

このPDFは、CQ出版社発売の「実用マイクロ波技術講座-理論と実際-第2巻」の一部の見本です。
 内容・購入方法などにつきましては是非以下のホームページをご覧ください。
<http://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/79/79721.htm>

第8章 方向性結合器

8.1 方向性結合器とは

分布定数線路に信号源を接続すると、線路に沿って進行波が信号源と反対方向に接続された負荷に向かって進む。また、負荷が線路の特性インピーダンスと異なるときには、その負荷で反射波が発生し、その反射波が信号源の方向に向かって進む。そこで、この進行波と反射波の大きさが検知できれば便利である。

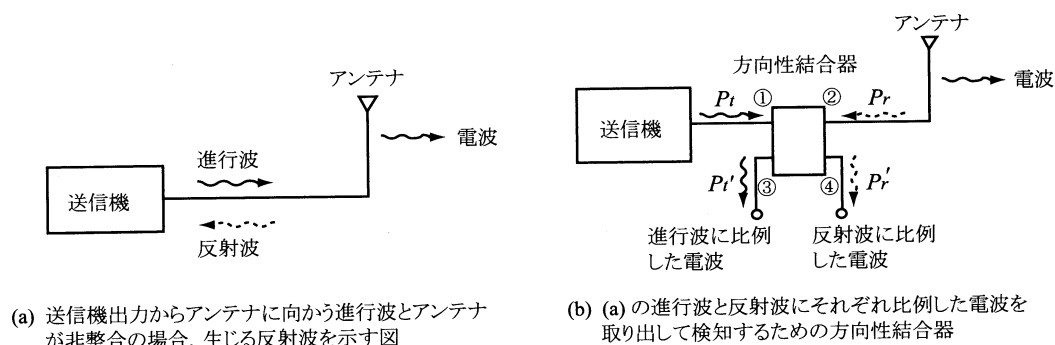


図 8.1 方向性結合器の役割を示す 1 例

例えば、図 8.1(a) のように、送信機とアンテナとの間には同軸線路などの給電線が接続されるが、送信機出力の電波は進行波によってアンテナに運ばれた後、空間に放射される。もし、アンテナと給電線とが何らかの理由によって整合しなくなったときには、アンテナで反射波が発生して送信機にもどってくる。そのため送信機出力インピーダンスが整合しなくなり、好ましくない。そこで、この反射波を常に監視していなければならない。その目的で、図 8.1(b) に示すように、アンテナから放射される電力の役割を果たす進行波と、アンテナから反射される反射波とを同時に監視するための回路を挿入する。この回路は電波の進む方向にのみ結合する回路であるため、方向性結合器と呼ばれる。

図 8.1(b) の方向性結合器において、開孔 ① に進行波電力 P_t を加えたとき、開孔 ② に信号が生じるが開孔 ③ にも生じる。この開孔 ③ に現れる電力を P_t' とする。この時、開孔 ④ には信号は生じない。次に、開孔 ② に反射波電力 P_r が加わったとき、開孔 ① に反射波が生じるが開孔 ④ にも生じ開孔 ③ には生じない。この開孔 ④ に生じる電力を P_r' とする。

このような働きをする方向性結合器において、

$$C = 10 \log_{10} \frac{P_t'}{P_t} = 10 \log_{10} \frac{P_r'}{P_r} \tag{1-a}$$

を結合度と呼ぶ。つまり、どちらかに進む電波の電力のうちどれだけの分量の電力を方向性結合器から取り出すかを示す割合をデシベルで示すものである。例えば、 $\frac{P_t}{P_t'} = \frac{P_r}{P_r'} = 100$ のときには $C_1 = 10 \log_{10} 0.01 = -20$ [dB] となる。したがって、 $P_t' < P_t$ 、 $P_r' < P_r$ であることより $C[\text{dB}] < 0$ である。以上では進行波が開孔 ④に生じてはならない場合を述べたが実際の製品では、わずかではあるが ④にも進行波電力の一部が現れる。

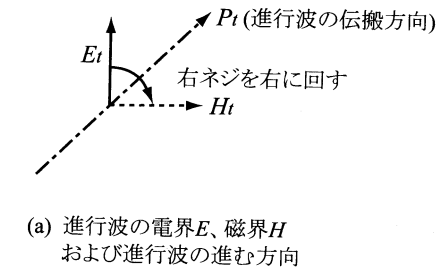
いま、この電力を P_t'' とする。また、反射波は開孔 ③には生じてはならないが、 P_r'' のわずかな電力が生じてしまう。そこで、

$$D = 10 \log_{10} \frac{P_t'}{P_t''} = 10 \log_{10} \frac{P_r'}{P_r''} \tag{1-b}$$

のことを方向性と呼ぶ。理想的な方向性結合器では、 D は無限大デシベルとなる。通常の製品では 20～30 dB の値を生じている。

8.2 方向性結合器を作るための主な原理

(イ) 進行波と反射波とで電界 E と磁界 H との相対関係が逆であることを利用する方法



進行波が図 8.2(a) の方向に進むとすると、その電界の向きと大きさを示すベクトル E_t および磁界の向きと大きさを示すベクトル H_t は、同図のようになり、 E_t から H_t の方向に右ネジをまわしたとき、ネジの進む方向に電波は進む。

また、反射波の場合には、図 8.2(b) に示すように、 E_r から H_r へ右ネジを左に回すときネジが出てくる方向に電波は進む。同図 (a)、(b) を比較すればわかるように、同じ電界に対して進行波の磁界と反射波の磁界とは逆向きになっている。この性質を利用すれば、進行波と反射波とを判別できるはずである。

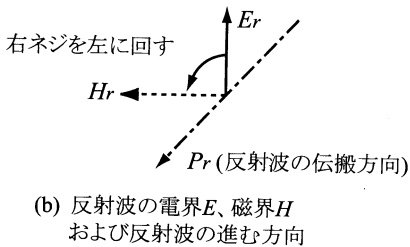
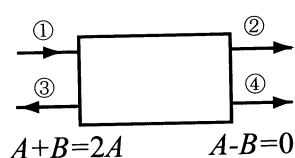


図 8.2 進行波及び反射波の電界のベクトル E と磁界のベクトル H を示す図

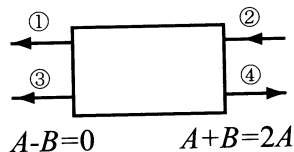
いま図 8.3 のように、進行波の成分を取り出す開孔 ③と反射波の成分を取り出す開孔 ④をつくり、開孔 ③には、進行波電力 P_t のもつ E_t に比例した量 A と H_t に比例した量 B との和が生

じるようにし、更に $A = B$ のように設計する。

そして、開孔 ④には A と B との差が生じるようにすれば、④には進行波電力に相当する量は $A - B = 0$ となり現れない。



(a) 進行波の検出する図



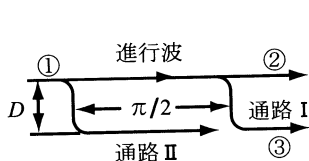
(b) 反射波の検出する図

図 8.3 電界と磁界との結合を併用して進行波と反射波とを識別する方向性結合器の説明図

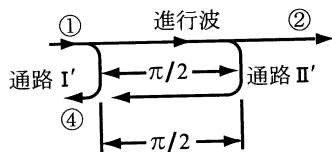
次に、開孔 ②に加わる反射波を考えると、進行波と同じ電界に対して磁界は逆になるから、同じ A に対しての B の符号を変えてやればよい。したがって、図 8.3(b) のように、反射波に比例した量は開孔 ④に現れ ③には生じない。

以上述べた原理を実際の回路で実現するのに、後で述べるループ結合形方向性結合器や導波管に用いるベータ孔方向性結合器がある。また、これらを連続して得られるのが分布結合形方向性結合器である。以上の説明において図 8.3(a) 及び (b) では当然 ① → ② 及び ② → ① の伝送はある。

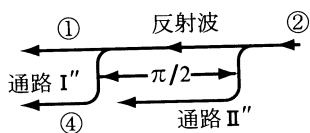
(ロ) 方向性結合器の開孔間が 2 個以上の通路で結ばれ (マルチパスと呼ばれる)、これらの通路間の位相差が進行波と反射波とでことなることを利用したもの



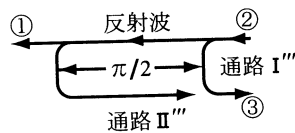
(a) 進行波は③に生じることを示す図



(b) 進行波は④消し合うことを示す図



(c) 反射波は④に生じることを示す図



(d) 反射波は③で消し合うことを示す図

図 8.4 開孔間が 2 個の通路で結ばれ、これらの通路間の位相差が進行波と反射波とで 0 または π であることを利用した方向性結合器の例

図 8.4 に示すように、開孔間が 2 個の通路で結ばれる場合を考える。そして、開孔 ①と ②間および ③と ④間の電気角が $\frac{\pi}{2}$ 、開孔 ①と ④間および ②と ③間の電気角が零である場合を考える。

この場合、図 8.4(a) に示すように、開孔 ①に加わった進行波は ②と ③には 2 個の通路を通じて同位相で加わって生じる。

次に、同図 (b) に示すように、開孔 ① → ④ を結ぶ 2 個の通路の電気角は π ラジアン (180°) 違うから、開孔 ①に加わった進行波は ④には消しあって現れない。

全く同様に、同図 (c) および (d) に示すように、開孔 ②に加わった反射波は ④に現れ、③には現れない。これは一例であるが、これらのマルチパスの位相差を組み合わせた方向性結合器は他にもある。

即ち以上の原理を用いたものとして、2 分岐線路形方向性結合器 (ハイブリッドリングを含む)、導波管でよく用いられる双孔方向性結合器などがある。

8.3 方向性結合器の実際

8.3.1 進行波と反射波のモードの違いを利用したもの

(イ) ループ方向性結合器

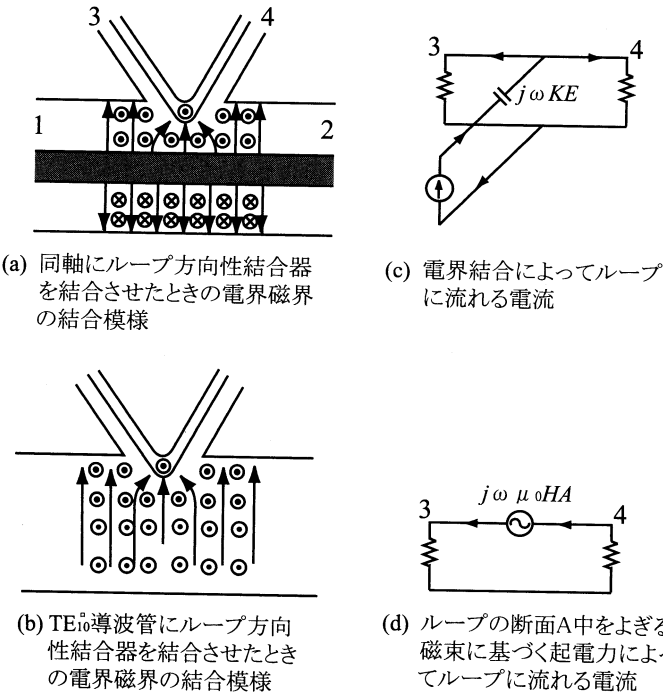


図 8.5 ループ方向性結合器の原理説明図

これは先ほど 8.2 の (イ) で述べた電界と磁界とを同時に結合する原理のものである。

図 8.5(a) や (b) のように、同軸線路や導波管中に、別の同軸線路の中心導体の一部分で高周波磁界と鎖交するように構成したループを挿入した構造のものである。

このループには、電界が図のように集中するため、電界 E に比例した変位電流 $j\omega KE$ (K は比例定数) がループの中心に流れ込み、同図 (c) のように左右の端子 3 および 4 に等しく別れていく。

また、ループの断面積 A 中を高周波磁界 H が通り抜けるため、同図 (d) のようにループに直列に起電力が誘起し、これに基く電流が開孔 3 と 4 とに逆位相に流れる。

進行波の場合、同図 (c) の E と (d) の H とは常に同位相でその比は特性界インピーダンス (または波動インピーダンス) Z_W に等しいから、