

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF1\*\*\*-201\*

无源互调  
测试仪校准规范

Calibration Specification for Passive Intermodulation Analyzer

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 无源互调 测试仪校准规范

JJF 1\*\*\*-201\*

Calibration Specification for Passive  
Intermodulation Analyzer

本规范经国家质量监督检验检疫总局于××××年××月××日批准，并自××××年××月××日起施行。

**归口单位：**全国无线电计量技术委员会

**起草单位：**上海市计量测试技术研究院

本规范由全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

詹志强 （上海市计量测试技术研究院）

黄玉琿 （上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

于 磊 （上海市计量测试技术研究院）

季 青 （江苏省计量科学研究院）

陆福敏 （上海市计量测试技术研究院）

## 目 录

1 范围.....	( 1 )
2 引用文献.....	( 1 )
3 术语和定义.....	( 1 )
4 概述.....	( 1 )
5 计量特性.....	( 2 )
5.1 输出频率.....	( 2 )
5.2 输出功率.....	( 2 )
5.3 无源互调测量.....	( 2 )
6 校准条件.....	( 2 )
6.1 环境条件.....	( 2 )
6.2 校准所用计量标准、仪表设备.....	( 2 )
7 校准项目和校准方法.....	( 3 )
7.1 外观及工作正常性检查.....	( 3 )
7.2 输出频率.....	( 3 )
7.3 输出功率.....	( 5 )
7.4 接收机平均噪声电平.....	( 6 )
7.5 剩余无源互调.....	( 7 )
7.6 无源互调测量.....	( 7 )
8 校准结果表达.....	( 8 )
9 复校时间间隔.....	( 8 )
附录 A 校准记录格式.....	( 9 )
附录 B 主要项目校准结果不确定度评定实例.....	( 12 )

# 无线局域网测试仪校准规范

## 1 范围

本校准规范适用于对新制造、购进、使用中和修理调整后的满足无源互调测试仪的校准。

## 2 引用文献

GB/T 21021-2007/IEC 62037:1999 射频连接器、连接器电缆组件和电缆互调电平测量。

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

## 3 术语和定义

### 3.1 无源互调

无源互调是数字通信中无源大功率器件的一个重要参数；顾名思义，无源互调是两个或者以上的信号经过无源器件比如合路器、耦合腔、天线、馈线、定向耦合器等无源器件所产生的互调分量。无源互调分为 3 阶、5 阶、7 阶等，但主要是 3 阶无源互调影响最大。

无源互调主要是由于连接端面机械连接的不可靠，所使用的材料具有磁滞特性，污损的接触面等原因造成不同频率的信号在不同材料连接处非线性混频，产生不同幅度的互调产物，而这些互调失真信号就成为通信频带中的干扰信号，使系统的信噪比下降，严重时将影响通信系统的容量和通信信号的质量。因此，对于发射通道中所使用无源器件，比如合路器或耦合腔、天线、馈线、定向耦合器等器件的无源互调测量将是非常重要，测量无源互调所采用的测试仪器为无源互调测试仪，无源互调包括反射无源互调和传输无源互调。

## 4 概述

无源互调测试仪主要由两台射频合成信号源、两个衰减器、两个功率放大器、耦合器、双工器和数字接收机组成。测试时，两个射频信号发生器输出的射频信号通过可变衰减器后进入到功率放大器，经过一个低无源互调耦合器将此两路信号合为一路，再通过一个低无源互调定向耦合器输出。无源互调测试仪具有两个端口，一个为反射端口用于测量器件的反射无源互调，一个为通过端口用于测量器件的通过无源互调。

## 5 计量特性

### 5.1 输出频率

#### 5.1.1 频率范围

通信标准	发送频率范围	接收频率范围
NADC/AMPS	(869~894) MHz	(825~849) MHz
GSM	(935~960) MHz	(890~915) MHz
DCS1800	(1805~1880) MHz	(1710~1785) MHz
PCS1900	(1930~1990) MHz	(1850~1910) MHz
WCDMA/CDMA2000	(2110~2170) MHz	(1920~2060) MHz

删除的内容: -

TD-SCDMA		
WLAN	(2400~2483.5) MHz	(2305~2336.5MHz
WiMAX/UMTS2 /BRS-EBS	(2620~2690)MHz	(2545~2580)MHz
Wireless IP/wimax	(3510~3594) MHz	(3410~3484) MHz
EGSM	(925~960) MHz	(880~915) MHz

5.1.2 输出频率最大允许误差： $\pm 5 \times 10^{-6}$

## 5.2 输出功率

输出功率范围：(30~43) dBm，定制的无源互调测试仪最大输出功率可达48dBm。

输出功率最大允许误差： $\pm 0.35$ dB

## 5.3 无源互调测量

### 5.3.1 频率范围

通信标准	发送频率范围	接收频率范围
NADC/AMPS	(869~894) MHz	(825~849) MHz
GSM	(935~960) MHz	(890~915) MHz
DCS1800	(1805~1880) MHz	(1710~1785) MHz
PCS1900	(1930~1990) MHz	(1850~1910) MHz
WCDMA/CDMA2000 TD-SCDMA	(2110~2170) MHz	(1920~2060) MHz
WLAN	(2400~2483.5) MHz	(2305~2336.5MHz
WiMAX/UMTS2 /BRS-EBS	(2620~2690)MHz	(2545~2580)MHz
Wireless IP/wimax	(3510~3594) MHz	(3410~3484) MHz
EGSM	(925~960) MHz	(880~915) MHz

5.3.2 无源互调测试仪平均显示噪声电平：小于-140dBm。

5.3.3 剩余无源互调（三阶，输入功率 $2 \times 43$ dBm）：

传输剩余无源互调：小于-165dBc

反射剩余无源互调：小于-168dBc

5.3.4 无源互调测量最大允许误差：

1)  $\pm 1$ dB/(-65~-120) dBm

2)  $\pm 2$ dB/(-120~-140) dBm

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$

6.1.2 环境湿度： $\leq 80\%$

6.1.3 电源电压及频率： $198\text{V} \sim 232\text{V}$ ， $48\text{Hz} \sim 52\text{Hz}$

6.1.4 周围无强电磁场干扰及无影响校准系统正常工作的机械振动。

### 6.2 校准所用计量标准、仪表设备

#### 6.2.1 功率计及功率探头

频率范围： $10\text{MHz} \sim 6\text{GHz}$

连续波功率测量范围： $-60\text{dBm} \sim 20\text{dBm}$

调制功率测量范围：-30dBm~20dBm

参考功率测量最大允许误差：±2%

功率测量线性：±3%

#### 6.2.2 频率计数器

频率范围：10Hz~6GHz

频率计数最大允许误差：±1×10<sup>-7</sup>

#### 6.2.3 信号发生器

频率范围：10MHz~6GHz，频率最大允许误差：±1×10<sup>-7</sup>

输出功率电平范围：-130dBm~0dBm

功率电平最大允许误差：±1.0dB

电平输出线性度：±0.10dB

#### 6.2.4 频谱分析仪

频率范围：10kHz~18GHz，内部时基最大允许误差：±1×10<sup>-7</sup>

电平测量范围：(30~-130) dBm

电平测量线性：±0.14dB

#### 6.2.5 衰减器

频率范围：500MHz~6GHz，最大允许输入功率：60W

衰减值：30dB

输入输出端口驻波系数：小于 1.2

## 7 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	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	输出频率
3	输出功率
4	接收机本底噪声
5	剩余无源互调
6	无源互调测量

### 7.1 外观及工作正常性检查

7.1.1 无源互调测试仪应有说明书及全部配套附件。

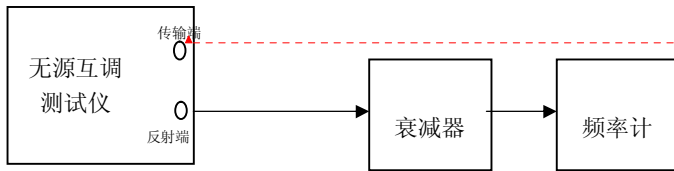
7.1.2 无源互调测试仪各开关、按键等应安装牢固，调节正常；仪表不应有影响电气性能的机械损伤。前向和反向测量的接头端面应无损坏，无松动，螺纹纹路正常，内外芯无污损，内芯之间接触良好。

7.1.3 校准之前，仪器应按照仪器说明书要求预热。

### 7.2 输出频率

7.2.1 两个信号发生器输出功率可以独自打开及关闭。

1) 仪器连接如图 1 所示。



带格式的: 字体: 小六

图1 信号发生器输出频率（两个信号发生器输出功率可以独自打开或关闭）

2) 设定无源互调测试仪第一个射频信号发生器输出信号，第二个信号发生器不输出信号，设定第一个射频信号发生器的输出功率设定为 30dBm 或最小输出值，设定频率为仪器的频率下限  $f_1$ 。

3) 将无源互调测试仪的输出使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接到衰减器，频率计数器频率分辨率设置为 1Hz 或者将闸门时间设定为 1s，测量频率实际值，并记录于附录 A 表 A.1 中。

3) 根据附录 A 表 A.1 中的频率设置改变信号发生器输出频率，重复步骤 2) 至步骤 3)，直至最高频率。

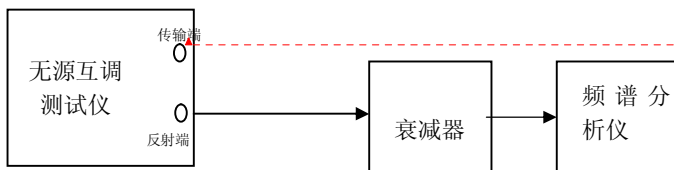
4) 设定无源互调测试仪第二个射频信号发生器输出，第一个信号发生器不输出信号；设定第二个射频信号发生器的输出功率设定为 30dBm 或最小输出值，设定频率为仪器的频率下限  $f_1$ 。

5) 将衰减器的输出连接到频率计数器，频率计数器频率分辨率设置为 1Hz 或者将闸门时间设定为 1s，测量频率实际值，并记录于附录 A 表 A.1 中。

6) 根据附录 A 表 A.1 中的频率设置改变信号发生器输出频率，重复步骤 4) 至步骤 5)，直至最高频率。

#### 7.2.2 两个信号发生器的输出功率不可以独自打开及关闭。

1) 仪器连接如图 2 所示。



带格式的: 字体: 小六

图2 信号发生器输出频率（两个信号发生器输出功率不可以独自打开或关闭）

2) 设定无源互调测试仪两个射频信号发生器的输出功率各为 30dBm 或最小输出值，第一个射频信号发生器的设定频率为仪器的频率下限  $f_1$ 。

3) 将无源互调测试仪的输出使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接到衰减器，将衰减器的输出连接至频谱分析仪，频谱分析仪的中心频率设定为  $f_1$ ，扫描宽度为 10kHz，参考电平为 20dBm，其余自动，使用频谱分析仪的峰值（peak）测量功能测量信号频率，并记录于附录 A 表 A.1 中。

3) 根据附录 A 表 A.1 中的频率设置改变信号发生器输出频率，重复步骤 2) 至步骤 3)，直至最高频率。

4) 设定第二个射频信号发生器的输出频率为仪器的频率上限  $f_2$ 。

5) 设定频谱分析仪的中心频率为  $f_2$ 、扫描宽度为 10kHz、参考电平为 20dBm、其它自动，使用频谱分析仪的峰值（peak）测量功能测量频率实际值，并记录于附录 A 表 A.1 中。

6) 根据附录 A 表 A.1 中的频率设置改变信号发生器输出频率, 重复步骤 4) 至步骤 5), 直至最高频率。

### 7.3 输出功率

7.3.1 两个信号发生器输出功率可以独自打开及关闭。

1) 仪器连接如图 3 所示。

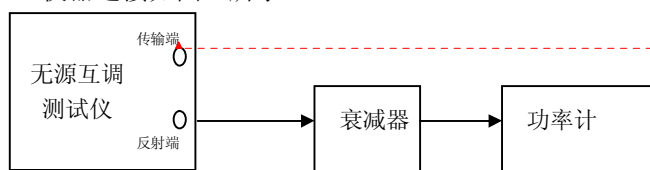


图 3 输出功率

2) 使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接无源互调输出端与衰减器, 设定无源互调测试仪第一个射频信号发生器输出信号, 关闭第二个信号发生器输出; 设定第一个射频信号发生器的频率为频率下限  $f_1$ , 设定输出功率为 30dBm 或最小输出值。

3) 根据测试功率的频率值设定功率计的校准因子, 读取功率计的指示值, 并记录于附录 A 表 A.2 中。

4) 根据附录 A 表 A.2 中的功率设置值改变无源互调测试仪第一个射频信号发生器输出功率值, 重复步骤 2) ~3), 直至最高输出功率。

5) 改变第一个射频信号发生器的输出频率, 重复步骤 2) ~4)。

6) 设定无源互调测试仪第二个射频信号发生器输出信号, 关闭第一个信号发生器输出; 设定第二个射频信号发生器的频率为频率下限  $f_1$ , 设定输出功率为 30dBm 或最小输出值。

7) 根据测试功率的频率值设定功率计的校准因子, 读取功率计的指示值, 并记录于附录 A 表 A.2 中。

8) 根据附录 A 表 A.2 中的功率设置值改变无源互调测试仪第二个射频信号发生器输出功率值, 重复步骤 6) ~7), 直至最高输出功率。

9) 改变第二个射频信号发生器的输出频率, 重复步骤 6) ~8)。

7.3.2 两个信号发生器输出功率不可以独自打开及关闭。

1) 仪器首先连接如图 3 所示。

2) 使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接无源互调输出端与衰减器, 设定无源互调测试仪第一个射频信号发生器频率为频率下限  $f_1$ , 设定输出功率为 30dBm 或最小输出值, 设定无源互调测试仪第二个射频信号发生器输出信号为上限  $f_2$ , 设定输出功率同样为 30dBm 或最小输出值。

3) 设定功率计的校准因子, 读取功率计的指示值, 此值为 A (dBm)。

4) 根据附录 A 表 A.3 中的功率设置值改变无源互调测试仪输出功率值, 重复步骤 2) ~3), 直至最高输出功率值。

5) 仪器连接如图 2 所示

6) 将无源互调测试仪的输出使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接到衰减器, 设定频谱分析仪的中心频率为  $f_1$ , 扫描宽度为 10kHz, 参考电平为 20dBm, 其余自动, 使用频谱分析仪的峰值测量功能读取, 再使用标记差 (Delta marker); 将频谱分析仪的中心频率设定为  $f_2$ , 再使用频谱分析仪的峰值测量功能读取取值差值

B。

7) 根据式 (1) 计算频率  $f_1$  的输出功率值

$$A_1 = A - 10 \lg(1 + 10^{\frac{B}{10}}) \quad (1)$$

式 (1) 中

 $A_1$  为频率  $f_1$  的功率值, 单位为 dBm。 $A$  为使用功率计测量功率的功率值, 单位为 dBm。 $B$  为频率  $f_2$  与频率  $f_1$  功率差, 单位为 dB8) 根据式 (2) 计算频率  $f_2$  的输出功率值

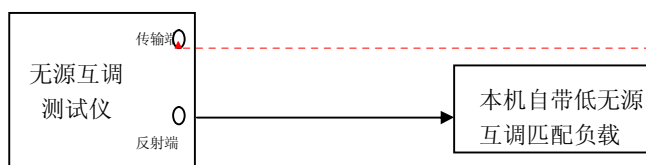
$$A_2 = A_1 + B \quad (2)$$

式 (2) 中

 $A_2$  为频率  $f_2$  的功率值, 单位为 dBm。 $A_1$  为频率  $f_1$  的功率值, 单位为 dBm。 $B$  为频率  $f_2$  与频率  $f_1$  功率差, 单位为 dB

#### 7.4 接收机平均噪声电平

1) 仪器连接如图 3 所示。



带格式的: 字体: 小六

图 3 平均噪声电平

2) 将无源互调测试仪的输出使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接到本机自带低无源互调匹配负载, 无源互调测试仪设定为扫频测试, 关闭两路信号的输出, 设定无源互调测试仪所能测量的频率下限  $f_L$  和频率上限  $f_H$  (即全量程范围),

3) 从无源互调测试仪上读出其所显示的平均噪声电平, 平均噪声电平包括反射无源互调测量时的平均噪声电平和传输无源互调测量时的平均噪声电平, 将结果记录于附录 A 表 A.3 中, 如果仪器支持曲线保存功能保存此曲线。

#### 7.5 剩余无源互调

##### 7.5.1 剩余反射无源互调

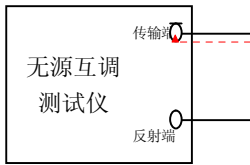
1) 仪器连接如图 3 所示, 使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接反射测试端口和本机自带的低无源互调匹配负载。

2) 无源互调测试仪设定为扫频测试, 设定无源互调测试仪所能测量的频率下限  $f_L$  和频率上限  $f_H$  (即全量程范围), 打开两路信号的输出, 设定两路信号的输出功率均为 43dBm,

3) 从无源互调测试仪上读出剩余反射无源互调, 并将结果记录于附录 A 表 A.4 中, 如果仪器支持曲线保存功能就保存此曲线。

##### 7.5.2 剩余传输无源互调

1) 仪器连接如图 4 所示, 使用厂家随仪器配置的低无源互调测试电缆连接无源互调的反射测试端口与传输测试端口。



带格式的: 字体: 小六

图4 剩余传输无源互调

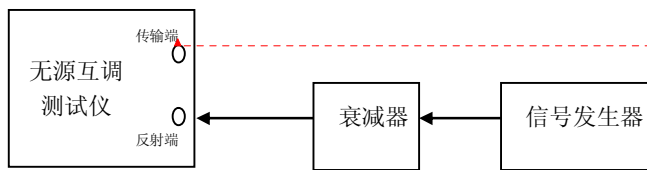
2) 无源互调测试仪设定为扫频测试, 设定无源互调测试仪所能测量的频率下限  $f_L$  和频率上限  $f_H$  (即全量程范围), 打开两路信号的输出, 设定两路信号输出功率均为 43dBm,

3) 从无源互调测试仪上读出三阶剩余传输无源互调, 并将结果记录于附录 A 表 A.4 中, 如果仪器支持曲线保存功能就保存此曲线。

## 7.6 无源互调测量

### 7.6.1 反射无源互调测量

1) 仪表连接如图 5 所示。



带格式的: 字体: 小六

图5 反射无源互调测量

2) 关闭无源互调测试仪的两路功率输出。

3) 信号发生器的输出接至衰减器后的电缆输出端的输出功率首先通过测量接收机进行校准。

3) 将信号发生器的输出功率设定为-30dBm, 此时衰减器输出端的输出功率就为-60dBm。

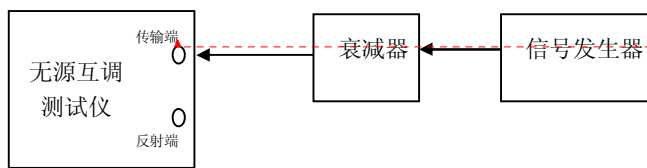
4) 将无源互调测试仪设定于扫频测量, 扫频范围为无源互调测试仪的频率下限和频率上限。

5) 设定好信号发生器的输出频率为  $f_L$ ,  $f_L$  为接收频率范围中频率之一, 从无源互调测试仪中读取无源互调测试值, 将结果记录于附录 A 表 A.5 中。

6) 设定信号发生器的输出频率为附录 A 表 A.5 中其它数值重复步骤 5)。

### 7.6.2 传输无源互调测量

1) 仪表连接如图 6 所示。



带格式的: 字体: 小六

图6 传输无源互调测量

- 2) 关闭无源互调测试仪的两路功率输出。
- 3) 信号发生器的输出接至衰减器后的电缆输出端的输出功率首先通过测量接收机进行校准。
  - 3) 将信号发生器的输出功率设定为-30dBm，则衰减器输出端的输出功率就为-60dBm。
  - 4) 将无源互调测试仪设定于扫频测量，扫频范围为无源互调测试仪的频率下限和频率上限。
  - 5) 设定好信号发生器的输出频率为  $f_L$ ，从无源互调测试仪中读取无源互调测试值，将结果记录于附录 A 表 A.6 中。
  - 6) 设定信号发生器的输出频率为附录 A 表 A.6 中其它数值重复步骤 5)。

## 8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少包括以下信息。

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 校准证书的唯一性标识（如证书编号），每页及总页数的标识；
- d) 送校单位的名称和地址；
- e) 被校仪器的描述和明确标识（如证书编号），每页及总页数的标识；
- f) 校准日期
- g) 校准依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- k) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- l) 校准结果仅对被校仪器有效的声明；
- m) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

## 9 复校时间间隔

校准时间间隔由用户根据使用情况自行确定，但推荐为 1 年。

## 附录 A 校准记录格式

该记录表格以某型号的无源互调测试仪校准要求为参考，给出的频率校准电平校准点以及误差限值，不同型号的无源互调测试仪应根据其性能测试手册和技术指标采用相应的值。

### 校准记录格式

表 A.1 输出频率

信号发生器	标称值/ MHz	实际值/ MHz
1	$f_1$	
2	$f_2$	

表 A.2 输出功率

信号发生器	频率	标称值/ dBm	实际值/ dBm
1	$f_1$	30	
		33	
		35	
		40	
		41	
		42	
		43	
	最大值		
.....		30	

		33	
		35	
		40	
		41	
		42	
		43	
		最大值	
		2	.....
33			
35			
40			
41			
42			
43			
最大值			
$f_2$	30		
	33		
	35		
	40		
	41		
	42		
	43		
	最大值		

表 A.3 接收机平均噪声电平

类型	频率	平均噪声电平 (dBm)
反射模式	$f_L$	
	$f_H$	
	最大值	
传输模式	$f_L$	
	$f_H$	
	最大值	

表 A.4 剩余无源互调

类型	频率	剩余无源互调 (dBm)
反射模式	$f_L$	
	$f_H$	
	最大值	
传输模式	$f_L$	
	$f_H$	
	最大值	

表 A.5 无源互调测量

频率	标准值 (dBm)	指示值 (dBm)
$f_L$	-65	
	-70	
	-80	
	-90	
	-100	
	-110	
	-120	
	-130	
	-140	
$f_H$	-65	
	-70	
	-80	
	-90	
	-100	
	-110	
	-120	
	-130	
	-140	

## 附录 B

## 主要项目校准结果不确定度评定实例

## B1 输出频率测量不确定度

## B1.1 不确定度来源

- 1) 频率计频率测量误差引入的标准不确定度  $u_{11}$
- 2) 频率计显示分辨力引入的标准不确定度  $u_{12}$

## B1.2 不确定度分析

- 1) 频率计频率测量误差引入的不确定度  $u_{11}$   
频率计的最大测量误差为  $\pm 1 \times 10^{-7}$ , 即  $a_{11} = 1 \times 10^{-7}$ ,

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布,  $k_{11} = \sqrt{3}$

$$\text{标准不确定度 } u_{11} = a_{11} / k_{11} = 1 \times 10^{-7} / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-8}$$

- 2) 频率计显示分辨力引入的标准不确定度  $u_{12}$   
频率计显示分辨力为  $5 \times 10^{-9}$ , 即  $a_{12} = 5 \times 10^{-9}$ , 设测量值落在该区间内的概率分布

为均匀分布,  $k_{12} = \sqrt{3}$

标准不确定度

$$u_{12} = a_{12} / k_{12} = 5 \times 10^{-9} / \sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-9}$$

## B1.3 不确定合成

以上各分量之间独立不相关,  
合成标准不确定度:

$$u_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_{1i}^2} = 5.8 \times 10^{-8}$$

扩展不确定度

包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U_1$  为:

$$U_1 = k \cdot u_1 = 2 \times 5.8 \times 10^{-8} = 1.2 \times 10^{-7}$$

## B2 输出功率测量不确定度

## B2.1 不确定度来源

不确定度来源如下:

- 1) 功率计参考功率电平最大允许误差引入的标准不确定度  $u_{21}$
- 2) 功率计线性误差引入的标准不确定度  $u_{22}$
- 3) 功率计校准过程的失配误差引入的标准不确定度  $u_{23}$
- 4) 30dB 衰减器衰减值测量误差引入的标准不确定度  $u_{24}$

5) 连接及读数重复性引入的标准不确定度  $u_{25}$

## B2.2 不确定度分析

1) 功率计参考功率电平最大允许误差引入的标准不确定度  $u_{21}$

功率计参考功率电平误差为 $\pm 2\%$ , 转化成 dB 表示为 0.09dB,

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k_{21}=\sqrt{3}$

标准不确定度  $u_{21}=0.06\text{dB}$

2) 功率计误差引入的标准不确定度  $u_{22}$

功率计误差为 $\pm 3\%$ , 转换为 dB 表示为 0.13dB 则

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k_{22}=\sqrt{3}$

标准不确定度  $u_{22}=0.08\text{dB}$

3) 功率计校准过程的失配误差引入的标准不确定度  $u_{23}$

功率计输入端电压驻波比  $\leq 1.1$

衰减器输出端电压驻波比  $\leq 1.2$

失配误差极限用下式估计:

$$\Delta_p = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_S| |\Gamma_U|$$

式中,  $\Delta_p$  为失配误差极限值

$\Gamma_S$  为被测输出端反射系数

$\Gamma_U$  为功率计输入端反射系数

根据仪表的技术指标得到:

$$|\Gamma_S| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$|\Gamma_U| = (1.1-1) / (1.1+1) = 0.05$$

$$\Delta_p = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_S| |\Gamma_U| = 0.09\text{dB}$$

所以  $a_{23}=0.04\text{dB}$ , 在该区间内的概率分布为反正弦分布,  $k_{23}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{23}=a_{23}/k_{23}=0.03\text{dB}$$

4) 衰减器衰减不确定度  $a_{24}$

根据衰减器校准证书, 其校准不确定度为 0.1dB, 即  $a_{24}=0.1\text{dB}$ , 包含因子为 2。

因此,  $u_{24}=0.05\text{dB}$

4) 经过试验, 校准过程中的连接及读数重复性引入的标准不确定度  $u_{25}$

$$u_{25}=0.03\text{dB}$$

## B2.3 不确定度合成

1) 不确定度分量综合表

表 B.1 输出功率测量不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					标准不确定度符号及数值 (dB)
	不确定度来源	类型	符号及数值 (dB)	分布	包含因子	
1	功率计参考电平误差	B	$a_{21}=0.09$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{21}=0.06$
2	功率计线性误差	B	$a_{22}=0.13$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{22}=0.08$
3	功率计测量失配误差	B	$a_{23}=0.04$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{23}=0.03$
4	连接及读数重复性	A	/	/	/	$u_{24}=0.03$

5	衰减器衰减不确定度	B	$a_{25}=0.1$	上级标准	2	$u_{25}=0.05$
---	-----------	---	--------------	------	---	---------------

各分量独立不相关

2) 合成标准不确定度

$$u_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_{2i}^2} = 0.12 \text{dB}$$

3) 扩展不确定度

包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  为:

$$U_2 = k \cdot u_2 = 2 \times 0.12 = 0.24 \text{dB}$$

B3 无源互调测量测量不确定度

B3.1 不确定度来源

- 1) 信号发生器输出功率校准引入的标准不确定度  $u_{31}$
- 2) 30dB 衰减器衰减校准引入的标准不确定度  $u_{32}$
- 3) 校准过程的连接及读数重复性引入的标准不确定度  $u_{33}$
- 4) 信号发生器输出端与 30dB 衰减器间失配误差引入的标准不确定度  $u_{34}$
- 5) 30dB 衰减器输出端与被校无源互调测试仪间失配误差引入的标准不确定度  $u_{35}$

B3.2 不确定度分析

- 1) 信号发生器输出功率校准引入的标准不确定度  $u_{31}$

根据信号发生器校准证书, 其测量不确定度为 0.2dB, 即  $a_{31}=0.2\text{dB}$ , 包含因子为 2,

$$u_{31} = 0.2/2 = 0.1 \text{dB}$$

- 2) 30dB 衰减器衰减校准引入的标准不确定度  $u_{32}$

根据衰减器校准证书, 其测量不确定度为 0.1dB, 即  $a_{32}=0.1\text{dB}$ , 包含因子为 2。

因此,  $u_{32}=0.1/2=0.05\text{dB}$

- 3) 校准过程的连接及读数重复性引入的标准不确定度  $u_{33}$

经过实验得到

$$u_{33} = 0.05 \text{dB}$$

- 4) 信号发生器输出端与 30dB 衰减器间失配误差引入的标准不确定度  $u_{34}$

信号放大器输出端口驻波系数为 1.2, 30dB 衰减器的端口驻波系数为 1.2。

失配误差极限用下式估计:

$$\Delta_{p1} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S1}| |\Gamma_{U2}|$$

式中,  $\Delta_{p1}$  为失配误差极限值

$\Gamma_{S1}$  为信号发生器输出端口反射系数

$\Gamma_{U1}$  为 30dB 衰减器输入端反射系数

$$|\Gamma_{S1}| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$|\Gamma_{U1}| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$\Delta_{p1} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S1}| |\Gamma_{U1}| \text{ (dB)}$$

所以  $a_{34}=0.07\text{dB}$ , 设测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布,  $k_{34}=\sqrt{2}$ 。

$$U_{34} = a_{34}/k_{34} = 0.05 \text{dB}$$

- 6) 30dB 衰减器输出端与被校无源互调测试仪间失配误差引入的标准不确定度  $u_{35}$

30dB 衰减器输出端的驻波系数为 1.2, 无源互调测试仪输入端的驻波系数为 1.2。

失配误差极限用下式估计：

$$\Delta_{p2} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S2}| |\Gamma_{U2}|$$

式中， $\Delta_{p2}$  为失配误差极限值

$\Gamma_{S2}$  为 30dB 衰减器输出端反射系数

$\Gamma_{U2}$  为无源互调测试仪输入端反射系数

$$|\Gamma_{S7}| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$|\Gamma_{U7}| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$\Delta_{p7} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S7}| |\Gamma_{U7}| \text{ (dB)}$$

所以  $a_{35} = 0.07 \text{ dB}$ ，设测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布，

$$k_{35} = \sqrt{2}$$

$$u_{35} = a_{35} / k_{35} = 0.05 \text{ dB}$$

### B9.3 不确定度合成

#### 1) 不确定度分量综合表

**表 B.5 0dBm~23dBm 中功率电平测量不确定度分量综合表**

序号	不确定度分量					
	不确定度来源	类型	符号及数值 (dB)	分布	包含 因子	标准不确定度符 号及数值 (dB)
1	信号发生器输出 功率校准	B	$a_{31} = 0.2$	上级标准	2	$u_{31} = 0.1$
2	30dB 衰减器衰减 值校准	B	$a_{32} = 0.1$	上级标准	2	$u_{32} = 0.05$
3	校准过程的连接 及读数重复性	A	/	/	/	$u_{33} = 0.05$
4	信号发生器输出 端与 30dB 衰减器 间失配误差	B	$a_{34} = 0.07$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{34} = 0.05$
5	30dB 衰减器输出 端与被校无源互 调测试仪间失配 误差	B	$a_{35} = 0.07$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{35} = 0.05$

各分量独立不相关

标准测量不确定为

$$u_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_{3i}^2} = 0.14 \text{ dB}$$

包含因子取  $k=2$ ，扩展不确定度  $U_3 = 0.3 \text{ dB}$ 。