

# 加算器を用いた周波数依存性をもつ

## イミタンス変換器の構成

重広 孝則, 中村 正孝

### Realization of Frequency Dependent Immittance Converter using Adder.

By Takanori SHIGEHIRO, Masataka NAKAMURA

It is difficult to realize FDIC which fundamental matrix is  $\begin{pmatrix} A_{(p)} & 0 \\ 0 & D_{(p)} \end{pmatrix}$ , because the transducer are combined in series-parallel connection shown as Fig. 1 and they are required to have a frequency dependence.

The purpose of this article is to present the admittance description of  $(F) = \begin{pmatrix} A_{(p)} & 0 \\ 0 & D_{(p)} \end{pmatrix}$  and FDIC achieved by the grounded voltage-current transducer (VCT).

#### 1. ま え が き

縦続行列  $(F)$  が  $\begin{pmatrix} A_{(p)} & 0 \\ 0 & D_{(p)} \end{pmatrix}$  であるイミタンス変換器は、信号の電力効率がよく、また、出力端に受動インピーダンスを接続して得られる入力インピーダンスが必ずしも正実インピーダンスとならないこともあるので、将来、有望とされているが、一般に、その構成は容易でない。

その理由は、 $V_1 = A_{(p)} V_2$ ,  $I_1 = D_{(p)} I_2$  の関係を実現するための基本構成が図1のようにVVT（電圧電圧変換器）、CCT（電流電流変換器）からなり、前者と後者が直並列接続あるいは並直列接続され、その上、FDIC (Frequency Dependent Immittance Converter) の場合は、少なくとも、どちらか一つの変換器の変換係数が  $p = j\omega$  の複素周波数の関数とならなければならないためである。

また、図1の基本構成にしたがって実際に回路を実現しようとする、CCTの電流検出部とVVTの電圧源との直列接続となっているので一方が非接地でなければならないことも一つの欠点である。

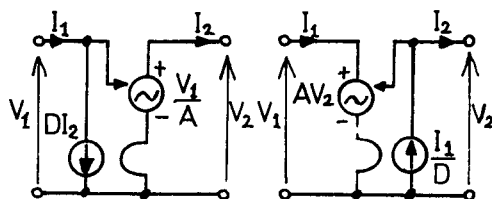


図1 イミタンス変換器の基本構成

Fig. 1 Basic configuration of immittance converter

本文では、この図1の基本構成によらないで、すなわち、縦続行列表現でなくアドミッタンス行列  $(Y)$  でイミタンス変換器を表現し、実現しようとするものである。

#### 2. 基本的な考え方

##### 2-1. アドミッタンス行列への変換

縦続行列 (以下  $F$  行列とよぶ)  $(F) = \begin{pmatrix} A_{(p)} & 0 \\ 0 & D_{(p)} \end{pmatrix}$  から、アドミッタンス行列 (以下  $Y$  行列とよぶ)  $(Y)$

に変換しようとしてもこの場合の電圧電流の関係が

$$\begin{cases} V_1 = A_{(p)} V_2 \\ I_1 = D_{(p)} I_2 \end{cases} \quad \dots\dots ①$$

であるので、(Y)の要素は求まらない。

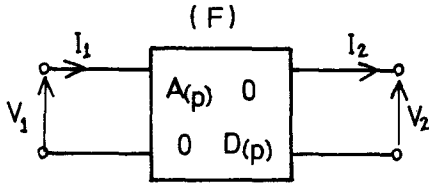


図2 F行列で表わしたFDIC

Fig. 2 FDIC represented by F matrix

しかしながら、ここに媒介変数  $k_{(p)}$  を導入して、そして、極限を考えるとY行列への変換が可能となるのである。

すなわち、

$$\begin{cases} I_1 = k_{(p)} D_{(p)} [V_1 - A_{(p)} V_2] \\ -I_2 = -k_{(p)} [V_1 - A_{(p)} V_2] \end{cases} \quad \dots\dots ②$$

ただし、 $k_{(p)} \rightarrow \infty$

### 2-2. F行列への逆変換

(2)式の関係で得られるY行列では、各要素が無限大になってならないが、無限大の駆動点アドミッタンス、伝達アドミッタンスで構成しなければならないが、 $k_{(p)}$ が有限としてF行列に逆変換してみると、

$$\begin{cases} V_1 = A_{(p)} V_2 + \frac{1}{k_{(p)}} I_2 \\ I_1 = D_{(p)} I_2 \end{cases} \quad \dots\dots ③$$

したがって、 $k_{(p)}$ が無限大でなく有限な場合は、理想的なFDICの入力端へ並列に  $1/k_{(p)} D_{(p)}$ なるインピーダンスが付加されることになる。

## 3. 構成

前節で述べたように(2)式のY行列表現による構成によれば、駆動点アドミッタンス、伝達アドミッタンスが無限大で理想のイミッタンス変換器になり、そのためには、無限大利得増巾器、単一利得増巾器を用いる必要がある。しかしながら、それについては別の機会にゆずるとして、本文では各アドミッタンスが有限、つまり  $k_{(p)}$  が有限で付加要素があるのを許す場合について述べる。(図2)

そこで、(2)式の関係を図3のように

なる。

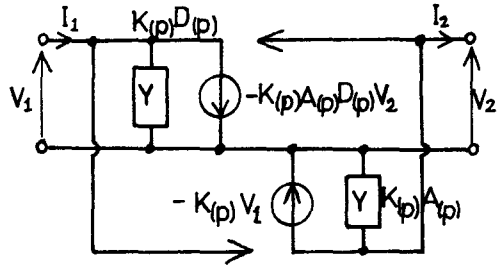


図3 電流源による構成

Fig. 3 Realization by current source

### 3-1. 加算器によるVCT (電圧電流変換器)の実現

図3の具体的な構成に用いるVCTはここでは加算器によってつくるがこれについて簡単に述べる。

まず、加算器と受動RC回路網Nを図4のように接続すると、

$$\begin{cases} I_1 = 0 \\ -I_2 = -y_{21}(K_1 V_1 + K_2 V_2) + y_{22} V_2 \end{cases} \quad \dots\dots ④$$

となって、その等価回路は図5のようになる。

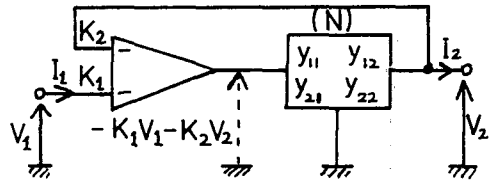


図4 加算器によるVCT

Fig. 4 VCT by adder

だから、加算係数  $K_1$  によって伝達アドミッタンス、 $K_2$  によって出力アドミッタンスが調整でき、 $y_{22} - K_2 y_{21} = 0$ となれば理想的なVCTである。

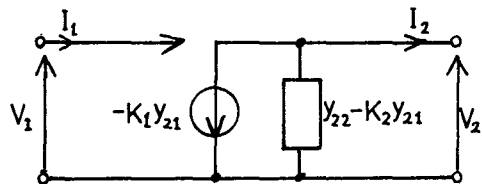


図5 等価回路

Fig. 5 Equivalent circuit

### 3-2. 具体的な構成

そこで、図4のVCTを並列接続して、(2)式を表わす回路構成を具体的に構成することとする。

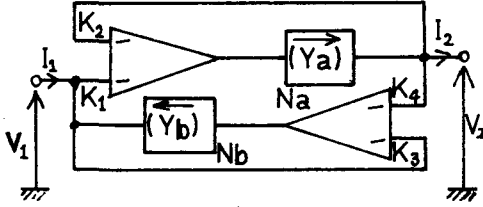


図6 FDICの実現  
Fig. 6 Realization of FDIC

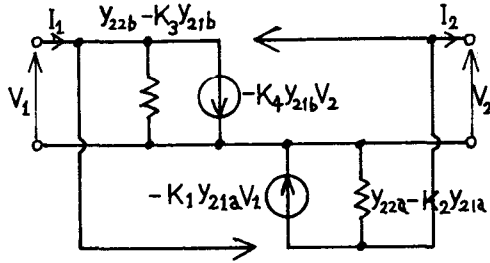


図7 等価回路  
Fig. 7 Equivalent circuit

もう一度、電圧電流の関係式をたてると、

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= (y_{22b} - K_3 y_{21b}) V_1 - K_4 y_{21b} V_2 \\ -I_2 &= -K_1 y_{21a} V_1 + (y_{22a} - K_2 y_{21a}) V_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

当然、(5)式は(2)式(図3と図6)に対応しなければならないから、両式を比較、整理すると、次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} y_{22b} - K_3 y_{21b} &= k_{(p)} \cdot D_{(p)} \\ -K_4 y_{21b} &= -k_{(p)} \cdot A_{(p)} \cdot D_{(p)} \\ y_{22a} - K_2 y_{21a} &= k_{(p)} \cdot A_{(p)} \\ -K_1 y_{21a} &= -k_{(p)} \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

$$\left. \begin{aligned} -y_{21a} &= -\frac{k_{(p)}}{K_1} \\ y_{22a} &= k_{(p)} \left[ \frac{K_2}{K_1} + A_{(p)} \right] \\ -y_{21b} &= -\frac{k_{(p)} A_{(p)} D_{(p)}}{K_4} \\ y_{22b} &= k_{(p)} D_{(p)} \left[ 1 + \frac{K_3}{K_4} A_{(p)} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

(7)式の関係から受動RC回路  $N_a$ 、 $N_b$  を求めるのであるが、各アドミッタンス  $y_{11}$ 、 $-y_{12}$ 、 $-y_{21}$ 、 $y_{22}$  について次の形でなければならないことがよく知られている。

$$y_{ij} = -y_{ji} = h_0 + h_{\infty} p + \sum_k \frac{h_k \cdot p}{p + \sigma_k} \dots\dots (8)$$

ただし、 $h$ 、 $\sigma$ ：正実数

そこで、目標とする  $A_{(p)}$ 、 $D_{(p)}$  が与えられると、(8)式の実現可能条件を満たすように  $k_{(p)}$ 、各加算係数  $K_i$  を調整すればよい。

### 4. 構成例

電圧回転形ローテータと呼ばれている

$$(F) = \begin{pmatrix} p\Omega & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots (9)$$

ただし、 $\Omega = CR$  とする

の構成を考えてみよう。(7)式から

$$\left. \begin{aligned} -y_{21a} &= -\frac{k_{(p)}}{K_1} \\ y_{22a} &= k_{(p)} \left[ \frac{K_2}{K_1} + p\Omega \right] \\ -y_{21b} &= -k_{(p)} \frac{p\Omega}{K_4} \\ y_{22b} &= k_{(p)} \left[ 1 + \frac{K_3}{K_4} p\Omega \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

いま仮りに、 $k_{(p)} = \frac{1}{R_0}$  とすれば、

$$\left. \begin{aligned} -y_{21a} &= -\frac{1}{K_1 R_0} \\ y_{22a} &= \frac{K_2}{K_1 R_0} + \frac{j\omega CR}{R_0} \\ -y_{21b} &= -\frac{j\omega CR}{K_4 R_0} \\ y_{22b} &= \frac{1}{R_0} + \frac{K_3}{K_4} \frac{j\omega CR}{R_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

ここで、(8)式の実現可能条件を考慮すると、 $K_1 < 0$ 、 $K_2 = -1$ 、 $K_4 < 0$ 、 $K_3 = -1$  となるから、結局回路構成は図8のようになる。

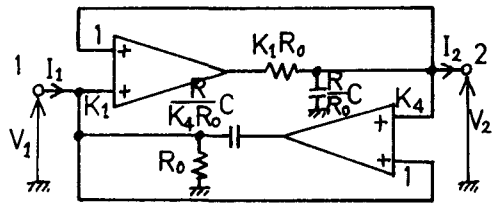


図8 構成の一例 (No. 1)

Fig. 8 A example of configuration (No. 1)

以下、各種のFDICの例を表にまとめてあるが、しかし、 $k_{(p)}$ の与え方によっては別の構成も考えられることを記しておく。

No.	F Matrix	構成	K(p) (備考)
2	$\begin{matrix} -P\Omega & 0 \\ 0 & -1 \end{matrix}$		$-\frac{1}{R_0}$
3	$\begin{matrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{P\Omega} \end{matrix}$		$j\omega C_0$
4	$\begin{matrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{P\Omega} \end{matrix}$		$-j\omega C_0$
5	$\begin{matrix} -1 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{P\Omega} \end{matrix}$		$j\omega C_0$
6	$\begin{matrix} -1 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{P\Omega} \end{matrix}$		$-j\omega C_0$

表1 構成例  
Table 1 Example of configuration

### 5. むすび

本文で述べた方法によれば、出力端に付加インピーダンスが直列に入るが加算器を用いているので容易に演算増巾器で構成できる。その結果、とくに、その他の FDIC のように直流回路設計が複雑とならない大きな利点がある。

能動 RC 伝送回路へ応用するには、付加インピーダンスが無視できるよう、伝送回路のインピーダンス・レベルを選べばよいが、ただ単に、等価インダクタンスを実現する場合には、付加インピーダンスが損失となって高い Q が得られない。

FDIC の C 要素が負となるような加算係数に調整すると、入力端に負性コンダクタンスが生じて高 Q の短絡安定型の等価インダクタンスが可能となる。

おわりに、本研究に多大なご援助をいただいた本学電気工学科沖根光夫助手に感謝いたします。

### 6. 文献

- 1) 早原：“Active Impedance Rotator の構成と伝送回路への応用”，信学論(A)，53—A，p169 (昭45—04)。
- 2) 川上，柳沢：“能動回路の基礎と応用”，共立出版 (昭34)。
- 3) 寺本：“インピーダンス変換器を用いた RC 伝送回路”，信学論(A)，55—A，10，p497 (昭47—10)。
- 4) 中村，沖根，重広：“加算器を用いた固体インダクタンス素子”，信学会回路部品・材料研資，C PM72—83 (昭48—03)。
- 5) 中村，沖根，重広：“加算器を用いたローテータ” 昭48，信学大全，445。
- 6) 中村，沖根，重広：“加算器を用いた能動 RC インピーダンスローテータ”，信学論(A)，56—A，p369 (昭48—06)。