

A-1-27

多項式補間FDFD法の等価回路表現

Representation of Equivalent Circuit for the Finite Difference Frequency Domain Method Using Differential Quadrature Method

関根 敏和¹

Toshikazu Sekine

小林 邦勝²

Kunikatsu Kobayashi

岐阜大学工学部¹

Dept. of Electrical and Electronic Eng., Gifu University

山形大学工学部²

Dept. of Information Science, Yamagata University

1 まえがき

回路の高速化により、配線が回路特性へ及ぼす影響を考慮した設計が必要になってきている。先に筆者らは、配線のモデルとしての不均一線路の特性を、多項式補間を用いて効率よく求める方法を報告した[1]。本文では、その等価回路表現を述べる。

2 等価回路表現

線路長 d で規格化した図 1(a) の不均一線路で、規格化された分布一次定数 $L(x), C(x), R(x), G(x)$ を用いると、線路上 $x \in [0, 1]$ 、複素周波数 s での電圧電流 $V(x, s), I(x, s)$ は、線路方程式

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

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

で表される。ここで、図 1(b) に示すように、電圧を計算する補間点 (○) を線路上の整数分割点、また、電流を計算する補間点 (×) を半整数分割点及び入出力端にとって式 (1)(2) を離散化する。また、式 (1)(2) で左辺の微分は補間多項式による近似 [1] を用いて

$$\frac{dV_{i-\frac{1}{2}}}{dx} = \sum_{j=1}^{m+1} b_{ij} V_{j-1}, \quad \frac{dI_{i-1}}{dx} = \sum_{j=1}^{m+2} a_{ij} I_{j-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

で計算する。ただし、 m は線路の分割数で、格子点 x_i での値をそれぞれ $V_i, I_i, L_i, C_i, R_i, G_i$ と略記している。このとき、

$$\begin{matrix} m+1 & m+2 \\ m+2 & \end{matrix} \begin{pmatrix} \mathbf{Y} & \mathbf{A} \\ \mathbf{B} & \mathbf{Z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{V} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \quad (4)$$

ただし

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \text{diag}\{sC_{i-1} + G_{i-1}\} \\ &\quad (i = 1, 2, \dots, m+1) \\ \mathbf{Z} &= \text{diag}\left\{sL_{i-\frac{1}{2}} + R_{i-\frac{1}{2}}\right\} \\ &\quad (i = \frac{1}{2}, 1, 2, \dots, m, m + \frac{1}{2}) \\ \mathbf{A} &= (a_{ij}) \quad \mathbf{I} = (I_0, I_{1+\frac{1}{2}}, \dots, I_{m-\frac{1}{2}}, I_m)^T \\ \mathbf{B} &= (b_{ij}) \quad \mathbf{V} = (V_0, V_1, \dots, V_m)^T \end{aligned}$$

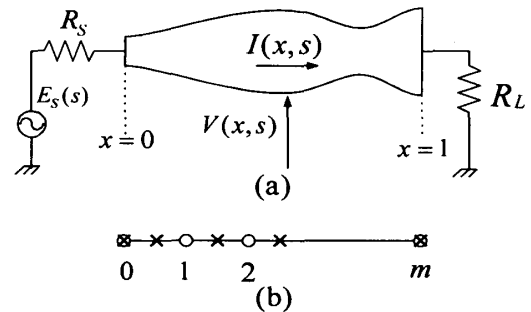


図 1 終端された不均一線路 (a) と線路上の格子点 (b)

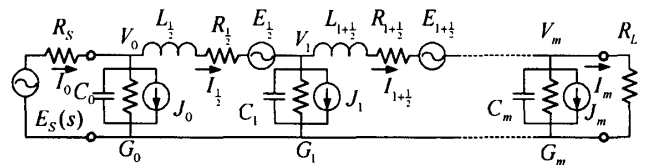


図 2 等価回路

が得られる。次に、入出力端での境界条件

$$V_0 + R_S I_0 = E_S(s), \quad V_m - R_L I_m = 0 \quad (5)$$

を満足させるため、式 (5) の第 $(m+2)$ 行と第 $(2m+3)$ 行を式 (5) でそれぞれ置き換える。このようにして得られた式は、図 2 のように等価表現できる。ここで、従属電流源 J_i と従属電圧源 $E_{i+\frac{1}{2}}$ は、それぞれ

$$J_i = \sum_{j=1}^{m+1} b'_{ij} V_{j-1}, \quad E_{i+\frac{1}{2}} = \sum_{j=1}^{m+2} a'_{ij} I_{j-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

である。

3 むすび

補間多項式を用いる FDFD 法が、 L, C, R, G と従属電源からなるはしご形回路の解析に等価であることを述べた。

参考文献

- [1] 関根敏和, 小林邦勝, “多項式補間 FDFD 法を用いた不均一線路の解析” 信学技報, EMCJ2003-92, Oct. 2003.