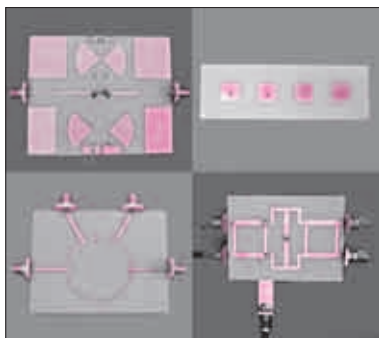


## 特集



### 第3章 90°ハイブリッド, ラット・レース, 伝送線路の集中定数化, 集中定数によるラット・レース

## ハイブリッド回路の基礎と応用

辻 正敏

Masatoshi Tsuji

#### ■ ハイブリッド回路の概要

ハイブリッド回路とは、伝送線路を組み合わせで作られた特殊な特性をもつ回路で、「90°ハイブリッド」(ブランチ・ライン・カップラ、branch line coupler)、「180°ハイブリッド」(ラット・レース、rat race)がよく知られています。マイクロ波回路ではこれらを使って電力分配や電力合成が行われ、ミキサや移相器などの回路でよく応用されます。以下にハイブリッド回路の動作と応用例を解説します。

### 3.1 90°ハイブリッド回路

#### ■ 3.1.1 構成

図3.1が90°ハイブリッド回路です。特性インピーダンス $Z_0$ (通常50Ω)と $Z_0/\sqrt{2}$ の線路の組み合わせで構成されています。すべての線路の電気長は $\lambda/4$ です。このハイブリッド回路の四つのポート(P1～P4)の入出力インピーダンスは $Z_0$ です。

写真3.1はマイクロストリップ・ラインを使って基板上に製作した90°ハイブリッド回路です。

#### ■ 3.1.2 動作説明

##### ● 分配器としての動作

はじめに分配器としての動作を解説します。図3.2

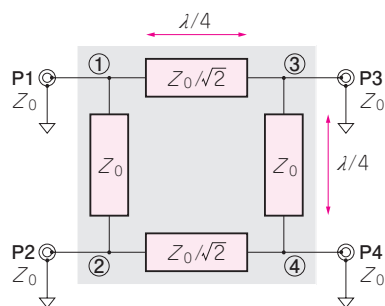
(a)は、90°ハイブリッド回路のポート1(P1)から信号を入力した場合です。各ポートに記された円は、ポラ・チャート(極座標)上の信号を表し、円の大きさが信号の大きさ、円内の小さな丸印が位相を表します。

P1の入力信号はポート3とポート4(P3, P4)に分岐され、それらの出力電力は入力電力の半分です。また、出力信号の位相は入力に対してP3で90°, P4で180°遅れます。ポート2(P2)には信号は出力されず、周辺回路とアイソレーションが保たれます。すなわち周辺回路と切り離されます。

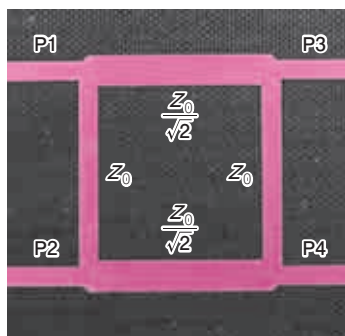
図3.2(b)はP2から信号を入力した場合です。P3には位相が180°遅れて、P4には90°遅れて信号が出力されます。このように90°ハイブリッド回路は、入力信号を二つの出力ポートに分岐します。そして二つの出力信号は位相が90°ずれます。

##### ● 合成器としての動作

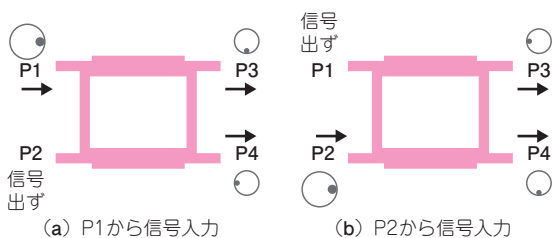
次に合成器としての動作を考えます。図3.3は、P1とP2から同時に信号を入力した図です。二つの入力



〈図3.1〉90°ハイブリッド回路



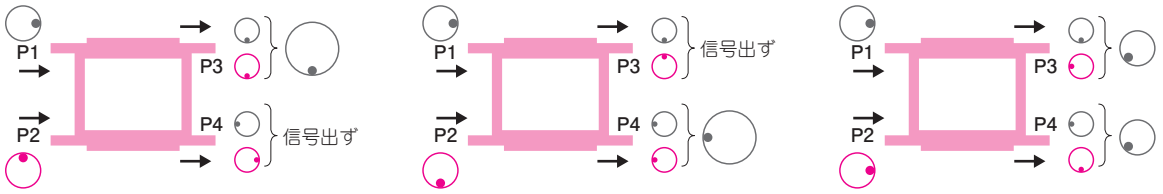
〈写真3.1〉90°ハイブリッド回路



(a) P1から信号入力

(b) P2から信号入力

〈図3.2〉ハイブリッド回路による分配器



(a) 入力信号の位相を+90°ずらした場合 (b) 入力信号の位相を-90°ずらした場合 (c) 入力信号の位相が同相の場合  
 (図3.3) ハイブリッド回路による合成器

信号の周波数とレベルは同じです。

▶ 入力信号の位相を+90°ずらした場合

図3.3(a)ではP2から入力される信号の位相は、P1より90°進んでいます。P3には二つの入力信号の出力が同相で、P4には逆相で出力されます。出力信号は、二つの信号のベクトル合成として得られるため、P3にはP1とP2の二つの電力を足し合わせた信号が出力され、P4には信号は出力されません。

▶ 入力信号の位相を-90°ずらした場合

図3.3(b)ではP2から入力される信号の位相は、P1より90°遅れています。この場合、P3に信号は出力されず、P4にはP1とP2の電力が足し合わされた信号が出力されます。

▶ 入力信号の位相が同相の場合

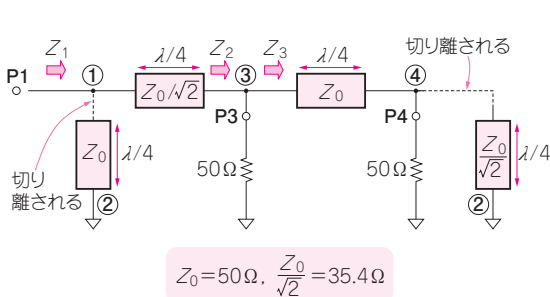
図3.3(c)ではP1とP2から入力される信号の位相は同じです。P3とP4の両ポートから出力される信号は同じになります。

このように90°ハイブリッド回路に入力する二つの信号の位相差を変えることにより出力ポートを切り替えることができます。

### 3.1.3 動作原理

この90°ハイブリッド回路の動作は、図3.1を使って次のように考えると理解しやすくなります。以下の考え方は、香川高等専門学校 電気情報工学科の森本敏文教授に教えていただいたものです。

初めにP1～P2間の動作を考えます。P1から入力された信号は、①→②の経路を通るものと①→③→④



(図3.4) ポート2がショートの場合の90°ハイブリッド回路

→②の経路を通るものがあり、この二つの経路を通った信号が合成されてP2に出力されます。この二つの経路は180°の位相差があるため、二つの経路の信号が同じレベルになるようにしておけば、相殺されてP2の電圧はゼロになります。電圧がゼロということは、P2がショートされた回路と等価であり、①～②と②～④のλ/4線路はショート・スタブとして働きます。電気長λ/4のショート・スタブの入力インピーダンスは∞のため、ほかの回路から切り離して考えることができます。

図3.4はP2がショートされたときの90°ハイブリッド回路です。ポートP3とP4に負荷として50Ωの抵抗が接続されています。線路の特性インピーダンスZ<sub>0</sub>が50Ωとすると、回路図中の入力インピーダンスZ<sub>3</sub>は50Ω、Z<sub>2</sub>は25Ωになります。①～③の線路は、λ/4インピーダンス変換回路として動作し、第1章の式(1.12)から、その特性インピーダンスを $\sqrt{50 \times 25} = 35.4\Omega$ とすることにより、P1の入力インピーダンスZ<sub>1</sub>は50Ωになり整合します。P1から入力された信号は、P3で90°遅れ、P4で180°遅れて伝わります。

### 3.1.4 シミュレータによる90°ハイブリッド回路の解析

図3.1の回路をS-NAPの回路エディタで作成し、シミュレータで解析します。

図3.5はシミュレータ付属の回路エディタで作成した90°ハイブリッド回路です。理論部品の伝送線路で構成されています。図3.6はその解析結果です。S<sub>11</sub>,



(図3.5) S-NAPの回路図エディタで作成した90°ハイブリッド回路