V(x,s) = \mathcal{L}_t[v_i(x,t)]$, $I(x,s) = \mathcal{L}_t[i_i(x,t)]$

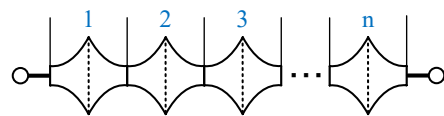
($\mathcal{L}_t[\cdot]$: \cdot の時間 t でのラプラス変換)は、線路電圧と線路電流の演算子関数、 $L(x), R(x), C(x), G(x)$ は線路単位長当たりのインダクタンス, 抵抗, キャパシタンス, コンダクタンスである. 本解析では $R(x) =$



(a) Simple structure



(b) An example of combined structure



(c) An example of periodic structure

Figure1. Microstrip lines of parabolic shapes.

$G(x) = 0$ とした. NSODE-FILT の数値計算において、電圧または電流の時間応答 ($v(x,t) = \mathcal{L}^{-1}[V(x,s)]$, $i(x,t) = \mathcal{L}^{-1}[I(x,s)]$) 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] 和田, 中川, 大野, 橋本: 「両端開放型マイクロストリップ結合線路を用いた帯域フィルタの高調波共振応答改善に関する検討」, 電気学会論文誌 C, vol.124, No.2, pp.350-356, 2002.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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」, 信学技報, EST2024-49, pp.207-212, 2024.