

A-1-1

# 分布定数線路の損失とアイダアグラムの関係

Relation between Transmission Line Loss and Eye Diagram

関根 敏和<sup>1</sup>  
Toshikazu Sekine

高橋 康宏<sup>1</sup>  
Yasuhiro Takahashi

小林 邦勝<sup>2</sup>  
Kunikatsu Kobayashi

岐阜大学工学部<sup>1</sup>

山形大学工学部<sup>2</sup>

Dept. of Electrical and Electronic Eng., Gifu University

Dept. of Information Science, Yamagata University

## 1 まえがき

信号の高速化に伴い、LSI やマイクロ波 IC などにおいて配線の影響を考慮した設計が重要になってきている。配線は分布定数線路でモデル化されるが、最近になって、配線に損失を付加して無歪み状態で使用することが提案された [1]。このような場合、どのような損失を付加すればよいかをアイダアグラムから推定できれば便利である。本文では、損失均一線路の損失とアイダアグラムの関係を解析的に検討する。

## 2 ステップ応答の初期値・最終値

アイダアグラムは、線路に周期一定の矩形波を不規則に入力するときの応答に単純化されるから、ステップ応答の組み合わせに分解される。よって、ステップ応答を調べれば、線路損失とアイダアグラムとの関係がわかる。

図 1 に示される線路の縦続行列は

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \gamma \ell & Z_c \sinh \gamma \ell \\ \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma \ell & \cosh \gamma \ell \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{sL_0 + R_0}{sC_0 + G_0}} \quad \gamma = \sqrt{(sL_0 + R_0)(sC_0 + G_0)} \quad (2)$$

で表される。ただし、 $R_0, L_0, G_0, C_0$  は線路の単位長当りの抵抗、インダクタンス、コンダクタンス、キャパシタンスで、 $\ell$  は線路長である。図 1 の入出力端電圧  $v_1(t), v_2(t)$  のステップ応答の初期値・最終値は、そのラプラス変換  $V_1(s), V_2(s)$  から、初期値最終値定理を用いて

$$V_1(s) = \frac{E_0 \left( A \sqrt{\frac{R_L}{R_S}} + \frac{B}{\sqrt{R_L R_S}} \right)}{A \sqrt{\frac{R_L}{R_S}} + \frac{B}{\sqrt{R_L R_S}} + C \sqrt{R_L R_S} + D \sqrt{\frac{R_S}{R_L}}} \quad (3)$$

$$V_2(s) = \frac{E_0 \sqrt{\frac{R_L}{R_S}}}{A \sqrt{\frac{R_L}{R_S}} + \frac{B}{\sqrt{R_L R_S}} + C \sqrt{R_L R_S} + D \sqrt{\frac{R_S}{R_L}}} \quad (4)$$

より

$$v_1(0_+) = \lim_{s \rightarrow \infty} s V_1(s) = \frac{E_0 Z_0}{Z_0 + R_S} \quad (5)$$

$$v_1(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s V_1(s) = \frac{E_0 Z_\infty \left( \begin{matrix} (Z_\infty + R_L) e^{\gamma_\infty \ell} \\ -(Z_\infty - R_L) e^{-\gamma_\infty \ell} \end{matrix} \right)}{\left( \begin{matrix} (Z_\infty + R_S)(Z_\infty + R_L) e^{\gamma_\infty \ell} \\ -(Z_\infty - R_S)(Z_\infty - R_L) e^{-\gamma_\infty \ell} \end{matrix} \right)} \quad (6)$$

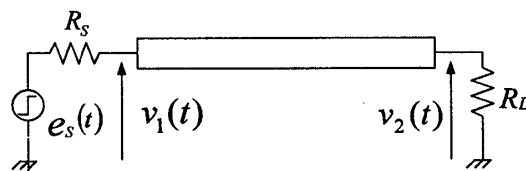


図 1 終端された損失均一線路

表 1 ステップ応答の初期値と最終値の関係

condition	input	output
$\frac{G_0}{C_0} < \frac{R_0}{L_0}$	$v_1(0_+) < v_1(\infty)$	$v_2(\tau_+) < v_2(\infty)$
$\frac{G_0}{C_0} = \frac{R_0}{L_0}$	$v_1(0_+) = v_1(\infty)$	$v_2(\tau_+) = v_2(\infty)$
$\frac{G_0}{C_0} > \frac{R_0}{L_0}$	$v_1(0_+) > v_1(\infty)$	$v_2(\tau_+) < v_2(\infty)$

( $R_S = R_L = Z_0$ )

$$v_2(\tau_+) = \lim_{s \rightarrow \infty} e^{\tau s} s V_1(s) = \frac{2E_0 Z_0 R_L e^{-\frac{\tau}{2}(\frac{R_0}{L_0} + \frac{G_0}{C_0})}}{(R_S + Z_0)(R_L + Z_0)} \quad (7)$$

$$v_2(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s V_1(s) = \frac{2Z_\infty R_L E_0}{\left( \begin{matrix} (Z_\infty + R_S)(Z_\infty + R_L) e^{\gamma_\infty \ell} \\ -(Z_\infty - R_S)(Z_\infty - R_L) e^{-\gamma_\infty \ell} \end{matrix} \right)} \quad (8)$$

ただし

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}, \quad Z_\infty = \sqrt{\frac{R_0}{G_0}}, \quad \gamma_\infty \ell = \tau \sqrt{\frac{R_0 G_0}{L_0 C_0}} \quad (9)$$

と求まる。これらよりアイダアグラムの概略がわかる。更に入出力端で整合を取った場合を調べると表 1 となる。よって、よく知られているように  $\frac{G_0}{C_0} = \frac{R_0}{L_0}$  のとき無歪みであり、 $v_1(t)$  の平坦部は  $\frac{G_0}{C_0} < \frac{R_0}{L_0}$  のとき右肩上がり、 $\frac{G_0}{C_0} > \frac{R_0}{L_0}$  のとき右肩下がりなる。また、 $v_2(t)$  の平坦部は  $\frac{G_0}{C_0} \neq \frac{R_0}{L_0}$  なら常に右肩上がりになる。

## 3 むすび

入力端応答に関する考察 [2] を詳細化した。また、無歪み条件を満足しない場合、出力端応答の平坦部は、常に右肩上がりになることを示した。

### 参考文献

- [1] H. Chen, R. Shi, C. Cheng and D. M. Harris, "Surfliner: A distortionless electrical signaling scheme for speed of light on-chip communications," Proc. 2005 Int. Conf. on Computer Design, pp. 497-502, Oct. 2005.
- [2] H.W. Johnson and M. Graham, "High-Speed Signal Propagation: Advanced Black Magic," ch. 3.6, Prentice-Hall 2003.