ジャイレータを含むハイブリッド回路*

安住和彦**
松西年春**
品田雄治**

(昭和50年9月30日受理)

Hybrid Circuit Containing Gyrators

by Kazuhiko AZUMI, Toshiharu MATSUNISHI
and Yūji SHINADA

The length of each side of a simple-loop hybrid ring, a reverse phase hybrid circuit, and that of a Rat-Race circuit were chosen a quarter wavelength at the center frequency f_0 or its odd multiple length. But if a gyrator is connected with $2l$ line in cascade, it is able to be used for an element of a hybrid circuit, and the possible region of the construction of a hybrid circuit is very wide.

In the extreme case, a hybrid ring which is composed of only four gyrators displays excellent operation.

1. まえがき

単純ループ・ハイブリッドリング，位相反転形ハイブリッドリング及びRat-Race回路の各ポートを連結している線路の長さは，伝送の中心周波数の4分の1波長及びその奇数倍の長さに選ばれていた[1),2)]。しかしながら，各線路の長さは，伝送の中心周波数の4分の1波長及びその奇数倍でなくとも，ハイブリッド動作が可能であることを前にハイブリッド回路の一般化として発表した[3)~5)]。従来，一辺が4分の1波長の2倍及びその他の偶数倍の長さの線路からなるハイブリッド回路は得られなかった。しかしながら，2倍長線路とジャイレータを縦続接続した場合には，ハイブリッド回路を構成する一辺として利用することができ，その構成範囲を拡げることが可能になったので報告するものである。

2. ジャイレータの縦続行列及びアドミタンス行列

2.1 理想ジャイレータ

図1に示す理想ジャイレータにおいて変換抵抗をaとすれば，その縦続行列$\boldsymbol{F}_g$は

* 電子通信学会回路とシステム理論研究会で一部発表(1975年6月，札幌)

** 北見工業大学電子工学科

$$\boldsymbol{F}_g=\begin{bmatrix}0 & a\\ a^{-1} & 0\end{bmatrix},\qquad \det\ \boldsymbol{F}_g=-1 \tag{1}$$

となる。逆方向の伝送に対して，その縦続行列を $\overleftarrow{\boldsymbol{F}}_g$ とすれば $\overleftarrow{\boldsymbol{F}}_g=-\boldsymbol{F}_g$ となる。したがって，ジャイレータはその伝送方向を考える必要があるので，以後その方向を矢印で示すものとする。また，アドミタンス行列は次式となる。

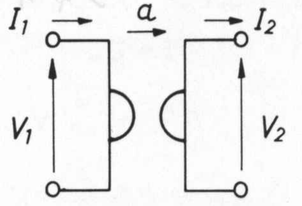

図1　理想ジャイレータ

Fig. 1. Ideal gyrator.

$$\boldsymbol{Y}_g=\begin{bmatrix}0 & a^{-1}\\ -a^{-1} & 0\end{bmatrix} \tag{2}$$

2.2 理想ジャイレータと2倍長線路の縦続接続

図2 (a), (b), (c), (d) に示す理想ジャイレータと2倍長線路の縦続接続回路の縦続行列をそれぞれ $\boldsymbol{F}_a$, $\boldsymbol{F}_b$, $\boldsymbol{F}_c$, $\boldsymbol{F}_d$ とすれば

$$\boldsymbol{F}_a=\begin{bmatrix}s_2 a Y_0 & c_2 a\\ c_2 a^{-1} & s_2 a^{-1} Z_0\end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{F}_b=\begin{bmatrix}s_2 a^{-1} Z_0 & c_2 a\\ c_2 a^{-1} & s_2 a Y_0\end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\boldsymbol{F}_c=\begin{bmatrix}-s_2 a Y_0 & -c_2 a\\ -c_2 a^{-1} & -s_2 a^{-1} Z_0\end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{F}_d=\begin{bmatrix}-s_2 a^{-1} Z_0 & -c_2 a\\ -c_2 a^{-1} & -s_2 a Y_0\end{bmatrix} \tag{6}$$

となる。ただし

$$c_2=\cosh 2\gamma l=\frac{1+\lambda^2}{1-\lambda^2},\qquad s_2=\sinh 2\gamma l=\frac{2\lambda}{1-\lambda^2},$$
$$Y_0=Z_0^{-1},\qquad \lambda=\tanh\gamma l \tag{7}$$

で，γ は線路の伝搬定数，Z_0 は線路の特性インピーダンス，l は f_0 の4分の1波長の長さである。

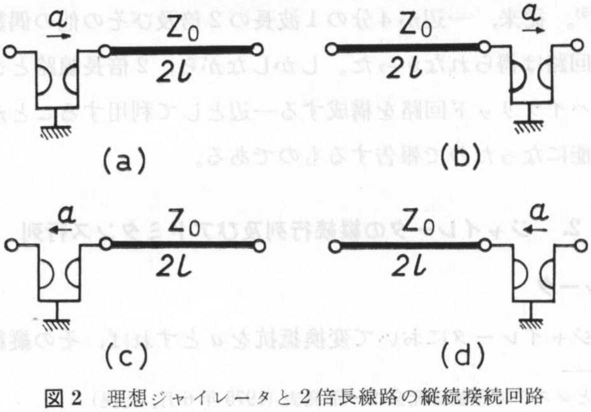

図2　理想ジャイレータと2倍長線路の縦続接続回路

Fig. 2. Circuit of ideal gyrator and $2l$ line are connected in cascade.

以下では，簡単のため変換抵抗 a を Z_0 に等しく選ぶ。したがって，式(3)〜(6)は

$$\boldsymbol{F}_a=\boldsymbol{F}_b=\begin{bmatrix} s_2 & c_2^{-1}Y_0 \\ c_2 Y_0 & s_2 \end{bmatrix}=-\boldsymbol{F}_c=-\boldsymbol{F}_d \tag{8}$$

となり，アドミタンス行列をそれぞれ $\boldsymbol{Y}_a$, $\boldsymbol{Y}_b$, $\boldsymbol{Y}_c$, $\boldsymbol{Y}_d$ とすれば

$$\boldsymbol{Y}_a=\boldsymbol{Y}_b=\begin{bmatrix} \lambda_2 Y_0 & c_2^{-1}Y_0 \\ -c_2^{-1}Y_0 & \lambda_2 Y_0 \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\boldsymbol{Y}_c=\boldsymbol{Y}_d=\begin{bmatrix} \lambda_2 Y_0 & -c_2^{-1}Y_0 \\ c_2^{-1}Y_0 & \lambda_2 Y_0 \end{bmatrix} \tag{10}$$

となる。ただし

$$\lambda_2=\tanh 2\gamma l=\frac{2\lambda}{1+\lambda^2}=\frac{s_2}{c_2} \tag{11}$$

である。以下で考えるジャイレータはすべてこの理想ジャイレータとする。

3. 2辺がジャイレータと2倍長線路の縦続接続からなるハイブリッド回路

ここでは，2辺がジャイレータと2倍長線路の縦続接続からなる単純ループ形回路，位相反転形回路及び Rat-Race 形回路について考える。

3.1 単純ループ形回路

図3及び図4のように対向する2辺がジャイレータと2倍長線路の縦続接続からなる回路を考える。図に示すように各ポート間を連結する線路の特性アドミタンス及び長さを選ぶ。また，アドミタンス行列表現に便利なようにポート a1, a2, b1, b2 をそれぞれポート 1, 2, 3, 4 とする。図の回路にはアドミタンス行列表現が可能であり，アドミタンス行列 $\boldsymbol{Y}$ 及び部分アド

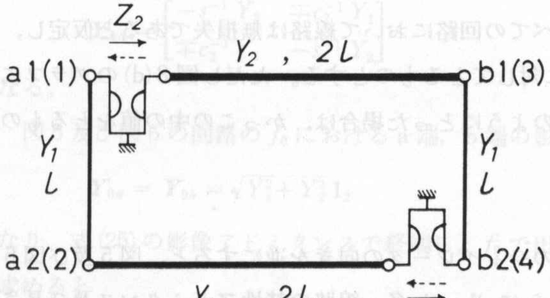

図3　単純ループ形回路

Fig. 3. Circuit of simple-loop hybrid type.

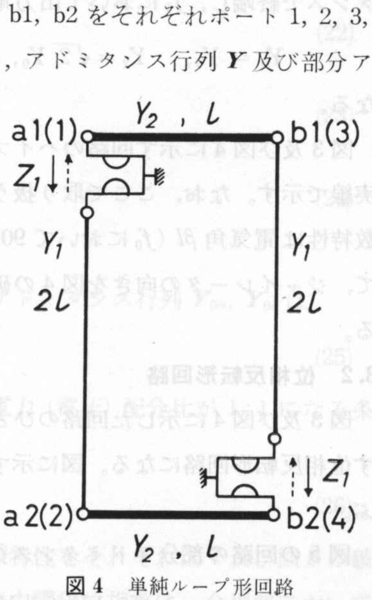

図4　単純ループ形回路

Fig. 4. Circuit of simple-loop hybrid type.

ミタンス行列 $\boldsymbol{Y}_{aa}, \boldsymbol{Y}_{ab}, \boldsymbol{Y}_{ba}, \boldsymbol{Y}_{bb}$ は図3の回路に対して

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{Y}_{aa} & \boldsymbol{Y}_{ab}\\ \boldsymbol{Y}_{ba} & \boldsymbol{Y}_{bb}\end{bmatrix} \tag{12}$$

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}\lambda^{-1}Y_1+\lambda_2 Y_2 & -s^{-1}Y_1\\ -s^{-1}Y_1 & \lambda^{-1}Y_1+\lambda_2 Y_2\end{bmatrix} \tag{13}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}=-\boldsymbol{Y}_{ba} \tag{14}$$

となる。式(14)の複号は同順で，ジャイレータの伝送方向を図3の実線のように選んだ場合は上部を，破線の方向を選んだ場合は下部をとるものとする。以下同様の意味で用いる。

図4の回路の部分アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}\lambda^{-1}Y_2+\lambda_2 Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2 Y_1 & \lambda^{-1}Y_2+\lambda_2 Y_1\end{bmatrix} \tag{15}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\boldsymbol{Y}_{ba}=\begin{bmatrix}-s^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & -s^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{16}$$

となる。

図3及び図4に示す回路の中心周波数 (f_0) における a 端及び b 端の影像アドミタンス行列を $\boldsymbol{Y}_{0a}$, $\boldsymbol{Y}_{0b}$ とすると次式のようになる。

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{Y_2^2-Y_1^2}\,\mathbf{1}_2 \tag{17}$$

式(17)において $\mathbf{1}_2$ は2行2列の単位行列である。以下同様の意味で用いる。式(17)の影像アドミタンスで終端し，f_0 において出力電力（電圧）配分比が1:1になる条件を求めると

$$Y_1=Y_0,\qquad Y_2=\sqrt{2}\,Y_0,\qquad \boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=Y_0\mathbf{1}_2 \tag{18}$$

となる。

図3及び図4に示す回路のハイブリッド動作の周波数特性をそれぞれ図7，図8のグラフの実線で示す。なお，ここで取り扱うすべての回路において線路は無損失であると仮定し，周波数特性は電気角 βl (f_0 において90°) に対してとるものとする。ただし図8(d)のグラフにおいて，ジャイレータの向きを図4の破線のようにとった場合は，かっこの中の値をとるものとする。

3.2 位相反転形回路

図3及び図4に示した回路のひとつのジャイレータの向きを逆にすると，図5及び図6に示す位相反転形回路になる。図に示すようにポート名，線路の特性アドミタンス及び長さを選ぶ。

図5の回路の部分アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}\lambda^{-1}Y_1+\lambda_2 Y_2 & 0\\ 0 & \lambda^{-1}Y_1+\lambda_2 Y_2\end{bmatrix} \tag{19}$$

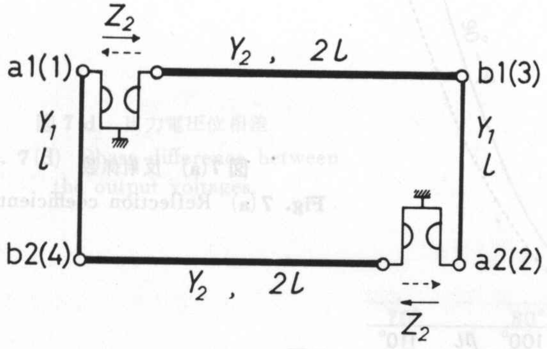

図 5　位相反転形回路

Fig. 5. Circuit of reverse phase hybrid type.

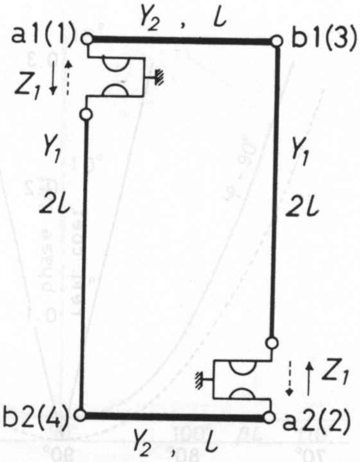

図 6　位相反転形回路

Fig. 6. Circuit of reverse phase hybrid type.

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & -s^{-1}Y_1\\ -s^{-1}Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{20}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ba}=\begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & -s^{-1}Y_1\\ -s^{-1}Y_1 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{21}$$

となる。式(20), (21)の複号は前と同様に選ぶものとする。

図6の回路の部分アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}\lambda^{-1}Y_2+\lambda_2Y_1 & 0\\ 0 & \lambda^{-1}Y_2+\lambda_2Y_1\end{bmatrix} \tag{22}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\begin{bmatrix}-s^{-1}Y_2 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \pm c_2^{-1}Y_1 & -s^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{23}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ba}=\begin{bmatrix}-s^{-1}Y_2 & \mp c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & -s^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{24}$$

となる。

図5及び図6の回路の f_0 における a 端，b 端の影像アドミタンス行列 $\boldsymbol{Y}_{0a}$, $\boldsymbol{Y}_{0b}$ は

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{Y_1^2+Y_2^2}\,\mathbf{1}_2 \tag{25}$$

となり，式(25)の影像アドミタンスで終端し，f_0 で出力電力（電圧）配分比が 1:1 になる条件を求めると

$$Y_1=Y_2=Y_0,\quad \boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{2}\,Y_0\,\mathbf{1}_2 \tag{26}$$

となる。図5及び図6の回路のハイブリッド動作の周波数特性をそれぞれ図7及び図8の破線で示す。なお分離度は，全周波において無限大であり，出力電圧位相差は，全周波において図5に示す回路のジャイレータの向きを，実線のようにとった場合及び図6において破線の向き

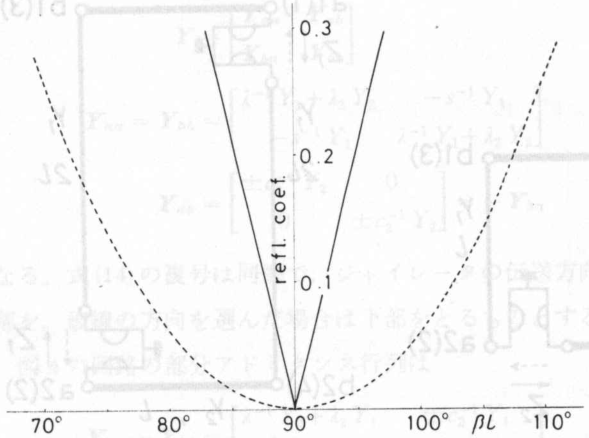

図 7(a)　反射係数

Fig. 7(a)　Reflection coefficient.

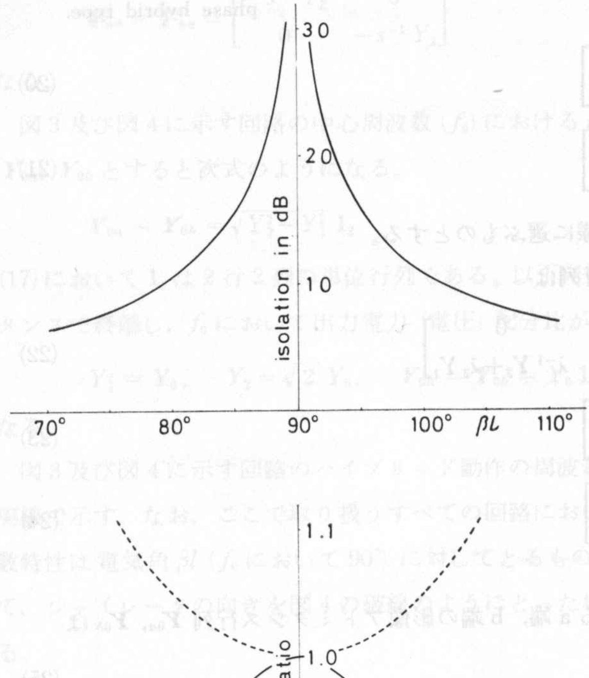

図 7(b)　分 離 度

Fig. 7(b)　Isolation.

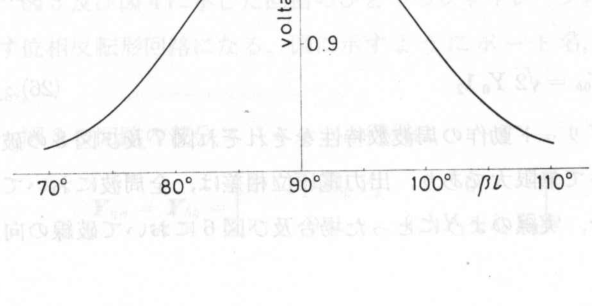

図 7(c)　出力電圧配分比

Fig. 7(c)　Output voltage ratio.

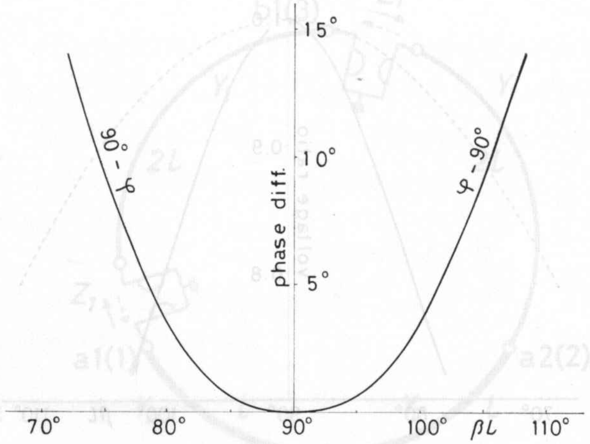

図 7(d) 出力電圧位相差

Fig. 7(d) Phase difference between the output voltages.

図 7 ハイブリッド動作の周波数特性

Fig. 7. Frequency characteristics of hybrid operation.

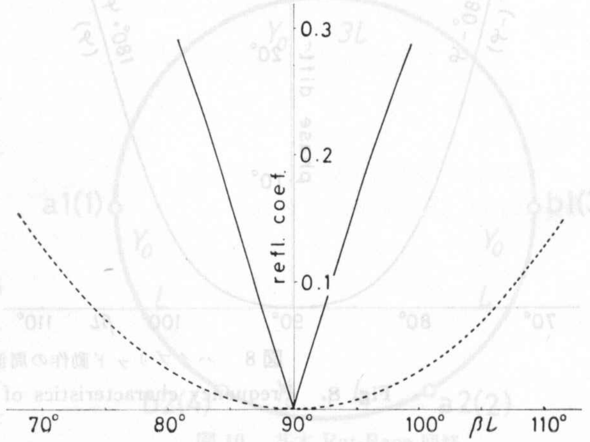

図 8(a) 反射係数

Fig. 8(a) Reflection coefficient.

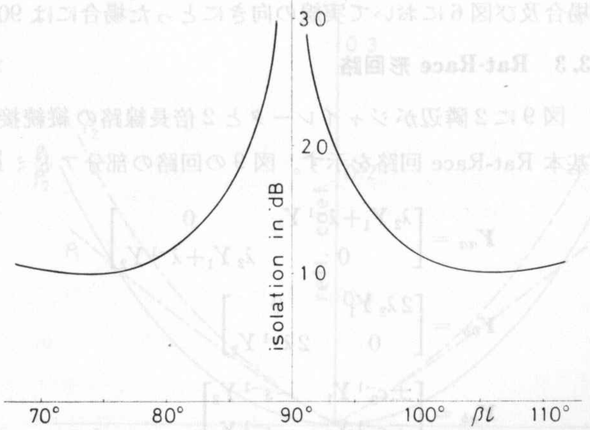

図 8(b) 分離度

Fig. 8(b) Isolation.

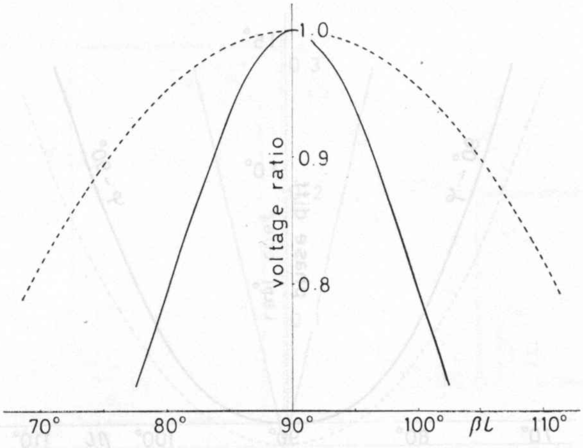

図 8(**c**) 出力電圧配分比

Fig. 8(c) Output voltage ratio.

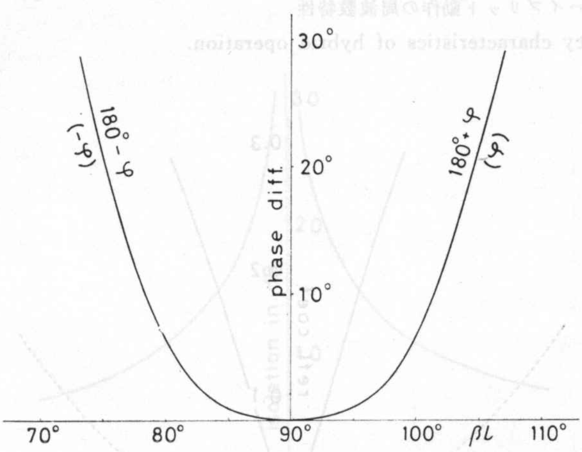

図 8(**d**) 出力電圧位相差

Fig. 8(d) Phase difference between the output voltages.

図 8　ハイブリッド動作の周波数特性

Fig. 8. Frequency characteristics of hybrid operation.

にとった場合には，$-90°$ となり，図 5 に示す回路のジャイレータの向きを破線のようにとった場合及び図 6 において実線の向きにとった場合には $90°$ となる。

3.3 Rat-Race 形回路

図 9 に 2 隣辺がジャイレータと 2 倍長線路の縦続接続からなる回路を，図 10 に比較のため基本 Rat-Race 回路を示す。図 9 の回路の部分アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\begin{bmatrix}\lambda_2 Y_1+\lambda^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & \lambda_2 Y_1+\lambda^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{27}$$

$$\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}2\lambda_2 Y_1 & 0\\ 0 & 2\lambda^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{28}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_1 & -s^{-1}Y_2\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & -s^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{29}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ba}=\begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ -s^{-1}Y_2 & -s^{-1}Y_2\end{bmatrix} \tag{30}$$

となる。

f_0においてa端，b端の影像アドミタンス行列 $\boldsymbol{Y}_{0a}$, $\boldsymbol{Y}_{0b}$ が対角行列となるためには

$$Y_1=Y_0,\ Y_2=\frac{1}{2}Y_0 \tag{31}$$

でなければならない。この条件のもとで，f_0において出力電力配分比が1:1になるには影像アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\frac{\sqrt{5}}{2}Y_0\boldsymbol{1}_2,$$

$$\boldsymbol{Y}_{0b}=\frac{Y_0}{\sqrt{5}}\begin{bmatrix}4 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix} \tag{32}$$

でなければならない。なお，ジャイレータの方向を互に逆向きになるように選ぶと，$\boldsymbol{Y}_{0a}$ 及び $\boldsymbol{Y}_{0b}$ は零行列となり，ハイブリッド回路とならない。

図11に図9及び図10に示す回路のハイブリッド動作の周波数特性をそれぞれ実線と一点鎖線で示す。図(a)において ρ_1, ρ_2 はそれぞれa1(b1)及びa2(b2)ポートにおける反射係数を，図(c)において W_1 は $W_{b1}/W_{b2}|_{a1端入力}$ を W_2 は $W_{b1}/W_{b2}|_{a2端入力}$ を表し，φ_1 及び φ_2 はそれぞれ arg $(V_{b1}/V_{b2}|_{a1端入力})$, arg $(V_{b1}/V_{b2}|_{a2端入力})$ を表す。なお，図10に示す回路の終端アドミタンスは

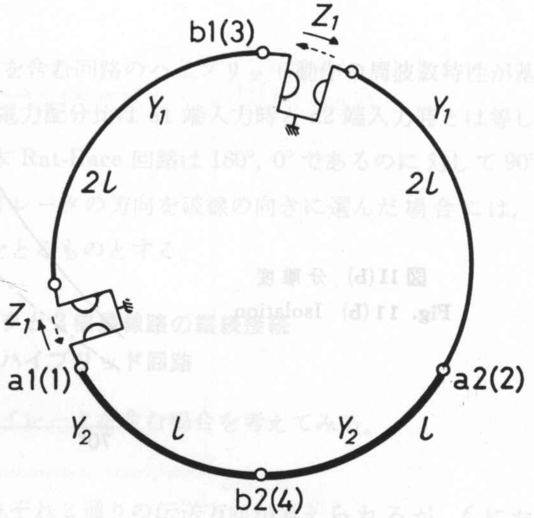

図9 Rat-Race 形回路
Fig. 9. Rat-Race type circuit.

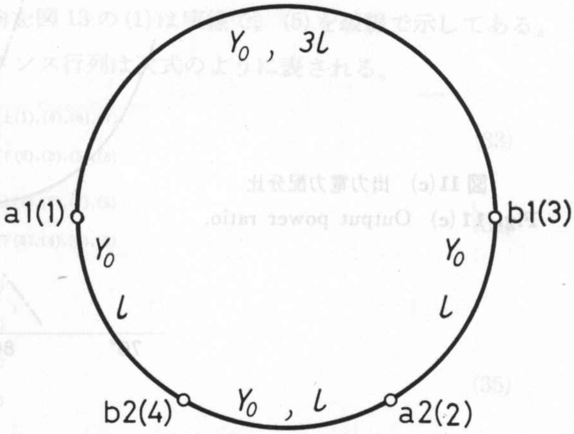

図10 基本 Rat-Race 回路
Fig. 10. Basic Rat-Race circuit.

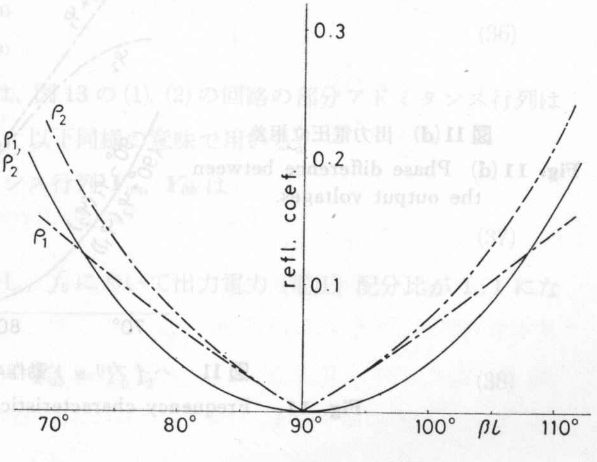

図11(a) 反射係数
Fig. 11(a) Reflection coefficient.

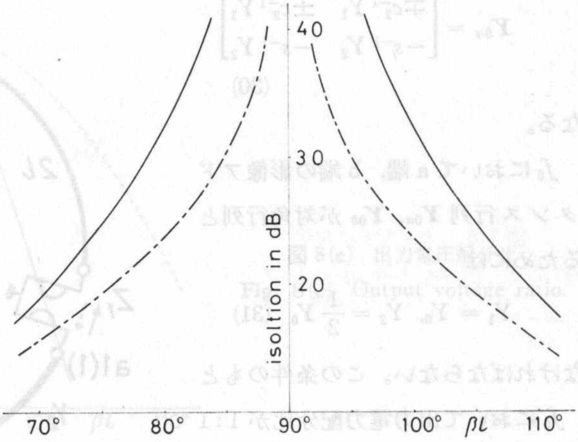

図 11 (b) 分離度
Fig. 11 (b) Isolation.

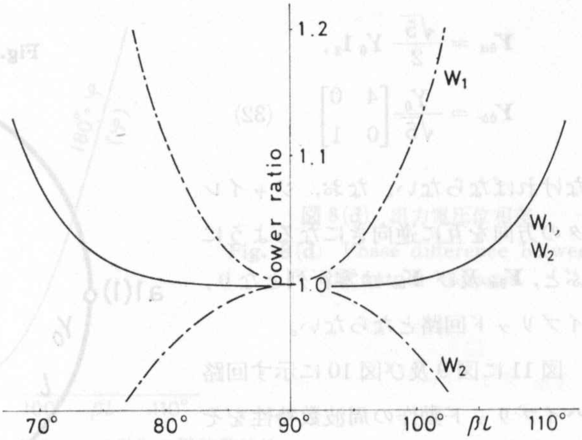

図 11 (c) 出力電力配分比
Fig. 11 (c) Output power ratio.

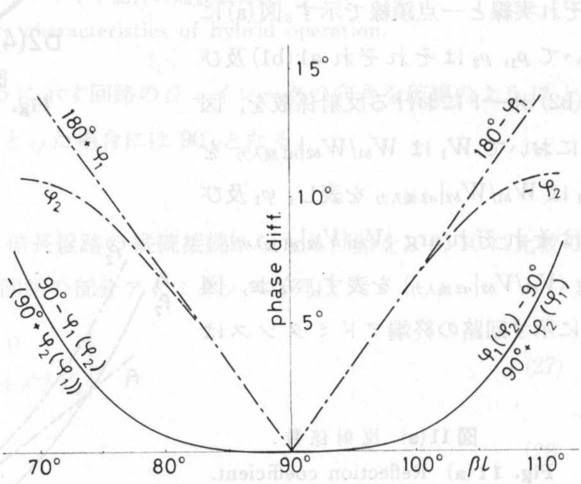

図 11 (d) 出力電圧位相差
Fig. 11 (d) Phase difference between the output voltages.

図 11 ハイブリッド動作の周波数特性
Fig. 11. Frequency characteristics of hybrid operation.

皆等しくとり $\sqrt{2}\,Y_0$ に選ぶ。

グラフからわかるように，ジャイレータを含む回路のハイブリッド動作の周波数特性が基本 Rat-Race 回路よりすぐれている。出力電力配分比は a1 端入力時と a2 端入力時とは等しく，出力電圧位想差 φ_1, φ_2 は f_0 において基本 Rat-Race 回路は 180°, 0° であるのに対して 90° (−90°), −90° (90°) となる。図 9 に示すジャイレータの方向を破線の向きに選んだ場合には，図 (d) において φ_1 及び φ_2 はかっこの中の値をとるものとする。

4. 各辺がジャイレータと 2 倍長線路の縦続接続回路からなるハイブリッド回路

ここでは，各ポート間を結ぶ 4 辺がジャイレータを含む場合を考えてみる。

4.1 単純ループ形回路

図 12 に示す各々のジャイレータにはそれぞれ 2 通りの伝送方向が考えられるが，f_0 における影像アドミタンス行列が実行列になるのは図 13 に示す 8 とおりの場合だけである。一例として図 12 には，ジャイレータの伝送方向を図 13 の (1) は実線で，(5) を破線で示してある。図 13 に示す 8 とおりの回路の部分アドミタンス行列は次式のように表される。

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\begin{bmatrix}\lambda_2(Y_1+Y_2) & \mp c_2^{-1}Y_1\\ \pm c_2^{-1}Y_1 & \lambda_2(Y_1+Y_2)\end{bmatrix}_{\text{下}(2),(3),(5),(8)}^{\text{上}(1),(4),(6),(7)} \tag{33}$$

$$\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}\lambda_2(Y_1+Y_2) & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & \lambda_2(Y_1+Y_2)\end{bmatrix}_{\text{下}(3),(4),(5),(6)}^{\text{上}(1),(2),(7),(8)} \tag{34}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\text{下}(5),(7)}^{\text{上}(1),(3)},\quad \begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\text{下}(6),(8)}^{\text{上}(2),(4)} \tag{35}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ba}=\begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\text{下}(5),(7)}^{\text{上}(1),(3)},\quad \begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & 0\\ 0 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\text{下}(6),(8)}^{\text{上}(2),(4)} \tag{36}$$

式 (33) において上 (1), 下 (2) とあるのは，図 13 の (1), (2) の回路の部分アドミタンス行列は複号の上部，下部をとることを示している。以下同様の意味で用いる。

f_0 における a 端，b 端の影像アドミタンス行列 $\boldsymbol{Y}_{0a}$, $\boldsymbol{Y}_{0b}$ は

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{Y_2^2-Y_1^2}\,\boldsymbol{1}_2 \tag{37}$$

であり，式 (37) の影像アドミタンスで終端し，f_0 において出力電力 (電圧) 配分比が 1:1 になる条件を求めると

$$Y_1=Y_0,\quad Y_2=\sqrt{2}\,Y_0,\quad \boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=Y_0\,\boldsymbol{1}_2 \tag{38}$$

となる。

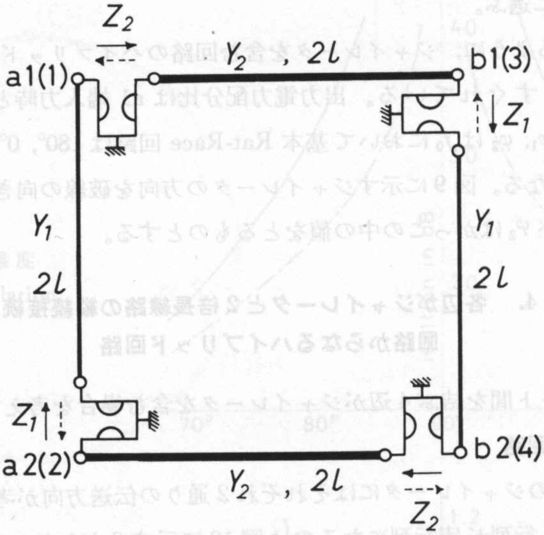

図 12　単純ループ形回路

Fig. 12. Circuit of simple-loop hybrid type.

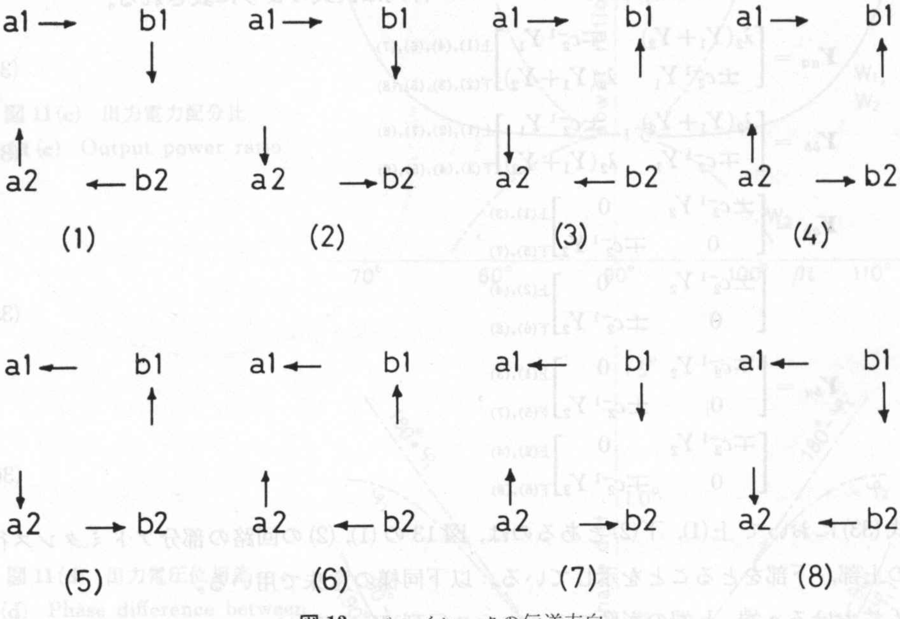

図 13　ジャイレータの伝送方向

Fig. 13. Transfer direction of gyrator.

ハイブリッド動作特性を図 16 の実線で示す。出力電圧位相差は，一辺の長さが l である基本形回路が $f=f_0$ において 90° であるのに対して図 13 の (1), (2), (7), (8) の回路は 180°, (3), (4), (5), (6) の回路は 0° となる。なお図 16 において，図 13 の (3), (4), (5), (6) の回路に対しては，かっこの中の値をとる。

4.2 位相反転形回路

図14に示す位相反転形回路において，各々のジャイレータにはそれぞれ2とおりの伝送方向が考えられるが，f_0における影像アドミタンス行列が実行列になるのは図15に示す8とおりの場合だけである。一例として図14には，ジャイレータの伝送方向を図15の(1)は実線で，(2)を破線で示してある。図15に示す8とおりの回路の部分アドミタンス行列は次式のように

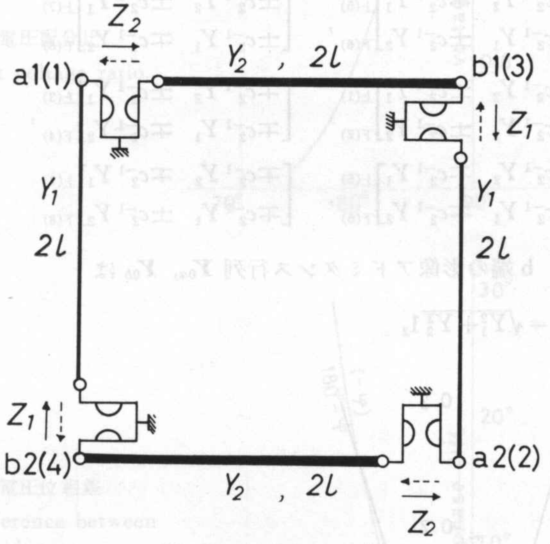

図14　位相反転形回路

Fig. 14. Circuit of reverse phase hybrid type.

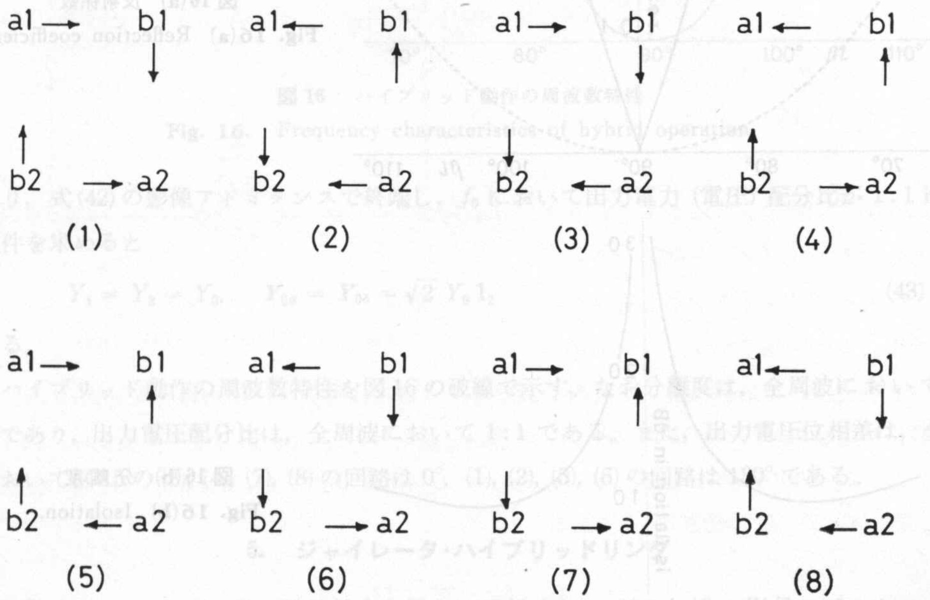

図15　ジャイレータの伝送方向

Fig. 15. Transfer direcrion of gyrator.

表される。

$$\boldsymbol{Y}_{aa}=\boldsymbol{Y}_{bb}=\begin{bmatrix}\lambda_2(Y_1+Y_2) & 0\\ 0 & \lambda_2(Y_1+Y_2)\end{bmatrix} \tag{39}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ab}=\begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & \mp c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(1)\\下(2)}},\quad \begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(3)\\下(4)}},$$

$$\begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & \mp c_2^{-1}Y_1\\ \pm c_2^{-1}Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(5)\\下(6)}},\quad \begin{bmatrix}\pm c_2^{-1}Y_2 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \pm c_2^{-1}Y_1 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(7)\\下(8)}} \tag{40}$$

$$\boldsymbol{Y}_{ba}=\begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \pm c_2^{-1}Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(1)\\下(2)}},\quad \begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & \pm c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(3)\\下(4)}},$$

$$\begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & \mp c_2^{-1}Y_1\\ \pm c_2^{-1}Y_1 & \mp c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(5)\\下(6)}},\quad \begin{bmatrix}\mp c_2^{-1}Y_2 & \mp c_2^{-1}Y_1\\ \mp c_2^{-1}Y_1 & \pm c_2^{-1}Y_2\end{bmatrix}_{\substack{上(7)\\下(8)}} \tag{41}$$

f_0 における a 端，b 端の影像アドミタンス行列 $\boldsymbol{Y}_{0a}$，$\boldsymbol{Y}_{0b}$ は

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{Y_1^2+Y_2^2}\,\boldsymbol{1}_2 \tag{42}$$

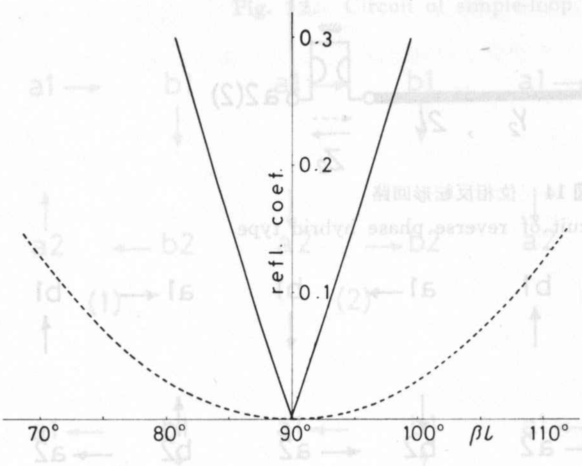

図 16(a) 反射係数
Fig. 16(a) Reflection coefficient.

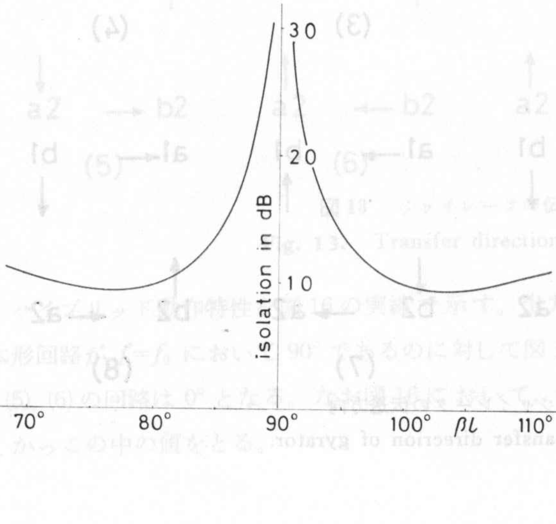

図 16(b) 分離度
Fig. 16(b) Isolation.

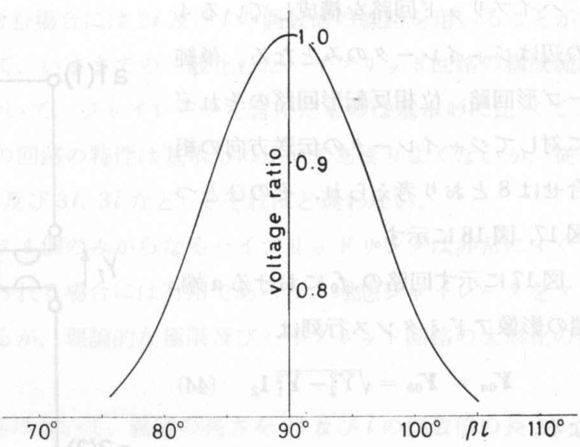

図 16(c)　出力電圧配分比

Fig. 16(c) Output voltage ratio.

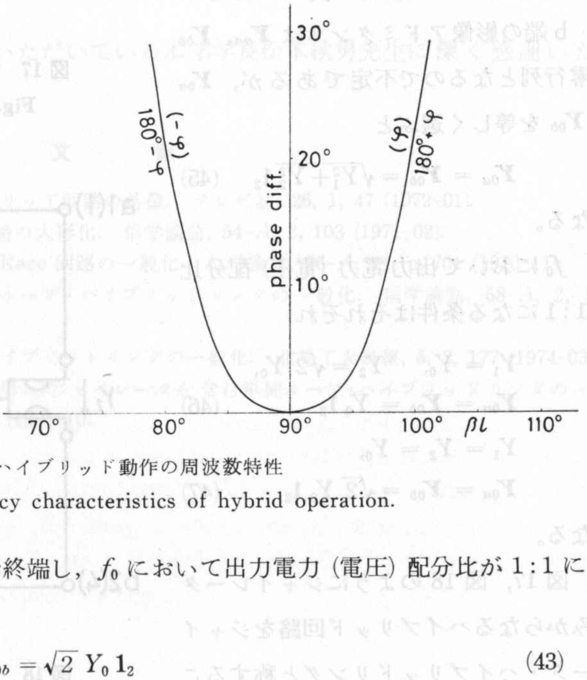

図 16(d)　出力電圧位相差

Fig. 16(d) Phase difference between the output voltages.

図 16　ハイブリッド動作の周波数特性

Fig. 16. Frequency characteristics of hybrid operation.

であり，式(42)の影像アドミタンスで終端し，f_0 において出力電力（電圧）配分比が 1:1 になる条件を求めると

$$Y_1 = Y_2 = Y_0, \quad \boldsymbol{Y}_{0a} = \boldsymbol{Y}_{0b} = \sqrt{2}\, Y_0 \mathbf{1}_2 \tag{43}$$

となる。

ハイブリッド動作の周波数特性を図 16 の破線で示す。なお分離度は，全周波において無限大であり，出力電圧配分比は，全周波において 1:1 である。また，出力電圧位相差は，全周波において図 15 の (3), (4), (7), (8) の回路は 0°，(1), (2), (5), (6) の回路は 180° である。

5.　ジャイレータ・ハイブリッドリング

4 章のハイブリッド回路の線路長 l を短くして行くと，a 端，b 端の影像アドミタンス行列 $\boldsymbol{Y}_{0a}$, $\boldsymbol{Y}_{0b}$ の極は次第に高い方の周波数に移動し，極限において全く平たんになる。このと

き，ハイブリッド回路を構成している4つの辺はジャイレータのみとなる。単純ループ形回路，位相反転形回路のそれぞれに対してジャイレータの伝送方向の組み合せは8とおり考えられ，そのひとつを図17, 図18に示す。

図17に示す回路の, f_0 における a 端, b 端の影像アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{Y_2^2-Y_1^2}\,\mathbf{1}_2 \qquad (44)$$

となる。

また，図18の回路の f_0 における a 端，b 端の影像アドミタンスは $\boldsymbol{Y}_{aa}$, $\boldsymbol{Y}_{bb}$ が零行列となるので不定であるが，$\boldsymbol{Y}_{0a}$ と $\boldsymbol{Y}_{0b}$ を等しく選ぶと

$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{Y_1^2+Y_2^2}\,\mathbf{1}_2 \qquad (45)$$

となる。

f_0 において出力電力（電圧）配分比が1:1になる条件はそれぞれ

$$Y_1=Y_0,\quad Y_2=\sqrt{2}\,Y_0,$$
$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=Y_0\,\mathbf{1}_2 \qquad (46)$$
$$Y_1=Y_2=Y_0,$$
$$\boldsymbol{Y}_{0a}=\boldsymbol{Y}_{0b}=\sqrt{2}\,Y_0\,\mathbf{1}_2 \qquad (47)$$

となる。

図17, 図18のようにジャイレータのみからなるハイブリッド回路をジャイレータ・ハイブリッドリングと称することにする。この回路のハイブリッド動作の周波数特性は，全周波において反射係数は零，分離度は無限大，出力電圧配分比は1:1，出力電圧位相差は0°または180°となり，理想的な値となる。なお出力電圧位相差は，図13のの(1), (2), (7), (8)の回路は180°，(3), (4), (5), (6)の回路は0°，図15の(1), (2), (5), (6)の回路は180°，(3), (4), (7), (8)の回路は0°である。

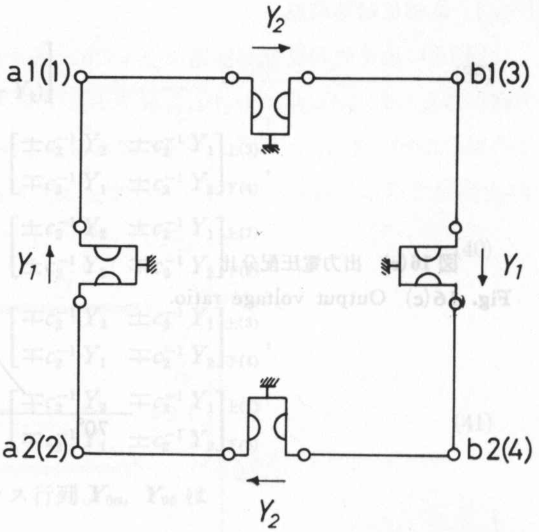

図17 ジャイレータ・ハイブリッドリング

Fig. 17. Gyrator hybrid ring.

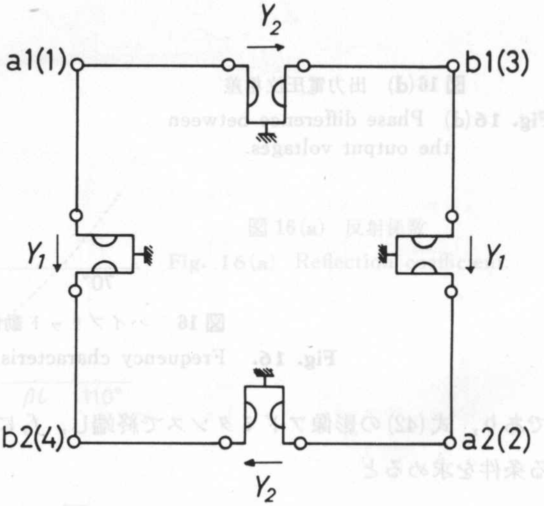

図18 ジャイレータ・ハイブリッドリング

Fig. 18. Gyrator hybrid ring.

6. むすび

従来使用されているハイブリッド回路の各ポート間を連絡する線路の長さは，l 及び l の

奇数倍であったが，ジャイレータを含む場合には $2l$ 及び l の偶数倍の線路を用いることができることがわかった。この理論によって，いままでの一般化したハイブリッド回路の構成範囲が更に拡がった。Rat-Race 形回路において，ジャイレータを含んだものは基本形に比べてよい特性を示す。また，図12及び図14の回路の特性は基本形に比べてあまりよくないが，従来の大形化したもの（例えば2辺が l, $3l$ 及び $3l$, $3l$ など）とそれほど違わない。

極端な場合として，ジャイレータ4個のみからなるハイブリッドリングは非常にすぐれた特性を有し，理想ジャイレータが得られる場合には有用であろう。理想ジャイレータをマイクロ波帯で実現するのは困難と思われるが，理論的な極限及びハイブリッド回路の大形化の拡張のために求めてみた。

なお，ジャイレータを含んだ回路において，線路の長さを $2l$ 及び l の偶数倍の長さから少し変化させてもハイブリッド回路ができることがわかった[6] が別な機会に報告したい。

最後に，平素から絶えず御指導いただいている本学学長松本秋男先生に深く感謝いたします。

文　献

1) 品田雄治・松本秋男： 種々のハイブリッド回路の特徴．テレビ誌，**26**, 1, 47 (1972–01).
2) 品田雄治・松本秋男： Rat-Race 回路の大形化．信学論誌，**54**–*A*, 2, 103 (1971–02).
3) 安住和彦・品田雄治・松本秋男： Rat-Race 回路の一般化．信学論誌，**56**–*A*, 11, p. 701 (1973–11).
4) 安住和彦・品田雄治・松本秋男： 単純ループ・ハイブリッドリングの一般化．信学論誌，**58**–*A*, 2, 137 (1975–02).
5) 安住和彦・品田雄治： 位相反転形ハイブリッドリングの一般化．北見工大研報，**5**, 2, 177 (1974–03).
6) 安住和彦・松西年春・品田雄治・松本秋男： ジャイレータを含む単純ループ・ハイブリッドリングの一般化．電気四学会道支部連大，113 (1975–10).