

(E) 単純ループ・ハイブリッドリングの設計及び試作

松 西 年 春*

安 住 和 彦*

品 田 雄 治*

(昭和 49 年 9 月 27 日受理)

Design and Experiment of the Simple-loop Hybrid Ring

by Toshiharu MATSUNISHI, Kazuhiko AZUMI
and Yuji SHINADA

The simple-loop hybrid ring used in the microwave band has the simplest structure among various kinds of hybrid circuits. But its electric characteristics are worse than those of other hybrid circuits.

In our study, it is shown that we have designed and made simple-loop hybrid rings and have measured the hybrid characteristics of them. These measured values are compared with the theoretical ones derived by using the image parameter theory, and causes of the differences between them are considered.

1. まえがき

マイクロ波用変調器、復調器及びダイプレクサー等には、単純ループ・ハイブリッドリングまたは、その二区間を継続接続したものが用いられている。この回路の特徴は、構造が他のハイブリッド回路（例えば Rat Race 回路、位相反転形ハイブリッドリング等）に比べて簡単である反面、その周波数特性——二つの入力または出力ポート間の電気的分離、各ポートにおける整合、出力ポート間の出力電圧配分比及び出力電圧位相差——はあまりよくなく、伝送の中心周波数でしか完全には満足されない。

ここでは、この単純ループ・ハイブリッドリング一区間回路を設計し試作を行ない、そのハイブリッド動作特性を測定した。また実験結果との比較には、単純ループ・ハイブリッドリングを影像パラメータ理論で解析した値を用いた。

2. 単純ループ・ハイブリッドリングの動作

図 1 に示す単純ループ・ハイブリッドリング¹⁾において各ポート名称と各ポート間を連結する線路の特性アドミタンスは図 1 のようにとするものとする。つまり左端に入力ポート a1,

* 北見工業大学電子工学科

a_2 をとり, 右端に出力ポート b_1, b_2 をとり, a_1-b_1 間, a_2-b_2 間の線路の特性アドミタンスを Y_2 , a_1-a_2 間, b_1-b_2 間の線路の特性アドミタンスを Y_1 とする。これらの 4 本の線路の長さはみな同じとし, 中心周波数 ($\beta l=90^\circ$)において 4 分の 1 波長とする。

この回路は一種の方向性結合器であり, 中心周波数において次の性質を有する。ポート a_1 (a_2) からの入力信号はポート b_1, b_2 に互いに直角の位相関係にある出力を与えるが, ポート a_2 (a_1) とは電気的に分離される。ポート b_1 (b_2) からの入力信号はポート a_1, a_2 に互いに直角の位相関係にある出力を与えるが, ポート b_2 (b_1) とは電気的に分離される。

出力等分の設計では $Y_1=Y_0, Y_2=\sqrt{2} Y_0$, 終端アドミタンス $Y_{ii}=Y_0$ ($i=1, \dots, 4$) とする。

3. 単純ループ・ハイブリッドリングの設計及び試作

3.1 同軸線路による試作

中心周波数が 250 MHz の対称形一区間の単純ループ・ハイブリッドリングで, その出力電力(電圧)配分比が中心周波数において 1:1 となるものを試作する。

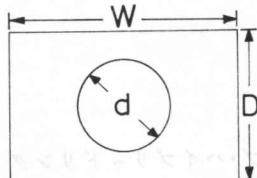


図 2 同軸線路の断面図

Fig. 2. Cross-sectional dimensions of the coaxial line.

ただし $W \geq D$ とする。

ここで D, W, d は図 2 に示されている様にとるものとする。

従って図 1 に示した回路を設計するために, 各線路のアドミタンスを $Y_1=Y_0, Y_2=\sqrt{2} Y_0, Y_{ii}=Y_0$ ($i=1, \dots, 4$) として内部導体の直径を求めるところとなる。

$$Y_1=1/Z_1 \text{ として } Z_1=50.0 \Omega \text{ で } d_1=17.93 \text{ (mm)},$$

$$Y_2=1/Z_2 \text{ として } Z_2=35.35 \Omega \text{ で } d_2=22.85 \text{ (mm)},$$

$$Y_{ii}=1/Z_{ii} \text{ として } Z_{ii}=50.0 \Omega \text{ } (i=1, \dots, 4).$$

この場合 $W=40.0$ (mm), $D=37.1$ (mm) であり, 各線路の長さは中心周波数が 250 MHz であるので 30 (cm) である。回路の概観を図 3 に示す。

単純ループ・ハイブリッドリングの動作特性の周波数特性を測定するのに用いた機器は次

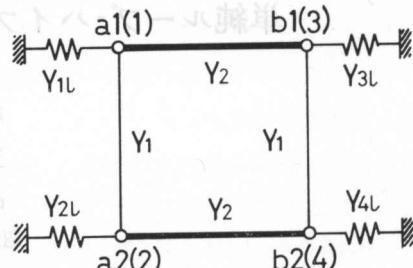


図 1 単純ループハイブリッドリング

Fig. 1. Simple-loop hybrid ring.

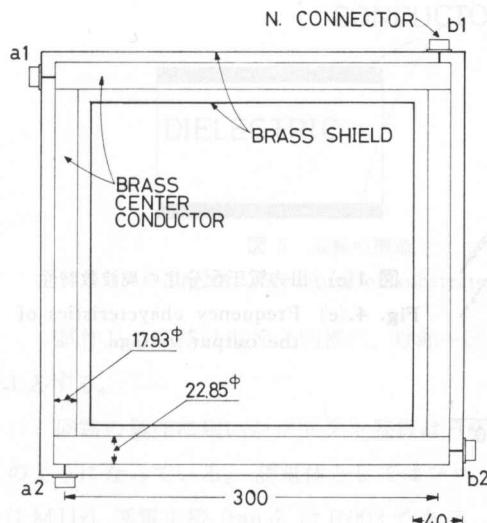


図 3 試作した単純ループ・ハイブリッド・リングの概観

Fig. 3. Dimensions of the fabricated simple-loop hybrid ring.

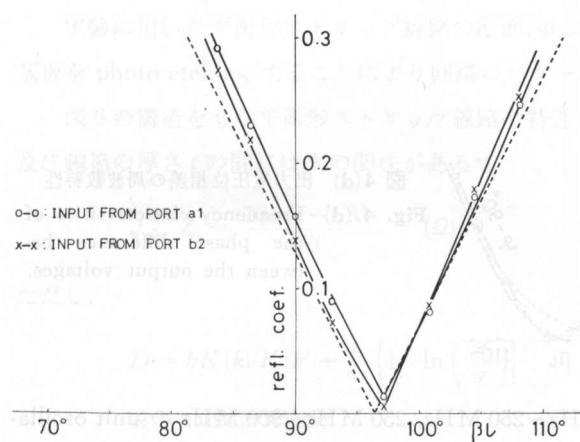


図 4(a) 反射係数の周波数特性

Fig. 4.(a) Frequency characteristics of the reflection coefficient.

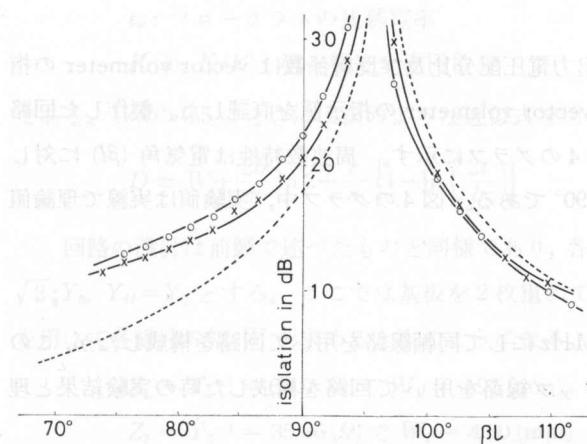


図 4(b) 分離度の周波数特性

Fig. 4.(b) Frequency characteristics of the isolation.

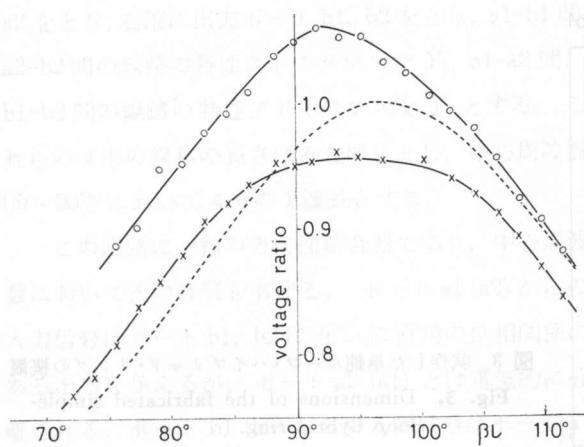


図 4(c) 出力電圧配分比の周波数特性
Fig. 4.(c) Frequency characteristics of the output voltage.

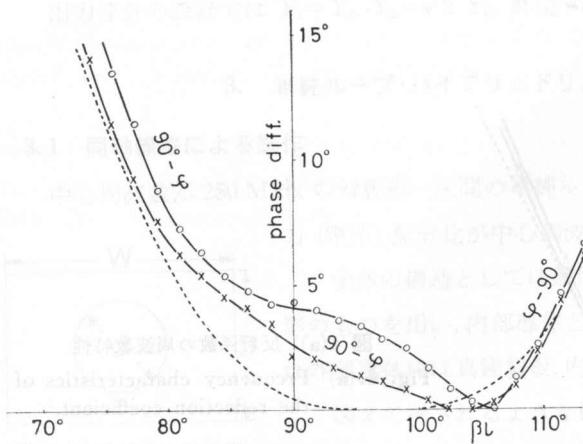


図 4(d) 出力電圧位相差の周波数特性
Fig. 4.(d) Frequency characteristics of the phase difference between the output voltages.

のようなものである。発振器として 90 MHz~250 MHz, 250 MHz~900 MHz の unit oscillator 計 2 台, YHP 社製の vector voltmeter 1 台, その他 directional coupler, line stretcher, 50Ω 終端等。

ハイブリッド動作特性中, 分離度, 出力電圧配分比及び反射係数は vector voltmeter の指示値より計算で求め, 出力電圧位相差は vector voltmeter の指示値を直読した。製作した回路の動作特性の周波数特性の実験結果を図 4 のグラフに示す。周波数特性は電気角 (βl) に対して示してあり, 中心周波数において $\beta l = 90^\circ$ である。図 4 のグラフ中, 実験値は実線で理論値は破線で示してある。

3.2 ストリップ線路による試作

3.1 節においては中心周波数を 250 MHz にして同軸線路を用いて回路を構成したが, この節では中心周波数を 1 GHz にしてストリップ線路を用いて回路を構成した時の実験結果と理論値の比較を行なう。

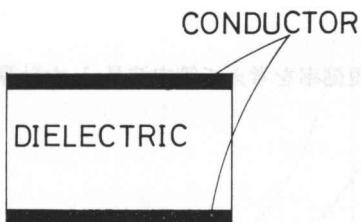


図 5 基板の構造
Fig. 5. Structure of substrate.

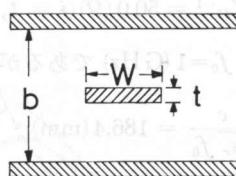


図 6 ストリップ線路の断面図
Fig. 6. Cross-sectional dimensions of the strip line.

試作した回路は前節と同様に、対称一区間回路で出力電力配分比は中心周波数において 1:1 とする。

回路の製作に用いたプリント基板は日本ダッジファイバー社製のもので、その構造は図 5 のようになっている。誘電体としてはフローガラスを用い、その比誘電率は 2.5 (9 GHz)~2.7 (1 MHz), 誘電正接 ($\tan \delta$) は 0.002 である。導体となる銅箔は厚さ 0.035 ± 0.010 (mm), 純度 99.8% であり、全体の厚さは 2.0 ± 0.05 (mm) である。

実験に用いた平衡形ストリップ線路の断面図は図 6 のようになっており、図 5 のプリント基板を photo etching することにより回路のパターンを作る。

図 6 の構造をもつ平衡形ストリップ線路の特性インピーダンス Z_0 , 線路幅 W , 導体間隔 b 及び銅箔の厚さ t の間には次の関係がある³⁾。

$$\sqrt{\epsilon_r} Z_0 = \frac{30\pi(1-t/b)}{D/b} \quad (2)$$

ただし、

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

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

$$k' = (1-k^2)^{1/2}$$

ϵ_r : フローガラスの比誘電率

$K(k)$, $K(k')$: 第一種完全橍円積分

である。 $W/b > 0.5$ のときには次のような近似式を用いることができる。

$$D \approx W + \frac{2b}{\pi} \ln 2 + \frac{t}{\pi} \left\{ 1 - \ln \left(\frac{2t}{b} \right) \right\} \quad (3)$$

回路の設計は前節で述べたものと同様であり、各線路の特性アドミタンスは $Y_1 = Y_0$, $Y_2 = \sqrt{2} Y_0$, $Y_{ul} = Y_0$ とする。ここでは基板を 2 枚重ねて使用するので $b = 4$ (mm) とし、式 (2), (3) を用いて各線路の幅 W を求めると次のようになる。

$$Z_1 = Y_1^{-1} = 50.0 \text{ } (\Omega) \text{ で } W_1 = 2.91 \text{ (mm)}$$

$$Z_2 = Y_2^{-1} = 35.36 \text{ } (\Omega) \text{ で } W_2 = 4.80 \text{ (mm)}$$

$$Z_{ii} = Y_{ii}^{-1} = 50.0 \Omega (i = 1, \dots, 4)$$

中心周波数は $f_0 = 1$ (GHz) であるが、波長短縮率を考えて管内波長 λ_g を計算すると、

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} f_0} = 186.4 \text{ mm} \quad (4)$$

となる。よって回路の一辺の長さ l は

$$l = \frac{\lambda_g}{4} = 46.6 \text{ mm} \quad (5)$$

となる。ここで $\epsilon_r = 2.6$ である。

以上の値を用いて 2 種類の単純ループ・ハイブリッドリングを製作した。図 7 に 2 種類の回路パターンを示す。端子の引き出し口の形状が特性に与える影響を調べるために、ここでは

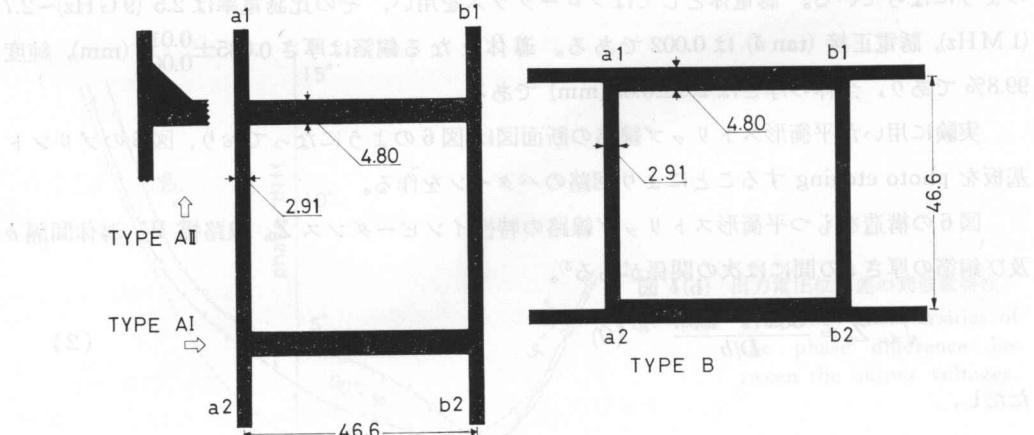


図 7 回路 パターン

Fig. 7. Circuit pattern.

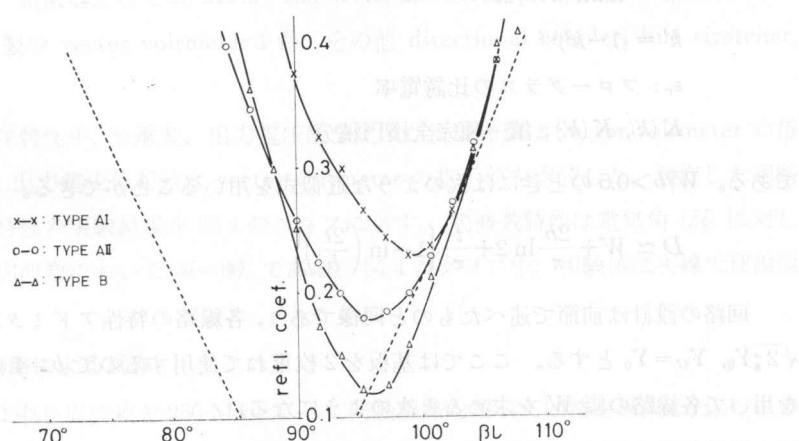


図 8(a) 反射係数の周波数特性

Fig. 8.(a) Frequency characteristics of the reflection coefficient.

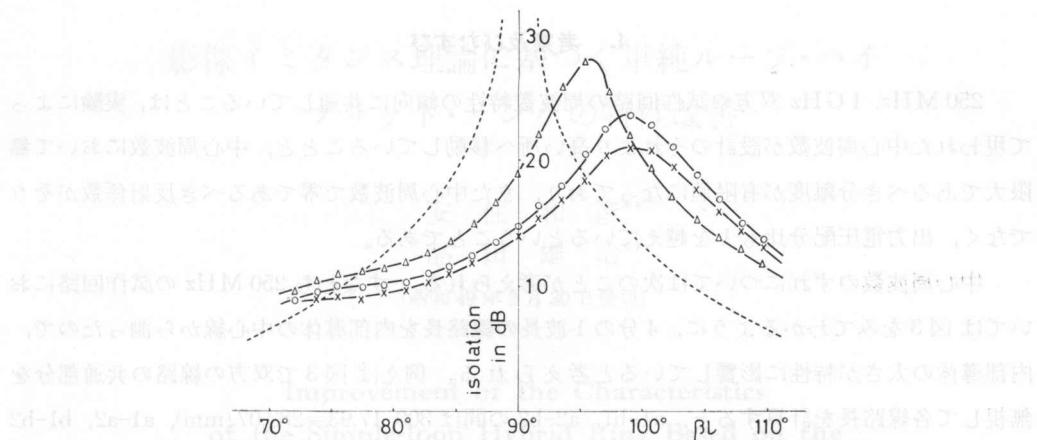


図 8(b) 分離度の周波数特性

Fig. 8.(d) Frequency characteristics of the isolation.

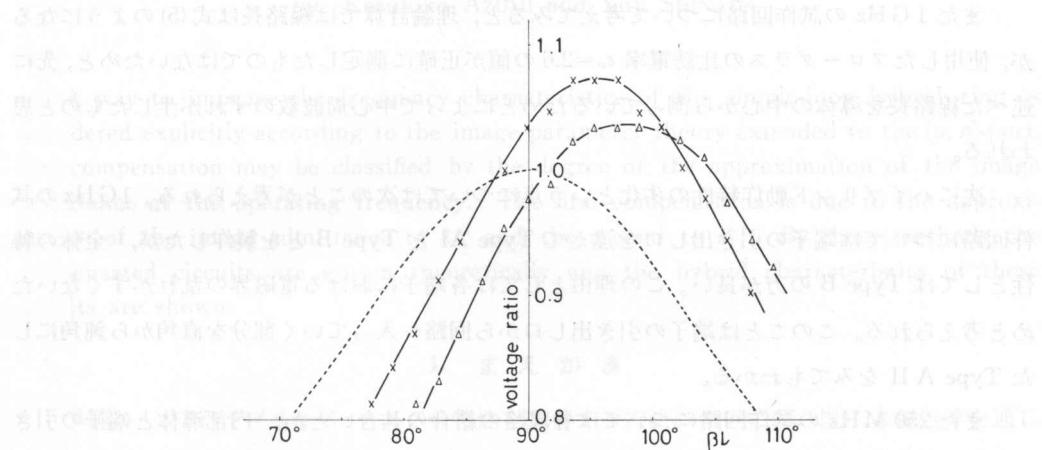


図 8(c) 出力電圧分配比の周波数特性

Fig. 8.(c) Frequency characteristics of the output voltage.

異なる形の引き出し口をもつ回路を作製した。

製作及び測定は北海道大学応用電気研究所電子回路部門で行ない、測定には HP 社製 Network Analyzer を用い、S-パラメータを測定することによりハイブリッド動作特性の周波数特性を調べた。

試作回路の動作特性の周波数特性を図 8 に示す。周波数特性は前節と同様に電気角 (βL) に対してとてあり、中心周波数においては $\beta L = 90^\circ$ である。なお動作特性中、出力電圧位相差は測定器の関係で、はぶいてある。図 8 のグラフ中、実験値は実線で、理論値は破線で示してある。

4. 考察及びむすび

250 MHz, 1 GHz 双方の試作回路の周波数特性の傾向に共通していることは、実験によって現われた中心周波数が設計のそれより高い所へ移動していることと、中心周波数において無限大であるべき分離度が有限値になっており、また中心周波数で零であるべき反射係数がそうではなく、出力電圧分配比も 1 を越えているということである。

中心周波数のずれについては次のことが考えられる。すなわち 250 MHz の試作回路においては図 3 をみてわかるように、4 分の 1 波長の線路長を内部導体の中心線から測ったので、内部導体の太さが特性に影響していると考えられる。例えば図 3 で双方の線路の共通部分を無視して各線路長を計算すると、a1-b1, a2-b2 の間は $300 - 17.93 = 282.07$ (mm), a1-a2, b1-b2 間は $300 - 22.85 = 277.15$ (mm) となる。この値を用いて理論値を計算すると図 4 のグラフの破線となる。

また 1 GHz の試作回路について考えてみると、理論計算では線路長は式(5)のようになるが、使用したフローラスの比誘電率 $\epsilon_r = 2.6$ の値が正確に測定したものではないためと、先に述べた線路長を導体の中心から測っているためとによって中心周波数のずれが生じたものと思われる。

次にハイブリッド動作特性の劣化という点については次のことが考えられる。1 GHz の試作回路については端子の引き出し口を違えて Type A I と Type B とを製作したが、全体の特性としては Type B の方が良い。この理由としては各端子における電磁界の乱れがすくないためと考えられる。このことは端子の引き出し口から回路へ入っていく部分を直角から鈍角にした Type A II をみてもわかる。

また 250 MHz の試作回路については各線路の結合の具合とか、内部導体と端子の引き出し線との結合部分における接触抵抗などが特性劣化に影響を与えるものと思われる⁴⁾。

単純ループ・ハイブリッドリングの対称一区間回路を、中心周波数 250 MHz 及び 1 GHz において試作して一応のハイブリッド動作特性を得た。しかしながら有用と思われるストリップ線路による試作回路の周波数特性にはまだ不十分なものがあり、これから先製作経験を増すことにより解決すべきものと思われる。

最後に、製作・測定に御指導・御援助いただいた、北海道大学応用電気研究所電子回路部門の羽鳥孝三教授及び小野幸次郎助手に深謝する次第である。

文 献

- 1) 安住和彦・品田雄治： 不等配分比の単純ループ・ハイブリッド・リング、北見工大研報, 3-2, 299 (1972).
- 2) A. Matsumoto (ed.): Microwave Filters and Circuits, Academic Press, 108 (1970).
- 3) S. B. Cohn: Problems in strip transmission lines, IRE Trans., MTT-3, 119 (1955-03).
- 4) 松西年春： 単純ループ・ハイブリッドリングの解析及び設計・試作、北見工大電気工学科卒業論文 (1973).