

C-1-10 光導波路ステップ型一様不連続部の横方向等価回路とその等価回路定数の計算

Lateral Equivalent Network for Optical Waveguide Uniform Step Discontinuity and Calculation of Equivalent Network Parameters

辻 健一 平岡 隆晴 許 瑞邦
Kenichi Tsuji Takaharu Hiraoka Hsu, Jui-Pang

神奈川大学 工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Kanagawa University

1. はじめに 前回の報告^[1]において提案された三次元光導波路ステップ型一様不連続部における等価回路は図1のような各領域での無限個の横方向 TE 及び TM 多線条伝送線路、モード結合を表す多開口理想変圧器と不連続部での TE 、 TM モード変換を示すモード変換アドミタンス (電流源) より成り立っている。また、この等価回路はスラブモード展開に基づく平面回路方程式及び、モード整合法を用いて厳密に導出している。本報告では、従来の三次元光導波路解析で用いていた数学的關係式と等価回路を用いた物理的關係式、双方の解析法を等価回路定数の計算から比較検討する。

2. 等価回路とその等価回路定数の計算 図1に示す構造で各領域の電磁界成分は無限個の TE 、 TM スラブモードに関する平面回路方程式で表現される。また、不連続部電磁界接線成分 (H_z , E_y , E_z , H_y) の連続性にモード関数 (f, g, h) の直交性を適用すると、モード電圧・電流に関して式 (1) に示す関係式が求まる。 h 関数の f 関数による展開から得られる関係式 (2) を式 (1) に代入・整理することにより関係式 (3) が得られる。式 (3) から図1のステップ型一様不連続部等価回路は同図に示すように多開口理想変圧器とモード変換に基づく電流源を持った無限個の多線条伝送線路で表現される。ここでは実際に図1に示す等価回路の等価回路定数を計算するプログラムを作成し、等価回路定数を計算した。計算した理想変圧器の変圧比 $F_{m,p}^{1H2H}$, $F_{n,q}^{1E2E}$ 、及びモード変換係数 $H_{p,q}^{2H2E}$, $H_{q,p}^{2E2H}$ の計算結果例を図2、3の挿入図に示す。

3. 等価回路の妥当性 本等価回路の妥当性を検討するために、式 (2) に示した展開式の検証を行った。式 (2) で右辺の総和は図2、3の式 (4-1)、(4-2) に示すモードの有限で置き直し、考慮したモード数に対する $H_{1,1}^{1H2E}$, $H_{1,1}^{1E2H}$ の収束性の計算結果を図2、3に示す。この図で実線は式 (4) の右辺の総和、破線は直接求めた真値である。本結果より等価回路から求めたモード変換係数 $H_{m,q}^{1H2E}$, $H_{n,p}^{1E2H}$ は考慮モード数を増やすと真値に収束し、式 (2) の関係式が成立することがわかる。他の (m, q)、(n, p) の組み合わせでも同様の結果が得られている。式 (2) が成り立つことより図1の等価回路の妥当性を確認することができる。なお、図2、3の結果から無限個の高次スラブモードは有限個で近似できると推定される。

4. むすび 本報告では光導波路ステップ型一様不連続部の横方向等価回路の等価回路定数を具体的に計算し、等価回路が成立することを確認した。今後はこの等価回路をスラブ波の不連続部での入反射特性 (一不連続問題)、三次元光導波路の固有モード計算 (二不連続問題) に適応していきたいと考えている。
参考文献 [1] 辻、平岡、許「ステップ型一様不連続部での等価回路の導出—平面回路方程式及びモード整合法に基づく—」2001年信学総会大会C-1-34
[2] 許、穴田「表面波の不連続部での結合方程式」信学技報[マイクロ波]MW81-110

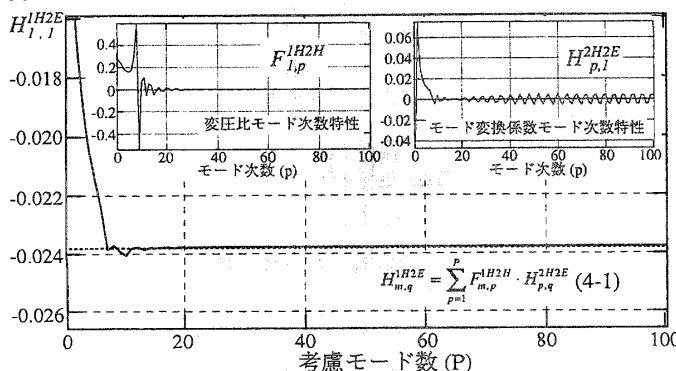


図2 変圧比 $F_{1,p}^{1H2H}$ とモード変換係数 $H_{p,1}^{2H2E}$ 及び $H_{1,1}^{1H2E}$ の収束特性

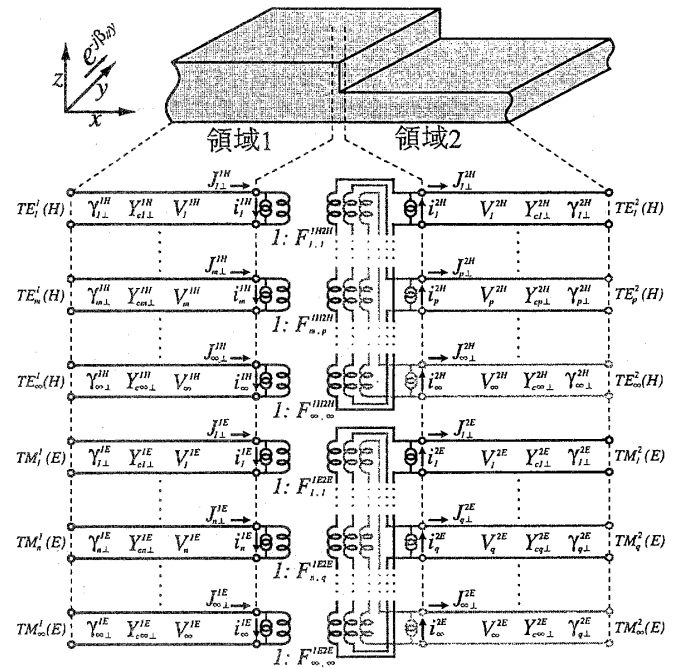


図1 ステップ型一様不連続部での等価回路

$$\begin{aligned} H_z: V_p^{2H} &= \sum_m F_{m,p}^{1H2H} V_m^{1H} E_y: \tilde{J}_{m,1}^{1H} - j\eta_0 \sum_n H_{n,p}^{1H2E} J_{n,1}^{1E} = \sum_p F_{m,p}^{1H2H} J_{p,1}^{2H} - j\eta_0 \sum_q H_{m,q}^{1H2E} J_{q,1}^{2E} \\ E_z: V_q^{2E} &= \sum_n F_{n,q}^{1E2E} V_n^{1E} H_y: \tilde{J}_{n,1}^{1E} - \frac{1}{j\eta_0} \sum_m H_{n,m}^{1E2H} J_{m,1}^{1H} = \sum_q F_{n,q}^{1E2E} J_{q,1}^{2E} - \frac{1}{j\eta_0} \sum_p H_{n,p}^{1E2H} J_{p,1}^{2H} \end{aligned} \quad (1)$$

$$H_{m,q}^{1H2E} = \sum_{p=1}^{\infty} F_{m,p}^{1H2H} \cdot H_{p,q}^{2H2E} \quad (2-1) \quad H_{n,p}^{1E2H} = \sum_{q=1}^{\infty} F_{n,q}^{1E2E} \cdot H_{q,p}^{2E2H} \quad (2-2) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} H_z: V_p^{2H} &= \sum_m F_{m,p}^{1H2H} V_m^{1H} E_y: \tilde{J}_{m,1}^{1H} - \sum_{n=1}^{\infty} V_n^{1H1E} \cdot V_n^{1E} = \sum_{p=1}^{\infty} F_{m,p}^{1H2H} \left(\tilde{J}_{p,1}^{2H} - \sum_{q=1}^{\infty} H_{p,q}^{2H2E} \cdot V_q^{2E} \right) \\ E_z: V_q^{2E} &= \sum_n F_{n,q}^{1E2E} V_n^{1E} H_y: \tilde{J}_{n,1}^{1E} - \sum_{m=1}^{\infty} V_m^{1E1H} \cdot V_m^{1H} = \sum_{q=1}^{\infty} F_{n,q}^{1E2E} \left(\tilde{J}_{q,1}^{2E} - \sum_{p=1}^{\infty} H_{q,p}^{2E2H} \cdot V_p^{2H} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

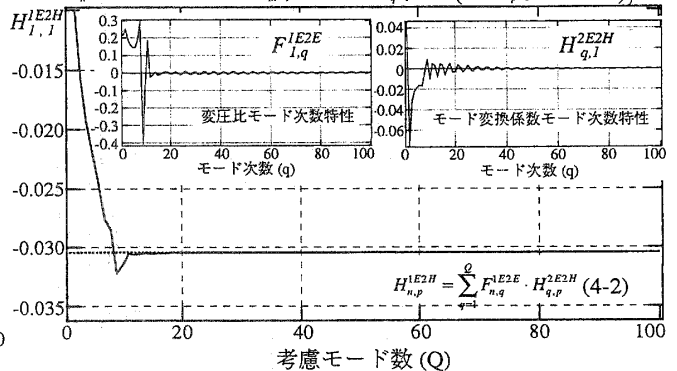


図3 変圧比 $F_{1,q}^{1E2E}$ モード変換係数 $H_{q,1}^{2E2H}$ 及び $H_{1,1}^{1E2H}$ の収束特性