

## 一般化した単純ループ・ハイブリッドリング 二区間縦続接続回路の設計および試作\*

松 西 年 春\*\*

安 住 和 彦\*\*

(昭和57年4月23日受理)

### Design and Experiment of the Generalized Simple-loop Hybrid Ring of Two Sections in Cascade

by Toshiharu MATSUNISHI and Kazuhiko AZUMI

The simple-loop hybrid ring is the simplest structure among the various kinds of hybrid circuits for microwave operation. It has four ports and is divided into four parts, each of length  $l$ ,  $l$  being equal to a quarter wavelength at the operating center frequency  $f_0$ .

By varying the characteristic admittance of each side, the authors have already proposed a generalized simple-loop hybrid ring in which the length of each side is not restricted to  $l$  at  $f_0$ .

In this study we have experimentally designed and made several configurations of the generalized simple-loop hybrid ring of two sections in cascade according to the proposed design theory and measured the four basic frequency characteristics i. e., reflection coefficient at each port, isolation between input (output) ports, voltage ratio and phase difference between output voltages. They agree fairly well with the theoretical values.

#### 1. ま え が き

マイクロ波帯で用いられている変・復調器やミクサー等に、単純ループ・ハイブリッドリングまたは、その二区間を縦続接続したものが用いられている。この回路は、構造が他のハイブリッド回路に比べて簡単である反面、その電気的特性の周波数に対する特性はあまりよくない。

この回路を構成している各ポート間に接続されている線路の長さは、普通伝送の中心周波数の  $\lambda/4$  の長さを選ばれるが、それ以外の長さにしても回路が構成でき、中心周波数に関して非対称な特性とはなるが基本形(各辺の長さが伝送の中心周波数の  $\lambda/4$  となる回路のこと)より

\* 昭和56年度電気四学会北海道支部連合大会で一部発表

\*\* 北見工業大学電子工学科

特性のすぐれた回路もあることを前に報告した<sup>1)</sup>。

今回はその理論に基づき、いくつかの回路の設計及び試作を行い、ほぼ満足できる結果を得たので報告する。

## 2. 一般化した単純ループ・ハイブリッドリングの二区間縦続接続回路

単純ループ・ハイブリッドリングは普通二区間縦続接続して用いられるので、図-1に示すように、全体として対称構造で接続点において左右の映像イミタンスが等しい場合を考える。

図-1に示す回路の一区間のアドミタンス行列は

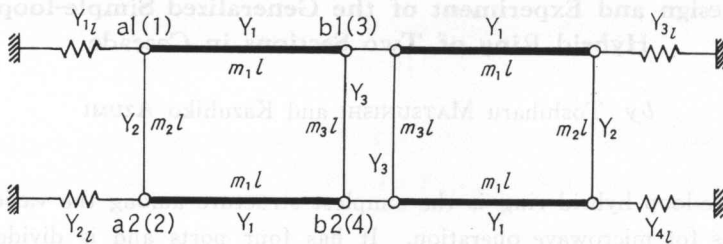


図-1 二区間縦続接続回路

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{aa} & \mathbf{Y}_{ab} \\ \mathbf{Y}_{ba} & \mathbf{Y}_{bb} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y}_{aa} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y}_{ab} = \begin{bmatrix} Y_{13} & 0 \\ 0 & Y_{24} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y}_{ba} = \begin{bmatrix} Y_{31} & 0 \\ 0 & Y_{42} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y}_{bb} = \begin{bmatrix} Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \tag{1}$$

のように表される。

式(1)において、アドミタンス行列の各要素は各ポート間に接続されている線路が無損失であると仮定すると

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &= Y_{22} = Y_1 \coth jm_1\beta l + Y_2 \coth jm_2\beta l \\
 Y_{33} &= Y_{44} = Y_1 \coth jm_1\beta l + Y_3 \coth jm_3\beta l \\
 Y_{12} &= Y_{21} = -Y_2 \operatorname{cosech} jm_2\beta l \\
 Y_{13} &= Y_{24} = Y_{31} = Y_{42} = -Y_1 \operatorname{cosech} jm_1\beta l \\
 Y_{34} &= Y_{43} = -Y_3 \operatorname{cosech} jm_3\beta l
 \end{aligned} \tag{2}$$

となる。ただし  $l = \lambda/4$  で  $\beta$  は線路の位相定数である。

伝送の中心周波数  $f_0$  において、 $a$  端の映像アドミタンス行列  $\mathbf{Y}_{aa}$  が対角行列となるためには

$$Y_{11} = Y_{22} = Y_{33} = Y_{44} = 0 \tag{3}$$

すなわち

$$Y_1 \coth jm_1 a = -Y_2 \coth jm_2 a = -Y_3 \coth jm_3 a$$

$$a = \pi/2 \tag{4}$$

であればよい。 $f_0$ における $a$ 端のアドミタンス行列 $Y_{0a}$ は式(1), 式(2)より

$$Y_{0a} = \sqrt{Y_1^2 \operatorname{cosec}^2 m_1 a - Y_2 Y_3 \operatorname{cosec} m_2 a \cdot \operatorname{cosec} m_3 a} \cdot \sqrt{\frac{Y_2 \operatorname{cosec} m_2 a}{Y_3 \operatorname{cosec} m_3 a}} \mathbf{1}_2 \tag{5}$$

となる。式(5)に示される $Y_{0a}$ の対角要素を終端アドミタンス $Y_{1l}$ ,  $Y_{2l}$ と選べば, $f_0$ において影像終端したことになる。

図-1に示す二区間縦続接続した回路を $f_0$ で影像終端した場合の電圧伝送係数行列 $N$ は

$$N = \frac{1}{Y_{13}^2} \begin{bmatrix} Y_{1l} Y_{3l} + Y_{12} Y_{34} & Y_{1l} Y_{34} + Y_{3l} Y_{12} \\ Y_{1l} Y_{34} + Y_{3l} Y_{12} & Y_{1l} Y_{3l} + Y_{12} Y_{34} \end{bmatrix} \tag{6}$$

となる。

従って, $f_0$ において出力電力が等配分されるためには $N$ の対角要素と非対角要素が等しければよく

$$Y_1^4 \operatorname{cosec}^4 m_1 a - 8 Y_1^2 Y_2 Y_3 \operatorname{cosec}^2 m_1 a \cdot \operatorname{cosec} m_2 a \cdot \operatorname{cosec} m_3 a + 8 Y_2^2 Y_3^2 \operatorname{cosec}^2 m_2 a \cdot \operatorname{cosec}^2 m_3 a = 0 \tag{7}$$

を満足すればよい。

式(7)に式(4)を代入すると

$$\cos^2 m_2 a \cdot \cos^2 m_3 a - 8 \cos^2 m_1 a \cdot \cos m_2 a \cdot \cos m_3 a + 8 \cos^4 m_1 a = 0 \tag{8}$$

となる。表-1に $m_2 = m_3$ とした場合, $m_1$ のいくつかの値に対して, 式(8), 式(4), 式(5)より $m_2$ ,  $Y_2$ ,  $Y_{il}$ の値を求めたものを示す。表-1において $Y_0$ は線路の特性アドミタンスである。

表-1 各パラメータの値

| $m_1$ | $m_2 (=m_3)$ | $Y_1$ | $Y_2$        | $Y_{il} (i=1, \dots, 4)$ |
|-------|--------------|-------|--------------|--------------------------|
| 0.9   | 1.2681       | $Y_0$ | 0.3536 $Y_0$ | 0.9354 $Y_0$             |
| 1.0   | 1.0          | $Y_0$ | 0.3827 $Y_0$ | 0.9239 $Y_0$             |
| 1.15  | 0.5823       | $Y_0$ | 0.3118 $Y_0$ | 0.9501 $Y_0$             |

### 3. 単純ループ・ハイブリッドリングの試作

表-1に示したパラメーターを用いて $f_0$ を1GHzとする平衡型回路(図-2参照)をフローガラス( $\epsilon_r = 2.6$ )を誘電体とするプリント基板をフォトエッチングすることにより試作する。ここでは基板の厚さ $b$ を4mmとし, 線路の幅 $W$ は次式により求める。

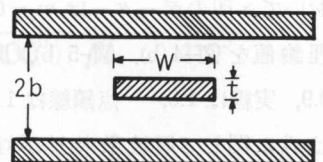


図-2 平衡型回路の断面図

$$\sqrt{\epsilon_r} Z_0 = \frac{30\pi(1-t/b)}{D/b} \tag{9}$$

ただし

$$D = bK(k)/K(k') + \frac{t}{\pi} \left\{ 1 - \ln \left( \frac{2t}{b} \right) \right\}$$

$$k = \tanh(\pi W/2b)$$

$$k' = \sqrt{1-k^2}$$

$K(k)$ ,  $K(k')$ ; 第一種完全楕円積分

である。

中心周波数を 1 GHz とし、管内波長  $\lambda_g$  を求め、その四分の一の長さ  $l$  は

$$l = \lambda_g/4 = 46.58 \text{ mm}$$

となる。終端インピーダンス  $Z_{it}(=1/Y_{it})$  を  $50 \Omega$  に選び、図-3 に示す回路パターンの線路幅を式 (9) より求め、それらの値と各部分の長さを表-2 に示す。

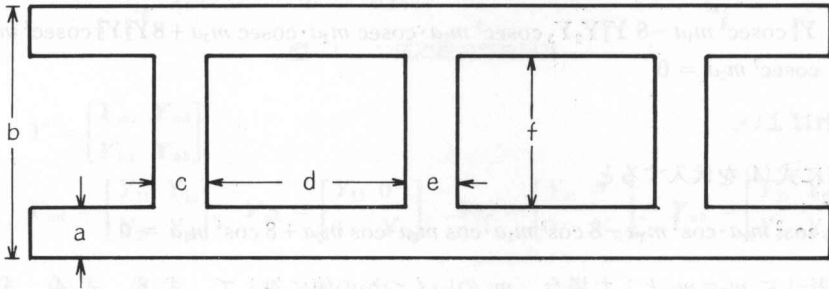


図-3 回路パターン

表-2 試作回路の寸法 (単位は mm)

| 寸法<br>$m_1$ | a     | b      | c     | d      | e     | f      |
|-------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 0.9         | 5.772 | 71.770 | 0.558 | 41.833 | 3.530 | 58.942 |
| 1.0         | 5.772 | 59.557 | 0.767 | 44.387 | 4.189 | 46.481 |
| 1.15        | 5.772 | 39.587 | 0.321 | 53.453 | 2.644 | 27.067 |

試作した回路の周波数特性をネットワークアナライザを用いて、 $S$  パラメータを測定することにより求めた結果を図-4(a), 図-5(a), 図-6(a), 図-7(a) のグラフに示す。なお図において×印のデータは  $m_1=0.9$ , ○印は 1.0, △印は 1.15 の場合を表しており、比較のために理論値を図-4(b), 図-5(b), 図-6(b), 図-7(b) のグラフに示す。なお図において破線は  $m_1=0.9$ , 実線は 1.0, 一点鎖線は 1.15 の場合を表している。グラフより  $m_1=m_2=m_3=1.0$  の基本形は  $f_0$  に関して周波数特性が対称になるのに対して、 $m_1=0.9$  および 1.15 の場合は  $f_0$  に関して非対称となるが、 $f_0$  の片側の周波数特性が改善されているのがわかる。

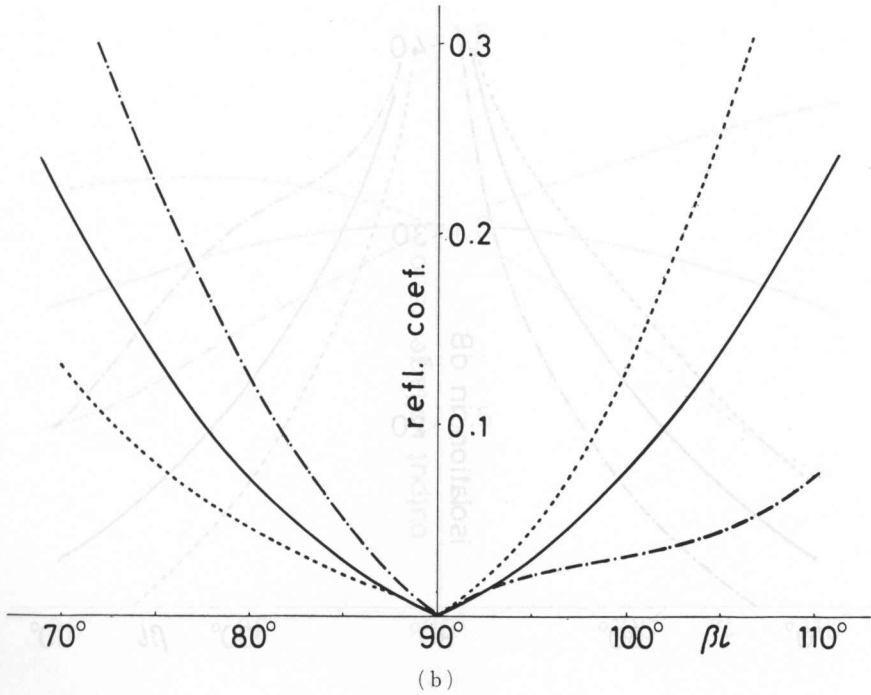
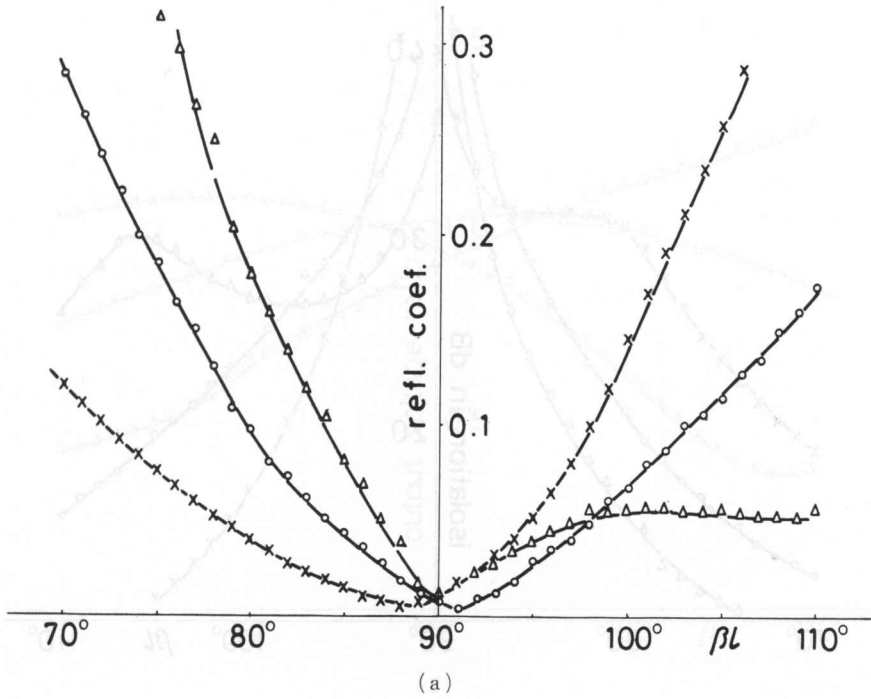
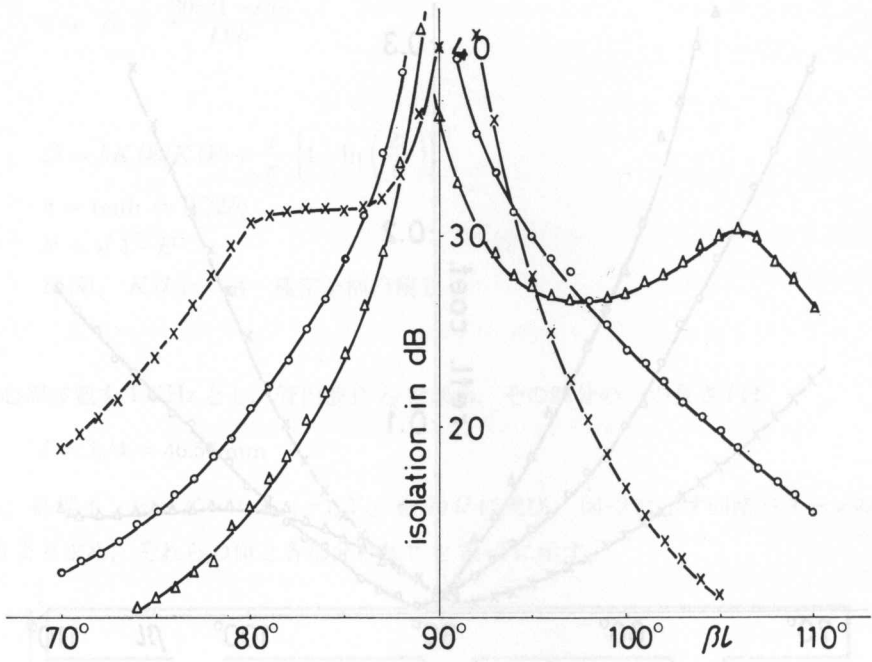
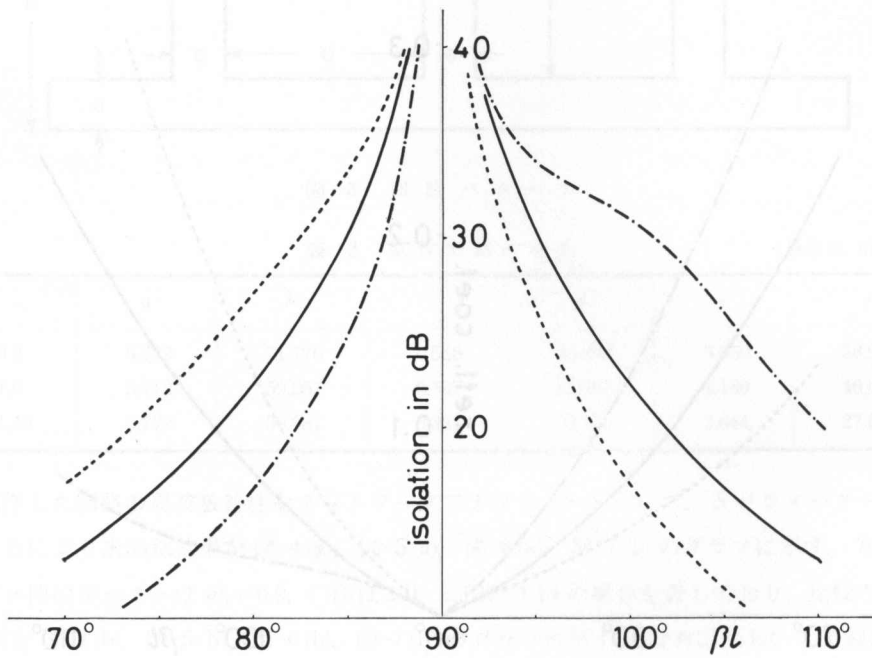


図-4 反射係数の周波特性

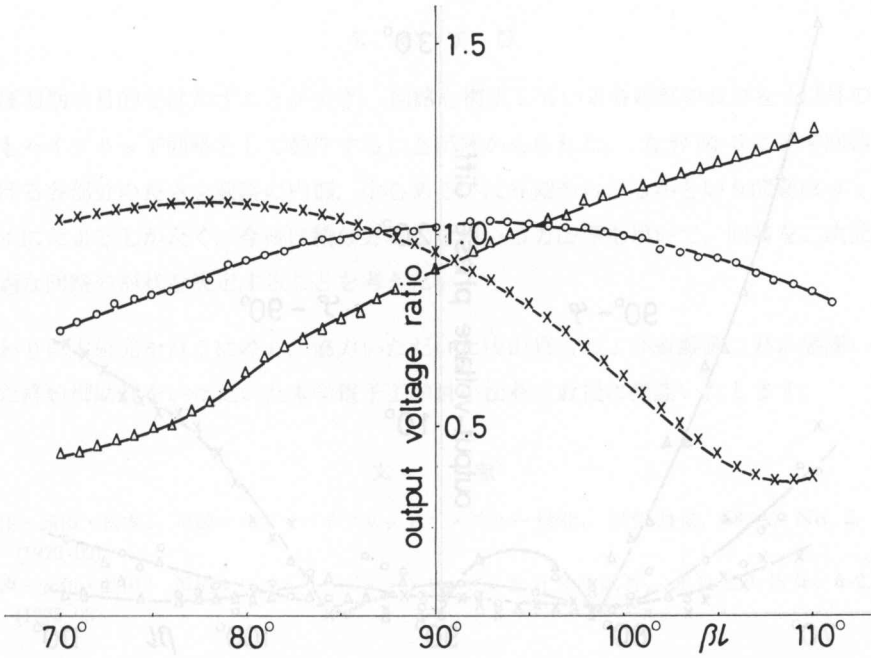


(a)

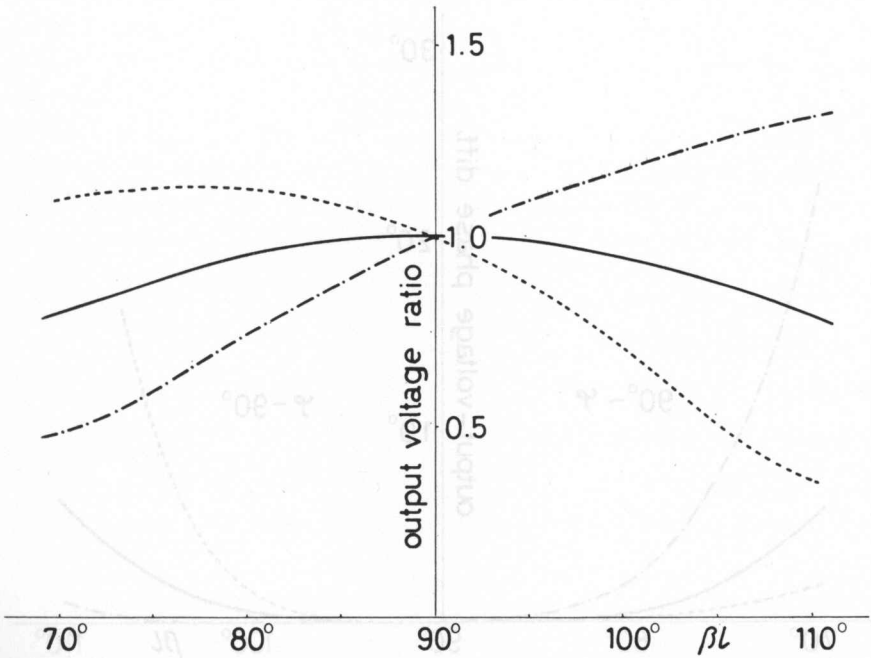


(b)

図-5 分離度の周波数特性

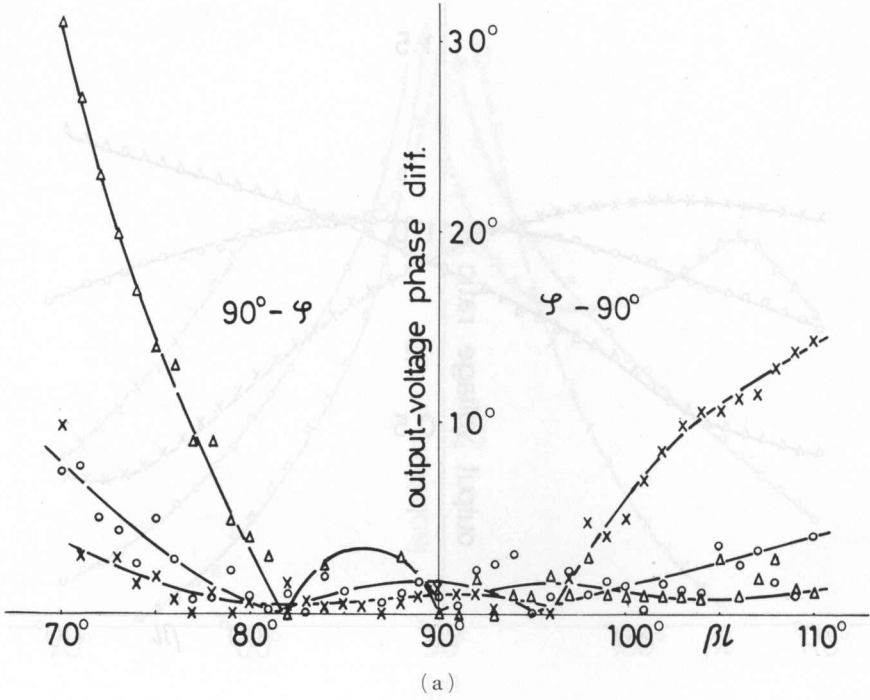


(a)

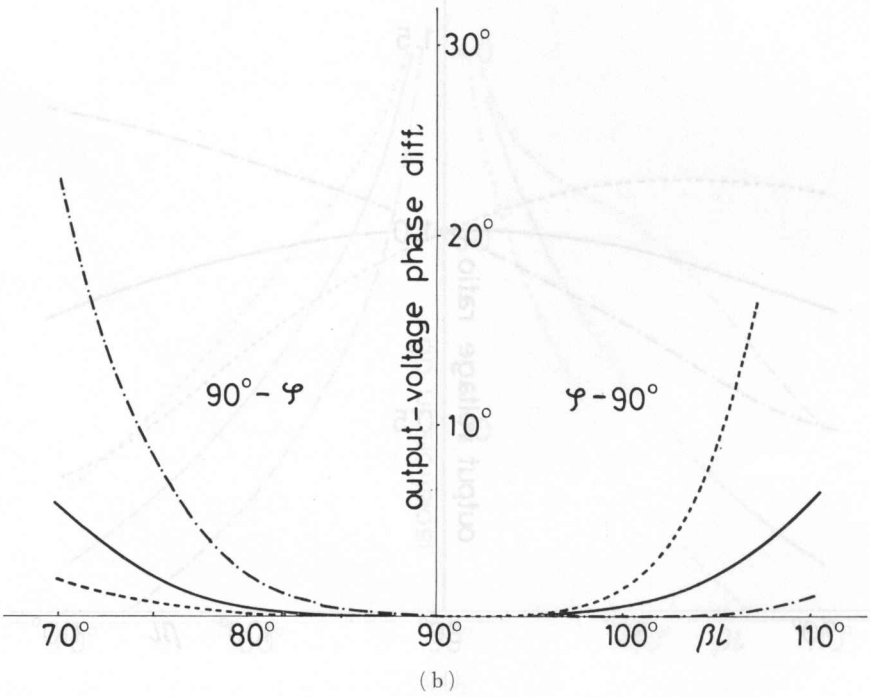


(b)

図-6 出力電圧配分比の周波数特性



(a)



(b)

図-7 出力電圧位相差の周波数特性



#### 4. む す び

ほぼ初期の目的をはたすことができ、回路を構成している各線路の長さを $l$ 以外の長さにとってもハイブリッド回路として動作することが確かめられた。なお図-3に示す回路パターンにおける各部分の長さを線路の内側、中心あるいは外側からとるかという問題はカットアンドトライにたよるしかなく、今後は積分方程式を用いる方法等を用いて、回路を二次元として考え最適な回路の形状を決定することを考えたい。

おわりに本研究を行うに際し、協力いただいた浅山真君および斎藤謙二君に感謝いたします。また終始御助言をいただいた本学電子工学科小松森三教授に深謝いたします。

#### 文 献

- 1) 安住・品田・松本：単純ループ・ハイブリッドリングの一般化，信学論誌，**58-A**，**No. 2**，p. 137 (1975-02).
- 2) 松西・安住・品田：単純ループ・ハイブリッドリングの設計及び試作，北見工大研報，**6-2**，p. 89 (1975-03).