



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF (电子) 00XX—2024

长波信号模拟器校准规范

Calibration Specification for Long Wave Signal Simulators

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

长波信号模拟器校准规范

Calibration Specification for
Long Wave Signal Simulators

JJF(电子) XXXX—2024

归口单位：中国电子技术标准化研究院

起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所

参加起草单位：中电科瑞测（西安）科技服务有限公司

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：

程翊昕（中国电子科技集团公司第二十研究所）

陆 强（中国电子科技集团公司第二十研究所）

刘 洋（中国电子科技集团公司第二十研究所）

参加起草人：

张 伟（中国电子科技集团公司第二十研究所）

行 江（中国电子科技集团公司第二十研究所）

王震宇（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

目 录

引 言.....	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	2
6 校准条件	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目.....	4
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果表达	11
9 复校时间间隔	12
附录 A 校准原始记录格式.....	13
附录 B 校准证书内页格式.....	18
附录 C 主要项目校准结果不确定度评定示例.....	22

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量技术规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

长波信号模拟器校准规范

1 范围

本校准规范适用于长波信号模拟器的校准。

2 引用文件

GB 12752 船用罗兰 C 接收设备通用技术条件

GB 14379 罗兰 C 系统通用技术条件

GJB 8917-2017 长波授时技术要求

注：凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规则；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规则。

3 术语和计量单位

3.1 长波信号 long wave signal

指工作在 100kHz 的远程无线电导航系统所发射的信号，主要用于导航，同时也可以用作定时、校频及通讯。长波信号一般由一个主台和多个副台监测站发射，其中提供时间基准的台称主台，其余的台称副台。

3.2 脉冲组 pulses interval

长波台发射的形状相同的一串脉冲，主台九个为一组，副台八个为一组。

3.3 包周差 envelope to cycle difference (ECD)

包周差是指接收信号脉冲包络起始后 25 μ s 与正相位码脉冲载波第三个负向过零点时间之差，单位 μ s。

3.4 组重复间隔 group repetition interval (GRI)

长波信号的相邻两个脉冲组之间的时间间隔，单位 μ s。

3.5 地波信号 ground wave signal

指沿地球表面传输到接收点的发射台辐射信号。

3.6 天波信号 skywave signal

指经电离层反射后传输到接收点的发射台辐射信号。

4 概述

长波信号模拟器是长波信号的产生设备，其在长波授时系统建设和长波信号接收机研制和应用中占据重要地位。长波信号模拟器的工作原理如图 1 所示：

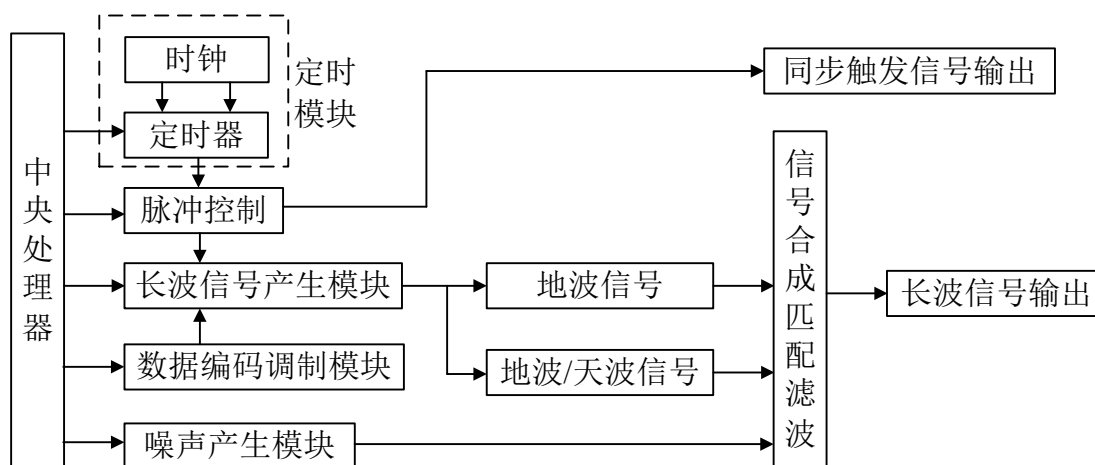


图 1 长波信号模拟器的工作原理图

模拟器通过编码调制、波形产生、干扰产生以及信号合成，输出需要的长波信号，模拟器主要由定时信号产生、脉冲控制、长波信号产生、数据编码调制、随机噪声产生、信号合成匹配滤波等模块构成。长波信号模拟器的作用主要有以下几点：

- （1）作为信号源为长波信号接收机的研制和调试提供模拟的激励信号；
- （2）用于长波信号接收机的时延标定和校准；
- （3）用于定检和测试长波信号接收机的工作状态和性能指标。

5 计量特性

5.1 长波信号频率

长波信号频率：100kHz；最大允许误差：±10kHz；

5.2 长波信号电平

范围：20dBμV~114dBμV，最大允许误差：±2dB；

5.3 组重复间隔 (GRI)

范围: $40000\mu\text{s}\sim 99900\mu\text{s}$, 最大允许误差: $\pm 10\mu\text{s}$;

5.4 包周差 (ECD)

范围: $-5\mu\text{s}\sim +5\mu\text{s}$, 最大允许误差: $\pm 2\mu\text{s}$;

5.5 副台延迟

范围: $0\mu\text{s}\sim 3000\mu\text{s}$, 最大允许误差: $\pm 10\mu\text{s}$;

5.6 天波延迟

范围: $20\mu\text{s}\sim 100\mu\text{s}$, 最大允许误差: $\pm 10\mu\text{s}$;

5.7 随机噪声

电平范围: $20\text{dB}\mu\text{V}\sim 100\text{dB}\mu\text{V}$, 最大允许误差: $\pm 2\text{dB}$;

3dB 带宽最小值: $30\text{kHz}\sim 250\text{kHz}$;

1dB 带宽最小值: $50\text{kHz}\sim 150\text{kHz}$;

5.8 窄带干扰信号

频率范围: $50\text{kHz}\sim 25\text{MHz}$, 最大允许误差: $\pm 10\text{kHz}$;

电平范围: $20\text{dB}\mu\text{V}\sim 100\text{dB}\mu\text{V}$, 最大允许误差: $\pm 2\text{dB}$ 。

注: 以上计量特性仅供参考, 不作为合格判据。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度: $\leq 80\%$ 。

6.1.3 电源要求: $(220\pm 11)\text{V}$ 、 $(50\pm 1)\text{Hz}$ 。

6.1.4 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 频谱分析仪

频率范围: $20\text{Hz}\sim 1\text{GHz}$;

时基准确度: 优于 1×10^{-7} ;

电平测量准确度: $\pm 0.5\text{dB}$ (频率 50MHz 以内);

显示平均噪声电平：小于-140dBm。

6.2.2 数字示波器

频带宽度：DC~100MHz；

采样速率：1GS/s；

存储深度：10Mbit；

具备信号包络检波能力。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

长波信号模拟器校准项目见表1。

表1 长波信号模拟器校准项目一览表

编号	项目名称	校准方法的条款号
1	外观及工作正常性检查	7.2.1
2	长波信号频率	7.2.2
3	长波信号电平	7.2.3
4	组重复间隔	7.2.4
5	包周差	7.2.5
6	副台延迟	7.2.6
7	天波延迟	7.2.7
8	随机噪声	7.2.8
9	窄带干扰	7.2.9

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

7.2.1.1 长波信号模拟器应有明晰的型号、生产编号、制造厂商，送校时应附有使用说明书及全部配套附件。

7.2.1.2 长波信号模拟器结构应完整并无影响正常工作及读数的机械损伤。

7.2.2 长波信号频率

7.2.2.1 按图 2 连接仪器设备；

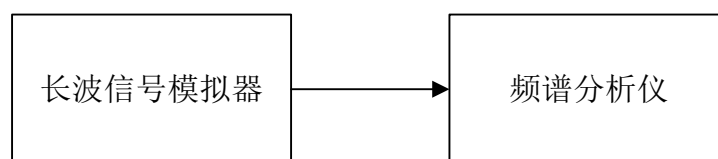


图 2 长波信号频率测量连接框图

7.2.2.2 设置长波信号模拟器发射长波信号，频谱分析仪接收该长波信号；

7.2.2.3 将频谱分析仪中心频率设置为 100kHz，分辨率带宽设置为 30kHz，电平测量单位设置为 dB μ V；

7.2.2.4 打开最大保持，使用峰值搜索功能测量长波信号频率，记录测量结果至附录 A 表 A.2 中；

7.2.2.5 计算频率误差值，输出频率的误差按公式 (1) 计算，计算结果记录至附录 A 表 A.2 中；

$$\delta_f = f - f_0 \quad (1)$$

式中： δ_f ——频率误差，kHz；

f ——长波信号模拟器输出频率标称值，为 100kHz；

f_0 ——频率实测值，kHz。

7.2.3 长波信号电平

7.2.3.1 按图 2 连接仪器设备；

7.2.3.2 设置长波信号模拟器发射长波信号，电平标称值为 20dB μ V，频谱分析仪接收该长波信号；

7.2.3.3 将频谱分析仪中心频率设置为 100kHz，分辨率带宽设置为 30kHz，电平测量单位设置为 dB μ V；

7.2.3.4 打开最大保持，使用峰值搜索功能测量长波信号电平，记录测量结果至附录 A 表 A.3 中；

7.2.3.5 计算电平误差值，输出电平的误差按公式 (2) 计算，计算结果记录至附录 A 表 A.3 中；

$$\delta_p = P - P_0 \quad (2)$$

式中: δ_p ——电平误差, dB;

P ——长波信号模拟器输出电平标称值, dB μ V;

P_0 ——电平实测值, dB μ V。

7.2.3.6 如附录 A 表 A.3 所示, 选择其他测量点, 重复 7.2.3.2~7.2.3.5 步骤, 并记录在附录 A 表 A.3 中。

7.2.4 组重复间隔

7.2.4.1 按图 3 连接仪器设备;

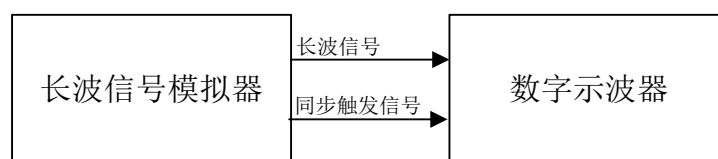


图 3 组重复间隔测量连接框图

7.2.4.2 设置长波信号模拟器发射长波信号, 组重复间隔设置为 40000 μ s, 数字示波器接收该长波信号;

7.2.4.3 利用同步触发信号触发数字示波器, 采集长波信号的多个脉冲组, 并对信号进行检波得到其包络信号;

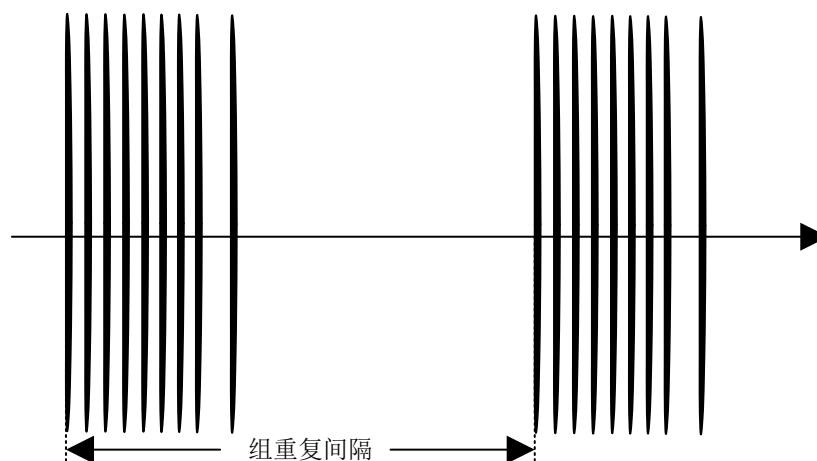


图 4 组重复间隔测量示意图

7.2.4.4 测量包络信号的脉冲组重复间隔, 记录测量结果至附录 A 表 A.4 中;

7.2.4.5 计算组重复间隔误差值, 组重复间隔的误差按公式 (3) 计算, 计算结果记录至附录 A 表 A.4 中;

$$\delta_G = G - G_0 \quad (3)$$

式中: δ_g ——组重复间隔误差, μs ;

G ——长波信号模拟器输出组重复间隔标称值, μs ;

G_0 ——组重复间隔实测值, μs 。

7.2.4.6 如附录 A 表 A.4 所示, 选择其他测量点, 重复 7.2.4.2~7.2.4.5 步骤, 并记录在附录 A 表 A.4 中。

7.2.5 包周差

7.2.5.1 按图 3 连接仪器设备;

7.2.5.2 设置长波信号模拟器发射长波信号, 包周差设置为 $0\mu\text{s}$, 数字示波器接收该长波信号;

7.2.5.3 利用同步触发信号触发数字示波器, 使用数字示波器采集长波信号脉冲组中的一个脉冲;

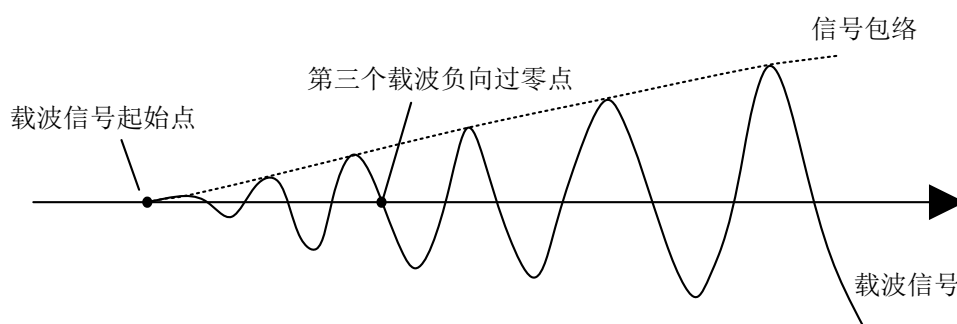


图 5 包周差测量示意图

7.2.5.4 测量包络中 100kHz 载波信号起始点和信号中第三个载波负向过零点的时间间隔, 将其减去 $25\mu\text{s}$ (根据 3.3 包周差定义), 即为包周差测量结果, 记录测量结果至附录 A 表 A.5 中;

7.2.5.5 计算包周差误差值, 包周差的误差按公式 (4) 计算, 计算结果记录至附录 A 表 A.5 中;

$$\delta_E = E - E_0 \quad (4)$$

式中: δ_E ——包周差误差, μs ;

E ——长波信号模拟器的包周差标称值, μs ;

E_0 ——包周差实测值, μs 。

7.2.5.6 如附录 A 表 A.5 所示, 选择其他测量点, 重复 7.2.5.2~7.2.5.5 步骤, 并记录在附录 A 表 A.5 中。

7.2.6 副台延迟

7.2.6.1 按图 3 连接仪器设备;

7.2.6.2 设置长波信号模拟器发射长波信号, 主台信号电平设置为 110dBμV, 副台信号电平设置为 30dBμV, 数字示波器接收该长波信号;

7.2.6.3 利用同步触发信号触发数字示波器, 使用数字示波器采集主台信号脉冲组, 并对信号进行检波得到其包络信号;

7.2.6.4 测量主台包络信号中第一个脉冲的 50%幅度点相对于同步触发信号的时间间隔 d_1 ;

7.2.6.5 主台信号电平设置为 30dBμV, 副台信号电平设置为 110dBμV, 副台延迟设置为 1μs, 数字示波器接收该长波信号;

7.2.6.6 使用数字示波器采集副台信号脉冲组, 并对信号进行检波得到其包络信号;

7.2.6.7 测量副台包络信号中第一个脉冲的 50%幅度点相对于同步触发信号的时间间隔 d_2 ;

7.2.6.8 副台信号时延按照公式 (5) 计算, 记录测量结果至附录 A 表 A.6 中;

$$d_0 = d_2 - d_1 \quad (5)$$

7.2.6.9 计算副台延迟误差值, 副台延迟的误差按公式 (6) 计算, 计算结果记录至附录 A 表 A.6 中;

$$\delta_d = d - d_0 \quad (6)$$

式中: δ_d ——副台延迟误差, μs;

d ——长波信号模拟器输出副台延迟标称值, μs;

d_0 ——副台延迟实测值, μs。

7.2.6.10 如附录 A 表 A.6 所示, 选择其他测量点, 重复 7.2.6.2~7.2.6.9 步骤, 并记录在附录 A 表 A.6 中。

7.2.7 天波延迟

7.2.7.1 按图 3 连接仪器设备;

7.2.7.2 设置长波信号模拟器发射长波信号，地波信号电平设置为 110dB μ V，天波信号电平设置为 30dB μ V，数字示波器接收该长波信号；

7.2.7.3 利用同步触发信号触发数字示波器，使用数字示波器采集地波信号脉冲组，并对信号进行检波得到其包络信号；

7.2.7.4 测量地波包络信号中第一个脉冲的 50%幅度点相对于同步触发信号的时间间隔 t_1 ；

7.2.7.5 地波信号电平设置为 30dB μ V，天波信号电平设置为 110dB μ V，天波延迟设置为 20 μ s，数字示波器接收该信号；

7.2.7.6 使用数字示波器采集天波信号脉冲组，并对信号进行检波得到其包络信号；

7.2.7.7 测量天波包络信号中第一个脉冲的 50%幅度点相对于同步触发信号的时间间隔 t_2 ；

7.2.7.8 天波信号时延按照公式 (7) 计算，记录测量结果至附录 A 表 A.7 中；

$$t_0 = t_2 - t_1 \quad (7)$$

7.2.7.9 计算天波延迟值，天波延迟的误差按公式 (8) 计算，计算结果记录至附录 A 表 A.7 中；

$$\delta_r = t - t_0 \quad (8)$$

式中： δ_r ——天波延迟误差， μ s；

t ——长波信号模拟器输出天波延迟标称值， μ s；

t_0 ——天波延迟实测值， μ s。

7.2.7.10 如附录 A 表 A.7 所示，选择其他测量点，重复 7.2.7.2~7.2.7.9 步骤，并记录在附录 A 表 A.7 中。

7.2.8 随机噪声信号

7.2.8.1 按图 2 连接仪器设备；

7.2.8.2 设置长波信号模拟器输出随机噪声信号，信号电平为 20dB μ V，关闭长波信号输出，频谱分析仪中心频率设置为 100kHz，接收该噪声信号；

7.2.8.3 将频谱分析仪中心频率设置为 100kHz，分辨率带宽设置为 30kHz，电平测量单位设置为 dB μ V（与指标单位保持一致）；

7.2.8.4 打开最大保持，使用峰值搜索功能测量噪声信号电平，记录测量结果至附录 A 表 A.8 中；

7.2.8.5 计算电平误差值，输出电平的误差按公式 (9) 计算，计算结果记录至附录 A 表 A.8 中；

$$\delta_N = N - N_0 \quad (9)$$

式中： δ_N ——电平误差，dB；

N ——随机噪声电平标称值，dB μ V；

N_0 ——电平实测值，dB μ V。

7.2.8.6 如附录 A 表 A.8 所示，选择其他测量点，重复 7.2.8.2~7.2.8.5 步骤，并记录在附录 A 表 A.8 中。

7.2.8.7 将频谱分析仪中心频率设置为 150kHz，分辨率带宽设置为 30kHz，扫频带宽为 300kHz，电平测量单位设置为 dB μ V；

7.2.8.8 打开最大保持，测量中心频率为 100kHz 的 3dB 带宽，记录测量结果至附录 A 表 A.9 中；

7.2.8.9 重复 7.2.8.7~7.2.8.8 步骤，测量中心频率为 100kHz 的 1dB 带宽，记录测量结果至附录 A 表 A.9 中。

7.2.9 窄带干扰信号

7.2.9.1 按图 2 连接仪器设备；

7.2.9.2 设置长波信号模拟器输出窄带干扰信号，信号输出频率为 50kHz，电平为 82dB μ V，设置窄带干扰信号输出频率；

7.2.9.3 设置频谱分析仪中心频率为窄带干扰信号频率设置值，扫频带宽为 200kHz，分辨率带宽设置为 30kHz；

7.2.9.4 使用峰值搜索功能测量窄带干扰信号的频率，记录测量结果至附录 A 表 A.10 中；

7.2.9.5 计算频率误差值，输出频率的误差按公式 (10) 计算，计算结果记录至附录 A 表 A.10 中；

$$\delta_f = f - f_0 \quad (10)$$

式中： δ_f ——频率误差，kHz；

f ——窄带干扰信号输出频率标称值, kHz;

f_0 ——窄带干扰信号频率实测值, kHz。

7.2.9.6 如附录 A 表 A.10 所示, 选择其他测量点, 重复 7.2.9.2~7.2.9.5 步骤, 并记录在附录 A 表 A.10 中。

7.2.9.7 设置频谱分析仪中心频率为窄带干扰信号频率设置值, 扫频带宽为 200kHz, 分辨力带宽设置为 30kHz, 电平测量单位设置为 dB μ V;

7.2.9.8 使用峰值搜索功能测量窄带干扰信号电平, 记录测量结果至附录 A 表 A.11 中;

7.2.9.9 计算电平误差值, 输出电平的误差按公式 (11) 计算, 计算结果记录至附录 A 表 A.11 中;

$$\delta_p = P - P_0 \quad (11)$$

式中: δ_p ——电平误差, dB;

P ——窄带干扰信号输出电平标称值, dB μ V;

P_0 ——窄带干扰信号电平实测值, dB μ V。

7.2.9.10 如附录 A 表 A.11 所示, 选择其他测量点, 重复 7.2.9.7~7.2.9.9 步骤, 并记录在附录 A 表 A.11 中。

8 校准结果表达

校准完成后应出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息:

- 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), 每页和总页数的标识;
- 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)如果与校准结果有效性应用有关时, 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)校准证书或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。

9 复校时间间隔

长波信号模拟器的复校时间间隔一般不超过 12 个月。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

校准原始记录格式

第 页 共 页

委托单位：		校准证书编号：	
委托单位地址：		校准依据：	
仪器名称：	型号规格：	出厂编号：	
制造单位：		仪器状况：	
校准地点：		环境温度：℃	相对湿度：%

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 频率

表 A.2 长波信号频率

输出频率值 f /kHz	频率实测值 f_0 /kHz	误差 δ_f /kHz	测量不确定度 ($k=2$)
100			

A.3 长波信号电平

表 A.3 长波信号电平

长波信号电平标称值 P /dB μ V	长波信号电平实测值 P_0 /dB μ V	误差 δ_P /dB	测量不确定度 ($k=2$)
20			
50			
100			
114			

A.4 组重复间隔

表 A.4 组重复间隔

组重复间隔标称值 G / μ s	组重复间隔实测值 G_0 / μ s	误差 δ_G / μ s	测量不确定度 ($k=2$)
40000			
60000			
99900			

A.5 包周差

表 A.5 包周差

包周差设置值 / μ s	包周差标称值 E / μ s	包周差实测值 E_0 / μ s	误差 δ_E / μ s	测量不确定度 ($k=2$)
-5				
0				
+5				

A.6 副台延迟

表 A.6 副台延迟

副台延迟标称值 D / μs	副台延迟实测值 D_0 / μs	误差 δ_D / μs	测量不确定度 ($k=2$)
1			
1000			
2000			
3000			

A.7 天波延迟

表 A.7 天波延迟

天波延迟标称值 T / μs	天波延迟实测值 T_0 / μs	误差 δ_T / μs	测量不确定度 ($k=2$)
20			
50			
100			

A.8 随机噪声电平

表 A.8 随机噪声电平

电平标称值 P / $\text{dB}\mu\text{V}$	电平实测值 P_0 / $\text{dB}\mu\text{V}$	误差 δ_P / dB	测量不确定度 ($k=2$)
20			
50			
60			
82			
100			

A.9 随机噪声信号带宽

表 A.9 随机噪声信号带宽

测量参数	测量点	实测值/kHz	测量不确定度 ($k=2$)
3dB 带宽	负向点		
	正向点		
1dB 带宽	负向点		
	正向点		

A.10 窄带干扰信号频率

表 A.10 窄带干扰信号频率

输出频率值 f /kHz	频率实测值 f_0 / kHz	误差 δ_f /kHz	测量不确定度 ($k=2$)
50			
100			
25000			

A.11 窄带干扰信号电平

表 A.11 窄带干扰信号电平

频率点	标称值 P /dB μ V	实测值 P_0 / dB μ V	误差 δ_P / dB	测量不确定度 ($k=2$)
50kHz	20			
	50			
	82			
	100			
100kHz	20			

频率点	标称值 P /dB μ V	实测值 P_0 / dB μ V	误差 δ_P / dB	测量不确定度 ($k=2$)
	50			
	82			
	100			
25000kHz	20			
	50			
	82			
	100			

附录 B

校准证书内页表格

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 频率

表 B.2 长波信号频率

输出频率值 f /kHz	频率实测值 f_0 / kHz	误差 δ_f /kHz	测量不确定度 ($k=2$)
100			

B.3 长波信号电平

表 B.3 长波信号电平

长波信号电平标称值 P /dB μ V	长波信号电平实测值 P_0 / dB μ V	误差 δ_p / dB	测量不确定度 ($k=2$)
20			
50			
100			
114			

B.4 组重复间隔

表 B.4 组重复间隔

组重复间隔标称值 G / μs	组重复间隔实测值 G_0 / μs	误差 δ_G / μs	测量不确定度 ($k=2$)
40000			
60000			
99900			

B.5 包周差

表 B.5 包周差

包周差设置值 / μs	包周差标称值 E / μs	包周差实测值 E_0 / μs	误差 δ_E / μs	测量不确定度 ($k=2$)
-5				
0				
+5				

B.6 副台延迟

表 B.6 副台延迟

副台延迟标称值 D / μs	副台延迟实测值 D_0 / μs	误差 δ_D / μs	测量不确定度 ($k=2$)
1			
1000			
2000			
3000			

B.7 天波延迟

表 B.7 天波延迟

天波延迟标称值 T / μs	天波延迟实测值 T_0 / μs	误差 δ_T / μs	测量不确定度 ($k=2$)
20			
50			
100			

B.8 随机噪声电平

表 B.8 随机噪声电平

电平标称值 P / $\text{dB}\mu\text{V}$	电平实测值 P_0 / $\text{dB}\mu\text{V}$	误差 δ_P / dB	测量不确定度 ($k=2$)
20			
50			
60			
82			
100			

B.9 随机噪声信号带宽

表 B.9 随机噪声信号带宽

测量参数	测量点	实测值/ kHz	测量不确定度 ($k=2$)
3dB 带宽	负向点		
	正向点		
1dB 带宽	负向点		
	正向点		

B.10 窄带干扰信号频率

表 B.10 窄带干扰信号频率

输出频率值 f /kHz	频率实测值 f_0 / kHz	误差 δ_f /kHz	测量不确定度 ($k=2$)
50			
100			
25000			

B.11 窄带干扰信号电平

表 B.11 窄带干扰信号电平

频率点	标称值 P /dB μ V	实测值 P_0 / dB μ V	误差 δ_P / dB	测量不确定度 ($k=2$)
50kHz	20			
	50			
	82			
	100			
100kHz	20			
	50			
	82			
	100			
25000kHz	20			
	50			
	82			
	100			

附录 C

主要项目校准结果不确定度评定示例

C1 长波信号输出频率校准的不确定度评定

C1.1 测量方法

用频谱分析仪直接测量长波信号的输出频率。

C1.2 测量模型

$$\delta_f = f - f_0 \quad (\text{C.1})$$

式中： δ_f ——频率误差，单位 kHz；

f ——频率标称值，单位 MHz；

f_0 ——频率实测值，单位 MHz。

C1.3 计算各分量的标准不确定度

C1.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按 A 类评定，对 100kHz 频率重复测量 10 次，用实测值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.2})$$

其中， $n=10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} — n 次观测值的算术平均值；

连续测量 10 次，得到如下数据，见表 C.1。

表 C.1 频率实测值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/kHz	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2	100.1	100.2

$$\bar{x}=100.14\text{kHz}$$

$$u_A = 0.05\text{kHz}$$

C1.3.2 频谱分析仪时基引入的不确定度分量 u_{B1}

频谱分析仪时基的频率准确度为 1×10^{-7} ，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{100\text{kHz} \times 1 \times 10^{-7}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-6}\text{kHz} \quad (k=\sqrt{3})$$

C1.3.3 测量结果中分辨力引入的不确定度分量 u_{B2}

实际记录测量结果的分辨力为 0.1kHz ，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{0.1\text{kHz}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.029\text{kHz} \quad (k=\sqrt{3})$$

C1.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 0.1\text{kHz}$$

C1.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k=2$ ，则：

$$U = ku_c = 0.2\text{kHz}$$

C2 长波信号电平的不确定度评定

C2.1 测量方法

利用频谱分析仪测量长波信号的长波信号电平。

C2.2 测量模型

$$\delta_p = P - P_0 \quad (\text{C.3})$$

式中： δ_p ——电平误差，dB；

P ——长波信号模拟器输出电平值，dB μ V；

P_0 ——电平实测值，dB μ V。

C2.3 计算各分量的标准不确定度

C2.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按 A 类评定，对 $100\text{dB}\mu\text{V}$ 重复测量 10 次，

用实测值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.4})$$

其中, $n=10$;

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值;

\bar{x} — n 次观测值的算术平均值;

连续测量 10 次, 得到如下数据, 见表 C.3。

表 C.2 组重复间隔实测值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/dB μ V	100.5	100.5	100.6	100.7	100.7	100.5	100.5	100.6	100.5	100.6

$$\bar{x}=100.6\text{dB}\mu\text{V}$$

$$u_A = 0.1\text{dB}$$

C2.3.2 频谱分析仪电平测量引入不确定度 u_{B1}

频谱分析仪电平测量最大允许误差为 $\pm 0.5\text{dB}$, 服从均匀分布, 则

$$u_{B1} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.3\text{dB} \quad (k=\sqrt{3})$$

C2.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关, 分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2} = 0.2\text{dB}$$

C2.5 测量结果的扩展不确定度 U , 取 $k=2$, 则:

$$U=ku_c=0.4\text{dB}$$

C3 组重复间隔的不确定度评定

C3.1 测量方法

利用数字示波器测量长波信号的组重复间隔。

C3.2 测量模型

$$\delta_G = G - G_0 \quad (\text{C.5})$$

式中: δ_G ——重复周期误差, μs ;

G ——长波信号模拟器输出重复周期值, μs ;

G_0 ——重复周期实测值, μs 。

C3.3 计算各分量的标准不确定度

C3.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按 A 类评定，对 40000 μ s 组重复间隔重复测量 10 次，用实测值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (C.6)$$

其中， $n=10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} — n 次观测值的算术平均值；

连续测量 10 次，得到如下数据，见表 C.3。

表 C.3 组重复间隔实测值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/ μ s	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40001

$$\bar{x}=40000.1\mu\text{s}$$

$$u_A = 0.32\mu\text{s}$$

C3.3.2 噪声引入不确定度 u_{B1}

数字示波器噪声幅值约为长波信号幅度的5%，在实际测试中确定起始点及过零点约使用1/8个上升沿，长波脉冲上升沿约为70 μ s，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{5\% \times 70\mu\text{s}}{8 \times \sqrt{3}} = 0.25\mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C3.3.3 包络检波滤波器引入的不确定度分量 u_{B2}

在进行包络检波时，检波后滤波点数采用100个平滑点，采样率设置为100MS/s，则采用间隙为10ns，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{100 \times 0.01\mu\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.6\mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C3.3.4 数字示波器时基引入的不确定度分量 u_{B3}

数字示波器时基的频率准确度为 2×10^{-6} ，服从均匀分布，则

$$u_{B3} = \frac{40000 \times 2 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.05 \mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C3.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2} = 1 \mu\text{s}$$

C3.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k=2$ ，则：

$$U = k u_c = 2 \mu\text{s}$$

C4 包周差的不确定度评定

C4.1 测量方法

利用数字示波器测量长波信号的包周差。

C4.2 测量模型

$$\delta_E = E - E_0 \quad (\text{C.7})$$

式中： δ_E ——包周差误差， μs ；

E ——长波信号模拟器输出包周差值， μs ；

E_0 ——包周差实测值， μs ；

C4.3 计算各分量的标准不确定度

C4.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按 A 类评定，对 $0 \mu\text{s}$ 包周差重复测量 10 次，用实测值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.8})$$

其中， $n=10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} — n 次观测值的算术平均值；

连续测量 10 次，得到如下数据，见表 C.2。

表 C.4 包周差实测值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/ μs	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4

$$\bar{x}=0.47\mu\text{s}$$

$$u_A = 0.1\mu\text{s}$$

C4.3.2 噪声引入不确定度 u_{B1}

数字示波器噪声幅值约为长波信号第一个载波幅度的20%，在实际测试中确定起始点及过零点约使用1/8个载波周期，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{20\% \times 10\mu\text{s}}{8 \times \sqrt{3}} = 0.2\mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C4.3.3 长波信号波形容差引入的不确定度分量 u_{B2}

根据GB14379，长波信号前8个载波周期的单半周容差为0.03，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{0.03 \times 10\mu\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.2\mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C4.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 0.3\mu\text{s}$$

C4.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k=2$ ，则：

$$U=ku_c=0.6\mu\text{s}$$

C5 副台延时的不确定度评定

C5.1 测量方法

利用数字示波器测量长波信号的副台延时。

C5.2 测量模型

$$\delta_d = d - d_0 \quad (\text{C.9})$$

式中： δ_d ——副台延迟误差， μs ；

d ——长波信号模拟器输出副台延迟值， μs ；

d_0 ——副台延迟实测值， μs 。

C5.3 计算各分量的标准不确定度

C5.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按 A 类评定，对 3000 μ s 副台延时重复测量 10 次，用实测值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.10})$$

其中， $n = 10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} — n 次观测值的算术平均值；

连续测量 10 次，得到如下数据，见表 C.3。

表 C.5 副台延时实测值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/ μ s	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3001	3000	3001

$$\bar{x} = 3000.2 \mu\text{s}$$

$$u_A = 0.42 \mu\text{s}$$

C5.3.2 噪声引入不确定度 u_{B1}

数字示波器噪声幅值约为长波信号幅度的5%，在实际测试中确定起始点及过零点约使用1/8个上升沿，长波脉冲上升沿约为70 μ s，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{5\% \times 70 \mu\text{s}}{8 \times \sqrt{3}} = 0.25 \mu\text{s} \quad (k = \sqrt{3})$$

C5.3.3 包络检波滤波器引入的不确定度分量 u_{B2}

在进行包络检波时，检波后滤波点数采用100个平滑点，采样率设置为100MS/s，则采用间隙为10ns，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{100 \times 0.01 \mu\text{s}}{\sqrt{3}} = 0.6 \mu\text{s} \quad (k = \sqrt{3})$$

C5.3.4 数字示波器时基引入的不确定度分量

数字示波器时基的频率准确度为 2×10^{-6} ，服从均匀分布，则

$$u_{B3} = \frac{3000 \times 2 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.004 \mu\text{s} \quad (k=\sqrt{3})$$

C5.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 1 \mu\text{s}$$

C5.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k=2$ ，则：

$$U = k u_c = 2 \mu\text{s}$$

C6 窄带干扰信号频率校准的不确定度评定

C6.1 测量方法

用频谱分析仪直接测量窄带干扰的输出频率。

C6.2 测量模型

$$\delta_f = f - f_0 \quad (\text{C.11})$$

式中： δ_f ——频率误差，kHz；

f ——窄带干扰信号输出频率值，kHz；

f_0 ——窄带干扰信号频率实测值，kHz。

C6.3 计算各分量的标准不确定度

C6.3.1 测量过程重复性引入的不确定度分量

测量结果的重复性引入的不确定度 u_A ，按 A 类评定，对窄带干扰信号 100kHz 频率重复测量 10 次，用实测值的实验标准偏差计算：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.12})$$

其中， $n=10$ ；

x_i —被测量 x 的第 i 次观测值；

\bar{x} — n 次观测值的算术平均值；

连续测量 10 次，得到如下数据，见表 C.6。

表 C.6 窄带干扰信号频率实测值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/kHz	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

$$\bar{x} = 100.0 \text{ kHz}$$

$$u_A = 0.0 \text{ kHz}$$

C6.3.2 频谱仪时基引入的不确定度分量 u_{B1}

频谱分析仪时基的频率准确度为 1×10^{-7} ，服从均匀分布，则

$$u_{B1} = \frac{100 \text{ kHz} \times 1 \times 10^{-7}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-6} \text{ kHz} \quad (k = \sqrt{3})$$

C6.3.3 测量结果中分辨力引入的不确定度分量 u_{B2}

实际记录测量结果的分辨力为 0.1 kHz ，服从均匀分布，则

$$u_{B2} = \frac{0.1 \text{ kHz}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.029 \text{ kHz} \quad (k = \sqrt{3})$$

C6.4 合成标准不确定度 u_c

各不确定度分量不相关，分量间按不确定度方和根法合成。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 0.03 \text{ kHz}$$

C6.5 测量结果的扩展不确定度 U ，取 $k = 2$ ，则：

$$U = k u_c = 0.1 \text{ kHz}$$