



# 电磁场与电磁波测量实验

## 微波实验单元项目



## 3.3.3 定向耦合器特性测量

所使用的腔体型耦合器





## 所使用的匹配负载





## 1. 定向耦合器的主要技术指标

定向耦合器的主要技术指标包括：工作频带、功率容量、耦合度、耦合损耗、插入损耗、隔离度、方向性系数、幅频特性、各端口的回波损耗（驻波比）等。

### 1) 工作频带

定向耦合器的工作频带是指其耦合度、插入损耗、隔离度和回波损耗等主要技术指标都满足要求时的工作频率范围。例如，目前在移动通信射频分布系统中使用的定向耦合器，工作频带应当大于800 ~ 2500MHz。



## 2) 功率容量

定向耦合器的功率容量是指定向耦合器可以承受的最大输入功率。在实际使用时，必须保证定向耦合器的功率容量大于射频信号的最大输入功率。定向耦合器的功率容量主要取决于结构形式，腔体结构的功率容量大，带状线结构的功率容量小。



## 3) 耦合度

定向耦合器的耦合度（C）定义为当输出端口连接匹配负载时，输入端口的输入功率（ $P_{in}$ ）与耦合端口的输出功率（ $P_c$ ）之比，通常用dB表示，即：

$$C(dB) = 10 \lg \left( P_{in(mW)} / P_{c(mW)} \right) = P_{in}(dBm) - P_c(dBm)$$

耦合度表征了定向耦合器的耦合端耦合主线信号的强弱水平。当输入信号的功率一定时，耦合度越小，耦合端的耦合输出功率越大；耦合度越大，耦合端的耦合输出功率越小。通常，将耦合度在10dB 以下的定向耦合器称为强耦合的定向耦合器；而将耦合度在20dB 以上的定向耦合器称为弱耦合的定向耦合器。



## 4) 耦合损耗（分配损耗）

由于定向耦合器的主线中有一部分信号的能量被分配到了耦合端，因此主线上会存在理论上固有的分配损耗，也称为耦合损耗。耦合损耗是主线总损耗的最小理论值，耦合损耗的大小与耦合度有关，耦合度越大，耦合损耗越小。计算公式如下：

$$\begin{aligned} L_c (\text{dB}) &= 10 \log(P_{in} / P_{out}) = 10 \log[P_{in} / (P_{in} - P_c)] \\ &= 10 \log\left[\frac{P_{in}/P_c}{P_{in}/P_c - 1}\right] = 10 \log[N / (N - 1)] \end{aligned}$$

其中： $L_c$  是定向耦合器的耦合损耗，单位为dB。

$N = \frac{P_{in}}{P_c}$  是耦合度的真值（即： $C = 10 \lg N$ ）。



# 电磁场与电磁波测量实验

常用定向耦合器的耦合损耗见表3.3.7可以看出，如果定向耦合器的耦合度在20dB 以上，耦合损耗就可以忽略不计。

表3.3.7 常用定向耦合器的耦合损耗

耦合度 (dB)	5	6	7	8	10	15	20
耦合损耗 (dB)	1.7	1.3	1.0	0.7	0.5	0.1	0.04





# 电磁场与电磁波测量实验

## 5) 插入损耗

定向耦合器的插入损耗是指当功率由主传输线的端口1向端口2传输时，主传方向的功率损耗。定向耦合器主线的插入损耗包括耦合损耗和实际功率损失（传输损耗）两部分。在实际测量过程中，一般直接测量主线的插入损耗，减去相应的耦合损耗，就可以得到传输损耗。即：

插入损耗：
$$L_I(dB) = P_{in}(dBm) - P_{out}(dBm)$$

传输损耗：
$$L_T(dB) = L_I(dB) - L_c(dB)$$

例如，定向耦合器的耦合度为10dB，耦合损耗为0.5dB，如果实测主线的插入损耗为0.8dB，则定向耦合器的传输损耗为0.3dB。定向耦合器的传输损耗通常在0.2dB左右，可以作为判定定向耦合器好坏的基本参数之一。



## 6) 幅频特性

在定向耦合器的工作频带内，不同频率的耦合度（或插入损耗）会有所差异，幅频特性是指在指定工作频带内耦合度（或插入损耗）随频率变化的程度，一般用指定频带内最大耦合度和最小耦合度（或最大插入损耗和最小插入损耗）的差值表示，单位为dBp-p/工作频带。



# 电磁场与电磁波测量实验

## 7) 隔离度



定向耦合器的隔离度定义为当输出端口2 和耦合端口3 接匹配负载时，输入端口1与隔离端口4 之间的信号衰减量。在理想情况下，副线中的隔离端口4 应当没有功率输出（隔离度应为无穷大）。



## 电磁场与电磁波测量实验



但实际上由于设计或加工的不完善，会有很小的一部分信号功率从隔离端输出，使隔离度不是无穷大。常用的定向耦合器的隔离度指标一般要求大于20dB。工程中使用的定向耦合器并没有提供正向的隔离端口，因此实际测量的通常是当输入端口1接匹配负载时，输出端口2与耦合端口3之间的信号衰减量（定向耦合器反向使用）。



# 电磁场与电磁波测量实验

## 8) 方向性

在工程上也会经常采用方向性系数来表征耦合通道的隔离性能。定向耦合器的方向性系数定义为当输入端口1和输出端口2接匹配负载时，耦合端口3与隔离端口4之间的信号衰减量。方向性系数实际上等于隔离度和耦合度之差。

## 9) 回波损耗（驻波比）

回波损耗或驻波比用于衡量定向耦合器各端口的阻抗匹配特性。定向耦合器所有端口的回波损耗应当尽可能大（即驻波比应尽可能小）。定向耦合器是一个信号分配（合路）器件，不能对输入端、输出端和耦合端的电路造成影响，所有端口都需要与连接电路匹配。





# 电磁场与电磁波测量实验

## 2. 定向耦合器的测量

### 1) 耦合度测量

(1) 按照图 3.3.7所示连接测试系统。

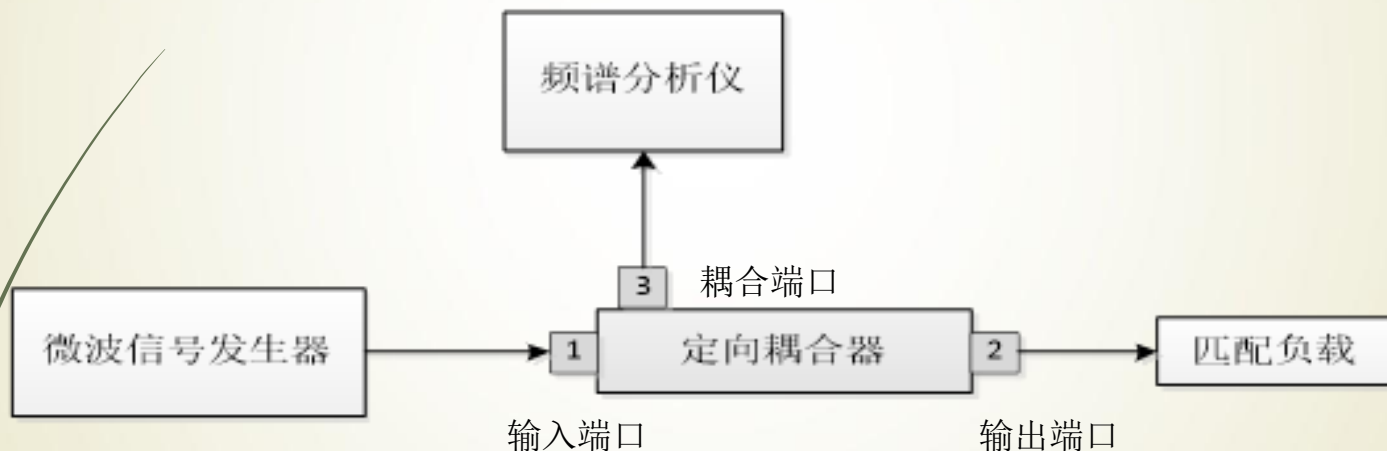


图 3.3.7 定向耦合器的耦合度测量



# 电磁场与电磁波测量实验

(2) 设置微波信号发生器输出指定频率和功率的单载波信号（如850MHz、-20dBm）。

(3)将输入和输出电缆短接。用频谱分析仪测量定向耦合器输入端口 1 的输入信号电平，测试数据记录到表3.3.7 中。

(4) 接入被测定向耦合器（注意输出端口接匹配负载）。用频谱分析仪测量定向耦合器耦合端口3的输出信号电平，计算定向耦合器的耦合度，测试数据列入表3.3.7 中。

(5) 改变测试频率，重复以上测量，测试数据列入表 3.3.7 中。

表 3.3.7 定向耦合器的耦合度测量

测试频率 (MHz)	850	900	950
端口1输入功率 (dBm)			
端口3输出功率 (dBm)			
耦合度 (dB)			
耦合损耗			



# 电磁场与电磁波测量实验

## 2) 插入损耗测量

(1) 按照图 3.3.8所示连接测试系统。

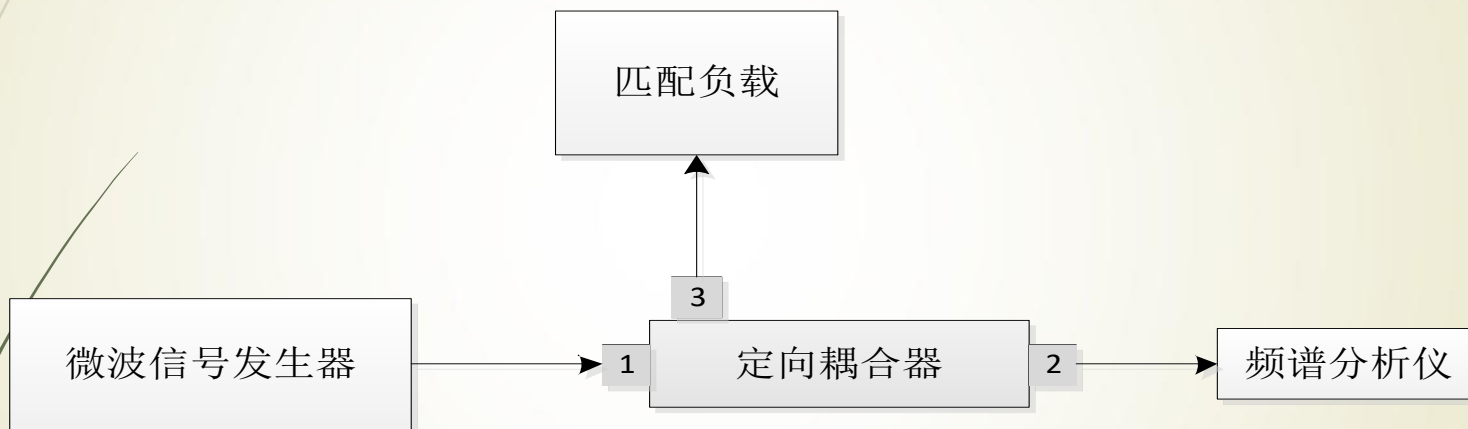


图 3.3.8定向耦合器的插入损耗测量





# 电磁场与电磁波测量实验

(2) 设置微波信号发生器输出指定频率和功率的单载波信号（如850MHz、-20dBm）。

(3) 将输入和输出电缆短接。用频谱分析仪测量定向耦合器输入端口1的输入信号电平，测试数据记录到表3.3.8中。

(4) 接入被测定向耦合器（注意耦合端口3接匹配负载）。用频谱分析仪测量定向耦合器输出端口2的输出信号电平，计算定向耦合器的插入损耗和传输损耗，测试数据记录到表3.3.8中。

(5) 改变测试频率，重复以上测量，测试数据列入表3.3.8中。

表 3.3.8定向耦合器的插入损耗测量

测试频率(MHz)	850	900	950	注
耦合度 (dB) /耦合损耗 (dB)				将1) 耦合度测量中已测得的数值添入。
端口1输入功率 (dBm)				
端口2输出功率 (dBm)				
插入损耗 (dB)				
传输损耗 (dB)				



# 电磁场与电磁波测量实验

## 3) 定向耦合器的隔离度测量

(1) 按照图 3.3.9 所示连接测试系统（测量2、3端口的隔离度）。

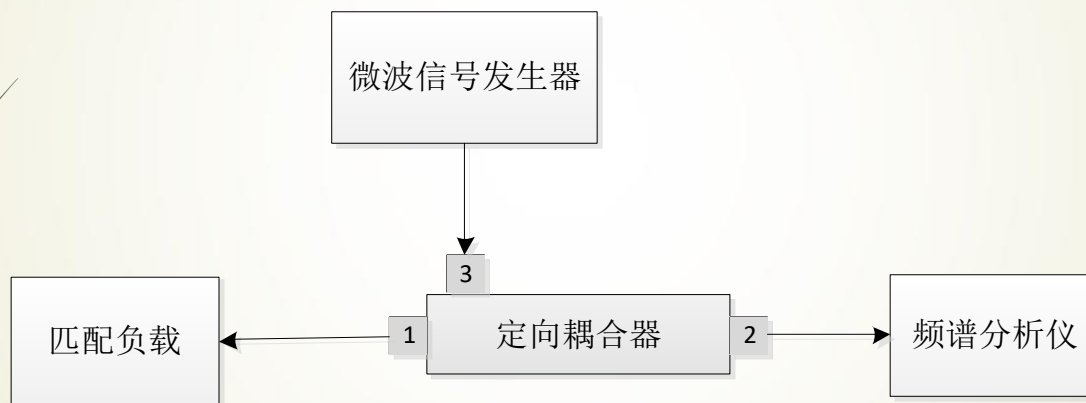


图 3.3.9 定向耦合器的隔离度测量



# 电磁场与电磁波测量实验

(2) 设置微波信号发生器输出指定频率和功率的单载波信号（如850MHz、-20dBm）。

(3) 将输入和输出电缆短接。用频谱分析仪测量并记录定向耦合器耦合端口3的输入信号电平，测试数据记录到表3.3.9中。

(4) 接入被测定向耦合器（注意输入端口1接匹配负载）。用频谱分析仪测量定向耦合器输出端口2的输出信号电平，计算端口2、3之间的隔离度，测试数据记录到表3.3.9中。

(5) 改变测试频率，重复以上测量，测试数据列入表3.3.9中。

表3.3.9定向耦合器的隔离度测量

测试频率 (MHz)	850	900	950
耦合端口3输入功率 (dBm)			
输出端口2输出功率 (dBm)			
2、3端口隔离度 (dB)			



# 电磁场与电磁波测量实验

## 4) 耦合度的幅频特性测量

(1) 设置微波信号发生器输出指定频率和功率的单载波信号（如850MHz、-20dBm）。

(2) 将输入和输出电缆短接。用频谱分析仪测量并记录定向耦合器的输入信号电平。

(3) 接入被测定向耦合器。设置频谱分析仪的中心频率为指定频率（如850MHz），设置合适的扫描带宽（如100MHz），适当调整参考电平使频谱图显示在合适的位置。

(4) 设置频谱分析仪的轨迹为最大值保持功能（Trace→Trace Type→Max Hold）。

(5) 按照一定的步进（如0.1MHz），用手动旋钮在指定的频率范围内（如830 ~ 870MHz）调整微波信号发生器的输出频率，在频谱分析仪上显示出幅频特性曲线。

(6) 根据频谱分析仪显示的幅频特性曲线，测量并计算耦合器在指定频带内的耦合度的最小值和幅频特性，测试数据记录到自己设计的表中。