

定向耦合器原理及应用

BXT

RF Technologies

朱辉/应用工程师
博讯通电子有限公司
zh@bxt-technologies.cn

Application Note

AN-0801

1. 概述

定向耦合器是一种四端口网络，如图 1 所示。



图 1(a): 定向耦合器

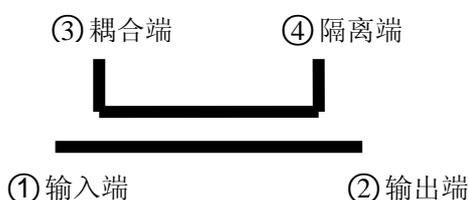


图 1(b): 等效电路图

图 1: 定向耦合器及等效电路

定向耦合器是无源和可逆网络。理论上，定向耦合器是无耗电电路，而且其各个端口均应是匹配的。图 1 (b) 定义了定向耦合器各端口的属性。当信号从端口 1 输入时，大部分信号从端口 2 直通输出，其中一小部分信号从端口 3 耦合出来，端口 4 通常接一个匹配负载。如果要将定向耦合器反过来使用，则端口 1 和 2，端口 3 和 4 的属性要互换定义。

定向耦合器可以由同轴，波导，微带和带状线电路构成。通常，定向耦合器用于信号取样以进行测量和监测，信号分配及合成；此外，作为网络分析仪，天线分析仪和通过式 (THRULINE®) 功率计^[1]等测试仪器的核心部件，定向耦合器所起的作用是正向和反射信号的取样。定向耦合器的方向性是一项至关重要的指标，尤其是作为信号合成和反射测量应用时。

2. 各项指标的定义

如图 1 (b) 所示，在理想情况下，当信号功率从端口 1 输入时，输出功率只应出现在端口 2 和端口 3，而端口 4 是完全隔离的，没有功率输出。但是在实际情况下，总有一些功率会泄漏到端口 4。设端口 1 的输入功率为 P_1 ，端口 2、3 和 4 的输出功率分别为 P_2 、 P_3 和 P_4 ，则定向耦合器的特性可以由耦合度，插入损耗，隔离度和方向性等四项指标来表征，单位均为 dB。

请注意在以下的描述中，所有的指标均表示为正数，而在实际应用中，则是用负数来进行各种计算的。

耦合度:

耦合度表示从端口 1 输入的功率和被耦合到端口 3 部分的比值，表示为:

$$\text{耦合度}(C) = 10 \times \log(P_1 / P_3)$$

插入损耗:

插入损耗表示从端口 1 到端口 2 的能量损耗，表示为:

$$\text{插入损耗}(IL) = 10 \times \log(P_1 / P_2)$$

请注意端口 1 的输入功率有一部分功率是被耦合到端口 3 的，所以应导入一个“耦合损耗”的概念，下表表示了在各种耦合度下的耦合损耗值:

耦合度	耦合损耗
6 dB	1.200 dB
10 dB	0.460 dB
15 dB	0.140 dB
20 dB	0.040 dB
30 dB	0.004 dB

通常所说的从端口 1 到端口 2 的插入损耗是传输损耗和耦合损耗之和。在定向耦合器的产品说明中通常会对此加以特别说明。

当定向耦合器用于测试和测量时，选取

的耦合度比较小，如 20dB 或 30dB 甚至更小；而作为功率合成系统或者信号分配系统应用时，则会采用比较大的耦合度，如 3dB，5dB 和 7dB 等。

隔离度：

前面提到，在理想的定向耦合器中，端口 4 是没有功率输出的，而实际上总会有一些功率从这个端口泄漏出来，这就是隔离度的指标，表示为：

$$\text{隔离度}(I) = 10 \times \log(P_1 / P_4)$$

方向性：

端口 3 的输出功率和端口 4 输出功率之间的比值定义为方向性，表示为：

$$\text{方向性}(D) = 10 \times \log(P_3 / P_4)$$

需要特别说明的是耦合度，隔离度和方向性之间的关系为：

$$\text{隔离度}(I) = \text{耦合度}(C) + \text{方向性}(D)$$

耦合度是一项设计指标，是根据使用要求而选定的，通常为 6、10、20 和 30dB，这样隔离度指标也随之而变化；而方向性则是一个常数。

在大部分定向耦合器的指标中，通常只标出方向性指标，隔离度指标可以根据耦合度计算出来。如：

$$\text{耦合度}(C) = 30\text{dB},$$

$$\text{方向性}(D) = 25\text{dB},$$

$$\text{则隔离度}(I) = 30 + 25 = 55\text{dB}$$

3. 定向耦合器的应用

无论是测试和测量应用还是系统内部应用，定向耦合器都是一种应用极为广泛的微波器件，以下举例说明。

定向耦合器用于功率合成系统：

在多载频合成系统中，通常会用到 3dB 的定向耦合器（俗称 3dB 电桥），如图 2。

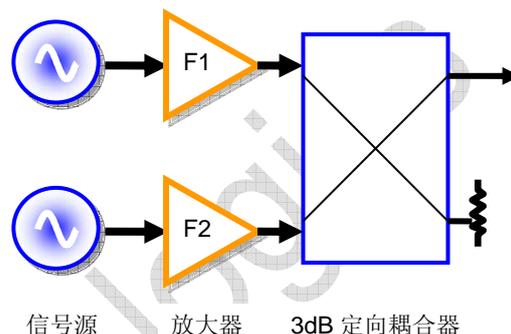


图 2(a)：定向耦合器用于功率合成



图 2(b)：方向性可达 30dB 的 3dB 定向耦合器

图 2：典型的功率合成系统

图 2 的电路常见于互调测量系统和多载频的室内分布系统中。在这些应用中，要求定向耦合器有很高的方向性（隔离度）以避免信号源之间产生额外的互调分量，为了提高隔离度，也可以外加一些器件如滤波器或铁氧体隔离器来改善。图示 3dB 定向耦合器（P/N 753345）的频率范围为 800-2170MHz，方向性高达 30dB，换算成隔离度为 33dB。

用于信号取样和监测：

发射机的在线测量和监测可能是定向耦合器最为广泛的应用之一。

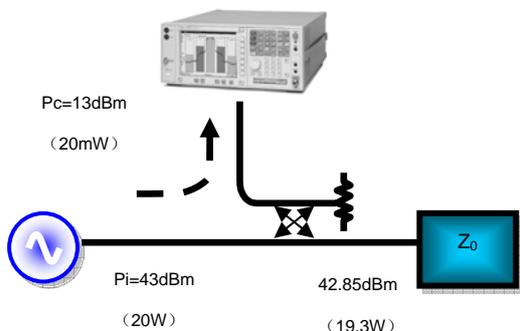


图 3：用定向耦合器进行发射机信号的取样和监测

图 3 是一个蜂窝基站的典型测量应用，如果发射机的输出功率为 43dBm (20W)，定向耦合器的耦合度为 30dB，插入损耗(线路损耗加耦合损耗)为 0.15dB，则耦合端有 13dBm (20mW) 的信号送到基站测试仪，定向耦合器的直通输出为 42.85dBm (19.3W)，而泄漏到隔离端的功率则被一个负载吸收掉了。

用于功率和 VSWR 测量（反射功率计）：

作为通过式功率计的核心器件，定向耦合器可用于正向和反射功率的取样，见图 4（注：图 4 仅作为一个例子来说明问题，在实际使用中，建议采用双定向耦合器，详情请联系 zh@bxt-technologies.cn）。

其中端口 3 用于检测正向功率，端口 4 用于检测反射功率。请注意在这种应用场合，定向耦合器的方向性（隔离度）指标对测试精度至关重要，尤其是反射功率的测试精度。

假设发射机的输出功率为 50dBm (100W)，被测负载的驻波比为 1.5 (反射功率为 4W)，定向耦合器的耦合度为 30dB。假如隔离度为无穷大，则在端口 4 测到的功率即为反射功率 (4mW)。但由于隔离度不可能为无穷大，出现在端口 4 的除了真正的反射功率以外，还有一部分从端口 1 泄漏过来的功率，这二部分功率矢量叠加后，功率计认为这些都是反射功率，从而导致了测试误差。



图 4：定向耦合器作为反射功率计

关于定向耦合器的方向性误差所产生的测试误差的详细分析，参见《AN-0802：深入讨论定向耦合器的方向性》一文。下表列出了由于方向性为 25dB 和 40dB 时不同的误差分析结果。

表 1：定向耦合器方向性对测试误差的影响

方向性=25dB			方向性=40dB		
天线驻波	正向功率	反射功率	天线驻波	正向功率	反射功率
实际值： 1.5	实际值： 100W	实际值： 4W	实际值： 1.5	实际值： 100W	实际值： 4W
测量范围： 1.33~1.70	测量范围： 97.8~102.3W	测量范围： 2.1~6.6W	测量范围： 1.47~1.53	测量范围： 99.6~100.4W	测量范围： 3.6~4.4W
误差范围： -0.17~+0.2	误差范围： -2.2~+2.3%	误差范围： -48~+64%	误差范围： -0.03~+0.03	误差范围： -0.4~+0.4%	误差范围： -10~+10%