

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

功率分配器/合路器校准规范

Calibration Specification for power dividers/combiner

(征求意见稿)

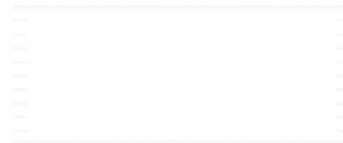
×××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 功率分配器/合路器校准规范

Calibration Specification for power  
dividers/combiner



归口单位： 全国无线电计量技术委员会

主要起草单位： 上海泰峰检测认证有限公司

参加起草单位：

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 概述.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 测量标准及其他设备.....	(3)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
6.1 校准项目.....	(3)
6.2 外观及工作正常性检查.....	(3)
6.3 插入损耗.....	(3)
6.4 电压驻波比.....	(5)
6.5 幅度平衡度.....	(6)
6.6 相位平衡度.....	(7)
6.7 隔离度.....	(7)
6 校准结果表达.....	(9)
7 复校时间间隔.....	(10)
附录 A 表 A 原始记录格式.....	(11)
附录 B 表 B 校准证书内页格式.....	(13)
附录 C 测量结果不确定度评定示例.....	(15)

# 引 言

JJF1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。



## 功率分配器/合路器校准规范

### 1 范围

本规范适用于频率范围为 9kHz~67GHz 功率分配器/合路器的校准。

### 2 术语和定义

#### 2.1 幅度平衡度 amplitude balance

功率分配器/合路器的各个输出端口之间输出幅度的差值

#### 2.2 相位平衡度 phase balance

功率分配器/合路器的输出端口之间输出相位的差值

### 3 概述

功率分配器是一种多端口器件，其主要用途是将一路输入信号能量分配成两路或多路输出相等或不相等能量的无源器件。

功分器类型有威尔金森功分器、巴格利多边形功分器及吉赛尔功分器等。其中使用最多的即威尔金森功分器,其电路图如下

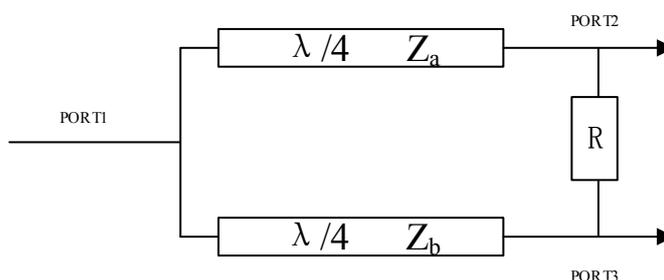


图 1Wilkinson 功分器电路图

由两条四分之一波长 ( $\lambda/4$ ) 传输线及隔离电阻 R 组成。信号由端口 1 输入，经过分配后由端口 2、端口 3 输出，输出信号功率按比例分配。

合路器的作用是将多路信号的能量合成至一路输出。

合路器有两种类型，其中的类型 1 是将功率分配器反过来就是功率合路器。

另外一种合路器为空腔谐振式，通常是用于发射端，其作用是将两路或者多路的射频信号合为一路送到天线发射的射频器件，同时避免各个端口信号之间的相互影响,主要使用在天线发射方面。

空腔谐振式通过公共腔连接 N 个不同频带的滤波器，公共腔的另一端作为共用端口。其电路结构模型如图 2 所示 N 个通道滤波器通过一个公共腔连接的合路器的模型。

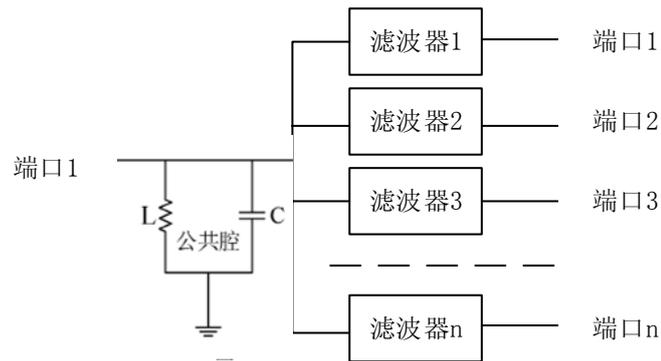


图 2 空腔谐振式合路器结构

功率分配器/合路器在电磁兼容，基站、卫星通信等领域应用广泛，其性能好坏直接影响到整个系统能量的分配、以及信号的合成效率。

#### 4 计量特性

##### 4.1. 频率范围

9kHz~67GHz

##### 4.2. 插入损耗

≤12dB

##### 4.4 电压驻波比

1.0~3.0

##### 4.5 幅度平衡度

(0~2.0)dB

##### 4.6 相位平衡度

(0~10) °

##### 4.7 隔离度

(10~100)dB

#### 5 校准条件

##### 5.1 环境条件

- a) 4.1.1 环境温度：(23±5)°C。
- b) 4.1.2 相对湿度：≤80%。
- c) 4.1.3 电源电压及频率：电压(220±11)V，频率(50±1)Hz。
- d) 4.1.4 周围无影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

## 5.2 测量标准及其他设备

### 5.2.1 矢量网络分析仪

频率范围：9kHz~67GHz；

动态范围：(0~100)dB

传输系数幅值测量最大允许误差： $\pm(0.02\sim 1)$  dB；

相位最大允许误差： $\pm 1^\circ$

### 5.2.2 匹配负载

频率范围：9kHz~67GHz；

电压驻波比： $\leq 1.2$ ；

### 5.2.3 信号发生器

频率范围：9kHz~67GHz；

电平输出最大允许误差： $\pm 1$ dB；

### 5.2.4 频谱分析仪

频率范围：9kHz~67GHz；

电平测量线性： $\pm 0.13$ dB；

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	项目名称
1	插入损耗
2	电压驻波比
3	相位平衡度
4	幅度平衡度
5	隔离度

### 6.2 外观及工作正常性检查

被校功率分配器/合路器外观完好，无影响正常工作的机械损伤，检查结果记录在附录表 A.1 中。

### 6.3 插入损耗

#### 6.3.1 功率分配器

6.3.1.1 网络分析仪在待校准的功率分配器/合路器的频率范围内进行开路、短路、匹配和传输自校准。

6.3.1.2 仪器连接如图 3 所示。

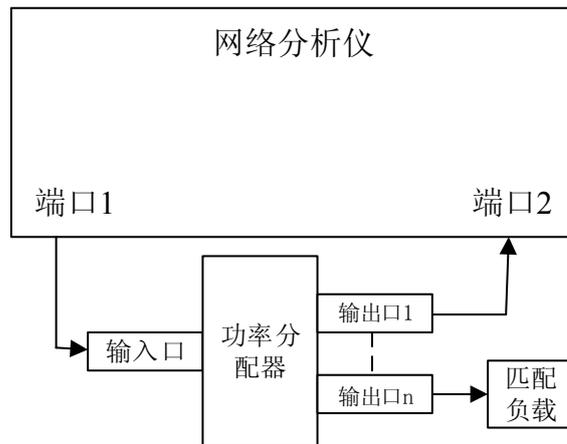


图3功率分配器插入损耗校准示意图

6.3.1.3 设置矢量网络分析仪的合适的中频带宽，采样点数为201，扫描时间按默认设置，平均次数为16，模式为对数模式，传输方式为 $S_{21}$ 。

6.3.1.4 将功率分配器的输入口接矢量网络分析仪的端口1，将功率分配器的输出端口依次接入网络分析仪的端口2，其余的输出端口接匹配负载，读取网络分析仪各校准频率点的 $S_{21}$ 作为插入损耗数值，记录在附录表A.2中。

6.3.1.5 依次改变功率分配器输出端口，重复5.3.1.5，记录在附录表A.2中。

### 6.3.2 合路器

6.3.2.1 合路器的插入损耗校准示意图如图4所示

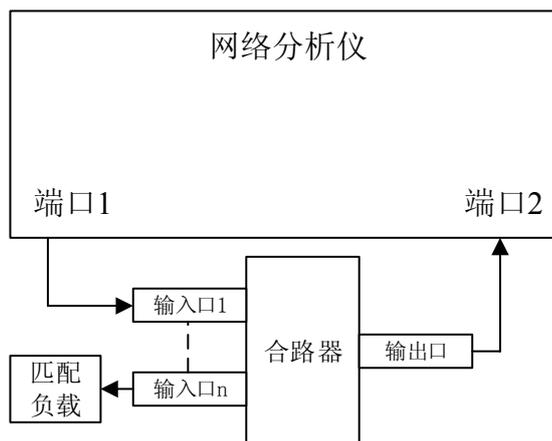


图4 合路器插入损耗校准示意图

6.3.2.2 重复6.3.1.1~6.3.1.4的校准步骤。

6.3.2.3 将合路器的输入口依次接入矢量网络分析仪的端口1，其余的输入端口接匹配负载,将功率分配器的的输出口接矢量网络分析仪的端口2。依次读取相应输出端口插入损耗数值，记录在附录表A.2中。

6.3.2.4 依次改变合路器输入端口，重复5.3.2.3，记录在附录表A.2中。

## 6.4 电压驻波比

### 6.4.1 功率分配器

6.4.1.1 校准之前，网络分析仪在待校准的功率分配器的频率范围内进行开路、短路、匹配和传输自校准。

6.4.1.2 功率分配器输入口的电压驻波比的校准连接如图5所示，输出端口的连接如图6所示。

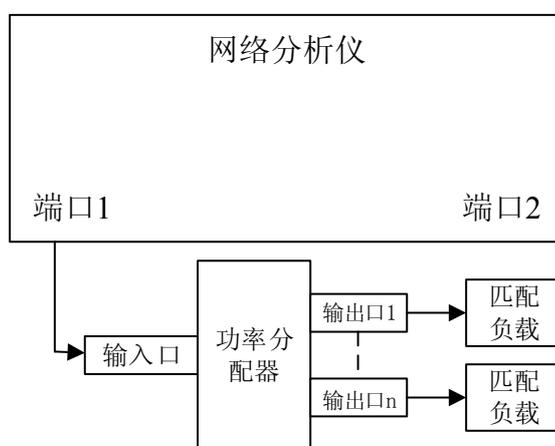


图5 功率分配器输入口电压驻波比校准示意图

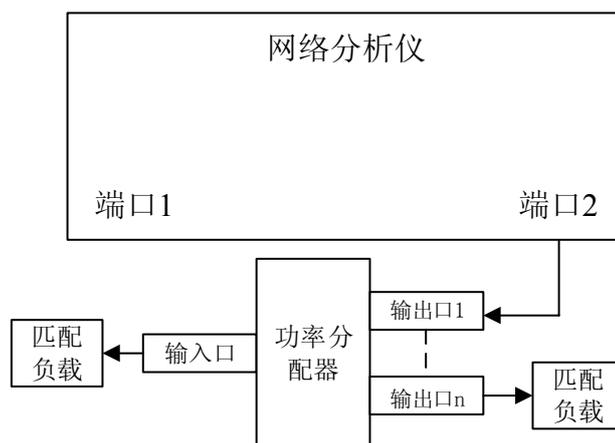


图6 功率分配器输出口电压驻波比校准示意图

6.4.1.3 设置矢量网络分析仪的合适的中频带宽，采样点数为201，扫描时间按默认设置，平均次数为16，模式为驻波比模式，传输方式为 $S_{11}$ 或 $S_{22}$ 。

6.4.1.4 待测端口依次接于网络分析仪，其余端口接匹配负载，读取各校准频率点的电压驻波比，记录于附录A表A.3中。

6.4.1.5 依次改变待测端口，读取各校准频率点的电压驻波比，记录于附录A表A.3中。

## 6.4.2 合路器

6.4.2.1 合路器的电压驻波比校准示意图如图7、图8所示

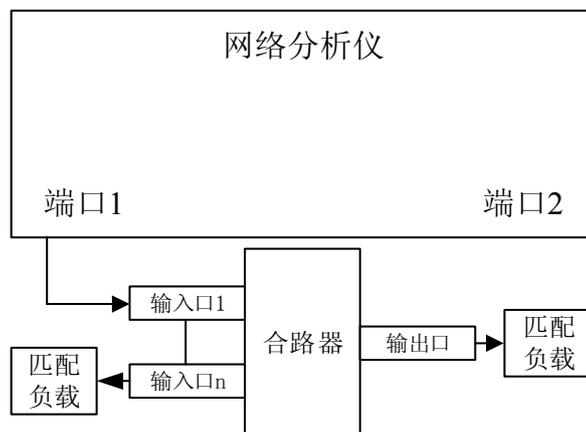


图7 合路器输入口电压驻波比校准示意图

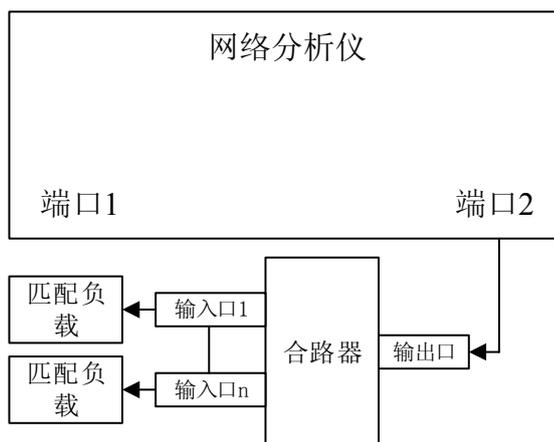


图8 合路器输出口电压驻波比校准示意图

6.4.2.2 重复6.4.1.3~6.4.1.5的校准步骤，记录于附录A表A.3中。

## 6.5 幅度平衡度（仅限于功率分配器）

6.5.1 重复 6.3.1.1~6.3.1.6 的校准步骤，按公式 1 计算幅度平衡度，并记录在附录 A 表 A.4

$$\Delta A = |A_{outn} - A_{outm}| \quad (1)$$

式中：

$\Delta A$ —幅度平衡度，dB；

$A_{outn}$ —输出n端口的插入损耗测量值，dB；

$A_{\text{outm}}$ —输出m端口的插入损耗测量值，dB。

## 6.6 相位平衡度（仅限于功率分配器）

6.6.1 设置矢量网络分析仪合适的中频带宽，采样点数为201，扫描时间按默认设置，平均次数为16,网络分析仪设置为相位模式，传输方式为 $S_{21}$ 。

6.6.2 仪器连接如图3所示。

6.6.3 读取输出口1各校准频率点的相位值，并记录在附录A表A.5中。

6.6.4 更换其他输出口，读取各校准频率点的网络分析仪 $S_{21}$ 值作为相位值，并记录于附录A表A.5中。

6.6.1.5 按公式2计算相位平衡度,并记录于附录A表A.5中。

$$\Delta p = |p_{\text{outn}} - p_{\text{outm}}| \quad (2)$$

式中：

$\Delta p$ —相位平衡度，°；

$p_{\text{outn}}$ —输出n端口的相位值，°；

$p_{\text{outm}}$ —输出1端口的相位值，°。

## 6.7 隔离度

方法一：网络分析仪法

### 6.7.1 功率分配器

6.7.1.1 仪器连接如图9所示。

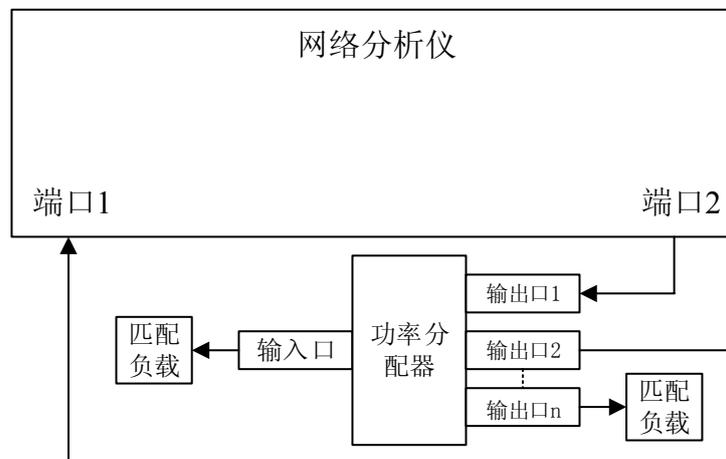


图9 隔离度校准连接示意图

6.7.1.2 设置矢量网络分析仪合适的中频带宽，采样点数为201，扫描时间按默认设置，平均次数为16。网络分析仪设置为对数模式，传输模式设为 $S_{21}$ 。

6.7.1.3 功率分配器输出口1接于网络分析仪的端口2。

6.7.1.4 功率分配器的输出口n轮流接于网络分析仪端口1，输入口和其余输出口接匹配负载，读取各校准频率点的网络分析仪 $S_{12}$ 值作为隔离度输出1口与输出n隔离度值，并作记录于附录A表A.6中。

6.7.1.5 功率分配器的输出口n分别接于网络分析仪端口2。

6.7.1.6 功率分配器的除了输出口n轮流接于网络分析仪端口1，功率分配器的输入口和其余输出口接匹配负载，读取输出口n与其余输出口的隔离度值，并记录于附录A表A.6中。

## 6.7.2 合路器

6.7.2.1 仪器连接如图10所示。

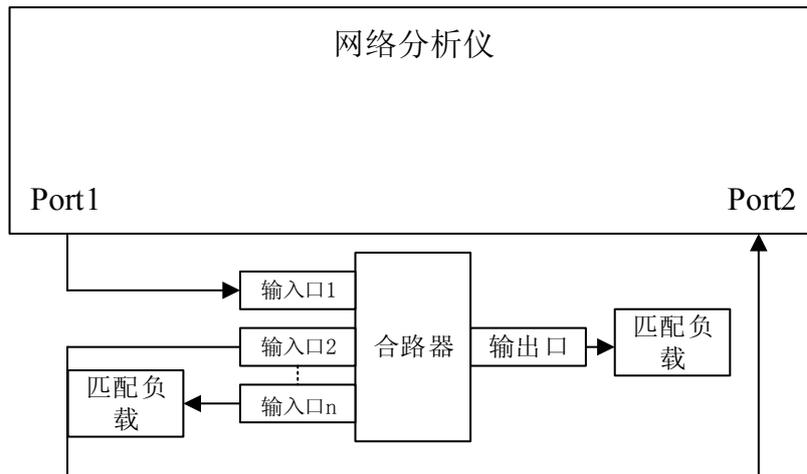


图10 隔离度校准连接示意图

6.7.2.2 合路器输入口1接于网络分析仪的端口。

6.7.2.3 合路器的输入口n轮流接于网络分析仪端口2，输入口和其余输出口接匹配负载，读取输入口1与输入口n的隔离度值，并作记录于附录A表A.6中。

6.7.2.4 轮流将合路器的输入口n分别接于网络分析仪端口1。

6.7.2.5 将合路器的除了输入口n轮流接于网络分析仪端口2，合路器的输出口和其余输入口接匹配负载，读取输入口n与其余输入口的隔离度值，作记录于附录A表A.6中。

方法二：信号源+频谱分析仪法（一般适用于腔体合路器）：

6.7.3 仪器连接如图11所示。

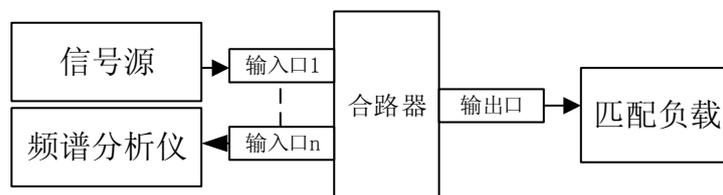


图11 隔离度校准连接示意图

6.7.4 设置信号源的频率 $f$ ，设置电平为0dBm，设置频谱分析仪的频率为 $f$ ，读取功率测量值为隔离度，记录于附录A表A.6中。

6.7.5 重复6.7.4，进行逐频点校准，记录于附录A表A.6中。

6.7.6 更改输入口，重复6.7.5~6.7.5，记录于附录A表A.6中。

## 7 校准结果表达

功率分配器校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a)标题：“校准证书”；
- b)实验室名称和地址；
- c)进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d)证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e)客户的名称和地址；
- f)被校对象的描述和明确标识；
- g)进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h)如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i)校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j)本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k)校准环境的描述；
- l)校准结果及其测量不确定度的说明；
- m)对校准规范的偏离的说明；

- n)校准证书签发人的签名、职务或等效标识;
- o)校准结果仅对被校对象有效的说明;
- p)未经实验室书面批准,不得部分复制证书的声明。

## 8 复校时间间隔

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔,建议为 12 个月。

## 附录 A

## 原始记录格式

## A.1 外观检查

项目	检查结果

## A.2 插入损耗

端口	频率	插入损耗 (dB)	扩展不确定度 $U(k=2)$

## A.3 电压驻波比

端口	频率	电压驻波比	扩展不确定度 $U(k=2)$

## A.4 幅度平衡度

端口-端口	频率	端口插入损耗 (dB)	端口插入损耗 (dB)	幅度平衡度(dB)	扩展不确定度 $U(k=2)$

## A.5 相位平衡度

端口-端口	频率	端口相位(°)	端口相位(°)	相位平衡度(°)	扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )

## A.6 隔离度

相邻端口	频率	隔离度(dB)	扩展不确定度 $U$ ( $k=2$ )

## 附录 B

## 校准证书

## B.1 外观检查

项目	检查结果

## B.2 插入损耗

端口	频率	插入损耗 (dB)	扩展不确定度 ( $k=2$ )

## B.3 电压驻波比

端口	频率	电压驻波比	扩展不确定度 ( $k=2$ )

## B.4 幅度平衡度

端口-端口	频率	幅度平衡度 (dB)	扩展不确定度 ( $k=2$ )

## B.5 相位平衡度

端口-端口	频率	相位平衡度(°)	扩展不确定度 ( $k=2$ )

## B.6 隔离度

相邻端口	频率	隔离度(dB)	扩展不确定度 ( $k=2$ )

## 附录 C

## 测量结果不确定度评定示例

## C.1 插入损耗测量不确定度评定

## C.1.1 不确定度（分量）来源分析(以 5GHz 为例)

测量不确定度来源：

- 1)、网络分析仪插入损耗测量误差引入的标准不确定度分量  $u_1$
- 2)、测量重复性引入的标准不确定度分量  $u_2$
- 3)、网络分析仪插入损耗测量分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3$

## C.1.2 测量不确定度分析

- 1) 网络分析仪插入损耗测量误差引入的不确定度分量  $u_1$

查阅网络分析仪技术手册,插入损耗测量误差度如如表 C.1

表 C.1 网络分析仪插入损耗测量误差

符号	测量误差
$a_1$	0.10dB

测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布,因此  $k_1 = \sqrt{3}$ , 标准不确定度  $u_1$  如表 C.2

表 C.2 网络分析仪插入损耗不确定度

标准不确定度 $u_1$	标准不确定度
$u_1$	0.058dB

- 2) 网络分析仪测量重复性引入的不确定度分量  $u_2$

用网络分析仪对被测件插入损耗重复测量 10 次,

$$\text{单次测量结果的实验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

测量结果如表 C.2。

表 C.3 插入损耗测量结果

测量次数	插入损耗实测值(dB)
1	6.065
2	6.066

3	6.063
4	6.064
5	6.058
6	6.062
7	6.064
8	6.066
9	6.069
10	6.066
s	0.00093

标准测量不确定度使用标准实验标准差表示，则  $u_2=s$

3) 网络分析仪插入损耗测量分辨力引入的标准不确定度分量  $u_3$

用网络分析仪对被测件端口的插入损耗测量分辨力为 0.001dB，服从均匀分布，取

$k_3 = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_3 = 0.0005/\sqrt{3} \text{dB} \approx 0.0003 \text{dB}$ 。

#### C.1.4 标准不确定度分量一览表

插入损耗标准不确定度分量一览表如表 C.2。

表 C.2 插入损耗标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	输出量标准不确定度分量
	符号	数值		
网络分析仪插入损耗测量误差	$u_1$	0.11dB	1	0.058dB
插入损耗的测量重复性	$u_2$	0.00093	1	0.00093dB
网络分析仪插入损耗测量分辨力	$u_3$	0.0003dB	1	0.0003dB

#### C.1.5 合成标准不确定度

各不确定度分量彼此独立不相关，合成标准不确定度：

$$u_{c-t} = \sum_{i=1}^4 u_{1-t}^2$$

$$u_c=0.06\text{dB}$$

#### C.1.6 扩展不确定度

包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U = ku_c$

频率为

$$U_3=0.12\text{dB}$$

#### C.2 幅度平衡度测量不确定度评定(以 5GHz 为例)

### C.2.1 测量模型

根据前面介绍的校准过程，以校准与第一端口的幅度平衡度为例，幅度平衡度按式 (C.3) 计算得到：

$$\Delta A = A_{\text{OUT}n} - A_{\text{OUT}1} \quad (\text{C.3})$$

式中：

$\Delta A$ —幅度平衡度，dB；

$A_{\text{OUT}n}$ —输出口 $n$ 的插入损耗测量值，dB；

$A_{\text{OUT}1}$ —输出1口的插入损耗测量值，dB。

### C.2.2 不确定度传播公式

由于 $A_{\text{OUT}1}$ ， $A_{\text{OUT}2}$ 都是用同一台网络分析仪测量，所以为强相关，相关系数为-1，不确定度传播律按式 (C.10) 计算为：

$$u_c = c_1 u(A_{\text{OUT}n}) - c_2 u(A_{\text{OUT}1}) \quad (\text{C.4})$$

$$\text{其中 } c_1 = \frac{\partial \Delta A}{\partial A_{\text{OUT}n}} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta A}{\partial A_{\text{OUT}1}} = -1。$$

### C.2.3 不确定度来源分析

- 1) 网络分析仪测量第一端口的插入损耗值 $A_{\text{OUT}1}$ 的测量误差引入的标准不确定分量 $u_1$
- 2) 网络分析仪测量第 $n$ 端口的插入损耗值 $A_{\text{OUT}n}$ 的测量误差引入的标准不确定分量 $u_2$
- 3) 测量结果重复性引入的标准不确定分量 $u_3$
- 4) 网络分析仪的测量插入损耗的分辨率引入的标准不确定度分量 $u_4$

### C.2.4 标准不确定度评定

- 1) 网络分析仪测量  $A_{\text{OUT}1}$  最大允许误差引入的不确定度  $u_1$

查阅网络分析仪技术手册，在频率 3GHz 的测量插入损耗 0dB~-20dB 的最大允许误差为 $\pm 0.10$ dB，即  $a_1=0.10$ dB，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，因此  $k = \sqrt{3}$ ，标

准不确定度  $u_1 = 0.10/\sqrt{3}=0.058$ dB。

- 2) 网络分析仪测量  $A_{\text{OUT}n}$  最大允许误差引入的不确定度  $u_2$

查阅网络分析仪技术手册，在频率 3GHz 的测量插入损耗 0dB~-20dB 的最大允许误差

为 $\pm 0.10\text{dB}$ ，即  $a_1=0.10\text{dB}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，因此  $k = \sqrt{3}$ ，标

准不确定度  $u_2 = 0.10/\sqrt{3}=0.058\text{dB}$ 。

### 3) 测量重复性引入的不确定度 $u_3$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪对被测件性重复测量 10 次，测量结果如表 C.9。

表 C.9 幅度平衡度测量结果

测量次数	实测值(dB)
1	0.071
2	0.061
3	0.075
4	0.070
5	0.064
6	0.069
7	0.061
8	0.065
9	0.063
10	0.077

单次测量结果的实验标准差  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0057\text{dB}$ ，

标准测量不确定度使用标准实验标准差表示，则  $u_3 = s = 0.0057\text{dB}$ 。

### 4) 网络分析仪测量插入损耗分辨力引入的标准不确定度分量 $u_4$

在测量频率 3GHz 时，用网络分析仪测量幅度平衡度的测量分辨力为 0.001dB，服从均

匀分布，取  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_4 = 0.0005/\sqrt{3}=0.0003\text{dB}$ 。

## C.5.4 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表如表 C.10。

表 C.10 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	输出量标准不确定度分量
	符号	数值		
网络分析仪测量 $A_{\text{OUT1}}$	$u_1$	0.058dB	1	0.0587dB

最大允许误差				
网络分析仪测量 $A_{OUTn}$ 最大允许误差	$u_2$	0.058dB	-1	0.058dB
测量重复性	$u_3$	0.0057dB	1	0.0057dB
网络分析仪测量插入 损耗分辨力	$u_4$	0.0003dB	1	0.0003dB

#### C.5.5 合成标准不确定度

由于  $A_I$ ,  $A_C$ ,  $A_L$  都是用同一台网络分析仪测量, 所以为强正相关, 认为相关系数均为 1, 其他不确定度分量彼此独立不相关, 合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{(c_1 u_1 + c_2 u_2)^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2} = 0.08 \text{dB}$$

#### C.5.6 扩展不确定度

包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U = k u_c = 0.16 \text{dB}$

