



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 721—2010

相位噪声测量系统

Phase Noise Measurement System

2010-09-06 发布

2011-03-06 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

相位噪声测量系统

检定规程

Verification Regulation of

Phase Noise Measurement System

JJG 721—2010
代替 JJG 721—1991

本规程经国家质量监督检验检疫总局于2010年9月6日批准，并自2011年3月6日起施行。

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：中国航天科工集团二院二〇三所

参加起草单位：中国计量科学研究院

本规程委托全国时间频率计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

韩 红（中国航天科工集团二院二〇三所）

阎栋梁（中国航天科工集团二院二〇三所）

参加起草人：

张爱敏（中国计量科学研究院）

杨 军（中国航天科工集团二院二〇三所）

目 录

1 范围	(1)
2 术语和计量单位	(1)
3 概述	(1)
3.1 用途	(1)
3.2 组成及工作原理	(1)
4 计量性能要求	(2)
4.1 相位噪声本底 (不含下变频器)	(2)
4.2 下变频器技术性能	(2)
4.3 调幅噪声本底	(3)
5 通用技术要求	(4)
5.1 外观及附件	(4)
5.2 工作正常性	(4)
6 计量器具控制	(4)
6.1 检定条件	(4)
6.2 检定项目及检定方法	(6)
6.3 检定结果的处理	(10)
6.4 检定周期	(10)
附录 A 检定证书内页格式	(11)
附录 B 检定结果通知书内页格式	(12)

相位噪声测量系统检定规程

1 范围

本规程适用于相位噪声测量系统（采用正交检相法和鉴频器法）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 术语和计量单位

2.1 相位噪声 phase noise

频率稳定度的频域表征。定义为单边带偏离信号载频处单位带宽（取 1 Hz）内调相边带功率与载波功率之比。单位为 dBc/Hz。偏离载频的偏离值称为傅立叶频率。

2.2 相位噪声本底 phase noise floor

在一定的载波频率和功率下，相位噪声测量系统的测量能力的极限值。单位为 dBc/Hz。

2.3 相位检波常数 phase detection coefficient

被测件的相位起伏和检相器输出电压起伏之间的关系。通常用 K_{ϕ} 表示。单位为 V/rad。

2.4 附加相位噪声 additional phase noise

频率控制部件引入的相位噪声。单位为 dBc/Hz。

2.5 调幅噪声 amplitude-modulation noise

单边带偏离信号载频处单位带宽（取 1 Hz）内调幅边带功率与载波功率之比。单位为 dBc/Hz。偏离载频的偏离值称为傅立叶频率。

3 概述

3.1 用途

相位噪声测量系统（以下简称测量系统）主要用于测量各种频率源的相位噪声和各种频率控制部件的附加相位噪声，被广泛应用于通信工程、时间频率测量等领域。

3.2 组成及工作原理

主要由相位噪声测试接口、下变频器、数据采集与处理器（频谱仪或 A/D 采集器）及计算机组成，测量系统软件通过接口可对上述除计算机以外的各部分及默认的参考源进行程控；直接检相频率范围为 50 kHz~26.5 GHz，通过下变频器可使被检频率扩展至 40 GHz；

测量系统组成原理框图见图 1。

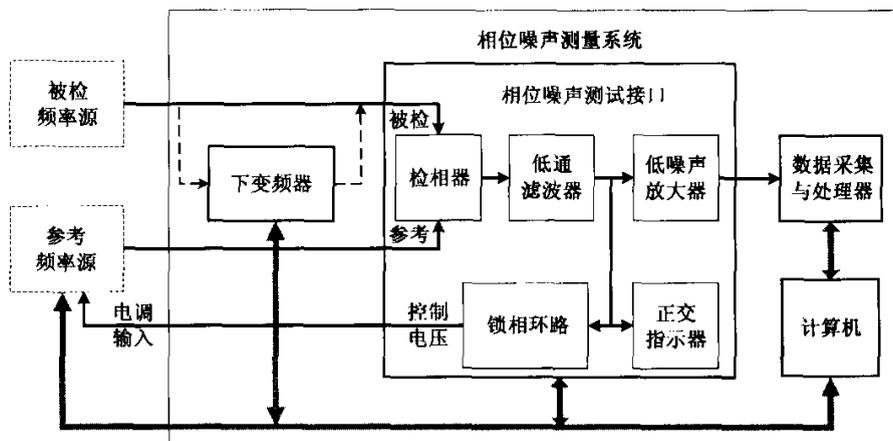


图1 相位噪声测量系统组成原理框图

4 计量性能要求

4.1 相位噪声本底（不含下变频器）

相位噪声本底要求见表1。

表1 相位噪声本底要求

傅立叶频率 f	单边带相位噪声 $\mathcal{L}(f)$ 单位: dBc/Hz	
	射频频段 50 kHz~1.8 GHz	微波频段 1.2 GHz~26.5 GHz
1 Hz	-130~-140	-115~-120
10 Hz	-140~-150	-125~-130
100 Hz	-150~-160	-135~-140
1 kHz	-160~-170	-145~-150
10 kHz	-168~-178	-155~-160
≥ 100 kHz	-168~-178	-160~-168
RF 输入功率 (dBm)	+6~+16	+5~+6
LO 输入功率 (dBm)	+7~+17	+7~+10

4.2 下变频器技术性能

4.2.1 中频输出频率及功率

输入频率: 1 GHz~40 GHz

输出频率: 5 MHz~1.8 GHz

输出功率: -10 dBm~+10 dBm

4.2.2 附加相位噪声

附加相位噪声要求见表2。

表 2 下变频器附加相位噪声要求

傅立叶频率 f	单边带相位噪声 $\mathcal{L}(f)$ 单位: dBc/Hz 载波频率 $f_0 = 10$ GHz
10 Hz	-60~-77
100 Hz	-80~-93
1 kHz	-97~-117
10 kHz	-119~-129
100 kHz	-125~-136
1 MHz	-135~-143
10 MHz	-135~-154

4.2.3 本振源相位噪声

本振源相位噪声要求见表 3。

表 3 下变频器本振源相位噪声要求

傅立叶频率 f	单边带相位噪声 $\mathcal{L}(f)$ 单位: dBc/Hz 载波频率 $f_0 = 4.2$ GHz
10 Hz	-72~-85
100 Hz	-92~-98
1 kHz	-120~-127
10 kHz	-131~-138
100 kHz	-138~-141
1 MHz	-145~-157
10 MHz	-145~-165

4.3 调幅噪声本底

调幅噪声本底要求见表 4。

表 4 调幅噪声本底要求

傅立叶频率 f	单边带调幅噪声 $m(f)$ 单位: dBc/Hz 载波频率 $f_0 = 600$ MHz
100 Hz	-105~-142
1 kHz	-125~-140
10 kHz	-140~-150
≥ 100 kHz	-150
输入信号功率	+10 dBm

5 通用技术要求

5.1 外观及附件

前面板或后面板上应有仪器名称、型号、制造厂、出厂序号和电源要求。电源开关、输入输出端口、功能设置开关和旋钮应有明确的识别标志。专用接口、通讯线、转接头及电缆线应齐全。

外观不应有影响正常工作的机械损伤。开关和旋钮应灵活、可靠。输入输出端口牢固。

首次检定要携带使用说明书；后续检定要携带前次的检定证书。

5.2 工作正常性

被检测量系统通电后应通过自检，功能正常。

6 计量器具控制

6.1 检定条件

6.1.1 检定用设备

6.1.1.1 频率合成器

- a) 频率范围：1 MHz~40 GHz
- b) 输出频率可调，频率分辨力：1 Hz
- c) 输出功率：0 dBm~+18 dBm，载波频率 $f_0 \leq 1$ GHz；
0 dBm~+15 dBm，载波频率 $f_0 > 1$ GHz
- d) 相位噪声：
相位噪声要求见表 5。

表 5 频率合成器相位噪声要求

傅立叶频率 f	单边带相位噪声 $L(f)$ 单位：dBc/Hz	
	载波频率 $f_0 = 400$ MHz	载波频率 $f_0 = 10$ GHz
1 Hz	-80	-50
10 Hz	-105	-80
100 Hz	-120	-95
1 kHz	-135	-110
10 kHz	-140	-120
100 kHz	-140	-120
1 MHz	-150	-140

e) 具有调幅功能, 调制频率: 10 Hz~100 kHz, 调制深度: 0~10%, 调制分辨力: 0.1%

6.1.1.2 频率合成器 (定标源)

- a) 频率范围: 1 MHz~1 GHz
- b) 输出频率可调, 频率分辨力: 1 kHz
- c) 输出功率: 0 dBm~+18 dBm
- d) 功率分辨力: 0.1 dB

6.1.1.3 功率计

- a) 频率范围: 1 MHz~40 GHz
- b) 功率范围: 0 dBm~+25 dBm
- c) 测量分辨力: 0.01 dB

6.1.1.4 功分器 1

- a) 频率范围: 1 MHz~2 GHz
- b) 输入输出阻抗: 50 Ω
- c) 插入损耗: ≤ 6 dB
- d) 最大输入功率: +25 dBm

6.1.1.5 功分器 2

- a) 频率范围: 1 GHz~40 GHz
- b) 输入输出阻抗: 50 Ω
- c) 插入损耗: ≤ 6 dB
- d) 最大输入功率: +20 dBm

6.1.1.6 延迟线

- a) 频率范围: 1 MHz~40 GHz
- b) 延迟范围: 0.1 ns~1 μ s
- c) 输入输出阻抗: 50 Ω
- d) 插入损耗: < 6 dB
- e) 最大输入功率: +25 dBm
- f) 附加相位噪声: 优于-178 dBc/Hz (傅立叶频率 $f \geq 10$ kHz)

6.1.1.7 频谱仪

- a) 频率范围: 1 MHz~2 GHz
- b) 频率分辨力: 10 kHz
- c) 幅度范围: -20 dBm~+20 dBm, 最大允许误差: ± 0.5 dB

6.1.1.8 标准频率源

- a) 频率范围: 1 MHz~2 GHz
- b) 输出功率: +10 dBm
- c) 调幅噪声:
调幅噪声要求见表 6。

表6 标准频率源调幅噪声要求

傅立叶频率 f	单边带调幅噪声 $m(f)$ 单位: dBc/Hz 载波频率 $f_0 = 600$ MHz
100 Hz	-145
1 kHz	-150
10 kHz	-160
≥ 100 kHz	-160
输入信号功率	+10 dBm

6.1.2 检定环境条件

a) 环境温度: 可处于 $18\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内任一点, 检定过程中温度最大允许变化范围 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

b) 环境相对湿度: $\leq 80\%$ 。

c) 供电电源: $220(1 \pm 10\%)$ V, $50(1 \pm 2\%)$ Hz, 零线对地线电压不大于 2 V。

d) 周围无影响检定正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 检定项目及检定方法

6.2.1 检定项目

检定项目见表 7。

表7 检定项目

项目名称	首次检定	后续检定	使用中检验
外观及工作正常性	+	+	+
相位噪声本底	+	+	-
下变频器技术性能	+	+	-
调幅噪声本底	+	-	-

注: “+”为应检项目, “-”为可不检项目。

注: 检定时的检定项目可按被检相位噪声测量系统技术说明书给出的技术指标进行检定。

6.2.2 检定方法

6.2.2.1 外观及工作正常性检查

(1) 外观检查

外观检查应符合 5.1 规定。

(2) 工作正常性检查

通电后, 各状态指示正常, 各输出端有相应的信号输出。通电 30 min 后, 按照测量系统使用说明书或根据计算机屏幕提示连接仪器, 进行功能检查, 各项功能应正常。

6.2.2.2 相位噪声本底

(1) 射频频段

a) 仪器连接见图 2。

注: 所有电缆应采用低损耗同轴电缆, 电缆 2、电缆 3 的长度之和应与电缆 1 相等。

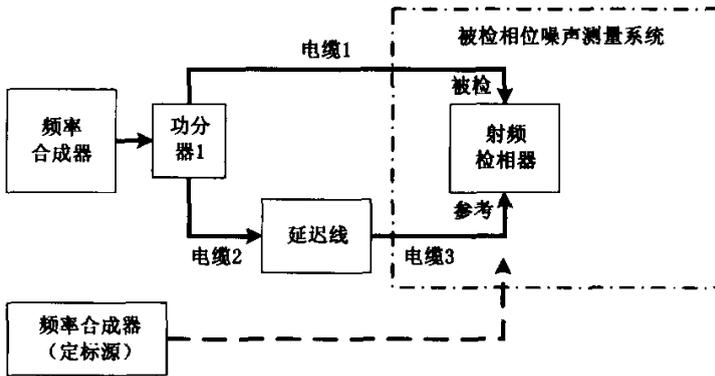


图2 射频频段相位噪声本底测量框图

b) 设置频率合成器的输出频率为被检频率 f_0 (如: 400 MHz), 输出功率为 +18 dBm。

c) 测量方法选择附加相位噪声测量。相位检波常数 K_ϕ 测量方法选择差拍法或正负直流峰值法。

d) 使用差拍法测量相位检波常数 K_ϕ 。用功率计测量参考输入端功率; 设置频率合成器 (定标源) 的输出频率为 $f_0 + f_b$ (f_b 可设置为小于 100 kHz 的任意低频频率, 典型应用为 1 kHz), 输出功率与参考输入端功率相等, 替代原输入信号接入参考输入端, 被替代的信号通路末端加 50Ω 负载终端; 测量系统测量检相器输出的差拍信号 f_b 的电压峰值 (单位: V), 则相位检波常数 K_ϕ 的数值等于 f_b 的电压峰值。然后去掉频率合成器 (定标源), 按图 2 连接好仪器, 调节延迟线, 观察正交指示器, 使两路信号相位正交 (正交指示器的指针指向 0 位置), 在测量系统程序的控制下, 进行相位噪声测量, 测得的结果即为被检测量系统射频检相器的相位噪声本底。

e) 使用正负直流峰值法测量相位检波常数 K_ϕ 。调节延迟线, 观察正交指示器, 使射频检相器输出的直流电压达到正峰值 (正交指示器的指针指向正向最大值), 用 U_{\max} (单位: V) 表示, 再调节延迟线, 使射频检相器输出的直流电压达到负峰值 (正交指示器的指针指向负向最大值), 用 U_{\min} (单位: V) 表示。则相位检波常数 K_ϕ 的数值等于 U_{\max} 与 U_{\min} 之差的一半。调节延迟线, 使两路信号相位正交 (正交指示器的指针指向 0 位置), 在测量系统程序的控制下, 进行相位噪声测量, 测得的结果即为被检测量系统射频检相器的相位噪声本底。

f) 从相位噪声本底曲线上读取各傅立叶频率点的相位噪声, 其值应符合 4.1 规定。

(2) 微波频段

a) 仪器连接见图 3。

注: 所有电缆应采用微波低损耗同轴电缆, 电缆 2、电缆 3 的长度之和应与电缆 1 相等。

b) 设置频率合成器的输出频率为被检频率 (如: 10 GHz), 输出功率为 +15 dBm。

c) 测量方法选择附加相位噪声测量。相位检波常数 K_ϕ 测量方法选择差拍法或正负直流峰值法。

d) 使用差拍法测量相位检波常数 K_ϕ 。测量方法同 6.2.2.2 (1) d)。

e) 使用正负直流峰值法测量相位检波常数 K_ϕ 。测量方法同 6.2.2.2 (1) e)。

f) 从相位噪声本底曲线上读取各傅立叶频率点的相位噪声，其值应符合 4.1 规定。

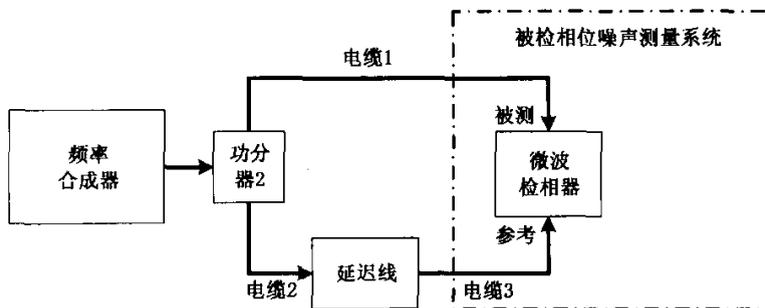


图3 微波频段相位噪声本底测量框图

6.2.2.3 下变频器

(1) 中频输出频率和功率

a) 仪器连接见图4。

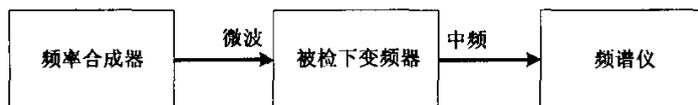


图4 下变频器中频输出频率和功率测量框图

b) 根据下变频器各频段输入频率及输入功率的要求，设置频率合成器的输出频率及输出功率。

c) 根据下变频器各频段的中频输出频率及输出功率，设置频谱仪的参考电平、中心频率、分析带宽、分辨带宽和视频带宽等。频谱仪的参考电平应设置成与输入信号电平相同或略大，使输入信号的顶部显示在屏幕的顶格之中。若分析带宽设置为 50 kHz，则分辨带宽和视频带宽可设置为 100 Hz。

d) 使用频谱仪的标记功能得到每个中频频率及功率，其值应符合 4.2.1 规定。

(2) 附加相位噪声

a) 仪器连接见图5。

注：所有电缆应采用低损耗同轴电缆，由功分器至相位噪声测量系统的两个信号通路的延迟差应该最小。

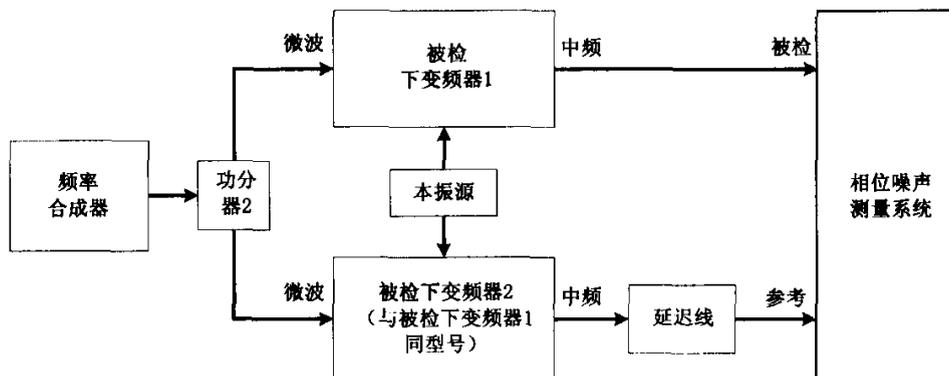


图5 下变频器附加相位噪声测量框图

- b) 设置频率合成器的输出功率为+15 dBm，输出频率按仪器说明书要求。
- c) 测量方法同 6.2.2.2 (1) c)~e)；
- d) 将测得的相位噪声曲线的示值减去 3 dB 作为每个被检下变频器附加相位噪声测量结果，其值应符合 4.2.2 规定。

(3) 本振频率源相位噪声

- a) 仪器连接见图 6。

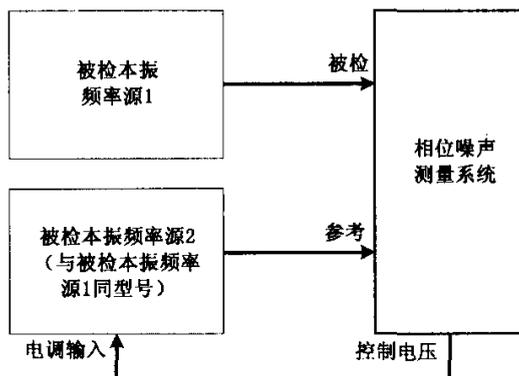


图 6 下变频器本振频率源相位噪声测量框图

- b) 设置两本振频率源的输出功率 $\geq +7$ dBm，被检频率点按仪器说明书要求。
- c) 测量方法选择锁相环法。
- d) 测量相位检波常数 K_{ϕ} 。锁相环置于开路状态，调整控制电压，将一路信号的频率调偏，使检相器输出一差拍信号 f_b ，测量系统测量 f_b 的电压峰值（单位：V），则相位检波常数 K_{ϕ} 的数值等于 f_b 的电压峰值。
- e) 调整控制电压，使两路信号频率一致，在测量系统程序的控制下，锁相环关闭，两路信号相位正交，进行相位噪声测量。
- f) 将测得曲线的示值减去 3 dB 作为每个被检本振频率源相位噪声测量结果，其值应符合 4.2.3 规定。

6.2.2.4 调幅噪声本底

- a) 仪器连接见图 7。

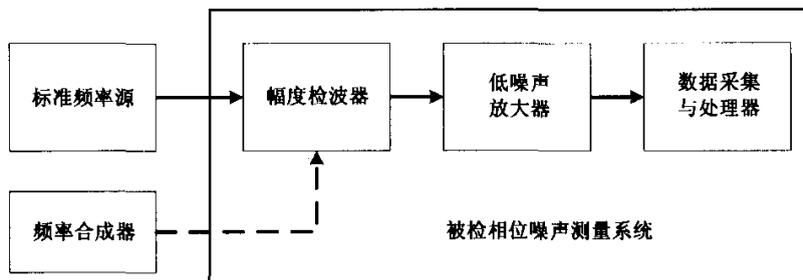


图 7 调幅噪声本底测量框图

- b) 设置标准频率源的输出频率为被检频率，输出功率为+10 dBm。
- c) 测量方法选择调幅噪声测量。

d) 使用频率合成器替代标准频率源, 设置频率合成器的输出频率及功率与标准频率源相同, 并进行单音频调幅 (调幅系数 $m_A = 0.01$), 设置调制频率为 1 kHz 或 10 kHz, 调制深度为 1%。

e) 用频谱仪观察调制边带功率 P_{SB} 与载波功率 P_C 。在频谱仪上应观察到, 频率为 1 kHz 或 10 kHz 的调制边带的功率相对于载波功率为 -46 dB。

f) 将所选的调制频率和调幅系数输入到测量系统控制界面的指定位置, 将标准频率源重新接入系统, 测量系统自动测量进行调幅噪声测量, 其值应符合 4.3 规定。

6.3 检定结果的处理

按本规程要求检定合格的测量系统, 出具检定证书, 检定不合格的, 出具检定结果通知书, 并注明不合格项目。

6.4 检定周期

测量系统的检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

检定证书内页格式

A.1 相位噪声本底

载波频率 $f_0 =$ Hz

分析频率	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz
单边带相位噪声 $L(f)$ (dBc/Hz)							
指标值 (dBc/Hz)							

A.2 下变频器中频输出频率和功率

微波输入信号频率 (GHz)	微波输入信号功率 (dBm)	中心频率 (GHz)	中频输出频率 (MHz)	中频输出功率 (dBm)	指标值 (dBm)

A.3 调幅噪声本底

载波频率 $f_0 =$ Hz

分析频率	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
单边带调幅噪声 $m(f)$ (dBc/Hz)				
指标值 (dBc/Hz)				

注：对于有测量曲线图的项目，可将测量曲线图附在数据表格下面。

附录 B

检定结果通知书内页格式

B.1 相位噪声本底

载波频率 $f_0 =$ Hz

分析频率	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz
单边带相位噪声 $\mathcal{L}(f)$ (dBc/Hz)							
指标值 (dBc/Hz)							

B.2 下变频器中频输出频率和功率

微波输入信号频率 (GHz)	微波输入信号功率 (dBm)	中心频率 (GHz)	中频输出频率 (MHz)	中频输出功率 (dBm)	指标值 (dBm)

B.3 调幅噪声本底

载波频率 $f_0 =$ Hz

分析频率	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
单边带调幅噪声 $m(f)$ (dBc/Hz)				
指标值 (dBc/Hz)				

注：① 对于有测量曲线图的项目，可将测量曲线图附在数据表格下面。

② 对于不合格的项目，在其数据前标注“*”号，并在数据表格下方注明标注“*”号的数据为不合格项。