

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）075-2024

射频与微波环行器校准规范

Calibration Specification for RF & Microwave Circulators

（报批稿）

2024-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

射频与微波环行器校准规范

Calibration Specification for RF & Microwave
Circulators

JJF（通信）075-2024

归口单位：中国信息通信研究院

主要起草单位：中国信息通信研究院

参加起草单位：无锡市计量测试院

本规范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）

孙景禄（中国信息通信研究院）

袁修华（中国信息通信研究院）

参加起草人：

李家奇（中国信息通信研究院）

张顺成（中国信息通信研究院）

姚安江（中国信息通信研究院）

严海东（无锡市计量测试院）

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	(2)
5 校准项目和校准方法	(2)
5.1 外观检查	(2)
5.2 标准器预热	(2)
5.3 插入损耗	(2)
5.4 隔离度	(3)
5.5 电压驻波比	(3)
6 校准结果表达	(4)
7 复校时间间隔	(5)
附录 A 原始记录推荐格式	(6)
附录 B 校准证书内页推荐格式	(7)
附录 C 不确定度评定示例	(8)
附录 D 磁场、电场干扰检查	(10)

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。

本规范为首次发布。

射频与微波环行器校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 9kHz~50GHz 射频与微波环行器的校准，其他频率范围的射频与微波环行器可参照执行。

2 概述

射频与微波环行器(以下简称环行器)是一种利用铁磁效应的无源多端口单向传输器件，其工作原理是由于铁氧体材料在恒定直流磁场作用下产生的旋磁效应，在外加高频电磁场和恒定直流磁场的共同作用下，铁氧体材料表现出旋磁特性，这种旋磁特性导致在铁氧体中传播的电磁波发生极化旋转和电磁波能量的强烈吸收。环行器的主要功能是控制射频信号的方向，允许信号在一个方向上从一个端口传输到下一个端口，同时阻止反向传输。环行器广泛应用于微波通信、卫星通信、微波信号测量等领域。

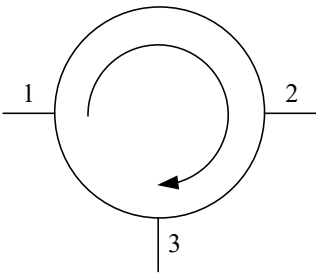


图1 环行器信号流图

3 计量特性

3.1 插入损耗： $\leq 3.0\text{dB}$

测量不确定度： $(0.10\sim 0.60)\text{ dB}$ ($k=2$)

3.2 隔离度： $\geq 10\text{dB}$

测量不确定度： $(0.10\sim 0.80)\text{ dB}$ ($k=2$)

3.3 电压驻波比

测量范围： $1.0\sim 3.0$

测量不确定度： $0.03\sim 0.08$ ($k=2$)

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： $\leq 80\%$

- 4.1.3 供电电源：(220±11)V、(50±1)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：9kHz~50GHz
- 动态范围：≥80 dB
- 传输衰减测量不确定度：(0.06~0.30) dB (k=2)
- 电压驻波比测量不确定度：0.02~0.05 (k=2)
- 4.2.2 匹配负载
- 频率范围：9kHz~50GHz
- 驻波比：≤1.3
- 特性阻抗：50Ω

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	插入损耗
2	隔离度
3	电压驻波比

- 5.1 外观检查
- 被校环行器外观应完好无损，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 标准器预热
- 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。
- 5.3 插入损耗

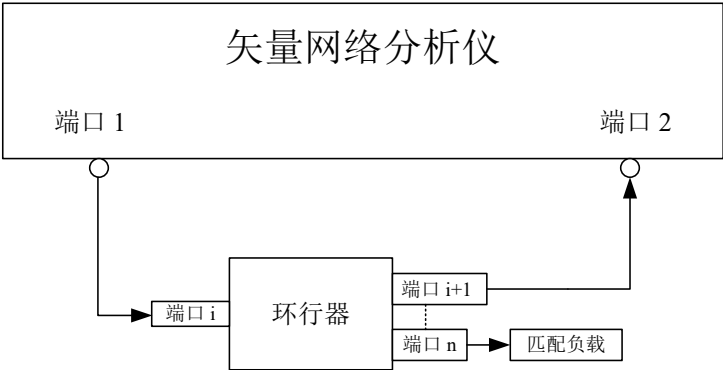


图 1 插入损耗校准框图

- 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，进行全二端口校准。
- b) 按图 1 连接仪器，将环行器的端口 i 接到矢量网络分析仪端口 1 上，端口 $i+1$ 接到矢量网络分析仪端口 2 上 ($i=1, \dots, n-1$)，其他端口连接匹配负载。
- c) 矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{21} ，读取各频点的插入损耗值，记录于附录 A 表 A.2 中。
- d) 按照通路顺序，更换端口，重复步骤 b)~步骤 c)，完成其他端口插入损耗的校准。
- e) 将环行器的端口 n 接到矢量网络分析仪端口 1 上，将环行器的端口 1 接到矢量网络分析仪端口 2 上，其他端口连接匹配负载。矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{21} ，读取各频点的插入损耗值，记录于附录 A 表 A.2 中。

5.4 隔离度

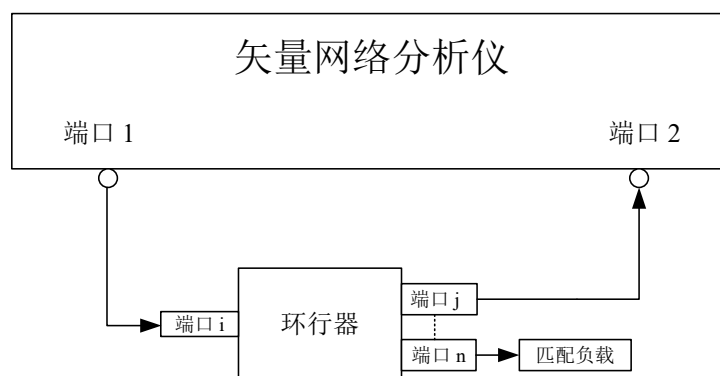


图 2 隔离度校准框图

- 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，进行全二端口校准。
- b) 按图 2 连接仪器，将环行器的端口 i 接到矢量网络分析仪端口 1 上，端口 j 接到矢量网络分析仪端口 2 上 ($i=1, \dots, n-1$; $j=1, \dots, n$; $j \neq i$ 且 $j \neq i+1$)，其他端口连接匹配负载。
- c) 矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{21} ，读取各频点的隔离度，记录于附录 A 表 A.3 中。
- d) 更换不同端口的组合，重复步骤 b)~步骤 c)，完成其他端口隔离度的校准。
- e) 将环行器的端口 n 接到矢量网络分析仪端口 1 上，将环行器的端口 j ($j \neq 1$ 且 $j \neq n$) 接到矢量网络分析仪端口 2 上，其他端口连接匹配负载。矢量网络分析仪设置为传输模式 S_{21} ，读取各频点的隔离度，记录于附录 A 表 A.3 中。

5.5 电压驻波比

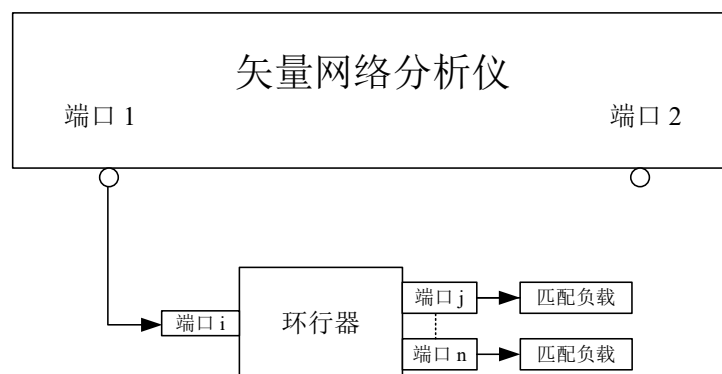


图3 电压驻波比校准框图

- 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，进行单端口校准。
- 按图3连接仪器，将环行器的端口*i*接到矢量网络分析仪端口1上（ $i=1, \dots, n$ ），其他端口连接匹配负载。
- 矢量网络分析仪设置为反射模式 S_{11} ，读取各频点的电压驻波比，记录于附录A表A.4中。
- 更换端口，重复步骤b)~步骤c)，完成其他端口电压驻波比的校准。

6 校准结果表达

环行器校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 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；
- 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；
- 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- 校准环境的描述；
- 校准结果及其测量不确定度的说明；
- 对校准规范的偏离的说明；
- 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- 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 外观检查

检查项目	检查结果
外观检查	

表 A.2 插入损耗

频率（MHz）	实测值（dB）			扩展不确定度（dB）（ $k=2$ ）
	端口 1→2	端口 2→3	...	

表 A.3 隔离度

频率（MHz）	实测值（dB）			扩展不确定度（dB）（ $k=2$ ）
	端口 1→3	端口 2→1	...	

表 A.4 电压驻波比

频率（MHz）	实测值			扩展不确定度（ $k=2$ ）
	端口 1	端口 2	...	

附录 B

校准证书内页推荐格式

表 B.1 插入损耗

频率（MHz）	实测值（dB）			扩展不确定度 （dB）（ $k=2$ ）
	端口 1→2	端口 2→3	...	

表 B.2 隔离度

频率（MHz）	实测值（dB）			扩展不确定度 （dB）（ $k=2$ ）
	端口 1→3	端口 2→1	...	

表 B.3 电压驻波比

频率（MHz）	实测值			扩展不确定度 （ $k=2$ ）
	端口 1	端口 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环行器的插入损耗。

校准环行器 D4C0810N 端口 1 到端口 2 的在 0.8 GHz 频率下的插入损耗为例，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准确性引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 失配引入的不确定度分量 u_3 。

C.1.2 标准不确定度评定

- (1) 矢量网络分析仪测量准确性引入的不确定度分量 u_1

根据矢量网络分析仪 N5227A 的技术指标，使用 N4694A 完成校准后，其传输衰减测量最大允许误差为±0.059 dB。按均匀分布，包含因子 $k_1=\sqrt{3}$ ，计算可得 $u_1=0.034$ dB。

- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

使用矢量网络分析仪测量插入损耗，频率 0.8 GHz，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

测量结果 dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
	0.12	0.15	0.16	0.19	0.16	0.17	0.18	0.20	0.15	0.14	0.16

经计算， $u_2=0.024$ dB。

- (3) 失配引入的不确定度分量 u_3

根据矢量网络分析仪 N5227A 的技术指标，其完成校准后，端口方向性为 41dB，失配影响较小，可忽略不计。

不确定度分量汇总见表 C.2。

表 C.2 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 k	标准不确定度 u/dB
矢量网络分析仪测量准确性	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.034
测量重复性	A 类	/	/	0.024

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

合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{0.034^2 + 0.024^2} = 0.04$ dB

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U=k \times u_c = 2 \times 0.04 = 0.08 \text{ dB}$ 。

C.2 电压驻波比不确定度评定

使用矢量网络分析仪测量环行器的电压驻波比。

以使用 N5227A 矢量网络分析仪校准环行器 D4C0810N 端口 1 的 0.8GHz 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准确性引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.2.2 标准不确定度评定

- (1) 矢量网络分析仪测量准确性引入的不确定度分量 u_1

根据矢量网络分析仪的溯源证书，在 0.8 GHz 频率下的电压驻波比测量不确定度为 0.02 ($k=2$)。计算可得 $u_1=0.01$ 。

- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

使用矢量网络分析仪测量电压驻波比，频率 0.8 GHz，重复测量 10 次，测量结果见表 C.3 所示。

表 C.3 电压驻波比重复性测量结果

测量结果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
	1.20	1.19	1.21	1.20	1.21	1.22	1.21	1.21	1.20	1.23	1.21

经计算， $u_2=0.011$ 。

不确定度分量汇总见表 C.4。

表 C.4 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 k	标准不确定度 u
矢量网络分析仪测量准确性	B 类	正态	2	0.01
测量重复性	A 类	/	/	0.011

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

$$\text{合成标准不确定度 } u_c = \sqrt{0.01^2 + 0.011^2} = 0.015$$

C.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U=k \times u_c = 2 \times 0.015 = 0.03$ 。

附录 D

磁场、电场干扰检查

D.1 校准用设备

D.1.1 磁场发生装置

频率：50Hz
磁场强度：(0.1±0.01) μT

D.1.2 电场发生装置

频率：1GHz
电场强度：(12±1.2) V/m

D.2 校准方法

D.2.1 磁场干扰检查

由磁场发生装置产生 50Hz 0.1μT 的磁场，将被测环形器放入该磁场环境中，等待 5 分钟，之后将被测环形器取出，按照 5.4 测试其隔离度。若隔离度的变化量小于 1dB，则该项磁场干扰检查通过。

D.2.2 电场干扰检查

由电场发生装置产生 1GHz 12V/m 的电场，将被测环形器放入该电场环境中，等待 5 分钟，之后将被测环形器取出，按照 5.4 测试其隔离度。若隔离度的变化量小于 1dB，则该项电场干扰检查通过。

D.3 原始记录推荐格式

表 D.1 磁场干扰检查

频率（MHz）	干扰前隔离度 实测值（dB） 端口 1→3	干扰后隔离度 实测值（dB） 端口 1→3	隔离度变化量（dB）	检查结果
频率（MHz）	干扰前隔离度 实测值（dB） 端口 2→1	干扰后隔离度 实测值（dB） 端口 2→1	隔离度变化量（dB）	检查结果
频率（MHz）	干扰前隔离度 实测值（dB） ...	干扰后隔离度 实测值（dB） ...	隔离度变化量（dB）	检查结果

表 D.2 电场干扰检查

频率（MHz）	干扰前隔离度 实测值（dB） 端口 1→3	干扰后隔离度 实测值（dB） 端口 1→3	隔离度变化量(dB)	检查结果
频率（MHz）	干扰前隔离度 实测值（dB） 端口 2→1	干扰后隔离度 实测值（dB） 端口 2→1	隔离度变化量(dB)	检查结果
频率（MHz）	干扰前隔离度 实测值（dB） ...	干扰后隔离度 实测值（dB） ...	隔离度变化量(dB)	检查结果

D.4 校准证书内页推荐格式

表 D.3 磁场干扰检查

检查项目	检查结果
磁场干扰检查	

表 D.4 电场干扰检查

检查项目	检查结果
电场干扰检查	

D.5 电场发生装置推荐结构

D.5.1 镜面单锥

镜面单锥是由 1 个作为地的镜面圆板和 1 个单圆锥头组成，其结构是由无线双锥传输线演变而来。其核心结构是一个向上开口的圆锥底部链接一个镜面板。其具体核心结构如图 D.1。

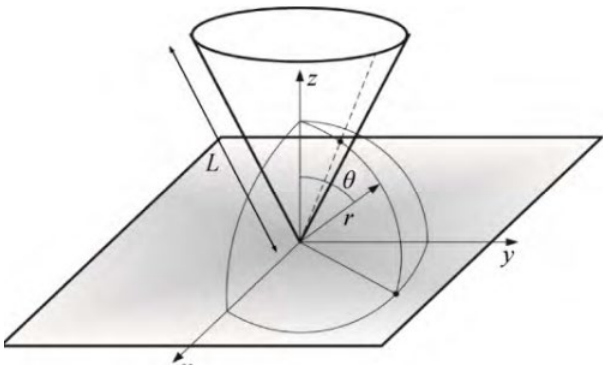


图 D.1 镜面单锥天线构造图

单锥镜面板：直径： $\Phi=2000\text{ mm}$ ；中间 SMA 法兰安装预留口： $\Phi=10\text{ mm}$ 圆孔；镜面

板粗糙度 Ra: 1.6; 半锥角 θ_h 为 47° 时镜面单锥 TEM 室的特征阻抗为 $50\ \Omega$ 。

同时, 单锥镜面板的水平及上下位置将会对单锥的偏移程度产生影响。在实际装配过程中, 锥体轴线与镜面板可能无法完全垂直。对锥体偏移不同角度下镜面单锥 TEM 小室内电场的变化进行仿真的结果显示, 定义正偏角为球坐标系下 θ 的正方向, 负偏角为 θ 的负方向, 轴线的垂直度影响较大, 当偏移 2° 时, 电场峰值偏差达到 6%。因此, 轴线的垂直度需要严格保持垂直, 这对于自动控制调节结构的调节能力是一个考验。

激励源可采用连续波信号发生器。在镜面单锥斜边长度 0.5 米对应的正下方, 放置被测环形器。设置信号发生器输出频率为 1GHz, 功率为 26.6dBm, 此时镜面单锥在 0.5 米处正下方产生的电场强度为 12V/m。

D.5.2 GTEM

可通过信号发生器（功率不足可增加功率放大器），GTEM 小室，电场探头组成电场发生装置。将电场探头放置在 GTEM 小室中，设置信号发生器频率为 1GHz，调节功率使电场探头显示为 12V/m 即可。
