

中华人民共和国工业和信息化部 通信计量技术规范

JJF(通信)070-2023

功率分配器校准规范

Calibration Specification of Power Dividers

(报批稿)

2023-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

功率分配器校准规范

Calibration Specification of Power Dividers

JJF(通信)070-2023

归口单位：中国信息通信研究院

起草单位：中国信息通信研究院

本规程技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

牟 丹（中国信息通信研究院）

成 锴（中国信息通信研究院）

纪 锐（中国信息通信研究院）

参加起草人：

袁修华（中国信息通信研究院）

张向阳（中国信息通信研究院）

姚安江（中国信息通信研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	1
2 概述	1
3 计量特性	1
4 校准条件	1
4.1 环境条件	1
4.2 校准用设备	1
5 校准项目和校准方法	2
5.1 外观及工作正常性检查	3
5.2 插入损耗	3
5.3 幅度平衡度	3
5.4 相位平衡度	3
5.5 隔离度	4
5.6 电压驻波比	4
5.7 无源互调	4
5.8 功率容限	5
6 校准结果表达	6
7 复校时间间隔	6
附录 A 原始记录推荐格式	7
附录 B 校准证书内页推荐格式	11
附录 C 不确定度评定示例	14

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010 《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》编制。

本规范针对功率分配器的校准方法，分别从插入损耗、幅度平衡度、相位平衡度、隔离度、电压驻波比等参数测量进行了规定，并在附录中给出了校准项目的测量不确定度评定示例。

本规范为首次发布。

功率分配器校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 5Hz~67GHz 功率分配器的校准,其他频率范围的功率分配器可参照执行。

2 概述

功率分配器(以下简称功分器)是一种将一路输入信号能量分成两路或多路输出相等或不相等能量的无源器件,通常有一分二功分器、一分四功分器、一分八功分器等。功分器广泛应用于微波通信、卫星通信、微波信号测量等领域。

3 计量特性

3.1 频率范围: 5Hz~67GHz

3.2 插入损耗: <8.5dB

3.3 幅度平衡度: $\pm(0.1\text{ dB} \sim 0.8\text{ dB})$

3.4 相位平衡度: $\pm(1^\circ \sim 10^\circ)$

3.5 隔离度: >8dB

3.6 电压驻波比: <2.0

3.7 无源互调: $\leq -120\text{dBc}$, 频率: (700~3600) MHz

3.8 功率容限: (0.5~200) W

注: 以上所有指标不用于合格性判别, 仅提供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度: $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

4.1.2 相对湿度: 20%~80%

4.1.3 电源要求: $220(1 \pm 10\%) \text{V}$ 、 $(50 \pm 1) \text{Hz}$

4.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动

4.2 校准用设备

4.2.1 矢量网络分析仪

频率范围: 5Hz~67GHz

动态范围: >80 dB

4.2.2 匹配负载

频率范围: 5Hz~67GHz

驻波比: ≤ 1.1

阻抗：50Ω

4.2.3 无源互调测试仪

频率范围：（700~3600）MHz

功率范围：（20~48）dBm

具备反射互调、传输互调测量功能

无源互调测量最大允许误差：±2dB/（-140~-70）dBc

4.2.4 低互调负载

频率范围：（700~3600）MHz

反射互调：<-160dBc

电压驻波比：<1.2

4.2.5 信号发生器

频率范围：9kHz~40GHz

输出功率范围：（-70~10）dBm

谐波失真：（-65~-30）dBc

4.2.6 功率放大器

频率范围：9kHz~40GHz

增益：（0~80）dB

最大输出功率：（27~53）dBm

4.2.7 通过式功率计（可用功率传感器加定向耦合器代替）

频率范围：9kHz~40GHz

功率量程：（20~53）dBm

测量不确定度：（0.1~0.4）dB （ $k=2$ ）

4.2.8 大功率负载

频率范围：9kHz~40GHz

额定功率：（1~200）W

驻波比：≤1.3

5 校准项目和校准方法

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	项目
1	外观及工作正常性检查
2	插入损耗
3	幅度平衡度
4	相位平衡度
5	隔离度
6	电压驻波比
7	无源互调*

8	功率容限*
---	-------

注：标*为选测项目。

所有校准用设备按说明书要求进行预热。各连接器可靠连接。

5.1 外观及工作正常性检查

被校功分器外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

5.2 插入损耗

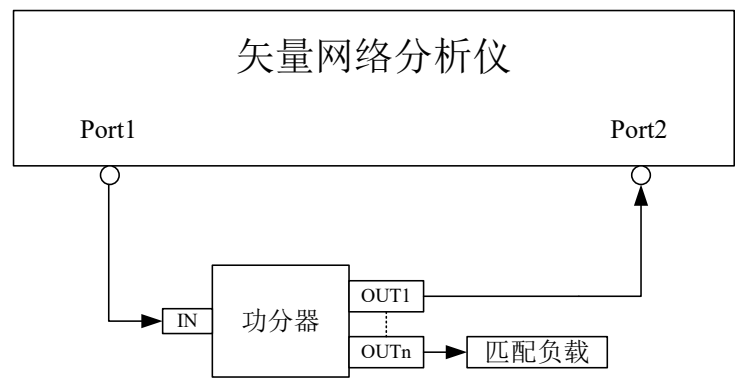


图 1 插入损耗、幅度平衡度、相位平衡度校准框图

- a) 将矢量网络分析仪设置好相应的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行双端口校准。
- b) 按图 1 连接仪器，将功分器的输入端口和待测输出端口接到矢量网络分析仪上，其他输出端口连接匹配负载。
- c) 矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{21} ，读取所需频点的插入损耗值，记录于附录 A 表 A.2 中。
- d) 更换其他输出端口，重复步骤 b)~步骤 c)。

5.3 幅度平衡度

由 5.2 测得功分器的输入端口到不同输出端口的插入损耗，计算不同通道间相同频率的插入损耗之差，即为通道间幅度平衡度。将结果记录于附录 A 表 A.3 中。

5.4 相位平衡度

- a) 将矢量网络分析仪设置好相应的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行双端口校准。
- b) 按图 1 连接仪器，将功分器的输入端口和待测输出端口接到矢量网络分析仪上，其他输出端口连接匹配负载。
- c) 矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{21} ，读取所需频点的相位值，记录于附录 A 表 A.4 中。
- d) 更换其他输出端口，重复步骤 b)~步骤 c)。
- e) 测得功分器的输入端口到不同输出端口的相位，计算不同通道间相同频率的相位之

差，即为通道间相位平衡度。将结果记录于附录 A 表 A.4 中。

5.5 隔离度

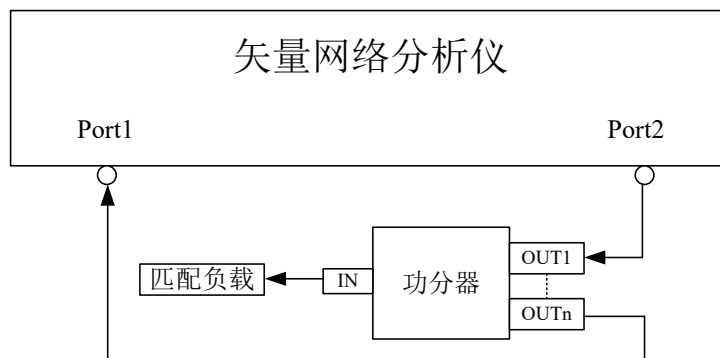


图 2 隔离度校准框图

a) 将矢量网络分析仪设置好相应的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行双端口校准。

b) 按图 2 连接仪器，将功分器的输出端口 i 和输出端口 j 接到矢量网络分析仪上（ $i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; i \neq j$ ）。除待测输出端口外，功分器的其他输出端口连接匹配负载。功分器的输入端口连接匹配负载。

c) 矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{12} ，读取所需频点的隔离度，记录于附录 A 表 A.5 中。

d) 更换其他输出端口的组合，重复步骤 b)~步骤 c)。

5.6 电压驻波比

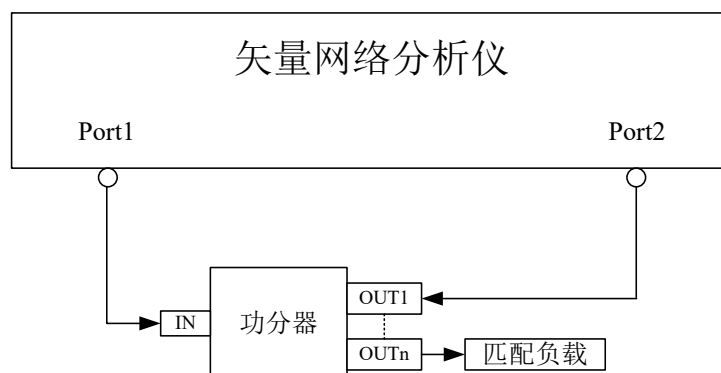


图 3 电压驻波比校准框图

a) 将矢量网络分析仪设置好相应的频率范围、中频带宽、点数、格式等参数，进行双端口校准。

b) 按图 3 连接仪器，将功分器的输入端口和待测输出端口接到矢量网络分析仪上，其他输出端口连接匹配负载。

c) 矢量网络分析仪设置为反射模式 S_{11} 、 S_{22} ，分别读取输入端口和所有待测输出端口所需频点的电压驻波比，记录于附录 A 表 A.6 中。

5.7 无源互调

5.7.1 反射互调

a) 按图 4 连接仪器。

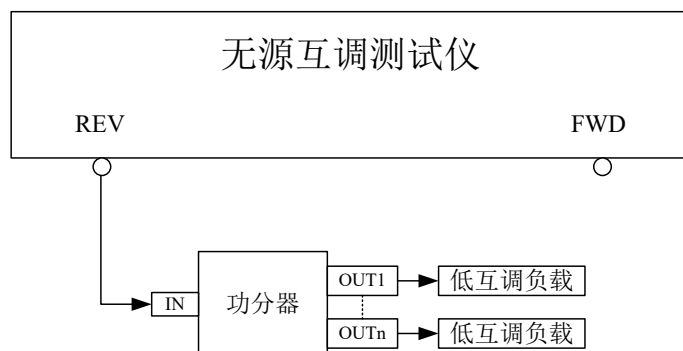


图 4 反射互调校准框图

b) 将无源互调测试仪设置好载波频率、无源互调阶数、输出功率等参数。建议输出功率设置为 20W。

c) 无源互调测试仪测试模式设置为反向模式，扫描方式设置为扫频方式。执行测试，读取最大电平值即为反射互调值，记录于附录 A 表 A.7 中。

5.7.2 传输互调

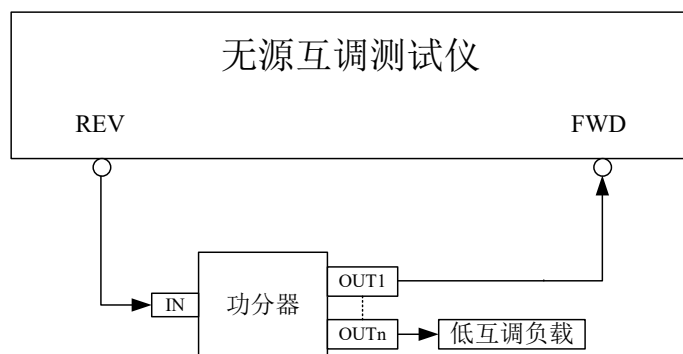


图 5 传输互调校准框图

a) 按图 5 连接仪器，将功分器的输入端口和待测输出端口接到无源互调测试仪上，其他输出端口连接低互调负载。

b) 将无源互调测试仪设置好载波频率、无源互调阶数、输出功率等参数。建议输出功率设置为 20W。

c) 无源互调测试仪测试模式设置为正向模式，扫描方式设置为扫频方式。

d) 无源互调测试仪执行测试，读取最大电平值即为传输互调值，记录于附录 A 表 A.8 中。

e) 更换其他输出端口，重复步骤 a)~步骤 d)。

5.8 功率容限

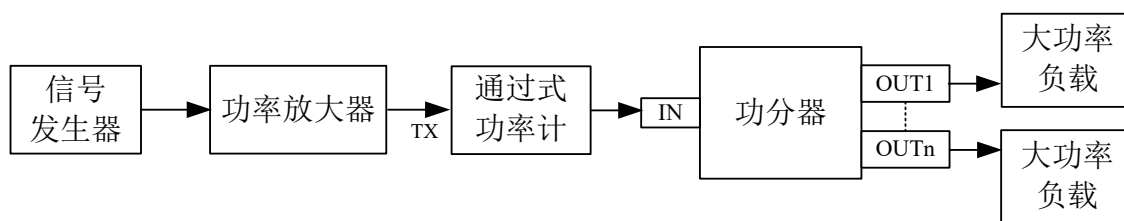


图 6 功率容限校准框图

a) 按图 6 连接仪器。

b) 信号发生器设置为需要的载波频率，调节信号发生器的输出功率和功率放大器的增益，使通过式功率计为所需功率 P ，保持 5 分钟。将功率 P 记录于附录 A 表 A.9 中。

c) 重复测试 5.6 电压驻波比，数据记录于附录 A 表 A.9 中。若电压驻波比的测试结果满足技术指标要求，则功率 P 即为功率容限的实测值。

6 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，推荐校准证书内页格式见附录 B。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出，并给出测量不确定度，不确定度评定实例见附录 C。校准证书应至少包括以下信息：

- 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和应用有关时，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。

7 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议不超过 1 年。

附录 A

原始记录推荐格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

检查项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

表 A.2 插入损耗

频率	实测值 IN-OUT1	实测值 IN-OUT...	实测值 IN-OUT _n	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A.3 幅度平衡度

频率	幅度平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT2	幅度平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT...	幅度平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT _n	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A. 4 相位平衡度

频率	相位实测值 IN-OUT1	相位实测值 IN-OUTn	相位平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUTn	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A. 5 隔离度

频率	实测值 OUT1 与 OUT2	实测值 OUT1 与 OUT...	实测值 OUT1 与 OUTn	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A.6 电压驻波比

频率	实测值 IN 口	实测值 OUT1 口	实测值 OUT...口	实测值 OUTn 口	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A.7 反射互调

互调阶数	频率范围	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A.8 传输互调

互调阶数	频率范围	实测值 IN-OUT1	实测值 IN-OUT...	实测值 IN-OUTn	扩展不确定度 ($k=2$)

表 A.9 功率容限

电压驻波比

频率	实测值 IN 口	实测值 OUT1 口	实测值 OUT...口	实测值 OUTn 口	扩展不确定度 ($k=2$)

功率容限实测值 P	扩展不确定度 ($k=2$)

附录 B

校准证书内页推荐格式

表 B.1 外观及工作正常性检查

检查项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

表 B.2 插入损耗

频率	实测值 IN-OUT1	实测值 IN-OUT...	实测值 IN-OUT _n	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.3 幅度平衡度

频率	幅度平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT2	幅度平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT...	幅度平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT _n	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.4 相位平衡度

频率	相位平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT2	相位平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT...	相位平衡度 IN-OUT1 与 IN-OUT _n	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.5 隔离度

频率	实测值 OUT1 与 OUT2	实测值 OUT1 与 OUT...	实测值 OUT1 与 OUT _n	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.6 电压驻波比

频率	实测值 IN 口	实测值 OUT1 口	实测值 OUT...口	实测值 OUTn 口	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.7 反射互调

互调阶数	频率范围	实测值	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.8 传输互调

互调阶数	频率范围	实测值 IN-OUT1	实测值 IN-OUT...	实测值 IN-OUTn	扩展不确定度 ($k=2$)

表 B.9 功率容限

功率容限实测值 P	扩展不确定度 ($k=2$)

附录 C

不确定度评定示例

C.1 插入损耗不确定度评定

使用矢量网络分析仪测量功分器的插入损耗。

以使用 N5227A 矢量网络分析仪校准功分器 11636C 输入端口到 2 号输出端口 10GHz 插入损耗为例进行不确定度评定。

C.1.1 不确定度来源

- (1) 矢量网络分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 u_1 ;
- (2) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 u_2 。

C.1.2 标准不确定度评定

- (1) 矢量网络分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 u_1

根据矢量网络分析仪的技术指标,其传输衰减测量最大允许误差为 0.099dB。按均匀分布,可得标准不确定度为 $u_1=0.057\text{dB}$ 。

- (2) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 u_2

使用矢量网络分析仪测量插入损耗,频率 10GHz,重复测量 10 次,测量结果见表 C.1 所示。

表 C.1 插入损耗重复性测量结果

测量次数	插入损耗 (dB)
1	5.99
2	5.99
3	6.00
4	5.99
5	6.00
6	5.99
7	5.99
8	5.99
9	5.98
10	5.99

经计算,重复性引入的不确定度 $u_2=0.006\text{dB}$

C.1.3 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关,则

$$\text{合成标准不确定度 } u_c = \sqrt{0.057^2 + 0.006^2} = 0.058 \text{ dB}$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,扩展不确定度 $U = k \times u_c = 2 \times 0.058 = 0.12 \text{ dB}$ 。

C.2 电压驻波比不确定度评定

使用矢量网络分析仪测量功分器的电压驻波比。

以使用 N5227A 矢量网络分析仪校准功分器 11636C 输入端口 10GHz 电压驻波比为例进行不确定度评定。

C.2.1 不确定度来源

- (1) 矢量网络分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 u_1 ；
 (2) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 u_2 。

C.2.2 标准不确定度评定

- (1) 矢量网络分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 u_1

根据矢量网络分析仪的溯源证书，其电压驻波比测量不确定度为 0.03 ($k=2$)。计算可得标准不确定度为 $u_1=0.015$ 。

- (2) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 u_2

使用矢量网络分析仪测量电压驻波比，频率 10GHz，重复测量 10 次，测量结果见表 C.2 所示。

表 C.2 电压驻波比重复性测量结果

测量次数	电压驻波比
1	1.10
2	1.10
3	1.10
4	1.10
5	1.09
6	1.10
7	1.10
8	1.10
9	1.10
10	1.09

经计算，重复性引入的不确定度 $u_2=0.004$

C.2.3 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则

$$\text{合成标准不确定度 } u_c = \sqrt{0.015^2 + 0.004^2} = 0.016$$

C.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = k \times u_c = 2 \times 0.016 = 0.03$ 。

C.3 反射互调不确定度评定

使用无源互调测试仪测量功分器的反射互调。

以使用 PIA-F11J01 无源互调测试仪校准功分器 AW.APD24200N GSM-900 频段反射互调为例进行不确定度评定。

C.3.1 不确定度来源

- (1) 无源互调测试仪测量不准确引入的标准不确定度分量 u_1 ；
 (2) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 u_2 。

C.3.2 标准不确定度评定

- (1) 无源互调测试仪测量不准确引入的标准不确定度分量 u_1

根据无源互调测试仪的溯源证书，其反射互调测量不确定度为 2.0dB ($k=2$)。计算可得标准不确定度为 $u_1=1.0\text{dB}$ 。

- (2) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 u_2

使用无源互调测试仪测量 GSM-900 频段反射互调，重复测量 10 次，测量结果见表 C.3 所示。

表 C.3 反射互调重复性测量结果

测量次数	反射互调 (dBc)
------	------------

1	-131.4
2	-130.9
3	-131.7
4	-131.3
5	-130.6
6	-130.2
7	-131.1
8	-130.5
9	-131.7
10	-131.2

经计算，重复性引入的不确定度 $u_2=0.51\text{dB}$

C.3.3 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则

合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{1.0^2+0.51^2}=1.12\text{ dB}$

C.3.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U=k\times u_c=2\times 1.12=2.2\text{ dB}$ 。
