

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1931—2021

---

## 信号发生器校准规范

Calibration Specification for Signal Generators



2021-10-18 发布

2022-04-18 实施

---

国家市场监督管理总局 发布

# 信号发生器校准规范

Calibration Specification for Signal Generators

JJF 1931—2021  
代替 JJG 173—2003

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：广东省计量科学研究院

航天科工集团二院 203 所

中国信息通信研究院

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：**

何 昭（中国计量科学研究院）

黄见明（中国计量科学研究院）

朱建刚（上海市计量测试技术研究院）

**参加起草人：**

朱思捷（广东省计量科学研究院）

张子龙（中国计量科学研究院）

徐宝利（航天科工集团二院 203 所）

孙景祿（中国信息通信研究院）



## 目 录

引言 .....	( III )
1 范围 .....	( 1 )
2 概述 .....	( 1 )
3 计量特性 .....	( 1 )
3.1 频率 .....	( 1 )
3.2 功率 .....	( 1 )
3.3 频谱纯度参数 .....	( 1 )
3.4 模拟调制参数 .....	( 1 )
3.5 脉冲调制参数 .....	( 2 )
3.6 内调制发生器参数 .....	( 2 )
4 校准条件 .....	( 2 )
4.1 环境条件 .....	( 2 )
4.2 校准用设备 .....	( 2 )
5 校准项目和校准方法 .....	( 3 )
5.1 外观及工作正常性检查 .....	( 4 )
5.2 频率 .....	( 4 )
5.3 功率 .....	( 4 )
5.4 载波剩余调幅 .....	( 4 )
5.5 载波剩余调频 .....	( 5 )
5.6 谐波 .....	( 5 )
5.7 非谐波 .....	( 5 )
5.8 单边带相位噪声 .....	( 5 )
5.9 调幅深度 .....	( 6 )
5.10 调频频偏 .....	( 6 )
5.11 调相相偏 .....	( 7 )
5.12 调制解调失真 .....	( 7 )
5.13 幅度调制下的伴随调频 .....	( 7 )
5.14 频率调制下的伴随调幅 .....	( 7 )
5.15 脉冲调制通/断比 .....	( 8 )
5.16 脉冲调制上升/下降时间 .....	( 8 )
5.17 内调制发生器频率 .....	( 8 )
5.18 内调制发生器幅度 .....	( 9 )
6 校准结果表达 .....	( 9 )

7 复校时间间隔 .....	( 9 )
附录 A 原始记录参考格式 .....	(10)
附录 B 校准证书内页格式 .....	(18)
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例 .....	(26)



## 引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范是对 JJG 173—2003《信号发生器检定规程》进行修订，与 JJG 173—2003 相比，主要修订的内容包括：

- 编写格式符合 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》的要求；
- 检定规程改成校准规范；
- 频率范围由 5 kHz~40 GHz 修改为 5 kHz~50 GHz；内调制发生器频率范围由 0.01 Hz~100 kHz 修改为 10 Hz~200 kHz；
- 删除内部晶体振荡器项目，删除最大输出电平项目；
- 将绝对电平准确度和相对电平准确度统一为功率。

本规程历次版本发布情况为：

- JJG 173—1986、JJG 174—1985、JJG 324—1983、JJG 325—1983、JJG 339—1983、JJG 438—1986；
- JJG 173—2003。



# 信号发生器校准规范

## 1 范围

本规范适用于频率范围为 5 kHz~50 GHz 信号发生器的校准，其他频率范围的信号发生器可参照执行。

## 2 概述

信号发生器包括高频信号发生器、射频信号发生器、微波信号发生器、毫米波信号发生器、合成信号发生器等，主要由晶体振荡器、频率合成单元、电平控制单元、调制单元等组成。其基本功能是提供正弦波信号及其调制波信号，广泛应用于生产、科研、计量等部门。

## 3 计量特性

### 3.1 频率

范围：5 kHz~50 GHz，最大允许误差： $\pm(1\times 10^{-5}\sim 1\times 10^{-10})$ 。

### 3.2 功率

a) 范围：-130 dBm~30 dBm (5 kHz~18 GHz)，最大允许误差： $\pm(0.5\text{ dB}\sim 2\text{ dB})$ ；

b) 范围：-120 dBm~30 dBm (18 GHz~26.5 GHz)，最大允许误差： $\pm(0.5\text{ dB}\sim 2\text{ dB})$ ；

c) 范围：-110 dBm~30 dBm (26.5 GHz~50 GHz)，最大允许误差： $\pm(0.5\text{ dB}\sim 2\text{ dB})$ 。

### 3.3 频谱纯度参数

- a) 载波剩余调幅；
- b) 载波剩余调频；
- c) 谐波；
- d) 非谐波；
- e) 单边带相位噪声。

### 3.4 模拟调制参数

#### 3.4.1 幅度调制

调幅深度：5%~99%，最大允许误差： $\pm(3\%\sim 20\%)$ 。

#### 3.4.2 频率调制

频偏： $(0\sim 500)\text{ kHz}$ ，最大允许误差： $\pm(3\%\sim 20\%)$ 。

#### 3.4.3 相位调制

相偏： $(0\sim 500)\text{ rad}$ ，最大允许误差： $\pm(5\%\sim 20\%)$ 。

- 3.4.4 调制解调失真。
  - 3.4.5 幅度调制下的伴随调频。
  - 3.4.6 频率调制下的伴随调幅。
  - 3.5 脉冲调制参数
    - a) 脉冲调制通/断比；
    - b) 脉冲调制上升/下降时间。
  - 3.6 内调制发生器参数
    - a) 内调制发生器频率：10 Hz～200 kHz，最大允许误差： $\pm(1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-10})$ ；
    - b) 内调制发生器幅度（正弦波）：100 mV～10 V，最大允许误差： $\pm 1\%$ 。
- 注：以上技术指标不用于合格性判定，仅提供参考。

## 4 校准条件

### 4.1 环境条件

- 4.1.1 环境温度： $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。
- 4.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ 。
- 4.1.3 电源电压及频率： $(220 \pm 11) \text{ V}$ 、 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ 。
- 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 频率计

频率测量范围：应覆盖被校信号发生器输出信号的频率范围，最大允许误差： $\pm(1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^{-11})$ 。

#### 4.2.2 功率计

频率范围：应覆盖被校信号发生器输出信号的频率范围；

功率测量范围： $-20 \text{ dBm} \sim 30 \text{ dBm}$ ；不确定度： $0.15 \text{ dB} \sim 0.65 \text{ dB}$  ( $k=2$ )。

#### 4.2.3 测量接收机

频率范围：应覆盖被校信号发生器输出信号的频率范围；

功率测量范围： $-130 \text{ dBm} \sim 0 \text{ dBm}$ ；不确定度： $0.15 \text{ dB} \sim 0.65 \text{ dB}$  ( $k=2$ )；

调幅深度测量范围： $5\% \sim 99\%$ ，最大允许误差： $\pm(1\% \sim 6\%)$ ；

频偏测量范围： $(0 \sim 500) \text{ kHz}$ ，最大允许误差： $\pm(1\% \sim 6\%)$ ；

相偏测量范围： $(0 \sim 500) \text{ rad}$ ，最大允许误差： $\pm(1.5\% \sim 6\%)$ 。

#### 4.2.4 失真度测量仪

失真度测量范围： $(0.01\% \sim 30\%)$ ，最大允许误差： $\pm(1 \sim 2) \text{ dB}$ 。

#### 4.2.5 频谱分析仪

频率范围：应覆盖被校信号的频率范围；

电平测量动态范围： $\geq 110 \text{ dB}$ ，最大允许误差： $\pm(1 \sim 3) \text{ dB}$ 。

#### 4.2.6 相位噪声测量仪（相位噪声测量系统）

频率范围：应覆盖被校信号的频率范围；

本底噪声：优于被校信号发生器相位噪声 6 dB 以上；

相位噪声测量最大允许误差： $\pm(1\sim3)$  dB。

#### 4.2.7 函数发生器（脉冲信号源）

频率范围：10 kHz~10 MHz；

脉冲宽度：50 ns~50  $\mu$ s；

直流电压：(0~+5) V；

脉冲幅度：(0~+5) V。

#### 4.2.8 数字示波器

频带宽度：应覆盖被校信号的频率范围。

#### 4.2.9 数字多用表

频率范围：10 Hz~200 kHz；

电压测量范围：10 mV~10 V；电压测量最大允许误差： $\pm 0.3\%$ 。

### 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	项目名称
1	频率
2	功率
频谱纯度参数	
3	载波剩余调幅
4	载波剩余调频
5	谐波
6	非谐波
7	单边带相位噪声
模拟调制参数	
8	调幅深度
9	调频频偏
10	调相相偏
11	调制解调失真
12	幅度调制下的伴随调频
13	频率调制下的伴随调幅
脉冲调制参数	
14	脉冲调制通/断比

表 1 (续)

序号	项目名称
15	脉冲调制上升/下降时间
内调制发生器参数	
16	内调制发生器频率
17	内调制发生器幅度

### 5.1 外观及工作正常性检查

被校信号发生器外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，其开关、按键、旋钮应牢固且调节正常，显示屏能正常显示。

被校信号发生器通电后，应能正常工作，并按规定时间进行预热。

### 5.2 频率

a) 仪器连接如图 1 所示。



图 1 频率校准框图

b) 被校信号发生器选择载波输出，调节输出功率为适当值，从最低到最高改变载波频率，用频率计测量频率值，记录于附录 A 表 A.1 中。

### 5.3 功率

a) 仪器连接如图 2 所示。



图 2 功率校准框图

b) 被校信号发生器选择载波输出，按频率范围选择输出频率。

c) 按要求设置被校信号发生器的输出功率，用功率计或测量接收机测量功率值，记录于附录 A 表 A.2 中。

### 5.4 载波剩余调幅

a) 仪器连接如图 3 所示。

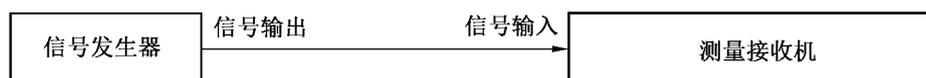


图 3 载波剩余调幅和载波剩余调频校准框图

b) 被校信号发生器选择载波输出，按要求设置被校信号发生器的输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率点，按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为有效值检波），用测量接收机测量载波剩余调幅，记录于附录 A 表 A.3 中。

### 5.5 载波剩余调频

a) 仪器连接如图 3 所示。

b) 被校信号发生器选择载波输出，按要求设置被校信号发生器的输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率点，按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为有效值检波），用测量接收机测量载波剩余调频，记录于附录 A 表 A.4 中。

### 5.6 谐波

a) 仪器连接如图 4 所示。

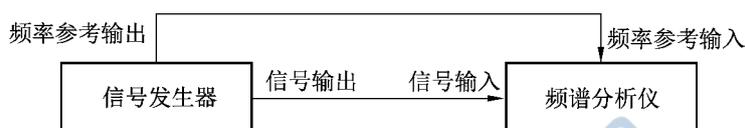


图 4 谐波、非谐波校准框图

b) 被校信号发生器选择载波输出，按要求设置被校信号发生器的输出功率（无要求时，输出功率设为尽可能大的适当值）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率点，用频谱分析仪测量二次谐波与基波间的相对电平值，记录于附录 A 表 A.5 a) 中；测量三次谐波与基波间的相对电平值，记录于附录 A 表 A.5 b) 中；测量分谐波（二分之一次谐波、三分之一次谐波、三分之二次谐波等）与基波间的相对电平值，记录于附录 A 表 A.5 c) 中。

### 5.7 非谐波

a) 仪器连接如图 4 所示。

b) 被校信号发生器选择载波输出，按要求设置被校信号发生器的输出功率（无要求时，输出功率设为尽可能大的适当值）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率点，用频谱分析仪测出偏离载波（偏离载波的频率值为技术说明书规定值）的最大非谐波与基波间的相对电平值，记录于附录 A 表 A.6 中。

### 5.8 单边带相位噪声

#### 5.8.1 相位噪声测量仪（相位噪声测量系统）法

a) 仪器连接如图 5 所示。

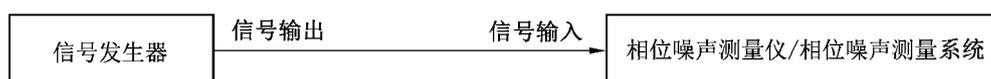


图 5 相位噪声测量仪校准单边带相位噪声框图

b) 被校信号发生器选择载波输出，按要求设置被校信号发生器的输出功率（无要求时，输出功率设为尽可能大的适当值）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率点，用相位噪声测量仪（相位噪声测量系统）测量按规定偏离载波频率处的单边带相位噪声，记录于附录 A 表 A.7 中。

## 5.8.2 频谱仪法

a) 仪器连接如图 6 所示。



图 6 频谱仪校准单边带相位噪声框图

b) 被校信号发生器选择载波输出，按要求设置被校信号发生器的输出功率（无要求时，输出功率设为尽可能大的适当值）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率点，用频谱仪测量载波功率  $P_c$  和按规定偏离载波频率  $\Delta f$  处的边带功率  $P_m$ 。

d) 按公式 (1) 计算单边带相位噪声，记录于附录 A 表 A.7 中。

$$\mathcal{L}(f) = P_m - P_c - 10\lg B_n + C \quad (1)$$

式中：

$\mathcal{L}(f)$  —— 单边带相位噪声，dBc/Hz；

$P_m$  —— 边带功率，dBm；

$P_c$  —— 载波功率，dBm；

$B_n$  —— 频谱分析仪的等效噪声带宽，Hz；

$C$  —— 频谱分析仪测量随机噪声的修正值，dB。

## 5.9 调幅深度

a) 仪器连接如图 7 所示。



图 7 调幅深度、频偏、相偏校准框图

b) 被校信号发生器选择调幅波输出，按要求设置被校信号发生器输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率、调制频率（常用调制频率为 1 kHz）和调幅深度（无要求时，调幅深度常用设置为 30%、60%、90%）。

d) 按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为二分之一峰峰值检波），用测量接收机测量调幅深度，记录于附录 A 表 A.8 中。

## 5.10 调频频偏

a) 仪器连接如图 7 所示。

b) 被校信号发生器选择调频波输出，按要求设置被校信号发生器输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率、调制频率（常用调制频率为 1 kHz）和调频频偏（无要求时，调频频偏常设置为 10 kHz、75 kHz、500 kHz）。

d) 按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为二分之一峰峰值检波），用测量接收机测量调频频偏，记录于附录 A 表 A.9 中。

## 5.11 调相相偏

a) 仪器连接如图 7 所示。

b) 被校信号发生器选择调相波输出，按要求设置被校信号发生器输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 按要求设置被校信号发生器频率、调制频率（常用调制频率为 1 kHz）和调相相偏（无要求时，调相相偏常用设置为 5 rad、10 rad、500 rad）。

d) 按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为二分之一峰峰值检波。），用测量接收机测量调相相偏，记录于附录 A 表 A.10 中。

## 5.12 调制解调失真

a) 仪器连接如图 8 所示。

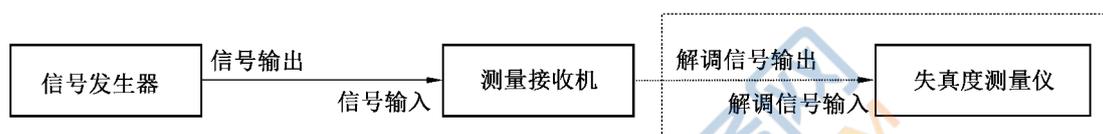


图 8 调制解调失真校准框图

b) 被校信号发生器选择调制波输出，按要求设置被校信号发生器频率、输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）和调制波参数（调制方式、调制频率、调幅深度 \ 调频频偏 \ 调相相偏）。

c) 按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式，用失真度测量仪测量调制解调失真，记录于附录 A 表 A.11 中。

## 5.13 幅度调制下的伴随调频

a) 仪器连接如图 9 所示。

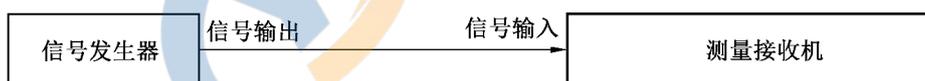


图 9 幅度调制下的伴随调频、频率调制下的伴随调幅校准框图

b) 被校信号发生器选择调幅波输出，按要求设置被校信号发生器频率、输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）和调幅波参数（调制频率、调幅深度）。

c) 按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为正峰值检波），用测量接收机测量调频，记录于附录 A 表 A.12 中。

## 5.14 频率调制下的伴随调幅

a) 仪器连接如图 9 所示。

b) 被校信号发生器选择调频波输出，按要求设置被校信号发生器频率、输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）和调频波参数（调制频率、调频频偏）。

c) 按要求设置测量接收机测量带宽和检波方式（常用测量带宽为 50 Hz~15 kHz 或 300 Hz~3 kHz，检波方式为正峰值检波），用测量接收机测量调幅，记录于附录 A 表 A.13 中。

## 5.15 脉冲调制通/断比

a) 仪器连接如图 10 所示。

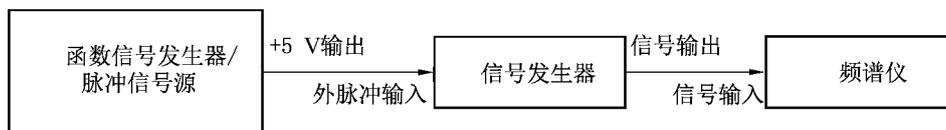


图 10 脉冲调制通/断比较准框图

b) 被校信号发生器选择外脉冲调制，按要求设置被校信号发生器频率和输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 设置函数发生器（脉冲信号源）输出 +5 V 直流电压，用频谱仪测量功率  $P_{on}$ ，关闭函数发生器（脉冲信号源）输出或输出 0 V，用频谱仪测量功率  $P_{off}$ 。

d) 按公式 (2) 计算脉冲调制通/断比，记录于附录 A 表 A.14 中。

$$\text{ratio}_{on/off} = P_{on} - P_{off} \quad (2)$$

式中：

$\text{ratio}_{on/off}$ ——脉冲调制通/断比，dB；

$P_{on}$ ——脉冲调制通时功率，dBm；

$P_{off}$ ——脉冲调制断时功率，dBm。

## 5.16 脉冲调制上升/下降时间

a) 仪器连接如图 11 所示。

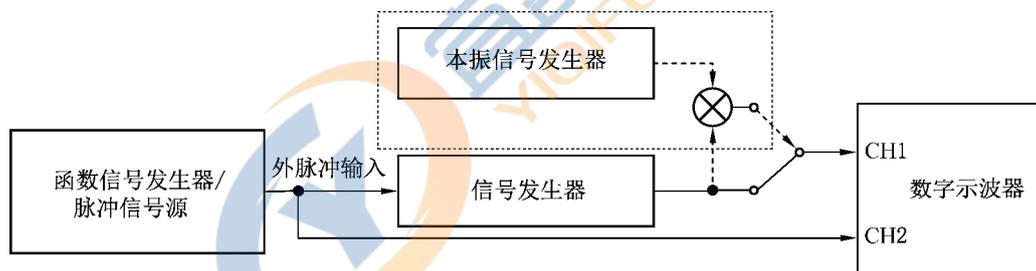


图 11 脉冲调制上升/下降时间校准框图

b) 被校信号发生器选择外脉冲调制，按要求设置被校信号发生器频率和输出功率（无要求时，输出功率设为 0 dBm）。

c) 按要求设置函数发生器（脉冲信号源）输出（无要求时，输出频率为 10 kHz 或 100 kHz，幅度为 +5V 的方波信号）。

d) 数字示波器选 CH2 通道触发，在 CH1 通道测量信号幅度从 10% 上升到 90% 的时间为上升时间，从 90% 下降到 10% 的时间为下降时间，记录于附录 A 表 A.15 中。

## 5.17 内调制发生器频率

a) 仪器连接如图 12 所示。

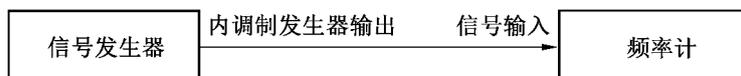


图 12 内调制发生器频率校准框图

b) 设置内调制发生器为正弦波输出，电压为适当值（常用为 1 V）；按要求设置内调制发生器频率，用频率计测量频率值，记录于附录 A 表 A.16 中。

## 5.18 内调制发生器幅度

a) 仪器连接如图 13 所示。

b) 设置内调制发生器为正弦波输出，按要求设置内调制发生器频率和幅度，用数字多用表交流电压测量幅度值，记录于附录 A 表 A.17 中。

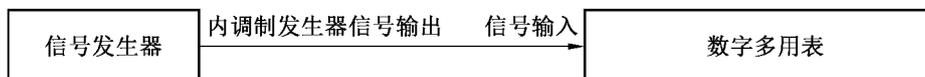


图 13 内调制发生器幅度校准框图

## 6 校准结果表达

信号发生器校准后，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) 校准证书及校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 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

信号发生器复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。

## 附录 A

## 原始记录参考格式

表 A.1 频率

标称值	实测值
...	
...	
...	
...	
...	

表 A.2 功率

频率	标称值/dBm	实测值/dBm
...	...	
	0	
	-10	
	-20	
	...	
	-130	
...	...	
	0	
	-10	
	-20	
	...	
	-120	
...	...	
	0	
	-10	
	-20	
	...	
	-110	
...		
...		

表 A.3 载波剩余调幅

带宽	载波频率	剩余调幅
…	…	
…	…	
…	…	

表 A.4 载波剩余调频

带宽	载波频率/MHz	剩余调频
…	…	
…	…	
…	…	

表 A.5 谐波

## a) 二次谐波

载波功率：

载波频率	二次谐波/dBc
…	
…	
…	
…	

## b) 三次谐波

载波功率：

载波频率	三次谐波/dBc
…	
…	
…	
…	

## c) 分谐波

载波功率：

载波频率	分谐波/dBc			
	1/2 次	1/3 次	2/3 次	...
...				
...				
...				
...				

表 A.6 非谐波

载波功率：

载波频率	偏移频率	非谐波/dBc
...	...	
...	...	
...	...	
...	...	
...	...	
...	...	

表 A.7 单边带相位噪声

载波功率：

载波频率	偏移频率	单边带相位噪声/(dBc/Hz)
...	...	
	...	
	...	
...	...	
	...	
	...	
...	...	
	...	
	...	

表 A.8 调幅深度

载波频率	调制频率	带宽	标称值	实测值		
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...	...	
				...	...	
				...	...	
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...	...	
				...	...	
				...	...	
...	...	...	...			
	...	...	...			
	...	...	...			
...	...	...	...			

表 A.9 调频频偏

载波频率	调制频率	带宽	标称值	实测值		
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...	...	
				...	...	
				...	...	
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...	...	
				...	...	
				...	...	
...	...	...	...			
	...	...	...			
	...	...	...			
...	...	...	...			

表 A.10 调相相偏

载波频率	调制频率	带宽	标称值	实测值		
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...	...	
				...	...	
				...	...	
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...	...	
				...	...	
				...	...	
...	...	...	...			
	...	...	...			
	...	...	...			
...	...	...	...			

表 A.11 调制解调失真

幅度调制			
载波频率	调制频率	调幅深度	调制解调失真
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	

表 A.11 (续)

幅度调制			
载波频率	调制频率	调幅深度	调制解调失真
...	...	...	
频率调制			
载波频率	调制频率	调频频偏	调制解调失真
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	
相位调制			
载波频率	调制频率	调相相偏	调制解调失真
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	
...	...	...	

表 A.12 幅度调制下的伴随调频

载波频率	调制频率	调幅深度	测量带宽	伴随调频
...	...	...	...	
...	...	...	...	
...	...	...	...	
...	...	...	...	
...	...	...	...	

表 A.13 频率调制下的伴随调幅

载波频率	调制频率	频偏	测量带宽	伴随调幅
...	...	...	...	
...	...	...	...	
...	...	...	...	
...	...	...	...	
...	...	...	...	

表 A.14 脉冲调制通/断比

载波频率	脉冲调制通/断比/dB
...	
...	
...	
...	
...	

表 A.15 脉冲调制上升/下降时间

载波频率	脉冲调制上升时间	脉冲调制下降时间
...		
...		
...		
...		
...		

表 A.16 内调制信号发生器频率

标称值	实测值
...	
...	
...	

表 A.17 内调制信号发生器幅度

频率	标称值	实测值
...	...	
...	...	
...	...	

## 附录 B

## 校准证书内页格式

表 B.1 频率

标称值	实测值	不确定度( $k=2$ )
...		
...		
...		
...		
...		

表 B.2 功率

频率	标称值/dBm	实测值/dBm	不确定度( $k=2$ )
...	...		
	0		
	-10		
	-20		
	...		
	-130		
...	...		
	0		
	-10		
	-20		
	...		
	-120		
...	...		
	0		
	-10		
	-20		
	...		
	-110		
...			
...			

表 B.3 载波剩余调幅

带宽	载波频率	剩余调幅	不确定度( $k=2$ )
...	...		
...	...		
...	...		

表 B.4 载波剩余调频

带宽	载波频率	剩余调频	不确定度( $k=2$ )
...	...		
...	...		
...	...		

表 B.5 谐波

## a) 二次谐波

载波功率:

载波频率	二次谐波/dBc	不确定度( $k=2$ )
...		
...		
...		
...		

## b) 三次谐波

载波功率:

载波频率	三次谐波/dBc	不确定度( $k=2$ )
...		
...		
...		
...		

## c) 分谐波

载波功率：

载频频率	分谐波/dBc				不确定度( $k=2$ )
	1/2 次	1/3 次	2/3 次	...	
...					
...					
...					
...					

表 B.6 非谐波

载波功率：

载频频率	偏移频率	非谐波/dBc	不确定度( $k=2$ )
...	...		
...	...		
...	...		
...	...		
...	...		
...	...		

表 B.7 单边带相位噪声

载波功率：

载波频率	偏移频率	单边带相位噪声/(dBc/Hz)	不确定度( $k=2$ )
...	...		
	...		
	...		
...	...		
	...		
	...		
...	...		
	...		
	...		

表 B.8 调幅深度

载波频率	调制频率	带宽	标称值	实测值	不确定度( $k=2$ )	
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...		...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...		...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...		...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			

表 B.9 调频频偏

载波频率	调制频率	带宽	标称值	实测值	不确定度( $k=2$ )	
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...		
	...		...			
	...		...			
	...	...	...	...		
...			...			
...			...			
...		...	...	...		
			...	...		
			...	...		
			...	...		
		...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...	...	...	...			
	...	...	...			
	...	...	...			
...	...	...	...			

表 B.10 调相相偏

载波频率	调制频率	带宽	标称值	实测值	不确定度( $k=2$ )	
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
	...	...	...	...		
			...	...		
			...	...		
...	...	...	...			
		...	...			
		...	...			
...	...	...	...			

表 B.11 调制解调失真

幅度调制				
载波频率	调制频率	调幅深度	调制解调失真	不确定度( $k=2$ )
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		

表 B.11 (续)

频率调制				
载波频率	调制频率	调频频偏	调制解调失真	不确定度( $k=2$ )
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
相位调制				
载波频率	调制频率	调相相偏	调制解调失真	不确定度( $k=2$ )
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		
...	...	...		

表 B.12 幅度调制下的伴随调频

载波频率	调制频率	调幅深度	测量带宽	伴随调频	不确定度( $k=2$ )
...	...	...	...		
...	...	...	...		
...	...	...	...		
...	...	...	...		
...	...	...	...		

表 B.13 频率调制下的伴随调幅

载波频率	调制频率	频偏	测量带宽	伴随调幅	不确定度( $k=2$ )
...	...	...	...		
...	...	...	...		
...	...	...	...		
...	...	...	...		
...	...	...	...		

表 B.14 脉冲调制通/断比

载波频率	脉冲调制通/断比/dB	不确定度( $k=2$ )
...		
...		
...		
...		
...		

表 B.15 脉冲调制上升/下降时间

载波频率	脉冲调制上升时间	脉冲调制下降时间	不确定度( $k=2$ )
...			
...			
...			
...			
...			

表 B.16 内调制信号发生器频率

标称值	实测值	不确定度( $k=2$ )
...		
...		
...		

表 B.17 内调制信号发生器幅度

频率	标称值	实测值	不确定度( $k=2$ )
...	...		
...	...		
...	...		

## 附录 C

## 主要项目校准不确定度评定示例

## C.1 频率校准不确定度评定

## C.1.1 测量方法

使用频率计直接测量被校信号发生器输出信号的频率。

以使用 PM6681R 频率计校准信号发生器 E4438C 输出的 100 MHz 信号为例进行不确定度评定。

## C.1.2 不确定度来源

不确定度来源有以下 3 项：

- (1) 由频率计计数不准引入的不确定度分量  $u_1$ ；
- (2) 由频率计分辨率引入的不确定度分量  $u_2$ ；
- (3) 重复性引入的不确定度分量  $u_3$ ；

## C.1.3 标准不确定度评定

## C.1.3.1 频率计计数不准引入的不确定度分量

对于频率计 PM6681R, 其频率准确度为  $5 \times 10^{-11}$ 。按均匀分布, 则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_1 = 2.9 \times 10^{-11}$ 。

## C.1.3.2 频率计分辨率引入的不确定度分量

对于频率计 PM6681R, 其频率测量位数为 10 位。按均匀分布, 则选取包含因子  $k_2 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_2 = 3.0 \times 10^{-11}$ 。

## C.1.3.3 重复性引入的不确定度分量

E4438C 输出 100 MHz 信号频率重复性测量结果, 见表 C.1。

表 C.1 E4438C 输出 100 MHz 信号频率重复性测量结果

测量结果 MHz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	100.000008	100.000008	100.000009	100.000008	100.000008	100.000008	100.000008	100.000009	100.000008	100.000008

经计算, 重复性引入的相对标准不确定度  $u_3 = 4.2 \times 10^{-10}$ 。

## C.1.4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关, 则

$$u_{cr} = \sqrt{(2.9 \times 10^{-11})^2 + (3.0 \times 10^{-11})^2 + (4.2 \times 10^{-10})^2} = 4.3 \times 10^{-10}$$

## C.1.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 则  $U_r = k u_{cr} = 8.6 \times 10^{-10}$ 。

## C.2 功率校准不确定度评定

## C.2.1 测量方法

信号发生器功率校准是使用功率计或测量接收机直接测量。以使用功率传感器 NRP-Z56(测量接收机 FSMR 作为指示器) 构成功率计对信号发生器 E4438C 输出的

100 MHz, 0 dBm 信号功率为例, 进行不确定度评定

### C. 2. 2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源有以下 5 项:

- (1) 功率计与信号发生器连接端口失配引入的不确定度分量  $u_1$ ;
- (2) 功率计校准因子引入的不确定度分量  $u_2$ ;
- (3) 功率计噪声引入的不确定度分量  $u_3$ ;
- (4) 功率计分辨力引入的不确定度分量  $u_4$ ;
- (5) 重复性引入的不确定度分量  $u_5$ 。

### C. 2. 3 标准不确定度评定

#### C. 2. 3. 1 功率计与信号发生器连接端口失配引入的不确定度分量

由于反射系数  $\Gamma_L$  和  $\Gamma_G$  的相角不确定, 因此在情况最差的相位组合下, 其误差为  $2\Gamma_L\Gamma_G$ 。此误差为不能修正的误差。

对于 100 MHz 频率, 功率传感器 NRP-Z56 的驻波比小于 1.1, 信号发生器 E4438C 的驻波比小于 1.5, 计算可得的最大误差为 2.00%。其分布为反正弦分布, 则标准不确定度  $u_1 = 2.00\% / \sqrt{2} = 1.42\%$ 。

#### C. 2. 3. 2 功率计校准因子引入的不确定度分量

校准因子及其不确定度由生产厂或上级计量机构校准后给出。

使用的功率传感器 NRP-Z56 校准证书上在 100 MHz 频率的不确定度为 1.5% ( $k=2$ ), 则标准不确定度  $u_2 = 1.5\% / 2 = 0.75\%$ 。

#### C. 2. 3. 3 功率计噪声引入的不确定度分量

功率计短时间(1 min)内稳定性指标, 起因于电路元件热噪声的随机起伏。在进行功率测量时, 这种起伏可能恰好使读数成为最大值或者最小值, 因此噪声一般不以百分数形式, 而是以绝对电平多少给出, 其意义就是在温度不变、电源电压不变及输入功率不变时, 在短时间内功率指示器指示值的变化。NRP-Z56 的噪声为 25 nW, 因此在测量 0 dBm 时的最大误差为  $\pm 0.003\%$ 。按均匀分布, 则标准不确定度  $u_3 = 0.003\% / \sqrt{3} = 0.002\%$ 。

#### C. 2. 3. 4 功率计分辨力引入的不确定度分量

功率计分辨力为 0.01 dB, 其一半为 0.005 dB, 按均匀分布, 则标准不确定度  $u_4 = 0.12\% / \sqrt{3} = 0.07\%$ 。

#### C. 2. 3. 5 重复性引入的不确定度分量

信号发生器输出频率为 100 MHz、功率为 0 dBm 信号, 使用功率计进行 10 ( $n=10$ ) 次测量, 测量结果见表 C. 2 所示。

表 C. 2 E4438C 输出 0 dBm 功率重复性测量结果

测量结果 dBm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	-0.03	-0.06	-0.03	-0.04	-0.05	-0.07	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02

经计算, 重复性引入的标准不确定度  $u_5 = 0.5\%$ 。

### C. 2. 4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关, 则

$$u_c = \sqrt{1.42^2 + 0.75^2 + 0.002^2 + 0.07^2 + 0.5^2} \% = 1.68\%$$

### C.2.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度  $U$  为:  $U = k \times u_c = 2 \times 1.68\% = 3.36\% = 0.15 \text{ dB}$ 。

## C.3 调幅深度校准不确定度评定

### C.3.1 测量方法

调幅深度校准是使用测量接收机直接测量。

以信号发生器输出 100 MHz, 调幅深度为 30% 的信号为例, 进行不确定度评定。

### C.3.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源有以下 4 项:

- (1) 测量接收机调制深度测量不准引入的不确定度分量  $u_{1r}$ ;
- (2) 测量接收机剩余调幅引入的不确定度分量  $u_{2r}$ ;
- (3) 测量接收机分辨力引入的不确定度分量  $u_{3r}$ ;
- (4) 测量重复性引入的不确定度分量  $u_{4r}$ 。

### C.3.3 标准不确定度评定

#### C.3.3.1 测量接收机调制深度测量不准引入的不确定度分量

根据测量接收机 FSMR 的技术指标, 其调幅深度测量最大允许误差为  $\pm 1.0\%$ 。按均匀分布, 可得标准不确定度为  $u_{1r} = 0.58\%$ 。

#### C.3.3.2 测量接收机剩余调幅引入的不确定度分量

根据测量接收机 FSMR 的技术指标, 剩余调幅小于  $0.03\%$ , 对应 30% 调幅深度, 按均匀分布, 可得标准不确定度  $u_{2r} = 0.06\%$ 。

#### C.3.3.3 测量接收机分辨力引入的不确定度分量

测量接收机 FSMR 在测量调幅深度时, 分辨力为  $0.01\%$ , 对应 30% 的调幅深度, 按均匀分布, 可得标准不确定度  $u_{3r} = 0.02\%$ 。

#### C.3.3.4 测量重复性引入的不确定度分量

使用测量接收机进行 10 次重复性测量, 测量结果见表 C.3 所示。

表 C.3 30% 调幅深度的重复性测量结果

测量结果 %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	29.58	29.56	29.57	29.57	29.56	29.57	29.58	29.58	29.56	29.58

经计算, 重复性引入的标准不确定度  $u_{4r} = 0.01\%$ 。

### C.3.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关, 则

$$u_{cr} = \sqrt{(0.58\%)^2 + (0.06\%)^2 + (0.02\%)^2 + (0.01\%)^2} \% = 0.59\%$$

### C.3.5 扩展不确定度

由于在标准不确定度分量中, 测量接收机调制深度测量不准引入的不确定度分量贡献最大, 因此在计算扩展不确定度时, 分布应按均匀分布考虑。当包含概率为 95% 时,  $k=1.65$ , 所以扩展不确定度为:

$$U_{95r} = 1.65u_{cr} = 0.98\%, \quad (k_{95} = 1.65, p = 95\%)。$$

## C.4 调频频偏校准不确定度评定

## C.4.1 测量方法

调频频偏校准是使用测量接收机直接测量。

以信号发生器输出 100 MHz, 调频频偏为 100 kHz 的信号为例, 进行不确定度评定。

## C.4.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源有以下 4 项:

- (1) 测量接收机调频频偏测量不准引入的不确定度分量  $u_{1r}$ ;
- (2) 测量接收机剩余调频引入的不确定度分量  $u_{2r}$ ;
- (3) 测量接收机分辨力引入的不确定度分量  $u_{3r}$ ;
- (4) 测量重复性引入的不确定度分量  $u_{4r}$ 。

## C.4.3 标准不确定度评定

## C.4.3.1 测量接收机调频频偏测量不准引入的不确定度分量

根据测量接收机 FSMR 的技术指标, 调频频偏测量最大允许误差为  $\pm 1\%$ 。按均匀分布, 可得标准不确定度为  $u_{1r} = 0.58\%$ 。

## C.4.3.2 测量接收机剩余调频引入的不确定度分量

根据测量接收机 FSMR 的技术指标, 剩余调频最大为 110 Hz, 对应 100 kHz 的调频频偏, 按均匀分布, 可得标准不确定度  $u_{2r} = 0.07\%$ 。

## C.4.3.3 测量接收机分辨力引入的不确定度分量

使用测量接收机 FSMR 测量 100 kHz 调频频偏时, 测量分辨力为 0.1 kHz, 按均匀分布, 可得标准不确定度  $u_{3r} = 0.03\%$ 。

## C.4.3.4 测量重复性引入的不确定度分量

使用测量接收机进行 10 次重复性测量, 测量结果见表 C.4 所示。

表 C.4 100 kHz 调频频偏的重复性测量结果

测量结果 kHz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	100.1	100.0	100.1	100.1	100.1	100.0	100.1	100.0	100.1	100.1

经计算, 重复性引入的标准不确定度  $u_{4r} = 0.05\%$ 。

## C.4.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关, 则

$$u_{cr} = \sqrt{(0.58\%)^2 + (0.07\%)^2 + (0.03\%)^2 + (0.05\%)^2} = 0.59\%$$

## C.4.5 扩展不确定度

由于在标准不确定度分量中, 测量接收机调频频偏测量不准引入的不确定度分量贡献最大, 因此在计算扩展不确定度时, 分布应按均匀分布考虑。当包含概率为 95% 时,  $k_{95} = 1.65$ , 所以扩展不确定度为:

$$U_{95r} = 1.65u_{cr} = 0.98\%, \quad (k_{95} = 1.65, p = 95\%)。$$