

C-2-63

有厚ストリップ線導波路の等価回路に基づく固有モード解析 —高さモード展開による平面回路方程式に基づいて—

Normal Mode Analysis of Thick StripLine Based on Equivalent Network Representation —Planar Circuit Equations with Height-Mode Expansion—

田部井 康
Yasushi Tabei

平岡 隆晴
Takaharu Hiraoka

許 瑞邦
Hsu, Jui-Pang

神奈川大学 工学部 電気工学科

Department of Electrical Engineering, Kanagawa University

1.はじめに ストリップ線導波路は、マイクロ波/ミリ波帯で頻繁に使われる重要な導波路である。現在では、ストリップ線路厚が無視できない寸法になる傾向があり、線路厚を考慮した解析法が必要である。本研究では、この有厚ストリップ線に対し、高さモード展開に基づく平面回路方程式を適用し、理想変圧器を介した横方向等価回路を導出し、さらに、この等価回路に基づいてこの種の導波路の固有モードを計算する固有行列方程式を導出している。

2.等価回路表示 図1に示すストリップ線導波路は、構造の二重対称性により図1(b)に示す1/4構造に還元できる。図1(b)を領域1,2に分割すると、各領域でのTE/TMに対する高次高さモードの平面回路方程式は、容易に導出することができる[1]。この平面回路方程式で、y方向には $\exp(-j\beta y)$ で変化するのでx方向に関しては、TE/TM等価多線条伝送線路回路が図1(c)のように得られる。領域1,2での電磁界は、図1(c)のモード電圧・電流及び高さ方向固有関数で表現され、不連続部 $z-z'$ での電磁界の接線成分の連続性よりポート1,2でのモード電圧・電流は、式(1)の関係がある。なお、式(1)でのモード変換電流は、式(3)のモード変換アドミッタンスを介して式(2)で与えられる。式(1),(2)の形より、不連続の等価回路は、電流源付きの理想変圧器で表示され、導波路断面全体の横方向の等価回路は、図1(c)となる。

$$\begin{cases} \mathbf{V}^{1H} = (\mathbf{F}^{2H1H})' \mathbf{V}^{2H} \\ \mathbf{J}_x^{2H} - \mathbf{i}^{2H} = \mathbf{F}^{2H1H} (\mathbf{J}_x^{1H} - \mathbf{i}^{1H}) \\ \mathbf{V}^{2E} = (\mathbf{F}^{1E2E})' \mathbf{V}^{1E} \\ \mathbf{J}_x^{1E} - \mathbf{i}^{1E} = \mathbf{F}^{1E2E} (\mathbf{J}_x^{2E} - \mathbf{i}^{2E}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \mathbf{i}^{1H} = \mathbf{Y}^{1H1E} \mathbf{V}^{1E}, \mathbf{i}^{2H} = \mathbf{Y}^{2H2E} \mathbf{V}^{2E} \\ \mathbf{i}^{1E} = \mathbf{Y}^{1E1H} \mathbf{V}^{1H}, \mathbf{i}^{2E} = \mathbf{Y}^{2E2H} \mathbf{V}^{2H} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \mathbf{Y}^{1H1E} = j\eta \mathbf{H}^{1H1E} \mathbf{Y}_{eff}^{1E}, \mathbf{Y}^{2H2E} = j\eta \mathbf{H}^{2H2E} \mathbf{Y}_{eff}^{2E} \\ \mathbf{Y}^{1E1H} = \frac{1}{j\eta} \mathbf{H}^{1E1H} \mathbf{Y}_{eff}^{1H}, \mathbf{Y}^{2E2H} = \frac{1}{j\eta} \mathbf{H}^{2E2H} \mathbf{Y}_{eff}^{2H} \end{cases} \quad (3)$$

3.固有伝送モード 図1(c)の等価回路より、 $\mathbf{V}^{1E}, \mathbf{V}^{2H}$ を未知ベクトルとした場合のモード整合方程式は、式(4)で表される。式(4)の $\det=0$ より固有伝搬定数、固有ベクトルより固有モードの電磁界分布が求まる。行列の各要素は表1で表示され、 \mathbf{Y}_{in} は入力アドミッタンス。

$$\begin{pmatrix} \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{2H2H} + \bar{\mathbf{Y}}_{in}^{2H}, & \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{2H1E} \\ \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{1E2H}, & \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{1E1E} + \bar{\mathbf{Y}}_{in}^{1E} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{V}^{2H} \\ \mathbf{V}^{1E} \end{pmatrix} = 0 \quad (4)$$

今回は、ストリップ線路寸法を $d_1=5[\text{mm}], d_2=10[\text{mm}], W_1=10[\text{mm}]$ としてTEMモードを計算した。各成分の電磁界分布を図2に示す。考慮スラブモード数は、領域1でTE/TM各50個、領域2で各100個。

4.むすび ストリップ線導波路断面の等価回路を多線条線路と理想変圧器で表示できることを示した。さらに、この等価回路に基づいて、ストリップ線路の固有モードを計算する式を導出し、確かにTEM固有モードが求まることを示した。今後、考慮スラブモード数に対する固有モードの収束性を検討した上、ストリップ線導波路の高次非伝搬モードについても解析を行なっていく予定である。

5.参考文献 [1]許・穴田「表面波の不連続部での結合方程式」1982マイクロ波研究会 MW81-110

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{2H2H} &= \mathbf{F}^{2H1H} \bar{\mathbf{Y}}_{in}^{1H} (\mathbf{F}^{2H1H})' \\ \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{2H1E} &= [\mathbf{F}^{2H1H} \mathbf{Y}^{1H1E} - \mathbf{Y}^{2H2E} (\mathbf{F}^{1E2E})'] \\ \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{1E2H} &= [\mathbf{Y}^{1E1H} (\mathbf{F}^{2H1H})' - \mathbf{F}^{1E2E} \mathbf{Y}^{2E2H}] \\ \bar{\mathbf{Y}}_{eff}^{1E1E} &= \mathbf{F}^{1E2E} \bar{\mathbf{Y}}_{in}^{2E} (\mathbf{F}^{1E2E})' \end{aligned}$$

表 1: (3)の要素行列

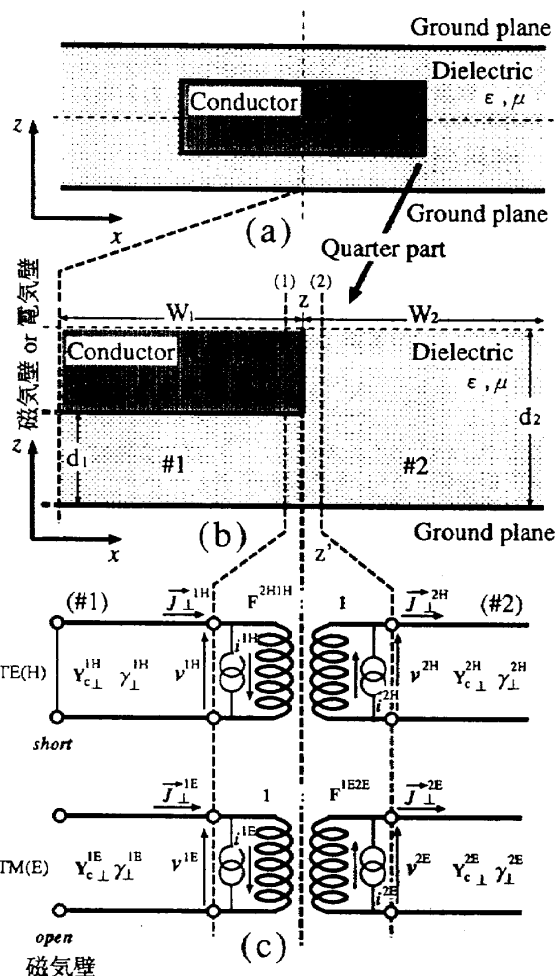


図1:有厚ストリップ線導波路の構造及び横方向等価回路

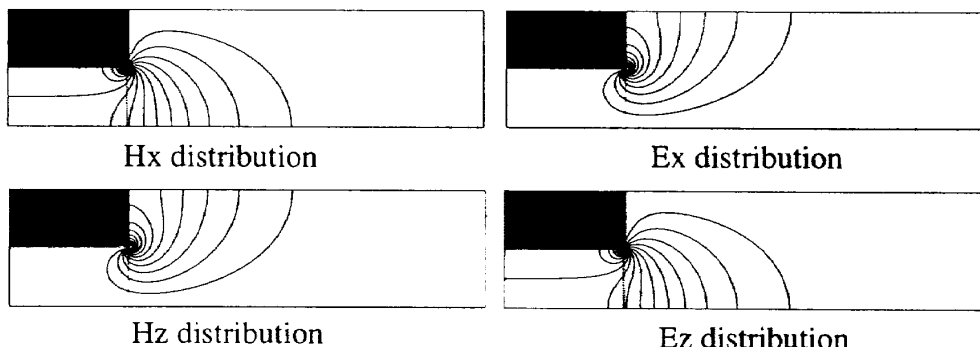


図 2: 有厚ストリップ線導波路の電磁界分布(等高線表示)