

# JJF

## 中华人民共和国国家计量校准规范

JJF 1396-20XX

### 频谱分析仪校准规范

Calibration Specification of Spectrum Analyzer

(征求意见稿)

××××年××月××日发布

××××年××月××日实施

国家市场监督管理总局

发布

# 频谱分析仪校准规范

Calibration Specification of Spectrum Analyzer

JJF 1396-20XX

代替:

JJF 1396-2013

**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

北京无线电计量技术研究所

**参加起草单位:** 广电计量

浙江省计量科学研究院

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：

XXX	(中国计量科学研究院)
XXX	(上海市计量测试技术研究院)
	(北京无线电计量技术研究所)

参 加 起 草 人：

XXX	(XXXX)
XXX	(XXXX)
XXX	(XXXX)

## 目 录

引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 概述 .....	1
4 计量特性 .....	1
4.1 参考频率 .....	1
4.2 校准信号 .....	1
4.3 频率读数 .....	1
4.4 扫频宽度 .....	1
4.5 分辨力带宽 .....	1
4.6 频率稳定性 .....	2
4.7 垂直显示刻度 .....	3
4.8 参考电平 .....	3
4.9 输入衰减器 .....	3
4.10 分辨力带宽转换影响 .....	3
4.11 显示平均噪声电平 .....	3
4.12 剩余响应 .....	4
4.13 镜像响应 .....	4
4.14 扫描时间 .....	4
4.15 绝对幅度 .....	4
4.16 输入频响 .....	5
4.17 二次谐波 .....	5
4.18 三阶交调 .....	5
4.19 增益压缩 .....	6
4.20 输入电压驻波比 .....	6
5 校准条件 .....	6
5.1 环境条件 .....	6
5.2 校准所用设备 .....	6
6 校准项目及校准方法 .....	8

6.1 外观及工作正常性检查 .....	8
6.2 参考频率 .....	8
6.3 校准信号电平 .....	9
6.4 频率读数 .....	10
6.5 扫频宽度 .....	10
6.6 分辨力带宽 .....	11
6.7 单边带相位噪声 .....	13
6.8 剩余调频 .....	13
6.9 垂直显示刻度 .....	14
6.10 参考电平 .....	14
6.11 输入衰减器转换影响 .....	15
6.12 分辨力带宽转换影响 .....	15
6.13 显示平均噪声电平 .....	16
6.14 剩余响应 .....	16
6.15 镜像响应 .....	17
6.16 扫描时间 .....	17
6.17 绝对幅度 .....	18
6.18 输入频响 .....	18
6.19 二次谐波 .....	18
6.20 三阶交调 .....	19
6.21 增益压缩 .....	20
6.22 输入电压驻波比 .....	21
6.23 频率计数 .....	21
6.24 功率带宽 .....	21
7 校准结果表达 .....	22
8 复校时间间隔 .....	22
附录 A 原始记录格式 .....	23
附录 B 校准证书内页格式 .....	34
附录 C 测量不确定度评定示例 .....	45

## 引言

本规范依据 JJF1071-2000《国家计量校准规范编写规则》编制，在 JJF 1396-2013《频谱分析仪校准规范》基础上进行修订。修订的主要内容为扩展了频率范围，将频率下限从 3Hz 扩展至 2Hz、将频率上限从 50GHz 扩展至 110GHz，将分辨力带宽(RBW)从 10MHz 扩展至 50MHz。修订了频率读数、频率计数的校准方法。将原参数名称“噪声边带”修改为“单边带相位噪声”，将原参数名称中带有误差的参数均去掉“误差”一词，并删除原校准规范中有关的误差计算公式。

本规范历年版本情况

JJF 1396 -2013 频谱分析仪校准规范

JJG 501-2000 频谱分析仪检定规程

# 频谱分析仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于频率范围在 2 Hz~110 GHz 频谱分析仪的校准。

## 2 引用文件

JJF1071-2000 《国家计量校准规范编写规则》

## 3 概述

频谱分析仪是一种带有显示装置的超外差接收设备,由预选器、扫描本振、混频、中放、滤波、检波、放大、显示等部分组成。主要用于频谱分析,也可用于测量频率、电平、增益、衰减、模拟调制和数字调制、失真抖动,是通信、广播、电视、雷达、宇航等技术领域不可缺少的仪器。

## 4 计量特性

### 4.1 参考频率

4.1.1 标称值: 10 MHz

4.1.2 相对最大允许误差:  $\pm (1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-8})$

### 4.2 校准信号

4.2.1 校准信号频率相对最大允许误差等于参考频率相对最大允许误差

4.2.2 校准信号电平最大允许误差:  $\pm 0.30$  dB

### 4.3 频率读数

4.3.1 范围: 2 Hz~110 GHz

4.3.2 最大允许误差:

$\pm (\text{频率读数} \times \text{参考频率相对最大允许误差} + 0.25\% \times \text{扫频宽度} + 5\% \times \text{分辨力带宽} + 0.5 \times \text{水平分辨力})$

### 4.4 扫频宽度

4.4.1 范围: 0Hz, 10 Hz~110 GHz

4.4.2 最大允许误差:  $\pm (0.1\% \times \text{扫频宽度} + \text{水平分辨力})$

### 4.5 分辨力带宽

4.5.1 范围: 1 Hz ~ 50 MHz

## 4.5.2 3dB 分辨力带宽最大允许误差：见表 4.1

表 4.1 3dB 分辨力带宽最大允许误差

频率范围	最大允许误差
1 Hz ~ 1.5 MHz	±2%
1.6 MHz ~ 3 MHz	±8%
4 MHz ~ 10 MHz	±20%
10 MHz ~ 50 MHz	±20%

## 4.5.3 选择性（60dB 带宽与 3dB 带宽比值）：&lt; 4.1:1

## 4.6 频率稳定性

## 4.6.1 单边带相位噪声：中心频率 1 GHz，计量特性见表 4.2

表 4.2 相位噪声

频率偏置	相位噪声（dBc/Hz）
100 Hz	≤ -91
1 kHz	≤ -103
10 kHz	≤ -116
30 kHz	≤ -116
100 kHz	≤ -122
1 MHz	≤ -145

## 4.6.2 剩余调频

< 1 Hz×N（1 秒内峰-峰值），N 为谐波混频次数，取值见表 4.3

表 4.3 剩余调频中 N 值表

频段	谐波混频次数 N	频率范围
0	1	2 Hz ~ 3.6 GHz
1	1	3.5 GHz ~ 8.4 GHz
2	2	8.3 GHz ~ 13.6 GHz
3	4	13.5 GHz ~ 17.1 GHz
4	4	17.0 GHz ~ 26.5 GHz
5	4	26.4 GHz ~ 34.5 GHz
6	8	34.4 GHz ~ 50.0 GHz
7	12	49.9 GHz ~ 75 GHz
8	16	74.9 GHz ~ 110 GHz

## 4.7 垂直显示刻度

4.7.1 对数刻度：(0.1~20) dB/div，1, 2, 5 步进，计量特性见表 4.4。

表 4.4 对数刻度最大允许误差

混频器输入电平	最大允许误差
输入混频器电平 $\leq -20$ dBm	$\pm 0.07$ dB
$-20$ dBm $<$ 输入混频器电平 $\leq -10$ dBm	$\pm 0.13$ dB

## 4.7.2 线性刻度

最大允许误差：参考电平的 $\pm 2\%$

## 4.8 参考电平

4.8.1 对数范围：-170 dBm ~ 30 dBm

4.8.2 最大允许误差： $\pm 0.15$  dB。

## 4.9 输入衰减器

4.9.1 范围：0 dB ~ 70 dB，1 dB 步进

4.9.2 输入衰减器转换影响： $\pm 0.18$  dB

## 4.10 分辨力带宽转换影响

4.10.1 以 30 kHz 为参考，计量特性见表 4.5

表 4.5 分辨力带宽转换影响

频率范围	分辨力带宽转换影响
30kHz	参考
1 Hz ~ 1 MHz	$\pm 0.03$ dB
1.1 MHz ~ 3 MHz	$\pm 0.05$ dB
4MHz、5MHz、6MHz、8 MHz、10MHz	$\pm 0.30$ dB

## 4.11 显示平均噪声电平

4.11.1 输入衰减 0 dB，分辨力带宽 RBW 归一化至 1 Hz，计量特性见表 4.6

表 4.6 显示平均噪声电平

频率范围	显示平均噪声电平 (dBm)
10 kHz~100 kHz	$\leq -137$
100 kHz~1 MHz	$\leq -145$
1 MHz~10 MHz	$\leq -150$
10 MHz~1.2 GHz	$\leq -153$
1.2 GHz~2.1 GHz	$\leq -152$
2.1 GHz~6.6 GHz	$\leq -151$

6.6 GHz~13.2 GHz	$\leq -146$
13.2 GHz~20 GHz	$\leq -144$
20 GHz~22.5 GHz	$\leq -143$
22.5 GHz~26.8 GHz	$\leq -140$
26.8 GHz~31.15 GHz	$\leq -142$
31.15 GHz~35 GHz	$\leq -134$
35 GHz~38 GHz	$\leq -129$
38 GHz~44 GHz	$\leq -131$
44 GHz~49 GHz	$\leq -128$
50 GHz~70 GHz	$\leq -138$
70 GHz~110 GHz	$\leq -139$

## 4.12 剩余响应

$\leq -100\text{dBm}$  (输入衰减 0dB)

表 4.7 剩余响应

频率范围	剩余响应 (dBm)
200 kHz~6.6 GHz	$\leq -100$
6.6 GHz~26.8 GHz	$\leq -100$
26.8 GHz~50 GHz	$\leq -90$
50 GHz~110 GHz	$\leq -70$

## 4.13 镜像响应

表 4.8 镜像响应

频率范围	混频器输入电平 (dBm)	镜像响应 (dBc)
10 MHz ~ 26.8 GHz	-10	$\leq -80$
26.8 GHz ~ 50 GHz	-30	$\leq -60$

## 4.14 扫描时间

4.14.1 范围: 1 ms ~ 2000 s

4.14.2 最大允许误差 (扫描模式):  $\pm 1\%$

## 4.15 绝对幅度

4.15.1 校准信号频率点绝对幅度最大允许误差:  $\pm 0.24\text{ dB}$  (输入衰减器 10dB)

4.15.2 在所有频率上绝对幅度误差:  $\pm (0.24\text{ dB} + \text{输入频响})$

## 4.16 输入频响

## 4.16.1 输入衰减 10 dB，计量特性见表 4.9

表 4.9 频率响应

频率范围	频率响应 (dB)
2 Hz ~ 3 GHz	±0.38
3 GHz ~ 3.6 GHz	±1.50
6.6 GHz ~ 22 GHz	±2.0
22 GHz ~ 50 GHz	±4.0
50 GHz ~ 75 GHz	±6.0
75 GHz ~ 110 GHz	±8.0

## 4.17 二次谐波

表 4.10 二次谐波

频率范围	混频器输入电平 (dBm)	二次谐波 (dBc)	二次谐波截断点 (dBm)
10 MHz~460 MHz	-40	≤ -82	≥ 42
460 MHz~1.18 GHz	-40	≤ -92	≥ 52
1.18 GHz~1.5 GHz	-40	≤ -82	≥ 42
1.5 GHz~2.0 GHz	-10	≤ -90	≥ 80
2.0 GHz~3.25 GHz	-10	≤ -94	≥ 84
3.25 GHz~13.25 GHz	-10	≤ -96	≥ 86
13.25 GHz~25 GHz	-10	≤ -100	≥ 90

## 4.18 三阶交调

## 4.18.1 混频器输入电平-30 dBm，计量特性见表 4.11

表 4.11 三阶交调

频率范围	三阶交调 (dBc)	三阶截断点 (dBm)
10 MHz~100 MHz	≤ -90	≥ 15
100 MHz~400 MHz	≤ -92	≥ 16
400 MHz~1.7 GHz	≤ -94	≥ 17
1.7 GHz~2.7 GHz	≤ -96	≥ 18
2.7 GHz~3.0 GHz	≤ -96	≥ 18
3.0 GHz~6.0 GHz	≤ -92	≥ 16
6.0 GHz~16 GHz	≤ -84	≥ 12
16.0 GHz~26.5 GHz	≤ -84	≥ 12

26.5 GHz~50 GHz	$\leq -85$	$\geq 12.5$
-----------------	------------	-------------

#### 4.19 增益压缩

表 4.12 增益压缩

频率范围	混频器输入电平 (dBm)	增益压缩 (dB)
20 MHz~40 MHz	2	<1.0
40 MHz~3.6 GHz	5	<1.0
3.6 GHz~26.5 GHz	10	<1.0
26.5 GHz~50 GHz	0	<1.0
50 GHz~75 GHz	4	<1.0
75 GHz~110 GHz	-1	<1.0

#### 4.20 输入电压驻波比

##### 4.20.1 输入衰减器 10 dB, 计量性能见表 4.13

表 4.13 输入电压驻波比

频率范围	输入端口电压驻波比
50 MHz ~ 3 GHz	< 1.2 : 1
3 GHz ~ 18 GHz	< 1.3 : 1
18 GHz ~ 26.5 GHz	< 1.4 : 1
26.5 GHz ~ 50 GHz	< 1.6 : 1
50 GHz ~ 110 GHz	< 2.0 : 1

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(23±5) °C

5.1.2 环境相对湿度： $\leq 80\%$

5.1.3 电源电压及频率：(220±11) V, (50±1) Hz

5.1.4 周围无影响校准系统正常工作的机械振动和电磁场干扰。

### 5.2 校准所用设备

#### 5.2.1 频率计数器

频率测量范围：10 Hz~1 GHz

频率测量相对最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-9}$

分辨率：0.1Hz

#### 5.2.2 功率计及其探头

频率范围：DC ~ 110 GHz

功率测量范围：-60 dBm ~ +20 dBm

功率测量最大允许误差：±0.1 dB

### 5.2.3 标准可变衰减器

频率范围：10 kHz ~ 110 GHz

衰减范围：0 dB ~ 110 dB，步进 1dB

衰减最大允许误差：±0.02 dB/10 dB

### 5.2.4 函数发生器

频率范围：3 Hz~300 kHz

频率相对最大允许误差：±1×10<sup>-7</sup>

谐波：<-35 dBc

### 5.2.5 RF 合成信号发生器（2 台）

频率范围及频率相对最大允许误差：250 kHz ~ 110 GHz，±1×10<sup>-7</sup>

输出电平范围：250 kHz ~ 3.2 GHz，-20 dBm ~ +13 dBm

3.2 GHz ~ 40 GHz，-20 dBm ~ +9 dBm

40 GHz ~ 110 GHz，-20 dBm ~ +5 dBm

输出电平线性度：±0.1 dB

谐波：<2 GHz，<-30 dB；≥2 GHz，<-50 dB

相位噪声：<-113 dBc/Hz（偏离载频 1 kHz）

<-126 dBc/Hz（偏离载频 10 kHz）

具有外 AM/FM 功能或内部低频源 AM/FM 功能

### 5.2.6 网络分析仪

频率范围：10 MHz~110 GHz

驻波测量不确定度：0.004

### 5.2.7 低通滤波器

频率：50 MHz，150 MHz、330 MHz、1.1 GHz、2.2 GHz、4.4 GHz、8.8 GHz、16 GHz

抑制（1.25 倍截止频率）：<300 MHz，> 40 dB；≥300 MHz，>45 dB

### 5.2.8 匹配衰减器

频率范围：DC~110 GHz

衰减：10 dB

电压驻波比：<1.20

标称阻抗：50Ω

### 5.2.9 功分器、定向耦合器、50Ω 匹配负载、连接器、转接器、电缆、三通等。

## 6 校准项目及校准方法

对于扫频超外差式频谱分析仪，其通用的校准项目包括 24 项，如表 6.1 所示。

表 6.1 校准项目表

序号	校准项目名称	序号	校准项目名称
1	外观及工作正常性检查	13	显示平均噪声电平
2	参考频率	14	剩余响应
3	校准信号电平	15	镜像响应
4	频率读数	16	扫描时间
5	扫频宽度	17	绝对幅度
6	分辨力带宽	18	输入频响
7	单边带相位噪声	19	二次谐波
8	剩余调频	20	三阶交调
9	垂直显示刻度	21	增益压缩
10	参考电平	22	输入电压驻波比
11	输入衰减器转换影响	23	频率计数
12	分辨力带宽转换影响	24	功率带宽

### 6.1 外观及工作正常性检查

6.1.1 频谱分析仪应带有必要的附件。

6.1.2 频谱分析仪各按键、开关、旋钮等应调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤。

6.1.3 频谱分析仪通电后应能正常工作、显示清晰。

6.1.4 校准所用标准器和频谱分析仪应按照技术说明书要求完成预热，频谱分析仪应按照技术说明书要求完成全自校。

### 6.2 参考频率

6.2.1 如图 6.1 所示，将频谱分析仪参考频率输出与频率计数器输入端相连。

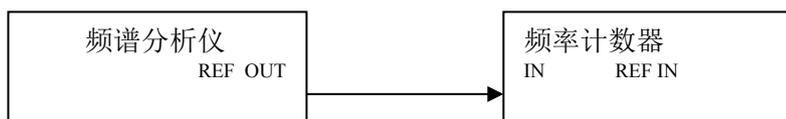


图 6.1 参考频率

6.2.2 频率计数器设置成最高分辨率或者是闸门时间设置成 10s。

6.2.3 将频率计数器读数记录于附录 A 表 A.1 中。

### 6.3 校准信号电平

根据频谱分析仪校准信号输出类型，校准信号电平的校准方法可分为有校准信号输出端口和无校准信号输出端口两种。

#### 6.3.1 校准信号电平（有校准信号输出端口）

6.3.1.1 将频谱分析仪校准输出端与其射频输入端连接，观察校准信号频谱，以确定校准信号是多谐波信号还是纯载波信号。

6.3.1.2 如果校准信号是纯载波信号，则将频谱分析仪校准输出端与功率计相连，如图 6.2(a)所示；如果校准信号是多谐波信号，则将频谱分析仪校准输出端经低通滤波器与功率计相连，如图 6.2(b)所示。

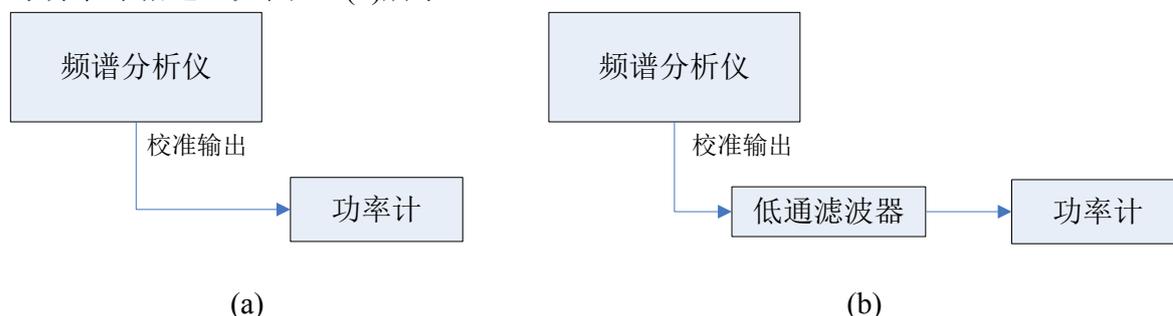


图 6.2 有校准信号输出的校准信号电平

6.3.1.3 从功率计上读取功率计电平示值  $L$  (dBm)。并按照公式 (1) 计算校准输出电平实际值  $L_s$

$$\begin{cases} L_s = L + A_1 & \text{(纯载波信号)} \\ L_s = L + A_1 + A_f & \text{(多谐波校准信号)} \end{cases} \quad (1)$$

式中：

$L_s$ —校准电平实际值，dBm；

$L$ —功率计电平示值，dBm；

$A_1$ —校准电缆衰减值，dB；

$A_f$ —低通滤波器在校准信号频率点的插入损耗，dB。

#### 6.3.2 校准信号电平（无校准信号输出端口）

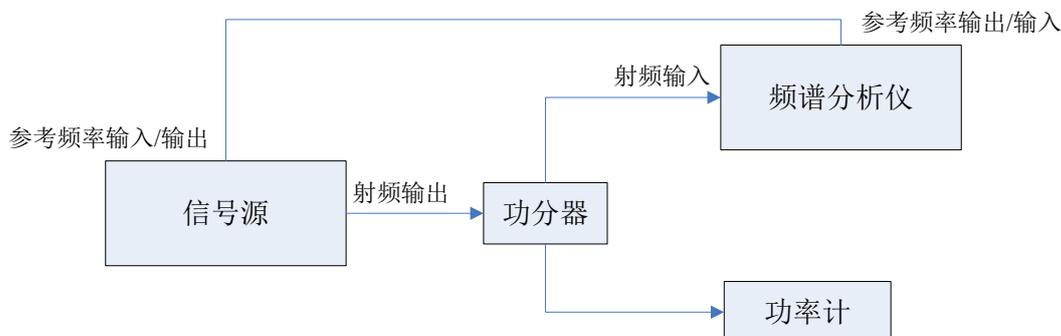


图 6.3 无校准信号输出的校准信号电平

6.3.2.1 按图 6.3 所示连接仪器，将信号发生器射频输出、频谱分析仪射频输入和功率

计输入端口接于功分器。

6.3.2.2 将频谱分析仪的校准信号输出打开，置频谱分析仪中心频率为校准信号频率，扫频宽度、分辨力带宽、参考电平、输入衰减适当，刻度为 10 dB/div，使用峰值标记读出信号幅度  $L$  (dBm)，关闭频谱分析仪的校准信号输出。

6.3.2.3 设置信号发生器的频率为校准信号频率，输出电平为 -20 dBm，打开信号发生器的射频输出，然后打开频谱分析仪的峰值标记功能，调节信号发生器电平使频谱分析仪的峰值标记值等于  $(L \pm 0.05 \text{ dB})$ 。

6.3.2.4 读取功率计的电平示值  $L_s$  (dBm)，即为频谱分析仪校准信号电平实际值。将其记录于附录 A 表 A.2 中。

#### 6.4 频率读数

6.4.1 按图 6.4 连接，信号发生器输出端接至频谱分析仪输入端，如图 6.4 所示

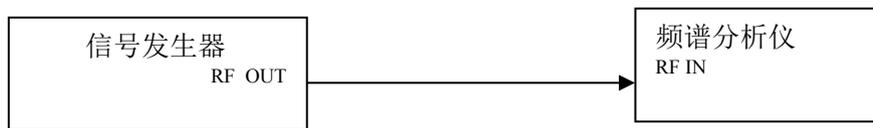


图 6.4 频率读数

6.4.2 设置信号发生器输出频率为 1 GHz，输出电平为 -1 dBm。置频谱分析仪中心频率为 1 GHz，参考电平为 0 dBm，扫频宽度为 1 MHz，分辨力带宽、视频带宽、扫描时间自动，用峰值标记读取信号峰值频率  $f_u$ ，记录于附录 A 表 A.3 中。

6.4.3 按照附录 A 表 A.3 设置其他标准频率  $f_s$  和扫频宽度，按照 6.4.2~6.4.3 方法重复以上操作。

#### 6.5 扫频宽度

6.5.1 仪器连接如图 6.5 所示。

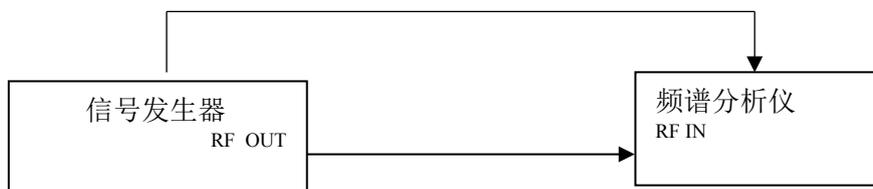


图 6.5 扫频宽度

6.5.2 置频谱分析仪扫频宽度为 1 GHz，中心频率为 1 GHz，参考电平为 0 dBm，分辨力带宽、视频带宽、扫描时间自动。

6.5.3 置信号发生器输出电平为 -1 dBm，输出频率为 1.4 GHz。

6.5.4 打开频谱分析仪峰值标记，再打开增量标记。

6.5.5 置信号发生器输出频率为 600 MHz，执行峰值搜索，读取频率差  $\Delta$  值。则扫频宽度  $S$  可由公式 (2) 计算得到。

$$S = \frac{(f_r - f_l)}{0.8} \quad (2)$$

式中：

$S$ ——扫频宽度实测值，GHz；

$f_r$ ——信号发生器频率增大，谱线在屏幕右数第二根垂直刻度线处时的峰值标记频率值，GHz；

$f_l$ ——信号发生器频率减小，谱线在屏幕左数第二根垂直刻度线处时的峰值标记频率值，GHz。

6.5.6 按照附录 A 表 A.4 设置成其它扫频宽度，按照 6.5.2~6.5.5 方法重复操作。

## 6.6 分辨力带宽

### 6.6.1 方法一

#### 6.6.1.1 3dB 分辨力带宽

a) 仪器连接如图 6.5 所示。

b) 信号发生器输出频率按频谱分析仪校准信号频率设置，输出电平为-21 dBm。

c) 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平-20 dBm 或自动，垂直刻度 1 dB/div，分辨力带宽 100 Hz，扫频宽度 300 Hz，视频带宽、扫描时间自动。

d) 信号发生器输出电平调至-24 dBm，打开频谱分析仪峰值标记，再打开增量标记。将信号发生器输出电平调到-21 dBm。

e) 微调信号发生器频率，使标记增量电平分别在信号峰值左边和右边下降至读数 0dB，读出信号发生器频率  $f_{左(-3dB)}$ ， $f_{右(-3dB)}$ 。

f) 按照公式 (3) 计算测量得到的分辨力带宽  $RBW_{m(3dB)}$ ，

$$RBW_{m(3dB)} = f_{右(-3dB)} - f_{左(-3dB)} \quad (3)$$

g) 按照附录 A 表 A.5 设置其它分辨力带宽，扫频宽度的设定约为分辨力带宽的 3~4 倍。重复步骤 c) ~f)。

#### 6.6.1.2 60dB 带宽

a) 信号发生器输出频率按频谱分析仪校准信号频率设置，输出电平为-1 dBm。

b) 频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平为 0 dBm，衰减 10 dB，分辨力带宽 100 Hz，扫频宽度约为分辨力带宽的 20 倍，垂直刻度 10 dB/div，视频带宽 10 Hz，扫描时间自动。

c) 调节信号发生器电平到-61 dBm，打开频谱分析仪峰值标记，再打开增量标记，将信号发生器电平调回-1 dBm。

d) 调节信号发生器频率，使标记增量电平分别在信号峰值左边和右边下降至读数为 0，读出信号发生器  $f_{左(-60dB)}$ ， $f_{右(-60dB)}$ 。

e) 按照公式 (4) 计算 60dB 带宽测量值  $RBW_{m(60dB)}$ ，

$$RBW_{m(60dB)} = f_{右(-60dB)} - f_{左(-60dB)} \quad (4)$$

按照式 (5) 计算选择性  $S$ ，将数据和计算结果记录于附录 A 表 5 中。

$$S = \frac{RBW_{m(60dB)}}{RBW_{m(3dB)}} \quad (5)$$

f) 在附录 A 表 A.5 的其它分辨力带宽上，按照 b) ~e) 步骤重复进行。

## 6.6.2 方法二

### 6.6.2.1 3dB 分辨力带宽

a) 设备连接如图 6.5 所示。

b) 信号发生器输出频率按频谱分析仪校准信号频率设置，输出电平为-21 dBm。

c) 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平-20 dBm，垂直刻度 1 dB/div，分辨力带宽 100 Hz，扫频宽度 300 Hz，视频带宽、扫描时间自动。

d) 打开单次扫描功能，打开频谱分析仪峰值标记和增量标记，如果频谱分析仪有“ $n$  dB down”功能，将  $n$  dB 设置为 3 dB 并执行此功能即可测得 3 dB 分辨力带宽  $RBW_s$ ；如果频谱分析仪没有“ $n$  dB down”功能，调节频谱分析仪旋钮将增量标记置于波形左边带，电平增量读数为-3.0 dB 处，将增量标记点设为普通标记，再打开增量标记，调节频谱分析仪旋钮将增量标记置于波形右边带，电平增量读数为 0.0dB 处，读取此增量标记的频率绝对值即为 3dB 分辨力带宽  $RBW_{m(3dB)}$ 。

e) 按照附录 A 表 A.5 设置其它分辨力带宽，扫频宽度的设定约为分辨力带宽的 3~4 倍，在 RBW 值较小时，扫频宽度可设置为分辨力带宽的 10 倍。重复步骤 c) ~d)。

### 6.6.2.2 60 dB 带宽

a) 信号发生器输出频率按频谱分析仪校准信号频率设置，输出电平为-1 dBm。

b) 频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平为 0 dBm，输入衰减为 10 dB，分辨力带宽 100 Hz，扫频宽度约为分辨力带宽的 20 倍，垂直刻度 10dB/div，视频带宽 10 Hz，扫描时间自动。

c) 打开单次扫描功能，打开频谱分析仪峰值标记和增量标记，如果频谱分析仪有“ $n$ dB down”功能，将  $n$  dB 设置为 60 dB 并执行此功能即可测得 60 dB 分辨力带宽  $RBW_{m(60dB)}$ ；如果频谱分析仪没有“ $n$ dB down”功能，调节频谱分析仪旋钮将增量标记置于波形左边带，电平增量读数为-60dB 处，将增量标记点设为普通标记，再打开增量标记，调节频谱分析仪旋钮将增量标记置于波形右边带，电平增量读数为 0dB 处，读取此增量标记的频率绝对值即为 60 dB 分辨力带宽  $RBW_{m(60dB)}$ 。

d) 按照公式 (5) 计算选择性  $S$ ，将数据和计算结果记录于附录 A 表 5 中。

e) 在附录 A 表 A.5 的其它分辨力带宽上，按照 b) ~d) 步骤重复进行。注意由于 RBW 增大会导致频谱分析仪的本底电平的提高，60dB 带宽仅在一定的 RBW 带宽下可测得。

## 6.7 单边带相位噪声

6.7.1 仪器连接如图 6.4 所示。

6.7.2 置信号发生器频率为 1 GHz，输出电平 0 dBm。

6.7.3 置频谱分析仪中心频率为 1 GHz，输入衰减为 10 dB，参考电平 0 dBm，垂直刻度显示 10 dB/div，扫频宽度 200 kHz，分辨力带宽小于 100 Hz，其余自动。

6.7.4 打开频谱分析仪峰值标记，再打开增量标记，并移动增量标记，读出在偏离 $\pm 100$  Hz、 $\pm 1$  kHz、 $\pm 10$  kHz、 $\pm 30$  kHz、 $\pm 100$  kHz、 $\pm 1$  MHz 时的增量标记电平  $\Delta L$  值。

6.7.5 按照公式 (6) 计算单边带相位噪声，并将数据和计算结果记录于附录 A 表 A.6 中。

$$\text{单边带相位噪声} = \Delta L - 10 \log(RBW) \quad (6)$$

## 6.8 剩余调频

6.8.1 仪器连接如图 6.5 所示。

6.8.2 信号发生器输出频率按频谱分析仪校准信号频率设置，输出电平 -21 dBm。

6.8.3 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平 -20 dBm，扫频宽度 100 Hz，垂直刻度 1 dB/div，分辨力带宽 10 Hz，其余自动。

6.8.4 调节信号发生器电平使信号显示在参考电平处，取其波形线性较好的一段 a~b，打开标记，再打开增量标记，测量信号 a~b 段频率差  $\Delta F$ ，电平差  $\Delta L$ ，如图 6.6(a)所示。

6.8.5 按照公式 (7) 计算解调灵敏度  $Sen$ 。将数据和计算结果记录于附录 A 表 6 中。

$$Sen = \frac{\Delta F}{\Delta L} \quad (7)$$

6.8.6 置频谱分析仪扫频宽度为零，按照说明书要求设置扫描时间。调节信号发生器频率，使基波显示在参考电平 a、b 点中间处，读取时域中信号的峰峰值  $y$ 。如图 6.6(b)所示。

6.8.7 按照公式 (8) 计算剩余调频  $\Delta f$ ，将数据和计算结果记录于附录 A 表 A.7 中。

$$\Delta f = Sen \cdot y \quad (8)$$

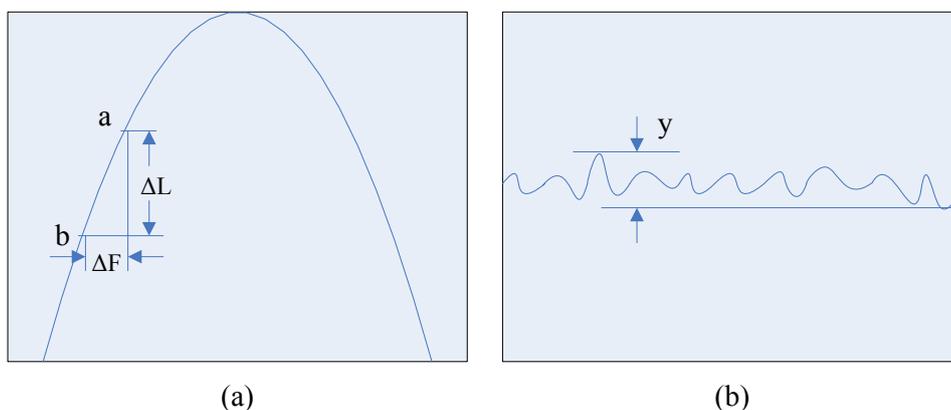


图 6.6 剩余调频测量曲线图

6.8.8 按附录 A 表 A.7 设置其它测试频率，重复步骤 6.8.2~6.8.7。

## 6.9 垂直显示刻度

### 6.9.1 对数刻度

6.9.1.1 仪器连接如图 6.7 所示。

6.9.1.2 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平 0 dBm，垂直刻度 1 dB/div，扫频宽度 10 kHz，分辨力带宽 1 kHz，视频带宽 30 Hz，输入衰减器设定为 10 dB，扫描时间自动。

6.9.1.3 信号发生器输出频率按频谱分析仪校准信号频率设置，调节输出电平使频谱分析仪上信号峰值为零。

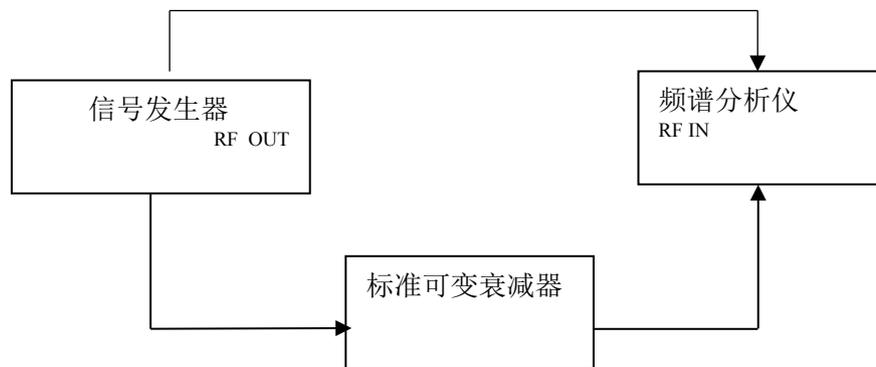


图 6.7 垂直显示刻度

6.9.1.4 打开频谱分析仪标记增量功能。以频谱分析仪垂直刻度档位的数值 dB/div 为步进增加标准可变衰减器的衰减量 $\Delta B$ 时记录频谱分析仪标记增量值 $\Delta A$ ，依次增加衰减量使信号达到频谱分析仪显示的可测量最低点。当信号很小接近底部时，如果信号波动较大需要打开平均功能进行测量。将 $\Delta A$ 、 $\Delta B$ 以及 $(\Delta A - \Delta B)$ 记入附录 A 表 A.8.1 中。

6.9.1.5 改变频谱分析仪垂直刻度值，重复 6.9.1.3~6.9.1.4 操作。

### 6.9.2 线性刻度

6.9.2.1 仪器连接如图 6.7 所示。

6.9.2.2 置频谱分析仪参考电平为-10 dBm，刻度为线性，中心频率为其校准信号频率，扫频宽度 10kHz，分辨力带宽 1 kHz，其余自动。

6.9.2.3 置标准可变衰减器衰减量为 10 dB。置信号发生器频率为频谱分析仪校准信号频率，调整电平使信号峰值显示在频谱分析仪参考电平 70.71 mV 处。

6.9.2.4 按附录 A 表 A.8 建立标准线性量  $E_n$ ，读取并记录频谱分析仪幅度显示值  $E_m$ ，将结果记录于附录 A 表 A.8.2 中。

## 6.10 参考电平

6.10.1 仪器连接如图 6.7 所示，将信号发生器经过标准可变衰减器接至频谱分析仪。

6.10.2 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率,扫频宽度 10 kHz,参考电平-10 dBm,分辨力带宽 1 kHz,视频带宽 30 Hz,垂直刻度 1 dB/div,其余自动。

6.10.3 置标准可变衰减器为 20 dB,置信号发生器输出频率为频谱分析仪校准信号频率,输出电平为 8 dBm,调节电平使信号峰值在频谱分析仪上显示约-11 dBm(可设置距参考电平下 1 至 2 格处)。记下频谱分析仪显示的谱线峰值电平  $a_1$ 。

6.10.4 按照附录 A 表 A.9 改变频谱分析仪参考电平及标准可变衰减器。记下标准可变衰减器的衰减增加量  $a$  和频谱分析仪显示的谱线峰值电平  $a_2$ ,将结果记录于附录 A 表 A.9 中。

### 6.11 输入衰减器转换影响

6.11.1 设备连接同图 6.7 所示。

6.11.2 标准可变衰减器的衰减值设为 70 dB。

6.11.3 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率,输入衰减器设定为 10 dB,垂直显示刻度设为 1 dB/div,参考电平-60 dBm,分辨力带宽 1 kHz,扫频宽度 500 Hz,视频带宽、扫描时间等自动。

6.11.4 置信号发生器输出频率为频谱分析仪校准信号频率,输出电平为 8 dBm,调节电平使信号峰值在频谱分析仪上显示约为-62 dBm(可设置距参考电平下 1 至 2 格处)。

6.11.5 在频谱分析仪上打开峰值标记,平均次数设为 10 次,读取峰值电平  $L$  后打开增量标记。

6.11.6 标准可变衰减器的衰减值设定为 80 dB,频谱分析仪衰减值设定为 0 dB,频谱仪参考电平设定为-70 dBm。

6.11.7 读取此时的增量标记值  $\Delta L_m$ ,此时的标准可变衰减器衰减改变量  $\Delta A=80\text{dB}-70\text{dB}=10\text{dB}$

6.11.8 则输入衰减器转换影响按照式(9)计算

$$\Delta = \Delta L_m - \Delta A \quad (9)$$

式中:

$\Delta$ —输入衰减器转换影响, dB;

$\Delta L_m$ —增量标记值, dB;

$\Delta A$ —标准可变衰减器衰减改变量, dB。

6.11.9 按照附录 A 表 A.10 设置标准可变衰减器衰减值  $A$ 、频谱分析仪衰减设定值,频谱分析仪参考电平值,按照 6.11.2~6.11.8 方法重复操作。

### 6.12 分辨力带宽转换影响

6.12.1 设备连接同图 6.5 所示。

6.12.2 置信号发生器频率为频谱分析仪校准信号频率,电平为-20 dBm。

6.12.3 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率，参考电平-15 dBm，输入衰减器设置为 10dB，分辨力带宽 30kHz，扫频宽度调制适当值，视频带宽、扫描时间等自动。

6.12.4 在频谱分析仪上打开峰值标记，读取峰值电平  $L_{ref}$ 。

6.12.5 改变分辨力带宽，读不同分辨力带宽时的峰值电平  $L$ 。

6.12.6 按公式 (10) 计算分辨力带宽转换对幅度测量的影响  $\Delta A$ 。将数据和计算结果记录于附录 A 表 A.11 中。

$$\Delta A = L - L_{ref} \quad (10)$$

式中：

$\Delta A$ ——分辨力带宽转换对幅度测量的影响，dB；

$L_{ref}$ ——分辨力带宽为 30 kHz 时的电平值，dB。

$L$ ——不同分辨力带宽时的电平值，dB。

6.12.7 按附录 A 表 A.11 设置频谱分析仪分辨力带宽，按 6.12.2~6.12.5 方法重复操作。

### 6.13 显示平均噪声电平

6.13.1 频谱分析仪输入端接 50Ω 终端负载，如图 6.8 所示。

6.13.2 置频谱分析仪分辨力带宽 RBW 为 1 kHz，扫频宽度为 10 kHz，参考电平-50 dBm，输入衰减 0 dB，视频带宽、扫描时间等自动，取样检波器，平均次数为 20 次，打开显示线功能，将其置于噪声曲线的平均位置，注意读数时忽略剩余响应，读取显示线值  $DANLr$ ，用式 (11) 计算显示平均噪声电平：

$$DANL = DANLr - 10\lg RBW \quad (11)$$

式中：

$DANL$ —显示平均噪声电平，dBm；

$DANLr$ —读取显示线值，dBm；

$RBW$ —分辨力带宽值，Hz。

6.13.3 按附录 A 表 A.12 在不同的频段及中心频率上，测量平均噪声电平，记录于附录 A 表 A.12 中。

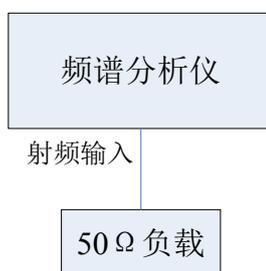


图 6.8 显示平均噪声电平

### 6.14 剩余响应

6.14.1 设备连接如图 6.8 所示。

6.14.2 按附录 A 表 A.13 的频段设置频谱分析仪中心频率，分辨力带宽为 10 kHz，视

频带宽 3 kHz, 扫频宽度 10 MHz, 参考电平-50 dBm, 输入衰减 0 dB, 扫描时间自动。

6.14.3 使用峰值标记读取谱线的频率和电平, 记录于附录 A 表 A.13 中。

6.14.4 改变频谱分析仪中心频率, 每次步进 10 MHz, 重复步骤 6.14.2~6.14.3。

### 6.15 镜像响应

6.15.1 信号发生器输出经功分器一路接功率计, 另一路接频谱分析仪, 如图 6.3 所示。

6.15.2 置信号发生器频率  $f_s=2$  GHz, 调节输出电平使在功率计上显示-30 dBm。

6.15.3 置频谱分析仪中心频率为 2 GHz, 扫频宽度为 40 MHz, 分辨力带宽 10 kHz, 视频带宽 100 Hz, 输入衰减 10 dB, 参考电平-10 dBm, 在频谱分析仪上读信号电平  $L_s$  (dBm)。

6.15.4 将信号发生器频率调为  $f_1=f_s+2f_{F1}$  (本振频率高于信号频率时) 或  $f_1=f_s-2f_{F1}$  (本振信号低于信号频率时), 电平同 6.15.2 中的电平。其中  $f_{F1}$  为频谱分析仪第一中频。

6.15.5 在频谱分析仪上读取电平  $L_1$  (dBm)。按照公式 (12) 计算镜像响应  $a_c$ 。将数据和计算结果记录于附录 A 表 A.14 中。

$$a_c=L_1-L_s \quad (12)$$

6.15.6 在附录 A 表 A.14 的其他频率点上按照 6.15.2~6.15.5 方法重复操作。

### 6.16 扫描时间

6.16.1 函数发生器输出端接到信号发生器的 AM 输入端, 信号发生器射频输出端与频谱分析仪的射频输入端相连, 如图 6.9 所示。

6.16.2 信号发生器置于“外 AM”方式, 输出频率为频谱分析仪校准信号频率, 输出电平为-21 dBm, 函数发生器输出 500 Hz 正弦波。

6.16.3 置频谱分析仪中心频率为其校准信号频率, 参考电平-20 dBm, 扫频宽度 0 Hz, 扫描时间  $T_n=20$  ms, 分辨力带宽和视频带宽大于函数发生器频率, 使用垂直刻度, 线性, 用视频触发。

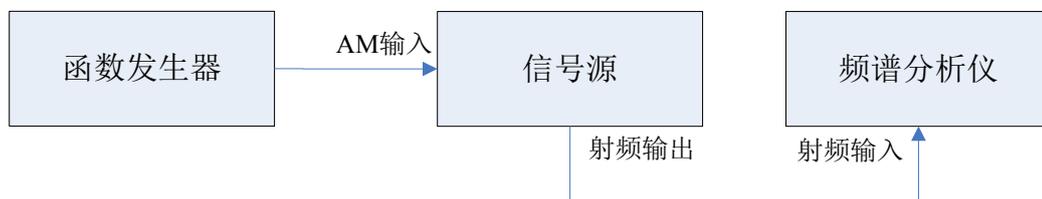


图 6.9 扫描时间

6.16.4 调节信号发生器的输出电平, 使显示波形位于频谱分析仪显示屏中心, 调整函数发生器的输出电压, 使频谱分析仪上的显示约为显示屏 4 格。

6.16.5 调节函数发生器频率使 8 个调制信号周期对准显示屏上距右边框 1 格的垂直线处。

6.16.6 读出函数发生器频率  $f_m$ , 则其扫描时间按照公式 (13) 计算

$$T_n = 10 \times \frac{1}{f_m} \quad (13)$$

6.16.7 按照附录 A 表 A.15 设置扫描时间，重复步骤 6.16.2~6.16.6。

## 6.17 绝对幅度

6.17.1 仪器连接如图 6.3 所示

6.17.2 设置频谱分析仪中心频率设为其校准信号频率，扫频宽度为 30 kHz，分辨力带宽设定为 10 kHz，输入衰减器设定为 10 dB，参考电平设定为 0 dBm，其余自动。平均次数设为 20 次。打开峰值标记。

6.17.3 设置信号发生器输出频率为频谱分析仪的校准信号频率点，设置信号发生器的输出电平，使频谱分析仪游标峰值读数为-10 dBm 或为频谱仪的校准信号电平，此电平值为标称值。

6.17.4 从功率计中读取电平测量值，将结果记录于附录 A 表 A.16 中。

## 6.18 输入频响

6.18.1 设备连接如图 6.3 所示。

6.18.2 置频谱分析仪输入衰减为 10 dB，参考电平为-10 dBm，垂直刻度 1 dB/div，中心频率为其校准信号频率，扫频宽度 100 kHz，分辨力带宽 1 kHz，其余自动。

6.18.3 置信号发生器频率为频谱分析仪校准信号频率，输出电平调到频谱分析仪上信号峰值为-15 dBm。

6.18.4 打开频谱分析仪的峰值标记功能，记录峰值电平  $L_{SA}$  于附录 A 表 A.17 中。

6.18.5 用功率计测量加到频谱分析仪输入端的电平  $L_{PM}$ ，记录于附录 A 表 A.17 中。

6.18.6 按附录 A 表 A.17 在不同的中心频率上重复 6.18.2~6.18.4 步骤。

6.18.7 选择频谱分析仪校准信号频率为参考频率点，按公式 (14) 计算其他频率点的输入频响  $FR$ 。将数据和计算结果记录于附录 A 表 17 中。

$$FR = (L_{SA} - L_{PM}) - (L_{SAR} - L_{PMR}) \quad (14)$$

式中，

$FR$ —输入频响，dB；

$L_{SA}$ —频谱分析仪峰值电平读数，dBm；

$L_{PM}$ —功率计电平读数，dBm。

$L_{SAR}$ —参考频率点频谱分析仪峰值电平读数，dBm；

$L_{PMR}$ —参考频率点功率计电平读数，dBm。

## 6.19 二次谐波

6.19.1 信号发生器输出经低通滤波器 LPF（以滤除信号发生器的谐波）接到频谱分析仪输入端，如图 6.10 所示。

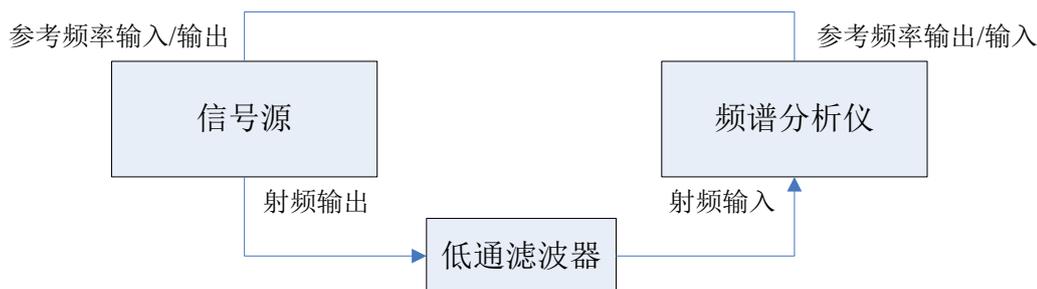


图 6.10 二次谐波

6.19.2 置信号发生器输出频率  $f_0=1$  GHz，输出电平为-10 dBm。

6.19.3 置频谱分析仪扫频宽度 10 kHz，分辨力带宽 1 kHz，输入衰减 30 dB，参考电平-29 dBm，其余自动。

6.19.4 调节频谱分析仪中心频率到  $f_0$ 、 $2f_0$ ，用峰值标记功能读出基波、二次谐波电平  $L_1$ 、 $L_2$  (dBm)。

6.19.5 按公式 (15) 计算二次谐波 (SHD)

$$SHD = L_2 - L_1 \quad (15)$$

6.19.6 按公式 (16) 计算二次谐波截断点 (SHI)

$$SHI = L_1 - L_2 + L_{in} \quad (16)$$

式中：

$L_1$ —输入电平，dBm；

$L_2$ —二阶谐波电平，dBm；

$L_{in}$ —混频器输入电平，此处为-40dBm 或者是仪器厂商规定的值。

6.19.7 按附录 A 表 A.18 分别置信号发生器频率  $f_0$ ，保持信号发生器输出不变，设置频谱仪输入端衰减值，使输入到频谱仪混频器端得电平等于附录 A 表 A.18 中的值(频谱分析仪混频器输入端电平等于信号发生器输出减去频谱仪输入端衰减)，按照 6.19.2~6.19.6 方法重复操作。

## 6.20 三阶交调

6.20.1 信号发生器 1 经低通滤波器和信号发生器 2 与定向耦合器连接，先将功率计连接定向耦合器，如图 6.11 所示。其中，低通滤波器的通带值应随着信号发生器 1 的频率变化而变化，当信号发生器 1 输出频率大于 300 MHz 时，可以不用低通滤波器。

6.20.2 将信号发生器 2 的射频输出关闭，打开信号发生器 1 的射频输出。信号发生器 1 频率调到  $f_1$  (见附录 A 表 A.19)，调节电平使功率计的读数为-20 dBm。

6.20.3 将信号发生器 1 的射频输出关闭，打开信号发生器 2 的射频输出。信号发生器 2 频率调到  $f_2=f_1+2$  MHz，调节电平使功率计读数为-20 dBm。

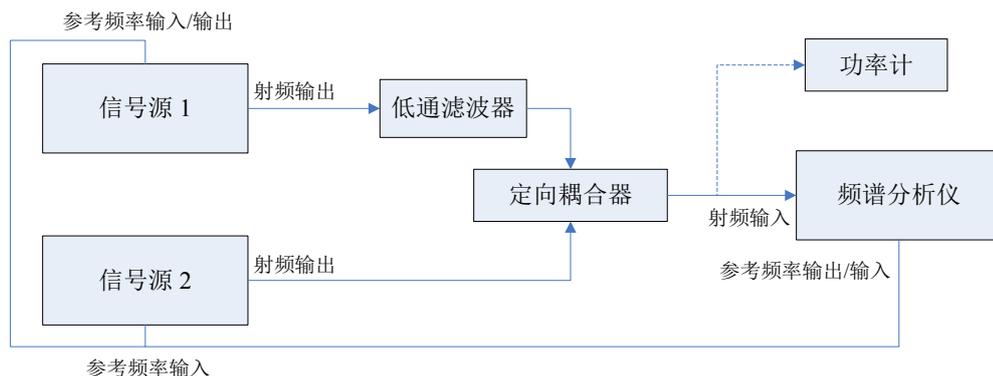


图 6.11 三阶交调

6.20.4 频谱分析仪中心频率设为  $f_0 = (f_1 + f_2) / 2$ ，扫频宽度 10 MHz，输入衰减 10 dB（混频器输入电平为 -30 dBm），分辨力带宽小于等于 1 kHz，视频带宽、扫描时间自动。

6.20.5 打开信号发生器 1 的射频输出。将频谱分析仪标记定位于  $f_1$ 、 $f_2$  中较低电平的信号峰上。打开增量标记，并移动增量标记与  $2f_1 - f_2$ 、 $2f_2 - f_1$  中较高电平的信号峰上，读取其增量电平值，此即三阶交调。

6.20.6 三阶截断点 (TOI) 按照式 (17) 来计算

$$TOI = \frac{\Delta L}{2} + L_{in} \quad (17)$$

式中：

$\Delta L$ —标记增量电平差值，dB；

$L_{in}$ —混频器输入电平，dB。

## 6.21 增益压缩

6.21.1 仪器连接如图 6.12 所示。

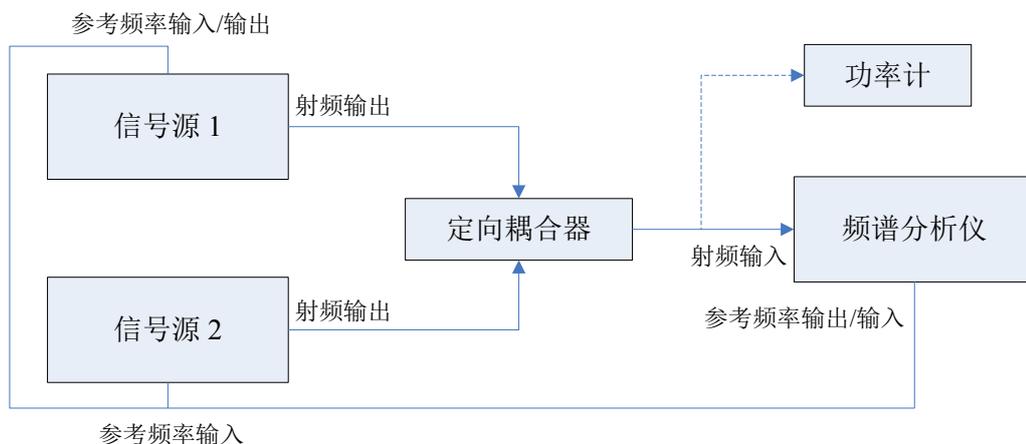


图 6.12 增益压缩

6.21.2 将信号发生器 2 的射频输出关闭，打开信号发生器 1 的射频输出。置信号发生器 1 频率  $f_1$  为 2GHz，调节电平使功率计测得的电平  $L_1 = 0$  dBm。

6.21.3 将信号发生器 1 的射频输出关闭，打开信号发生器 2 的射频输出。置信号发生

器 2 频率  $f_2$  为 2.003 GHz，电平为功率计测得的电平  $L_2 = -40$  dBm。

6.21.4 置频谱分析仪中心频率为 2 GHz，参考电平为 10 dBm，扫频宽度 10 MHz，分辨力带宽 300 kHz，垂直刻度 10 dB/div，设定频谱分析仪的输入衰减（此处为 0 dB）使得输入到频谱分析仪混频器输入端口的电平为 0 dBm，其余自动。

6.21.5 将定向耦合器输出接至频谱分析仪，打开频谱分析仪峰值标记，再打开增量标记  $\Delta MKR$ 。

6.21.6 打开信号发生器 1 的射频输出，在频谱分析仪上读取相对电平  $\Delta MKR$ ，该值即为增益压缩。记录于附录 A 表 A.20 中。

6.21.7 按照附录 A 表 A.20 设置信号发生器其它频率和  $L_1$  电平，按 6.21.2~6.21.6 方法重复操作。

## 6.22 输入电压驻波比

6.22.1 仪器连接如图 6.13 所示。



图 6.13 输入电压驻波比

6.22.2 频谱分析仪设置参考电平为 -10 dBm，输入衰减为 10 dB，参考电平 0 dBm，起始扫描频率为 10 MHz，终止扫描频率为 110 GHz。

6.22.3 网络分析仪充分预热后，首先使用校准件自校准。设置网络分析仪的输出电平为 -10 dBm，起始频率为 10 MHz，终止频率为 110 GHz，使用标记键读取在其频率范围内的驻波系数的最大值。并记录于附录 A 表 A.21 中。

## 6.23 频率计数

6.23.1 信号发生器输出接至频谱分析仪输入端，如图 6.4 所示

6.23.2 置信号发生器输出频率为 1 GHz，输出电平为 -1 dBm。

6.23.3 置频谱分析仪中心频率为 1 GHz，参考电平为 0 dBm，扫频宽度为 1 MHz，分辨力带宽、视频带宽、扫描时间自动。

6.23.4 打开频率计数功能，用峰值标记读取信号峰值频率值。变换频率分辨率，记录峰值标记频率值于附录 A 表 A.22 中。

6.23.5 变换中心频率重复 6.23.4 的操作。

## 6.24 功率带宽

### 6.24.1 功率带宽的定义

所谓功率带宽是指用于噪声标记（noise marker）、带宽功率标记（band power

marker)、通道功率(channel power)和邻道功率 ACP (adjacent channel power) 测量时的分辨力带宽。

#### 6.24.2 功率带宽校准方法

6.24.2.1 打开频谱分析仪内部校准源。

6.24.2.2 将频谱分析仪中心频率设定为内部校准源频率,参考电平设为内部参考源输出加 1dB,在不同的分辨力带宽下进行测量。

6.24.2.3 扫频宽度设定为分辨力带宽的 3 倍,打开标记对(marker pair)功能,将所显示的波形信号包含在标记对内,读取功率值,并记录于附录 A 表 A.23 中。

6.24.2.4 变换不同的分辨力带宽重复 6.24.2.3 的操作。

### 7 校准结果表达

校准后,出具校准证书。校准证书由封面和校准数据组成。封面由校准机构确定统一格式,校准数据按附录所列数据表格,并可根据被测仪表的情况进行填写。证书上的信息应满足以下要求。

- 1) 标题,如“校准证书”;
- 2) 实验室名称和地址;
- 3) 证书或报告的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;
- 4) 送校单位的名称和地址;
- 5) 被校对象的描述和明确标识;
- 6) 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;
- 7) 对校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- 8) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- 9) 校准环境的描述;
- 10) 校准结果及其测量不确定度;
- 11) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识,以及签发日期。

### 8 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。

## 附录 A 原始记录格式

该记录表格以某给定型号的频谱分析仪校准要求为参考，给出的频率校准点，电平校准点，不同型号的频谱分析仪应根据其性能测试手册和技术指标采用相应的值。

表 A.1 参考频率

标称值	实测值/MHz	不确定度
10 MHz		

表 A.2 校准信号电平

校准信号频率

标称值/dBm	实测值/dBm	不确定度/dB

表 A.3 频率读数

频率标准值	扫频宽度	频率读数	不确定度
1.5 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
4 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
9 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
16 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
26 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
30 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
40 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
50 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
90 GHz	1 MHz		

	10 MHz		
	100 MHz		
110 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		

表 A.4 扫频宽度

标称值 $\text{Span}_n$	实测值	不确定度
100 Hz		
1 kHz		
10 kHz		
1 MHz		
10 MHz		
100 MHz		
1 GHz		
10 GHz		
26 GHz		
40 GHz		
50 GHz		
90GHz		
110GHz		

表 A.5 分辨力带宽及其选择性

标称值 $RBW_n$	$f_{\text{左}}$ (-3dB)	$f_{\text{右}}$ (-3dB)	实测值 $RBW_m$ (-3dB)	不确 定度	$f_{\text{左}}$ (-60dB)	$f_{\text{右}}$ (-60dB)	实测值 $RBW_m$ (-60dB)	选择 性 $S$	不确 定度
1 Hz									
3 Hz									
10 Hz									
30 Hz									
100 Hz									
300 Hz									
1 kHz									
3 kHz									

10 kHz									
100 kHz									
300 kHz									
1 MHz									
2 MHz									
3 MHz									
4 MHz									
5 MHz									
6 MHz									
7 MHz									
8 MHz									
10 MHz									
20MHz									
30MHz									
40MHz									
50MHz									

表 A.6 单边带相位噪声

 $f_c=1\text{ GHz}$ 

偏离载频	$\Delta L/\text{dB}$	单边带相位噪声= $\Delta L-10\log(RBW)$	不确定度/dB
1 kHz			
10 kHz			
20 kHz			
100 kHz			
1 MHz			

表 A.7 剩余调频

频率	分辨力带宽	$\Delta F$	$\Delta L$	$Sen=\Delta F/\Delta L$	$\Delta f=Sen \times y$ (峰-峰值)	不确定度
300 MHz	1 kHz					
1 GHz	1 kHz					
4 GHz	1 kHz					
21 GHz	1 kHz					

50 GHz	1 kHz					
--------	-------	--	--	--	--	--

表 A.8 垂直显示刻度

表 A.8.1 对数刻度

衰减值/dB	实测值/dB	不确定度/dB
0 (参考)	/	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		

表 A.8.2 线性刻度 (参考电平-10 dBm)

$A$ (dB)	$E_n$ / mV	$E_m$ / mV	不确定度
10.00	70.71		
16.02	35.36		
23.98	14.14		
40.00	7.071		

表 A.9 参考电平

$L_{\text{ref}}/\text{dBm}$	$A/\text{dB}$	$a_1/\text{dBm}$	$a_2/\text{dBm}$	不确定度/ $\text{dB}$
10	0			
0	10			
-10 (参考)	20	/	/	/
-20	30			
-30	40			
-40	50			
-50	60			
-60	70			
-70	80			

表 A.10 输入衰减器转换影响

标准可变衰减器设定值 $\text{dB}$	输入衰减器 $\text{dB}$	频谱仪参考 电平 $\text{dB}$	输入衰减器转 换影响 $\text{dB}$	不确定度/ $\text{dB}$
80	0	-70		
70	10 (参考)	-60	/	
60	20	-50		
50	30	-40		
40	40	-30		
30	50	-20		
20	60	-10		
10	70	0		

表 A.11 分辨力带宽转换影响

RBW	$L/\text{dBm}$	$\Delta A/\text{dB}$	不确定度/ $\text{dB}$
1 Hz			
3 Hz			
10 Hz			
30 Hz			
100 Hz			
300 Hz			
1 kHz			
3 kHz			

10 kHz			
30 kHz(参考)		/	
100 kHz			
300 kHz			
1 MHz			
3 MHz			
8 MHz			
10MHz			
50MHz			

表 A.12 显示平均噪声电平

频率范围	显示平均噪声电平/dBm	不确定度/dB
10 kHz~100 kHz		
100 kHz~1 MHz		
1 MHz~10 MHz		
10 MHz~1.2 GHz		
1.2 GHz~2.1 GHz		
2.1 GHz~6.6 GHz		
6.6 GHz~13.2 GHz		
13.2 GHz~20 GHz		
20 GHz~22.5 GHz		
22.5 GHz~26.8 GHz		
26.8 GHz~31.15 GHz		
31.15 GHz~35 GHz		
35 GHz~38 GHz		
38 GHz~40 GHz		
40 GHz~50 GHz		
50 GHz~90 GHz		
90 GHz~110 GHz		

表 A.13 剩余响应

频率范围	频率实测值	电平实测值/dBm	不确定度/dB
------	-------	-----------	---------

200 kHz~6.6 GHz			
6.6 GHz~26.8 GHz			
26.8 GHz~50 GHz			
50 GHz~90 GHz			
90 GHz~110 GHz			

表 A.14 镜像响应

频率 $f_s$ /GHz	$f_1=f_s\pm 2f_{IF1}$	$L_S$ /dBm	$L_I$ /dBm	$a_c$ /dBc	不确定度/dB
2					
4					
9					
15					
21					
50					
55					

表 A.15 扫描时间

$T_n$	$F_m$ /Hz	$T_a$	不确定度
1 ms			
20 ms			
100 ms			
1 s			

表 A.16 绝对幅度

标称值/dBm	实测值/dBm	不确定度/dB
-10		

表 A.17 输入频响

频率范围	频率	$L_{SA}$ /dBm	$L_{PM}$ /dBm	$FR$ /dB	不确定度/dB
30 Hz~2.9 GHz	1 kHz				
	100 kHz				

	50 MHz				
	1 GHz				
	2 GHz				
2.9 GHz~6.6 GHz	3 GHz				
	4 GHz				
	5 GHz				
6.6 GHz~22 GHz	7 GHz				
	15 GHz				
	21 GHz				
22 GHz~26.5 GHz	22 GHz				
	24 GHz				
	26.5 GHz				
26.5 GHz~50 GHz	30 GHz				
	40 GHz				
	50 GHz				
50 GHz~90 GHz	60 GHz				
	70 GHz				
	80 GHz				
	90 GHz				
90 GHz~110 GHz	100 GHz				
	110 GHz				

表 A.18 二次谐波

基波频率 $f_0$ /GHz	$L_1$ /dBm	$L_2$ /dBm	$L_{in}$ /dBm	$S_{HD}$ /dBc	$S_{HI}$ /dBm	不确定度 /dB
0.05						
0.3						
1						
1.4						
1.8						
3						
5						
12						
20						
50						

表 A.19 三阶交调

$f_1$ /MHz	$f_2$ /MHz	$L_{in}$ /dBm	$\Delta L$ /dBc	$TOI$ /dBm	不确定度/dB
49	51				
199	201				
899	901				
2399	2401				
5499	5501				
12498	12500				
25498	25500				
39998	40000				

表 A.20 增益压缩

$f_1$ GHz	$f_2$ GHz	中心频率 GHz	混频器输入电平 dBm	增益压缩 dB	不确定度
0.053	0.05	0.05	0		
2.003	2.0	2.0	3		
10.003	10.0	10.0	-2		

表 A.21 输入端口电压驻波比

频率范围	电压驻波比	不确定度
50 MHz~3 GHz		
3 GHz~18 GHz		
18 GHz~26.5 GHz		
26.5 GHz~50 GHz		
50 GHz~90 GHz		
90 GHz~110 GHz		

表 A.22 频率计数

频率标准值	计数分辨率	实测值	不确定度
1.5 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		

4 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
9 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
16 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
26 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
30 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
40 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
50 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
90 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
110 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		

表 A.23 功率带宽

分辨力带宽	功率带宽/dB	不确定度/dB
10 Hz		
30 Hz		
100 Hz		
300 Hz		
1 kHz		

3 kHz		
10 kHz		
30 kHz		
100 kHz		
300 kHz		
1 MHz		

## 附录 B 校准证书内页格式

基于附录 A 的校准记录表格格式，校准证书内页所用表格格式编排如下。

## 校准证书内页表格

表 B.1 参考频率

标称值	实测值/MHz	不确定度
10 MHz		

表 B.2 校准信号电平

校准信号频率

标称值/dBm	实测值/dBm	不确定度/dB

表 B.3 频率读数

频率标准值	扫频宽度	频率读数	不确定度
1.5 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
4 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
9 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
16 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
26 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
30 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
40 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
50 GHz	1 MHz		
	10 MHz		

	100 MHz		
90 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		
110 GHz	1 MHz		
	10 MHz		
	100 MHz		

表 B.4 扫频宽度

标称值 $Span_n$	实测值	不确定度
100 Hz		
1 kHz		
10 kHz		
1 MHz		
10 MHz		
100 MHz		
1 GHz		
10 GHz		
26 GHz		
40 GHz		
50 GHz		
90GHz		
110GHz		

表 B.5 分辨力带宽及其选择性

标称值 $RBW_n$	$f_{左}$ (-3dB)	$f_{右}$ (-3dB)	实测值 $RBW_m$ (-3dB)	不确 定度	$f_{左}$ (-60dB)	$f_{右}$ (-60dB)	实测值 $RBW_m$ (-60dB)	选择 性 $S$	不确 定度
1 Hz									
3 Hz									
10 Hz									
30 Hz									
100 Hz									

300 Hz									
1 kHz									
3 kHz									
10 kHz									
100 kHz									
300 kHz									
1 MHz									
2 MHz									
3 MHz									
4 MHz									
5 MHz									
6 MHz									
7 MHz									
8 MHz									
10 MHz									
20MHz									
30MHz									
40MHz									
50MHz									

表 B.6 单边带相位噪声

 $f_c=1\text{ GHz}$ 

偏离载频	$\Delta L/\text{dB}$	单边带相位噪声= $\Delta L-10\log(RBW)$	不确定度/dB
1 kHz			
10 kHz			
20 kHz			
100 kHz			
1 MHz			

表 B.7 剩余调频

频率	分辨力带宽	$\Delta F$	$\Delta L$	$Sen=\Delta F/\Delta L$	$\Delta f=Sen \times y$ (峰-峰值)	不确定度

300 MHz	1 kHz					
1 GHz	1 kHz					
4 GHz	1 kHz					
21 GHz	1 kHz					
50 GHz	1 kHz					

表 B.8 垂直显示刻度

表 B.8.1 对数刻度

衰减值/dB	实测值/dB	不确定度/dB
0 (参考)	/	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		

表 B.8.2 线性刻度 (参考电平-10 dBm)

$A$ (dB)	$E_n$ / mV	$E_m$ / mV	不确定度
10.00	70.71		
16.02	35.36		

23.98	14.14		
40.00	7.071		

表 B.9 参考电平

$L_{\text{ref}}/\text{dBm}$	$A/\text{dB}$	$a_1/\text{dBm}$	$a_2/\text{dBm}$	不确定度/dB
10	0			
0	10			
-10 (参考)	20	/	/	/
-20	30			
-30	40			
-40	50			
-50	60			
-60	70			
-70	80			

表 B.10 输入衰减器转换影响

标准可变衰减器 设定值 dB	输入衰减器 dB	频谱仪参考 电平 dB	输入衰减器转 换影响 dB	不确定度/dB
80	0	-70		
70	10 (参考)	-60	/	
60	20	-50		
50	30	-40		
40	40	-30		
30	50	-20		
20	60	-10		
10	70	0		

表 B.11 分辨力带宽转换影响

RBW	$L/\text{dBm}$	$\Delta A/\text{dB}$	不确定度/dB
1 Hz			
3 Hz			
10 Hz			
30 Hz			

100 Hz			
300 Hz			
1 kHz			
3 kHz			
10 kHz			
30 kHz(参考)		/	
100 kHz			
300 kHz			
1 MHz			
3 MHz			
8 MHz			
10MHz			
50MHz			

表 B.12 显示平均噪声电平

频率范围	显示平均噪声电平/dBm	不确定度/dB
10 kHz~100 kHz		
100 kHz~1 MHz		
1 MHz~10 MHz		
10 MHz~1.2 GHz		
1.2 GHz~2.1 GHz		
2.1 GHz~6.6 GHz		
6.6 GHz~13.2 GHz		
13.2 GHz~20 GHz		
20 GHz~22.5 GHz		
22.5 GHz~26.8 GHz		
26.8 GHz~31.15 GHz		
31.15 GHz~35 GHz		
35 GHz~38 GHz		
38 GHz~40 GHz		
40 GHz~50 GHz		
50 GHz~90 GHz		
90 GHz~110 GHz		

表 B.13 剩余响应

频率范围	频率实测值	电平实测值/dBm	不确定度/dB
200 kHz~6.6 GHz			
6.6 GHz~26.8 GHz			
26.8 GHz~50 GHz			
50 GHz~90 GHz			
90 GHz~110 GHz			

表 B.14 镜像响应

频率 $f_s$ /GHz	$f_1=f_s\pm 2f_{IF1}$	$L_s$ /dBm	$L_I$ /dBm	$a_c$ /dBc	不确定度/dB
2					
4					
9					
15					
21					
50					
55					

表 B.15 扫描时间

$T_n$	$F_m$ /Hz	$T_a$	不确定度
1 ms			
20 ms			
100 ms			
1 s			

表 B.16 绝对幅度

标称值/dBm	实测值/dBm	不确定度/dB
-10		

表 B.17 输入频响

频率范围	频率	$L_{SA}/\text{dBm}$	$L_{PM}/\text{dBm}$	$FR/\text{dB}$	不确定度/ $\text{dB}$
30 Hz~2.9 GHz	1 kHz				
	100 kHz				
	50 MHz				
	1 GHz				
	2 GHz				
2.9 GHz~6.6 GHz	3 GHz				
	4 GHz				
	5 GHz				
6.6 GHz~22 GHz	7 GHz				
	15 GHz				
	21 GHz				
22 GHz~26.5 GHz	22 GHz				
	24 GHz				
	26.5 GHz				
26.5 GHz~50 GHz	30 GHz				
	40 GHz				
	50 GHz				

表 B.18 二次谐波

基波频率 $f_0$ /GHz	$L_1/\text{dBm}$	$L_2/\text{dBm}$	$L_{in}/\text{dBm}$	$SHD/\text{dBc}$	$SHI/\text{dBm}$	不确定度/ $\text{dB}$
0.05						
0.3						
1						
1.4						
1.8						
3						
5						
12						
20						
50						

表 B.19 三阶交调

$f_1/\text{MHz}$	$f_2/\text{MHz}$	$L_{in}/\text{dBm}$	$\Delta L/\text{dBc}$	$TOI/\text{dBm}$	不确定度/ $\text{dB}$
------------------	------------------	---------------------	-----------------------	------------------	-------------------

49	51				
199	201				
899	901				
2399	2401				
5499	5501				
12498	12500				
25498	25500				
39998	40000				

表 B.20 增益压缩

$f_1$ GHz	$f_2$ GHz	中心频率 GHz	混频器输入电平 dBm	增益压缩 dB	不确定度
0.053	0.05	0.05	0		
2.003	2.0	2.0	3		
10.003	10.0	10.0	-2		

表 B.21 输入端口电压驻波比

频率范围	电压驻波比	不确定度
50 MHz~3 GHz		
3 GHz~18 GHz		
18 GHz~26.5 GHz		
26.5 GHz~50 GHz		
50 GHz~90 GHz		
90 GHz~110 GHz		

表 B.22 频率计数

频率标准值	计数分辨率	实测值	不确定度
1.5 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
4 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		

9 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
16 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
26 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
30 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
40 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
50 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
90 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		
110 GHz	1 kHz		
	100 Hz		
	10 Hz		
	1 Hz		

表 B.23 功率带宽

分辨力带宽	功率带宽/dB	不确定度/dB
10 Hz		
30 Hz		
100 Hz		
300 Hz		
1 kHz		
3 kHz		
10 kHz		
30 kHz		

100 kHz		
300 kHz		
1 MHz		

## 附录 C 测量不确定度评定示例

### C.1 参考频率测量不确定度

#### C.1.1 不确定度来源和测量模型

由《频谱分析仪校准规范》中参考频率校准的测量方法可知，测量结果的不确定度来源包括测量重复性、频率计数器参考频率、频率计数器分辨率、数据修约，则可建立如式（C.1）所示的不确定度评定测量模型。

$$f = f_0 + \Delta f_1 + \Delta f_2 + \Delta f_3 + \Delta f_4 \quad (\text{C.1})$$

其中， $f$ 为被测频率， $f_0$ 为频率计数器示值， $\Delta f_1$ 为测量重复性引入的误差， $\Delta f_2$ 为频率计数器参考频率引入的误差， $\Delta f_3$ 为频率计数器分辨率引入的误差， $\Delta f_4$ 为数据修约引入的误差。

#### C.1.2 标准不确定度分量的评定

##### C.1.2.1 测量重复性

用频率计数器测量频谱仪 10MHz 参考频率，10 次测量结果如表 C.1 所示，采用 A 类评定方法计算贝塞尔公式，得到测量重复性引入的标准不确定度分量为  $u_1 = 4.2 \times 10^{-8}$  MHz，则其相对标准不确定度分量为  $u_{1rel} = 4.2 \times 10^{-9}$ 。

表 C.1 10MHz 参考频率测量结果

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果(MHz)	9.9999998	9.9999998	9.9999997	9.9999998	9.9999998
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果(MHz)	9.9999998	9.9999998	9.9999997	9.9999998	9.9999998

##### C.1.2.2 频率计数器参考频率

频率计数器参考晶振的频率相对最大允许误差为  $\pm 5 \times 10^{-9}$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，频率计数器参考频率引入的相对标准不确定度分量  $u_{2rel} = 2.9 \times 10^{-9}$ 。

##### C.1.2.3 频率计数器分辨率

频率计数器测量 10MHz 参考频率信号时，分辨率为 0.01Hz，引入的相对量化误差为  $\pm 5 \times 10^{-10}$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则频率计数器分辨率引入的相对标准不确定度分量  $u_{3rel} = 2.9 \times 10^{-10}$ 。

##### C.1.2.4 数据修约

由于参考频率的测量值只取到 0.1Hz 位，所以由数据修约引入的相对量化误差为  $\pm 5 \times 10^{-9}$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，数据修约引入的相对标准不确定度分量  $u_{4rel} = 2.9 \times 10^{-9}$ 。

### C.1.3 相对标准不确定度分量汇总表

表 C.2 相对标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	符号	数值
测量重复性	A 类	$u_{1rel}$	$4.2 \times 10^{-9}$
频率计数器参考频率	B 类	$u_{2rel}$	$2.9 \times 10^{-9}$
频率计数器分辨力	B 类	$u_{3rel}$	$2.9 \times 10^{-10}$

数据修约	B 类	$u_{4rel}$	$2.9 \times 10^{-9}$
------	-----	------------	----------------------

## C.1.4 计算合成相对标准不确定度

由于各引入不确定度分量之间相互独立, 则合成相对标准不确定度由下式计算得

$$u_{crel} = \sqrt{u_{1rel}^2 + u_{2rel}^2 + u_{3rel}^2 + u_{4rel}^2} = 5.9 \times 10^{-9}$$

## C.1.5 计算相对扩展不确定度

取  $k=2$ , 则相对扩展不确定度:  $U_{rel}=1.2 \times 10^{-8}$

## C.2 校准信号电平误差测量不确定度

## C.2.1 不确定度来源和测量模型

由《频谱分析仪校准规范》中校准信号电平误差校准的测量方法可知, 频谱仪 E4448A 没有校准输出端口, 采用方法二进行测量, 则测量结果的不确定度来源包括测量重复性、功率计、功分器输出不平衡、失配, 则可建立如式 (C.2) 所示的不确定度评定测量模型。

$$L = L_0 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 \quad (C.2)$$

其中,  $L$  为被测电平,  $L_0$  为功率计示值,  $\delta_1$  为测量重复性引入的误差,  $\delta_2$  为功率计引入的误差,  $\delta_3$  为功分器输出不平衡引入的误差,  $\delta_4$  为失配引入的误差。

## C.2.2 标准不确定度分量的评定

## C.2.2.1 测量重复性

用功率计测量频谱仪校准信号电平, 10 次测量结果如表 C.3 所示, 标称值为 -25dBm, 采用 A 类评定方法计算贝塞尔公式, 得到校准信号电平误差的标准偏差约为 0.01dB, 则测量重复性引入的标准不确定度分量为  $u_1=0.01$  dB。

表 C.3 校准信号电平测量结果

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果(dBm)	-25.04	-25.03	-25.04	-25.04	-25.03
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果(dBm)	-25.05	-25.04	-25.04	-25.03	-25.04

## C.2.2.2 功率计

由检定证书给出标准装置中功率计的标准不确定度为  $u_2=0.02$ dB。

## C.2.2.3 功分器输出不平衡

经实验测量得, 两电阻式功分器两输出端的不平衡引入误差为 0.1dB, 按均匀分布,  $k=\sqrt{3}$ , 则功分器输出不平衡引入的标准不确定度分量  $u_3=0.06$ dB。

## C.2.2.4 失配

信号发生器 E8257D 的反射系数为 0.167, 频谱仪 E4448A 的反射系数为 0.091, 则失配对测量结果的影响最大为  $2 \times 0.167 \times 0.091$ , 按 U 型分布,  $k=\sqrt{2}$ , 失配引入的标准不确定度分量  $u_4 = (2 \times 0.167 \times 0.091) / \sqrt{2} = 0.02$  dB。

## C.2.3 标准不确定度分量汇总表

表 C.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	符号	数值 (dB)
测量重复性	A 类	$u_1$	0.01
功率计	B 类	$u_2$	0.02

功分器输出不平衡	B 类	$u_3$	0.06
失配	B 类	$u_4$	0.02

## C.2.4 计算合成标准不确定度

由于各引入不确定度分量之间相互独立，则合成标准不确定度由下式计算得

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.07 \text{ dB}$$

## C.2.5 计算扩展不确定度

取  $k=2$ ，则扩展不确定度： $U=0.14 \text{ dB}$

## C.3 噪声边带测量不确定度

## C.3.1 不确定度来源和测量模型

由《频谱分析仪校准规范》中噪声边带校准的测量方法可知，不确定度来源包括：测量重复性、信号发生器相位噪声、电平差读数、频谱仪本底噪声，则可建立如式(C.3)所示的不确定度评定测量模型。

$$\mathcal{L}(f) = \square L - 20 \log \text{RBW} + \square \mathcal{L}_1 + \square \mathcal{L}_2 + \square \mathcal{L}_3 \quad (\text{C.3})$$

其中， $\square L$  是偏离载频  $f$  处的电平与载频的电平差； $\square \mathcal{L}_1$  测量重复性引入的误差； $\square \mathcal{L}_2$  信号发生器相位噪声引入的误差； $\square \mathcal{L}_3$  频谱仪噪声本底引入的误差。

## C.3.2 标准不确定度分量的评定

## C.3.2.1 测量重复性

测量 100kHz 频偏处电平与载频的电平差，10 次测量结果如表 C.7 所示，采用 A 类评定方法计算贝塞尔公式，得到测量重复性引入的标准不确定度分量为  $u_1=0.75\text{dB}$ 。

表 C.5 噪声边带测量结果

测量次数	1	2	3	4	5
测量结果(dB)	-94.5	-95.4	-95.8	-94.2	-95.6
测量次数	6	7	8	9	10
测量结果(dB)	-95.5	-93.6	-94.2	-94.8	-95.4

## C.3.2.2 信号发生器相位噪声

查 E8257D 和 E4448A 的指标手册可知，当载频为 1GHz 时，100kHz 频偏处的相噪引入的不确定度在载频 1GHz 时为 0.2dB。按均与分布， $k=\sqrt{3}$ ，其标准不确定度分量为  $u_2=0.12\text{dB}$ 。

## C.3.2.3 电平差读数

电平差读数引入的不确定度主要是刻度保真度和频率响应带来的，查 E4448A 频谱分析仪的指标手册可知，垂直显示刻度误差为 0.13dB，频响为 0.38，都按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，计算得电平差读数引入的不确定度分量

$$u_3 = \sqrt{(0.13/\sqrt{3})^2 + (0.38/\sqrt{3})^2} = 0.23\text{dB}$$

## C.3.2.4 频谱仪本底噪声

被测频谱仪本底噪声比相位噪声低 15dB，引入的不确定度为 0.2dB，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，计算得频谱仪本底噪声引入的不确定度分量  $u_4=0.12\text{dB}$ 。

## C.3.3 标准不确定度分量汇总表

表 C.6 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	符号	数值 (dB)
测量重复性	A 类	$u_1$	0.75
信号发生器相位噪声	B 类	$u_2$	0.12

---

电平差读数	B类	$u_3$	0.23
频谱仪本底噪声	B类	$u_4$	0.12

## C.3.4 计算合成标准不确定度

由于各引入不确定度分量之间相互独立，则合成标准不确定度由下式计算得

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.8 \text{ dB}$$

## C.3.5 计算扩展不确定度

取  $k=2$ ，则扩展不确定度： $U=1.6 \text{ dB}$

---