

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	E区間に対応する構造有界なウェーブデジタルフィルタ
Title(English)	Structurally Bounded Wave Digital Filters for a Type-E Section
著者(和文)	石渡俊一, 西原明法, 藤井信生
Authors(English)	AKINORI NISHIHARA, NOBUO FUJII
出典(和文)	電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J75-A, No. 8, pp. 1422-1424
Citation(English)	, Vol. J75-A, No. 8, pp. 1422-1424
発行日 / Pub. date	1992, 8
URL	http://search.ieice.org/
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は電子情報通信学会に帰属します。 Copyright (c) 1992 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

E 区間に対応する構造有界なウェーブデジタル

フィルタ

正員 石渡 俊一[†] 正員 西原 明法^{††}

正員 藤井 信生^{††}

Structurally Bounded Wave Digital Filters for a Type-E Section
Shunichi ISHIWATA[†], Akinori NISHIHARA^{††}
and Nobuo FUJII^{††}, Members

[†] (株)東芝 ULSI 研究所, 川崎市

ULSI Research Center, TOSHIBA CORPORATION, Kawasaki-shi, 210
Japan

^{††} 東京工業大学工学部電子物理工学科, 東京都

Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 152 Japan

あらまし E 区間に対応し,かつ,その構造有界性を乗算器係数の量子化後においても受け継ぐウェーブデジタルフィルタの区間として,従来,乗算器数の少ない回路構造を導出する。

キーワード ウェーブデジタルフィルタ, 構造有界性, 回路構造, E 区間

1. まえがき

文献(1)により,任意の伝達関数を実現可能で,かつ,「乗算器係数を量子化した後においても抵抗両終端形リアクタンスフィルタの有する構造有界性を受け継ぐ」(以下これを単に「構造有界な」と表現する)ウェーブデジタルフィルタ⁽²⁾(WDF)が存在することが明らかにされている。このような WDF の構成区間として,文献(1)で, E 区間⁽³⁾に対応する構造有界な WDF 区間が導出されている。しかし,この WDF 区間は,乗算器を多く含むという問題点を有している。乗算器数がより少ない方が望ましいので,本論文では,より乗算器数の少ない回路構造が存在することを示す。

2. E 区間に対応する構造有界な WDF 区間

図1の E 区間において,キャパシタとインダクタを取り外し,それぞれの端子対を端子対3, 4とした4端子対回路の散乱行列を求めると,

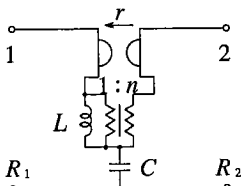


図1 E 区間
Fig. 1 Type-E section.

$$S = \begin{pmatrix} 2U \\ 2V \end{pmatrix} (I_2 - T) + I_4, \quad T = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & n \end{pmatrix} \quad (1)$$

となる。但し, I_n は, $n \times n$ の単位行列である。また, $a_1 = 1/\Delta$, $a_2 = C(R_1 + R_2)/(2\Delta)$, $a_3 = (R_1 + R_2)/(2L\Delta)$, $a_4 = CR_1R_2/(L\Delta)$, $m = (R_1 + R_2)r/(2R_1R_2)$, $p = (R_1 - R_2)/(R_1 + R_2)$,

$$\Delta = (n-1)^2 + C(R_1n^2 + R_2) + \frac{R_1 + R_2}{L} + \frac{C}{L}(R_1R_2 + r^2) \quad (2)$$

とのおくとき, 2×2 行列 U , V の各成分は,

$$\begin{aligned} u_{11} &= -a_2n^2(1+p) - a_3(1+p) - a_4 \\ u_{12} &= a_2n(1+p) + a_3(1+p) + a_4m(1+p) \\ u_{21} &= a_2n(1-p) + a_3(1-p) - a_4m(1-p) \\ u_{22} &= -a_2(1-p) - a_3(1-p) - a_4 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} v_{11} &= a_1n(n-1) + a_3\{1-p+m(1-p^2)\} \\ v_{12} &= -a_1(n-1) + a_3\{1+p-m(1-p^2)\} \\ v_{21} &= -a_1(n-1) + a_2\{1-p+mn(1-p^2)\} \\ v_{22} &= a_1(n-1) + a_2\{n(1+p)-m(1-p^2)\} \end{aligned} \quad (4)$$

のように, 7 個の変数 $a_1 \sim a_4$, m , n , p の整数係数の多項式で表される。ここで, E 区間の自由度はポート抵抗値の比の分まで含めて 5 なので, これら 7 個の変数の間には, 二つの従属関係が存在している。この従属関係を表す式の表現の仕方を変えることにより, 文献(1)と同じ考え方で, 別の回路構造を導くことができる。ここでは, 文献(1)と異なる表現の仕方の一例として,

$$a_1 = \frac{a_2(1-p^2)\zeta_1}{\eta_1} \quad (5)$$

$$a_3 = \frac{a_4\zeta_1}{\eta_1} \quad (6)$$

$$\zeta_1 = 1 - a_2\{n^2(1+p) + 1 - p\} - a_4\{1 + m^2(1-p^2)\} \quad (7)$$

$$\eta_1 = a_2(1-p^2)(n-1)^2 + 2a_4 \quad (8)$$

という表現の仕方に基づいた導出方法を示す。

$$a_2 = 2kl \quad (9)$$

$$a_4 = k(1-p^2)\{1 - l(n-1)^2\} \quad (10)$$

という変数置換を行うと, $\eta_1 = 2k(1-p^2)$ となつて, 式(5), (6)の分母で $k(1-p^2)$ が約分でき,

$$a_1 = l\zeta_1 \quad (11)$$

$$a_3 = \{1 - l(n-1)^2\}\zeta_1/2 \quad (12)$$

となる。よつて, a_1 , a_2 , $2a_3$, a_4 が 5 個の変数 k , l , m , n , p の整数係数多項式で表される。このとき, a_3 は整数係数多項式に $1/2$ が掛かった式で表されている。しかし, 式(1)において, U , V に 2 が掛かつて

いるので、式(1)の散乱行列の各成分は5個の変数 k, l, m, n, p の整数係数多項式で表される。従って、これら5個の変数を乗算器係数とすることにより、E区間に対応する構造有界な WDF 区間が得られる。これを図2に示す。但し、端子対3の間に z^{-1} を接続し、端子対4の間に $-z^{-1}$ を接続して用いるものとする。乗算器係数 k, l の値は以下の式により決定される。

$$k = \frac{C(R_1 + R_2)\{(n-1)^2 + (R_1 + R_2)/L\}}{4\Delta} \quad (13)$$

$$l = \frac{1}{(n-1)^2 + (R_1 + R_2)/L} \quad (14)$$

図2の回路は、文献(1)の回路と比較して、乗算器の総数が2個少なくなっている。

次に、 $\alpha_1 \sim \alpha_4, m, n, p$ のおき方を変更することによっても、異なる結果が得られることを示す。 $\alpha_1 = 1/\Delta, \alpha_2 = CR_1/\Delta, \alpha_3 = R_1/(L\Delta), \alpha_4 = CR_1R_2/(L\Delta), \alpha_5 = r/R_2, p = R_2/R_1$ とおくと、式(1)の U, V の各成分は、

$$\begin{aligned} u_{11} &= -\alpha_2 n^2 - \alpha_3 - \alpha_4 \\ u_{12} &= \alpha_2 n + \alpha_3 + \alpha_4 \alpha_5 \\ u_{21} &= \alpha_2 np + \alpha_3 p - \alpha_4 \alpha_5 p \\ u_{22} &= -\alpha_2 p - \alpha_3 p - \alpha_4 \\ v_{11} &= \alpha_1 n(n-1) + \alpha_5 p(1 + \alpha_5) \\ v_{12} &= -\alpha_1(n-1) + \alpha_5(1 - \alpha_5 p) \end{aligned} \quad (15)$$

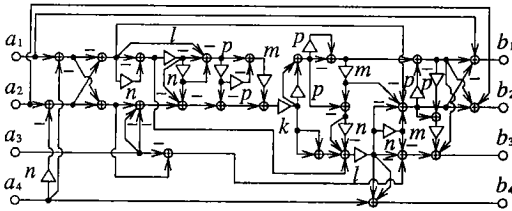


図2 E区間に対応する構造有界な WDF 1

Fig. 2 Structurally bounded WDF 1 for a type-E section.

$$\begin{aligned} v_{21} &= -\alpha_1(n-1) + \alpha_5 p(1 + \alpha_5 n) \\ v_{22} &= \alpha_1(n-1) + \alpha_5(n - \alpha_5 p) \end{aligned} \quad (16)$$

のように、7個の変数 $\alpha_1 \sim \alpha_5, n, p$ の整数係数の多項式で表される。このとき、これら7個の変数の間に存在する二つの従属関係は、

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_1 \zeta_2}{\eta_2} \quad (17)$$

$$\alpha_4 = \frac{\alpha_2 p \zeta_2}{\eta_2} \quad (18)$$

$$\zeta_2 = 1 - \alpha_1(n-1)^2 - \alpha_2(n^2 + p) \quad (19)$$

$$\eta_2 = \alpha_1(1+p) + \alpha_2 p(1 + \alpha_5 p) \quad (20)$$

と表すことができる。ここで、

$$\alpha_1 = kX \quad (21)$$

$$\alpha_2 = kY \quad (22)$$

$$\alpha_5 = m \frac{1+p}{p} \quad (23)$$

$$X = 1 - lp - Ym^2(1+p) \quad (24)$$

$$Y = l(1+p) - 1 \quad (25)$$

という変数置換を行うと、 $\eta_2 = k$ となり、式(17)、(18)の分母で k が約分される。よって、

$$\alpha_3 = \zeta_2 X \quad (26)$$

$$\alpha_4 = \zeta_2 Y p \quad (27)$$

のようになる。このとき、式(1)の散乱行列の各成分を、5個の変数 k, l, m, n, p の整数係数の多項式で表せる。従って、これら5個の変数を乗算器係数とすることにより、E区間に対応する構造有界な WDF 区間が得られる。これを図3に示す。但し、端子対3の間に z^{-1} を、端子対4の間に $-z^{-1}$ を接続するものとする。乗算器係数 k, l, m の値は、次式により決定される。

$$k = \frac{R_1 + R_2 + C(R_1 R_2 + r^2)}{R_1 \Delta} \quad (28)$$

$$l = \frac{R_1 \{R_1 + R_2 + C(R_1 R_2 + r^2) + CR_1^2\}}{(R_1 + R_2) \{R_1 + R_2 + C(R_1 R_2 + r^2)\}} \quad (29)$$

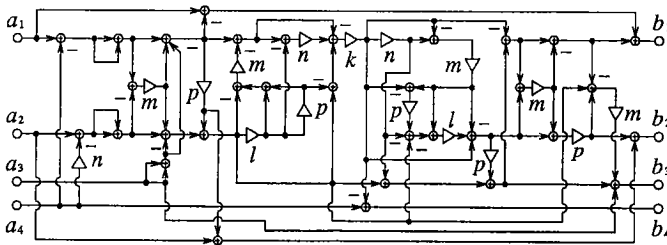


図3 E区間に対応する構造有界な WDF 2

Fig. 3 Structurally bounded WDF 2 for a type-E section.

$$m = \frac{r}{R_1 + R_2} \quad (30)$$

この回路は、図2の回路と比較して、乗算器の総数が1個少なくなっている。

3. む す び

本論文では、E区間に対応する構造有界なWDF区間として、文献(1)の回路より乗算器数の少ない新しい回路を導出した。しかし、乗算器数はまだ多いと思われる。よって、これを更に減らすことが今後の課題

として挙げられる。

文 献

- (1) 石渡俊一, 西原明法, 藤井信生: “任意の伝達関数を実現できる構造有界なウェーブデジタルフィルタの存在”, 信学論(A), **J75-A**, 1, pp.10-17 (1992-01).
 - (2) Fettweis A.: “Wave digital filters: theory and practice”, Proc. IEEE, **74**, 2, pp. 270-327 (Feb. 1986).
 - (3) Youla D. C.: “A new theory of cascade synthesis”, IRE Trans. Circuit Theory, **CT-9**, pp. 244-260 (Sept. 1961).
- (平成4年2月17日受付)