

团体标准

T/SZMS 000x—2025

实时示波器校准规范

(征求意见稿)

Calibration Specification for Real-time Oscilloscopes

2025-xx-xx 发布

2025-xx-xx 实施

深圳市计量测试学会 发布

深圳市计量测试学会

目 次

目 次..... I

前 言..... II

实时示波器校准规范..... 1

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 概述..... 1

5 计量特性..... 1

6 校准条件..... 3

6.1 环境条件..... 3

6.2 标准器及其他设备..... 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..... 16

9 复校时间间隔..... 17

附 录 A （资料性）原始记录内页格式..... 18

附 录 B （资料性）校准证书内页格式..... 23

附 录 C （资料性）实时示波器选校项目及校准方法..... 28

附 录 D （资料性）反卷积运算..... 31

前 言

本文件根据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由深圳市计量测试学会提出并归口。

本文件起草单位：深圳市万里眼技术有限公司.....

本文件主要起草人：贺鹏飞、吴月辉.....

本文件为首次发布。

实时示波器校准规范

1 范围

本规范适用于带宽 110 GHz 及以下的实时示波器的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

IEEE Std 1057 数字波形记录仪标准（IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders）

JJF 1057-1998 数字示波器校准规范（Calibration Specification for Digital Storage Oscilloscope）

GJB 7691-2012 数字示波器检定规程(Verification regulation for digital oscilloscope)

JJG 278-2002 示波器校准仪检定规程(Verification regulation for Oscilloscope Calibrator)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 动态有效位数 Effective Number of Bits, ENOB

以模数转换方式进行波形测量时，对波形测量结果带来的附加信噪失真比所对应的理想模数转换位数。单位：Bit。

注：信噪失真比也称为信纳比，通常在正弦波形测量时进行定义；影响有效位数的误差因素，包括测量系统的本底噪声、量化误差、线性度等。

4 概述

实时示波器（Real-Time Oscilloscope）是一种能够对输入信号进行实时捕捉并进行分析和显示的仪器，具有在信号变化的同时即时更新显示的特点，广泛应用于周期信号、瞬态信号和复杂电气现象等场景的时域观察、测量与分析，尤其适用于需要捕捉高速或高频信号的场景。其工作基本原理为：对输入信号，由时基电路控制采样系统按照一定时间间隔进行采样，经模数转换后转成数字信号后进行存储，根据触发系统（模拟触发/数字触发/外部触发等）产生的触发信号从存储中选取合适的数字波形进行重建并显示在屏幕上。

5 计量特性

5.1 直流增益

垂直偏转系数：1mV/div~10V/div

最大允许误差： $\pm(1\%\sim 4\%)$

5.2 直流偏置

范围：-200V~200V

最大允许误差： $\pm(1\% \times \text{满度值} + 2\% \times \text{偏移值} + 1\text{mV})$

5.3 频带宽度

范围： $\leq 110\text{ GHz}$

5.4 上升时间

范围： $\geq 4.0\text{ ps}$ （注1）

5.5 过冲

范围： $\leq 20\%$ （频带宽度小于3GHz）， $\leq 30\%$ （频带宽度不小于3GHz）

5.6 本底噪声

范围： $10\mu\text{V} \sim 68\text{ mV}$ （与频段和垂直档位有关）

5.7 通道隔离度

范围： $20\text{dB} \sim 70\text{dB}$ （分频段）

5.8 时基

水平偏转系数： $1\text{ ps/div} \sim 10000\text{ s/div}$

时基最大允许误差： $\pm(1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-8})$

5.9 动态有效位数（ENOB）

范围： $(4 \sim 12)\text{bit}$ （平均值）

5.10 最高采样率

320 GSa/s

5.11 回波损耗

范围： -8 dB @频率范围 $\leq 45\text{ GHz}$

-6 dB @频率范围 $> 45\text{ GHz}$

5.12 校准信号

方波校准信号频率： $10\text{Hz} \sim 5\text{MHz}$ ，最大允许误差 $\pm(1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-6})$

方波校准信号幅度： $20\text{mV} \sim 5\text{V}$ ，最大允许误差 $\pm(0.5\% \sim 2\%)$

DC校准信号幅度： $\pm(5\text{mV} \sim 5\text{V})$ ，最大允许误差 $\pm(0.01\% \sim 1\%)$

5.13 输入电阻

范围： 50Ω 、 $1\text{M}\Omega$ ，最大允许误差 $\pm(0.5\% \sim 3\%)$

5.14 触发灵敏度

范围：内触发灵敏度（边沿触发）： $(0.1 \sim 4)\text{div}$ （分频段）

外触发灵敏度（边沿触发）： $(50 \sim 800)\text{mV}$ （分频段）

注：以上技术指标不作为合格判据，仅提供参考，具体以说明书技术指标为准

注 1：4.0ps 上升时间是由 110GHz 带宽根据转换系数公式计算得到，上升时间和带宽的转换系数公式如式（1）所示。

$$t_r \cdot BW = K \quad (1)$$

式中：

t_r ——示波器过渡持续时间，s；

BW ——示波器带宽，Hz；

K ——转换系数（通常取值范围为 0.35~0.45）。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5)°C

6.1.2 相对湿度：≤85%。

6.1.3 供电电源：(220±11)V，(50±1)Hz

6.1.4 其它：具备静电防护措施，周围无影响仪器正常工作的电磁干扰及机械振动。

6.2 标准器及其他设备

6.2.1 示波器校准仪

直流电压：阻抗 50 Ω，±(1 mV~5V)，最大允许误差：±(0.025%+25 μV/ U_x)

阻抗 1MΩ，±(1 mV~200V)，最大允许误差：±(0.025%+25 μV/ U_x)

方波信号：阻抗 50 Ω，(1 mV~5V)，最大允许误差：±(0.1%+10 μV/ U_x)

阻抗 1MΩ，(1 mV~200V)，最大允许误差：±(0.1%+10 μV/ U_x)

时标信号：200ps~10s，最大允许误差 ±3×10⁻⁷

稳幅正弦波：频率 50kHz~6.4GHz，幅度 5mV~5V(50Ω)

幅度平坦度 ±(1.5%~5%)；

快沿脉冲：幅度 500mV(50Ω)；

上升时间：25ps，最大允许误差：±3ps；

过冲：≤5%；

电阻测量：40Ω~60Ω，800kΩ~1.2MΩ，最大允许误差：±0.1%

注：也可分别用技术性能满足要求的直流电压源、方波信号发生器、稳幅正弦波信号发生器、快沿脉冲信号发生器、时标信号发生器、电阻测量仪、LCR 测试仪等设备。

6.2.2 微波信号源

频率范围：9 kHz~110 GHz（注 2），最大允许误差：±1×10⁻⁷

相位噪声：≤-110dBc/Hz，频偏≥10 kHz（中心频率 1 GHz~10 GHz）

输出电平：-50 dBm~13 dBm

6.2.3 功率计(含功率传感器)

频率范围：DC~110 GHz（注 2）

功率测量范围：-35dBm~+20dBm，校准因子不确定度：2%~5% ($k=2$)

6.2.4 数字多用表

直流电压测量：±(1mV~10V)，最大允许误差：±0.001%；

交流电压测量：10mV~10V，最大允许误差：±0.01%%

电阻测量：40 Ω~1.2MΩ，最大允许误差：±0.1%

6.2.5 超快光电脉冲产生装置

上升时间：3.5 ps（注 3）

6.2.6 原子钟

相对频率偏差：±2×10⁻¹⁰

6.2.7 频率计

频率范围：10Hz~300MHz，最大相对频率偏差：±(1×10⁻⁶~1×10⁻⁸)

6.2.8 网络分析仪

频率范围：10 MHz ~ 110 GHz；

反射系数不确定度：≤0.3 dB

注 2：此处频率上限可根据能够覆盖被校对象的带宽上限来确定。

注 3：此处上升时间根据公式（1）计算得到。对于标准脉冲法，计算用的带宽值至少为被校对象带宽的 3 倍。对于卷积脉冲法，计算用的带宽值至少大于等于被校对象带宽。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

实时示波器的校准项目包括：

- a) 直流增益
- b) 直流偏置
- c) 频带宽度
- d) 上升时间
- e) 过冲
- f) 本底噪声
- g) 通道隔离度
- h) 时基
- i) 动态有效位数
- j) 最大采样率
- k) 回波损耗
- l) 校准信号
- m) 输入电阻
- n) 触发灵敏度

注：被校仪器说明书上没有对应指标要求的可不进行校准。

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

7.2.1.1 外观检查

检查被检示波器的外观是否完好，无影响正常工作的机械损伤。检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.2.1.2 工作正常性

开机后按照规定时间预热，无规定时一般按照半小时预热，之后示波器应进行全面的自检和自校准，观察屏幕有无错误信息提示。如有温度信号补偿功能和时基校准功能，按示波器的提示进行连接校准。

将被检示波器输出的校准信号或示波器校准仪输出的标准方波信号接至被检示波器的输入通道，调

节前面板各控制旋钮或屏幕菜单使波形能够稳定显示。有多个通道的示波器应逐个通道进行检查。

仪器说明书有其它要求时，按说明书要求进行其它功能检查，检查结果需要满足说明书要求。检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

注：对于有佩戴防静电手环要求的示波器，需要佩戴防静电手环进行操作。

7.2.2 直流增益

7.2.2.1 方波法

7.2.2.1.1 如图1所示连接设备，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为1MΩ、DC耦合、内触发、带宽限制按说明书要求设置，关闭其他通道，水平挡位设为合适值，垂直挡位设为最小；



图1 直流增益的校准连接框图（方波法）

7.2.2.1.2 示波器校准仪电阻设置与示波器一致，输出对称方波频率 1kHz，方波电压信号幅度 U ，一般为被检示波器垂直挡位的 6 倍或 8 倍（即 6div 或 8div）；用示波器的自动测量功能读取幅度 U_r ，记下测得值；

7.2.2.1.3 按式（2）计算直流增益 G ：

$$G = \frac{U_r}{U} \quad (2)$$

7.2.2.1.4 按从低到高的顺序设置垂直挡位，重复步骤 7.2.2.1.1~7.2.2.1.3；

7.2.2.1.5 设置示波器输入电阻为 50Ω，重复步骤 7.2.2.1.1~7.2.2.1.4；

7.2.2.1.6 重复步骤 7.2.2.1.1~7.2.2.1.5，对被检示波器各通道直流增益分别进行测量。

7.2.2.2 直流法

7.2.2.2.1 按图 2 连接仪器，调用示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 1MΩ、DC 耦合、内触发、带宽限制按说明书要求设置，关闭其他通道，垂直挡位设为最小；

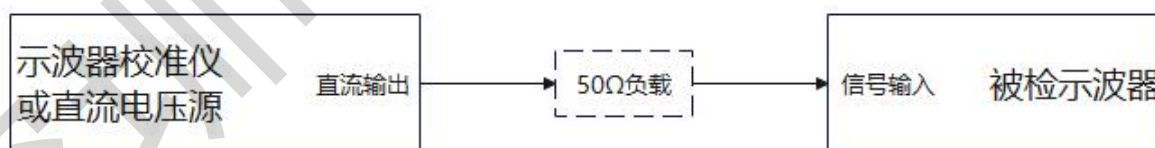


图 2 直流增益的校准连接框图（直流法）

7.2.2.2.2 示波器校准仪电阻设置与示波器一致，输出正直流电压信号 U_+ ，一般为被检示波器垂直挡位的 3 倍或 4 倍（即 3div 或 4div）。用示波器的自动测量功能读取幅度 U_{r+} ，记下测得值；

7.2.2.2.3 示波器校准仪输出负直流电压信号 U_- ，一般为被检示波器垂直挡位的 3 倍或 4 倍（即 3div 或 4div）。用示波器的自动测量功能读取幅度 U_{r-} ，记下测得值；

7.2.2.2.4 按式（3）计算直流增益 G ：

$$G = \frac{U_{r+} - U_{r-}}{U_+ - U_-} \quad (3)$$

7.2.2.2.5 按从低到高的顺序设置垂直挡位，重复步骤 7.2.2.2.1~7.2.2.2.4；

7.2.2.2.6 设置示波器输入电阻为 50Ω ，重复步骤 7.2.2.2.1~7.2.2.2.5；

7.2.2.2.7 重复步骤 7.2.2.2.1~7.2.2.2.6，对被检示波器各通道直流增益分别进行测量。

7.2.3 直流偏置

7.2.3.1 按图 2 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 $1M\Omega$ 、DC 耦合、内触发、带宽限制按说明书要求设置，关闭其他通道，根据被检示波器说明书，选择偏置范围；

7.2.3.2 设置被检示波器直流偏置为所选偏置范围内正向最大值，将垂直挡位设置为该范围内最小值；

7.2.3.3 设置示波器校准仪为直流电压输出功能，电阻设置与示波器一致，输出电压值为被检示波器设置的直流偏置电压 D_0 ，波形出现在屏幕中央附近，用示波器自动测量功能测量电压平均值 D_r ，记下测量结果；

7.2.3.4 按公式 (4) 计算直流偏置误差 ΔD ：

$$\Delta D = D_r - D_0 \quad (4)$$

7.2.3.5 设置被检示波器直流偏置为所选偏置范围内负向最大值（可直接设置极性反转），将垂直挡位设置为该范围内最小值，重复步骤 7.2.3.3、7.2.3.4；

7.2.3.6 设置直流偏置为 0，并将垂直挡位设置为该范围内最小值，重复步骤 7.2.3.3、7.2.3.4；

7.2.3.7 设置不同的直流偏置范围，重复步骤 7.2.3.2~7.2.3.6；

7.2.3.8 设置示波器输入电阻为 50Ω ，重复步骤 7.2.3.2~7.2.3.7；

7.2.3.9 重复步骤 7.2.3.2~7.2.3.8，对被检示波器各通道直流偏置分别进行测量。

7.2.4 频带宽度

7.2.4.1 方法一：测标称带宽处幅度变化量

7.2.4.1.1 使用示波器校准仪或稳幅正弦信号发生器时，按图 3 连接仪器；使用非稳幅信号发生器时，按图 4 连接仪器；



图 3 频带宽度校准连接框图

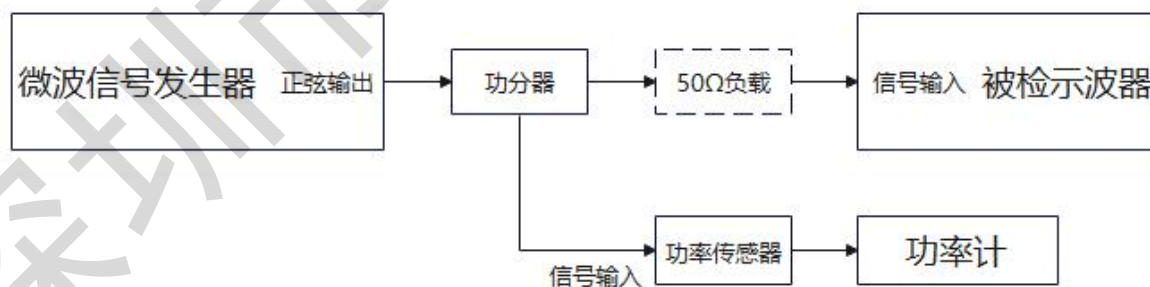


图 4 频带宽度的校准连接框图

7.2.4.1.2 调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω 、DC 耦合、内触发，关闭其他通道，如果示波器通道输入电阻为 $1M\Omega$ ，应在输入端接 50Ω 通过式负载；

7.2.4.1.3 按图 3 方案时，保持输出幅度不变；按图 4 方案时，调节信号发生器输出电压，保持功率计监测的幅度不变；设置信号发生器的输出频率为被检示波器频率上限值（带宽标称值），用示波器自动测量功能测量此时对应的信号幅度 U_r ；

7.2.4.1.4 按式 (5) 计算标称带宽内下降(或上升)的分贝数，并记录测量结果：

$$A_{BW} = 20 \lg \frac{U_r}{U_0} \quad (5)$$

式中：

U_0 — 参考频率点（50kHz 或 1MHz）对应的波形幅度值，V；

U_r — 上限频率点（带宽标称值）对应的波形幅度值，V；

A_{BW} — 标称带宽内下降(或上升)的分贝数，dB。

7.2.4.1.5 重复步骤 7.2.4.1.1~7.2.4.1.4，对被检示波器各通道频带宽度分别进行测量。

7.2.4.2 方法二：测幅度变化 3dB 处频率值

7.2.4.2.1 使用示波器校准仪或稳幅正弦信号发生器时，按图 3 连接仪器；使用非稳幅信号发生器时，按图 4 连接仪器；

7.2.4.2.2 调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω、DC 耦合、内触发，关闭其他通道，如果示波器通道输入电阻为 1MΩ，应在输入端接 50Ω 通过式负载；

7.2.4.2.3 设置示波器校准仪或稳幅信号发生器输出电阻设置为 50Ω，输出频率为 50kHz (或 1MHz)，调节输出电压，使信号显示高度为屏幕的 80% 左右，用被示波器自动测量功能测量信号幅度 U_0 ；

7.2.4.2.4 按图 3 方案时，保持输出幅度不变；按图 4 方案时，调节信号发生器输出电压，保持功率计监测的幅度不变；均匀改变信号发生器的输出频率，用示波器自动测量功能测量各频率点对应的信号幅度 U_i ；

7.2.4.2.5 当 $U_i=0.707U_0$ 时，输出的频率值即为被检示波器频带宽度的测量结果，记录测量结果；

7.2.4.2.6 重复步骤 7.2.4.2.1~7.2.4.2.5，对被检示波器各通道频带宽度分别进行测量。

7.2.5 上升时间

7.2.5.1 方法一：标准快沿法



图 5 上升时间/过冲的校准连接框图

7.2.5.1.1 按图 5 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω、DC 耦合、内触发，关闭其他通道，如果被检示波器输入电阻为 1MΩ，应在示波器输入端接 50Ω 通过式负载。

7.2.5.1.2 设置示波器校准仪为快沿脉冲信号输出功能，调节快沿脉冲输出幅度及示波器偏置或位置，使输入阶跃脉冲幅度居中覆盖约 80% 屏幕范围，调节示波器水平挡位及触发电平，使信号稳定显示如图 6 所示的脉冲波形；

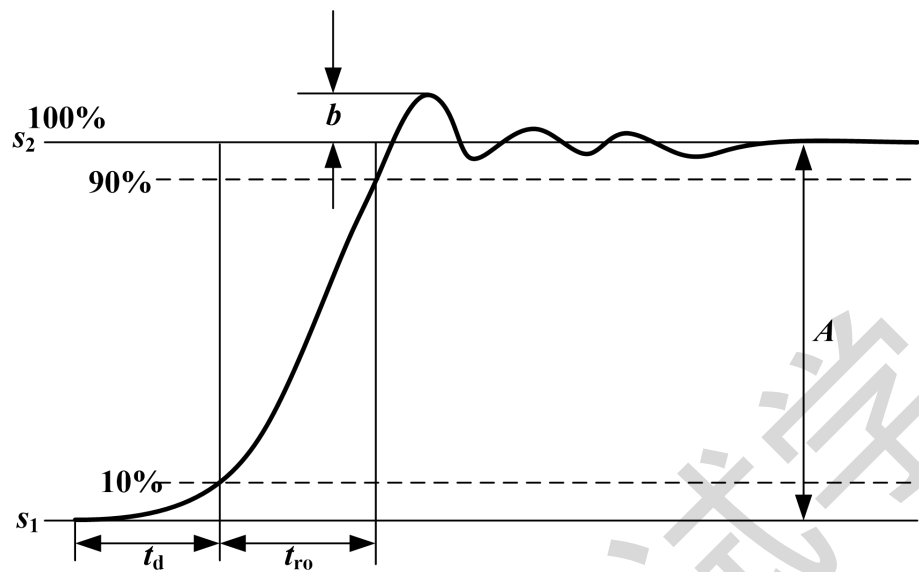


图 6 瞬态响应波形示意图

7.2.5.1.3 用被检示波器自动测量功能测量 10%~90%上升时间或按上升时间定义，如图 6 所示，用被检示波器的光标测量功能测量上升时间。

7.2.5.1.4 示波器校准仪输出阻抗为 50 Ω，信号输出通道的波形模式设为时标信号，信号幅度为被测取样示波器屏幕垂直量程的 80%，设置触发通道输出。

7.2.5.1.5 如果被检示波器上升时间的标称值大于快沿脉冲上升时间的 3 倍，直接记录测得的上升时间，否则按式（6）计算被检示波器的上升时间，记录结果：

$$t_{rs} = \sqrt{t_{ro}^2 - t_{rp}^2} \tag{6}$$

式中：

- t_{rs} — 被检示波器的上升时间，s；
- t_{ro} — 被检示波器屏幕上测量的上升时间，s；
- t_{rp} — 标准快沿脉冲的上升时间，s。

7.2.5.1.6 调整不同垂直挡位，重复步骤 7.2.5.1.2~7.2.5.1.5；

7.2.5.1.7 重复步骤 7.2.5.1.2~7.2.5.1.6，对被检示波器各通道上升时间分别进行测量。

注：如果被检示波器上升时间的标称值小于快沿脉冲上升时间的 1.5 倍时，不建议采用修正的方法。

7.2.5.2 方法二：超快光电脉冲法

7.2.5.2.1 按图 7 连接仪器，将超快光电脉冲产生装置输出的超快电脉冲连接到被检示波器测量通道；

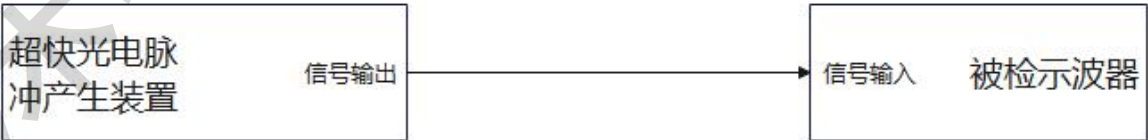


图 7 上升时间的校准连接框图

7.2.5.2.2 设置被检示波器的水平挡位、垂直挡位、偏置等，使超快电脉冲如图 8 所示稳定地显示在被检示波器的屏幕上；

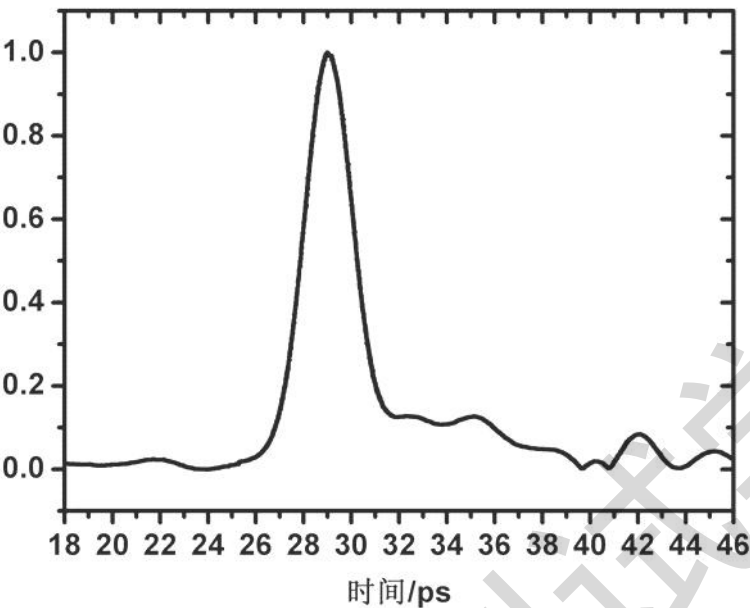


图 8 超快电脉冲波形示意图

- 7.2.5.2.3 通过计算机采集超快电脉冲在被检示波器上的响应波形；
- 7.2.5.2.4 对采集到的冲激响应进行积分运算得到阶跃响应，得到被检示波器的上升时间（必要时，可对采集到的波形进行时基误差修正，并用反卷积分法去除超快电脉冲的响应，得到被检示波器的冲激响应后，再进行积分运算），记录结果；
- 7.2.5.2.5 更换被检示波器输入通道，重复步骤 7.2.5.2.2~7.2.5.2.4，对被检示波器其它通道上升时间进行测量。
- 7.2.6 过冲
- 7.2.6.1 按图 5 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω、DC 耦合、内触发，关闭其他通道，如果被检示波器输入电阻为 1MΩ，应在示波器输入端接 50Ω通过式负载。
- 7.2.6.2 调整被检示波器的水平挡位和触发，使信号稳定显示，设置示波器校准仪为快沿脉冲输出功能，调节快沿脉冲的输出幅度，使信号显示高度为屏幕的 80%左右，调节扫描时间，显示如图 6 所示的脉冲波形；
- 7.2.6.3 用被检示波器的光标测量功能测量脉冲幅度 A 、前沿部分高于脉冲幅度平顶的最大值 b ，按式（7）计算过冲，记录结果：

$$S_b = \frac{b}{A} \times 100\% \tag{7}$$

式中：

- A — 脉冲幅度， V；
- b — 前沿部分高于脉冲幅度平顶的最大值， V；
- S_b — 被检示波器的过冲；

- 7.2.6.4 重复步骤 7.2.6.2~7.2.6.3，对被检示波器各通道的过冲分别进行测量。
- 7.2.7 本底噪声
- 7.2.7.1 调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω、DC 耦合、内触发，垂直挡位设置为最小值，采样速率设置为最大值，输入端接 50Ω终端负载，带宽设置为全带宽，关闭其他通道；

7.2.7.2 用被检示波器自动测量功能测量显示波形幅度的有效值，该值即为选定测量通道的本底噪声，记录结果；

7.2.7.3 设置被检示波器垂直挡位为说明书要求的其他挡位，其他设置不变，重复步骤 7.2.7.2；

7.2.7.4 设置被检示波器输入电阻为 $1\text{M}\Omega$ ，输入端接 50Ω 终端负载，重复步骤 7.2.7.2~7.2.7.3；

7.2.7.5 重复步骤 7.2.7.2~7.2.7.4，对被检示波器各通道本底噪声分别进行测量。

7.2.8 通道隔离度

7.2.8.1 按图 9 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定干扰通道，设置垂直挡位为最大，将正弦信号输出匹配连接到干扰通道，输出正弦信号的频率为被检示波器频带内的上限截止频率或仪器说明书规定的频率值，信号幅度置合适值，使显示波形占屏幕的 80% 左右。用示波器的自动测量功能测量信号幅度 U_a ；

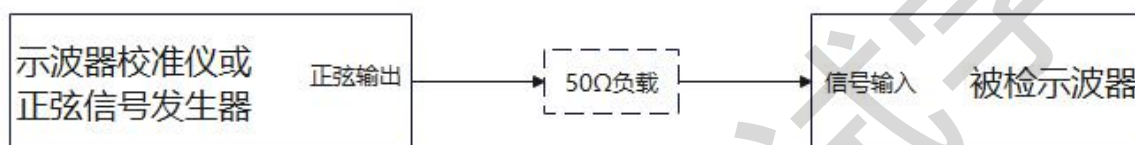


图 9 通道隔离度的校准连接框图

7.2.8.2 选定被检示波器的测量通道（被干扰通道），输入端接 50Ω 终端负载，设置垂直挡位为最小，用示波器的自动测量功能测量信号幅度 U_b 。

7.2.8.3 按式（8）计算通道间隔离度 I ，记录结果：

$$I = \frac{U_a}{U_b} \quad (8)$$

7.2.8.4 重复步骤 7.2.8.1~7.2.8.3，对被检示波器各通道间隔离度分别进行测量。

7.2.9 时基

7.2.9.1 方法一：用频率计对示波器的时基时钟输出直接进行校准

7.2.9.1.1 对有参考时钟（频率为 F ）输出的被检示波器，按图 10 连接仪器，将示波器的参考时钟输出接到频率计的输入端；



图 10 时基的校准连接框图

7.2.9.1.2 用频率计的频率测量功能，测出参考时钟频率测得值 F_0 ，按式（9）计算被检示波器输出参考频率的相对误差 δ_f ，记录结果。

$$\delta_f = \frac{F - F_0}{F_0} \times 100\% \quad (9)$$

注：该方法适合于有参考频率输出端口的示波器，测量结果只体现被检示波器内部时钟的准确度。

7.2.9.2 方法二：比较测量法

7.2.9.2.1 按图 11 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道；



图 11 时基的校准连接框图

7.2.9.2.2 使用示波器校准仪（或正弦信号发生器）输出适当幅度和周期的时标信号（信号频率 F_0 ），调节被检示波器的水平挡位、垂直挡位、直流偏置和触发等，使 3 个以上周期的信号稳定居中显示，信号幅度占屏幕的 80% 左右；

7.2.9.2.3 使用示波器的频率测量功能测量获得信号频率值 F ，按式(8)计算通道时基相对误差 δ_f ，记录结果。

7.2.10 动态有效位数



图 12 动态有效位数的校准连接框图

7.2.10.1 方法一：时域法

按图 12 所示连接设备，设置测量通道的量程。设定通道采集速率 v_0 为最高，采样间隔 $\tau=1/v_0$ 。设置通道采集数据个数 $n \geq 1000$ 。

按式(10)选取输入信号频率 f 。

$$f = N \cdot v_0 / n \quad (10)$$

式中：

v_0 ——通道采集速率标称值，Sa/s；

n ——通道采集的数据个数；

N ——通道采集的 n 个数据中所含信号整周期个数。

这里， N 与 n 不能有公因子

选取输入正弦信号峰值约为覆盖量程 95% 的幅度值（一般为量程的 90%~100% 之间）；调整被校数字示波器触发，使信号稳定显示。调节直流偏置，使输入信号居中覆盖通道测量范围。采集（2 个以上信号周期的）数据 $x_i (i=0, \dots, n-1)$ ，输入计算机。按最小二乘法式（11）求出最佳拟合正弦信号：

$$a(i) = E \cdot \sin(\omega \cdot i + \theta) + d \quad (11)$$

式中：

$a(i)$ ——拟合信号的瞬时值，V；

E ——拟合正弦信号的幅度，V；

θ ——拟合正弦信号的初始相位，rad；

d ——拟合信号的直流分量值(直流偏置实测值)，V；

ω ——拟合正弦信号的离散角频率($2\pi \cdot f \cdot \tau$)，rad；

τ ——采样时间间隔，s。

按式(12)计算噪声与失真均方根值 NAD ：

$$NAD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i - a(i))^2} \quad (12)$$

按式(13)计算被校数字示波器通道的动态有效位数 $ENOB$ ，记录结果：

$$ENOB = \log_2 \frac{FSR}{\sqrt{12} NAD} \quad (13)$$

式中：

FSR ——示波器通道量程，V。

7.2.10.2 方法二：频域法

根据 IEEE Std 1057 中动态有效位数 (ENOB) 的解释, 对于给定频率和振幅的输入正弦波, 若理想示波器的均方根量化误差等于被测示波器的噪声与失真均方根 (NAD), 则此理想示波器的比特位数为 ENOB。可由下式计算:

$$\begin{aligned} ENOB &= \log_2 SINAD - \frac{1}{2} \log_2 1.5 - \log_2 \frac{A}{FSR/2} \\ &= \frac{10 \log_{10} SINAD_{dB} - 10 \log_{10} 1.5}{20 \log_{10} 2} - \log_2 \frac{2A}{FSR} \\ &\approx \frac{SINAD_{dB} - 1.76}{6.02} \end{aligned} \quad (14)$$

式中:

$SINAD$ ——输入信号对噪声与失真之比;

$SINAD_{dB}$ ——将 $SINAD$ 线性值转化为对数单位, dB;

A ——拟合正弦波的幅值;

FSR ——示波器通道量程。

按校准方法 7.2.10.1 连接设备并采集数据 $x_i (i=0, \dots, n-1)$;

按公式 (15) 计算波形的均方根值 A_{rms} :

$$A_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2} \quad (15)$$

式中:

x_i ——波形第 i 个采样点的值, V;

n ——采样点数;

按公式 (16) 计算信号总功率 P_{total} :

$$P_{total} = \frac{A_{rms}^2}{R} \quad (16)$$

式中:

A_{rms} ——信号的均方根值, V;

R ——负载阻抗, Ω ;

对时域波形进行快速傅里叶变换 (FFT) 将信号转换到频域, 计算信号的傅里叶变换:

$$FFT[k] = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i \cdot e^{-\frac{j2\pi ki}{n}}, \quad k \in 0 \dots n-1 \quad (17)$$

式中:

k ——频域数据的索引

x_i ——波形第 i 个采样点的值, V;

n ——采样点数;

设信号主峰值频率 f_{signal} 为 FFT 频谱图的功率最大值所对应频率, 信号功率 P_{signal} 的计算公式为:

$$\begin{aligned}
 P_{signal} &= \sum_{k_{signal}-\Delta k}^{k_{signal}+\Delta k} PSD[k] \\
 &= \sum_{k_{signal}-\Delta k}^{k_{signal}+\Delta k} |FFT[k]|^2
 \end{aligned} \tag{18}$$

式中：

$PSD[k]$ ——功率谱密度；

Δk ——主瓣范围的索引值跨度；

k_{signal} ——主信号峰值对应的索引位置， $k_{signal} = f_{signal}[k] = \frac{k}{N}v_0$ ；

按式（18）计算信号对噪声和失真之比 $SINAD$ ：

$$SINAD = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_{signal}}{P_{total} - P_{signal}} \tag{19}$$

式中：

P_{signal} ——信号功率，dB；

P_{total} ——总功率，dB。

将式（19）计算结果代入式（14）计算 ENOB。

7.2.11 最高采样率

7.2.11.1 按图 9 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω 、DC 耦合、内触发，如果被检示波器输入电阻为高阻，应在示波器输入端接 50Ω 通过式负载；

7.2.11.2 将被检示波器置于实时取样状态、点显示方式工作，设置采样率为最高，水平挡位为最小；

7.2.11.3 用示波器校准仪或正弦信号发生器产生一个标准正弦信号，设置合适的信号幅度和频率，使屏幕上稳定显示 1~2 个周期的波形；

7.2.11.4 统计屏幕上波形取样点，计算一个周期 T 内显示的取样点数 P ；按式（20）计算被检示波器的最高采样率 r_{sa} ，记录结果。

$$r_{sa} = \frac{P}{T} \tag{20}$$

注：对于打开不同通道数时采样率有区别的示波器，应分别测量不同通道打开时的最高采样率。

7.2.12 校准信号

7.2.12.1 方波校准信号频率

7.2.12.1.1 按图 13 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，将被检示波器的校准信号（频率 f ）输出接到频率计的输入端；

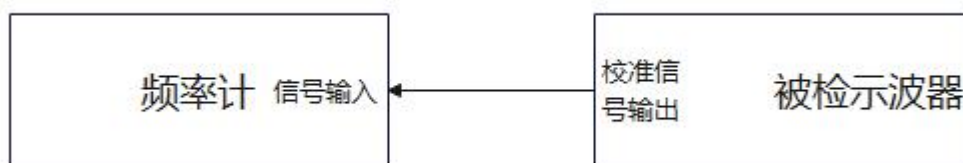


图 13 方波校准信号频率的校准连接框图

7.2.12.1.2 用频率计的频率测量功能，测出参考频率测得值 f_0 ，按式（21）计算被检示波器校准信号频率的相对误差 δ_f ，记录结果。

$$\delta_f = \frac{f-f_0}{f_0} \times 100\% \quad (21)$$

7.2.12.2 方波校准信号幅度

7.2.12.2.1 示波器校准仪/直流电压源比较法

7.2.12.2.1.1 按图 14 连接仪器，将被检示波器的校准信号匹配接入选定的输入通道，设置该通道为 DC 耦合，调节其它设置使波形稳定居中显示；

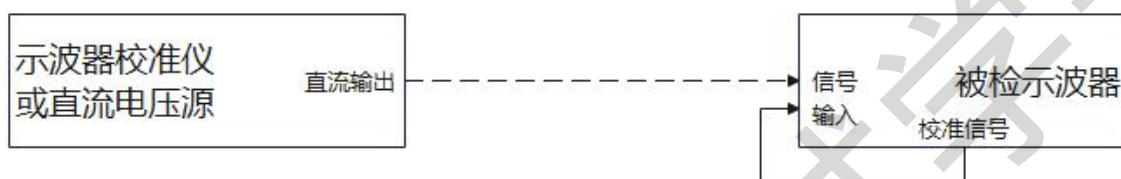


图 14 方波校准信号幅度的校准连接框图

7.2.12.2.1.2 调整被检示波器的直流偏置使波形顶部居中显示，逐步减小垂直挡位，尽量调到最小档，使波形顶部清晰地显示在屏幕范围内，打开幅度光标测量功能，移动幅度光标使之与校准信号的顶部完全重合；

7.2.12.2.1.3 保持幅度光标的位置不动，将校准信号断开，将示波器校准仪/直流电压源的输出匹配接入被检示波器选定的输入通道，设置示波器校准仪/直流电压源为直流输出功能，调整直流输出信号的幅度，使之与幅度光标完全重合，读取示波器校准仪上显示的直流输出信号的幅度 U_h ；

7.2.12.2.1.4 断开示波器校准仪，再将被检示波器的校准信号匹配接入选定的输入通道；

7.2.12.2.1.5 调整被检示波器的直流偏置使波形底部居中显示，逐步减小垂直挡位，尽量调到最小档，使波形底部清晰地显示在屏幕范围内，打开幅度光标测量功能，移动水平幅度使之与校准信号的底部完全重合；

7.2.12.2.1.6 保持幅度光标的位置不动，将校准信号断开，再将示波器校准仪/直流电压源的输出接入被检示波器选定的输入通道，设置示波器校准仪/直流电压源为直流输出功能，调整直流输出信号的幅度，使之与幅度光标完全重合，读取示波器校准仪上显示的直流输出信号的幅度 U_l ；

7.2.12.2.1.7 按式（22）计算被检示波器校准信号幅度的相对误差，记录结果。

$$\delta_u = \frac{U - (U_k - U_l)}{U_k - U_l} \times 100\% \quad (22)$$

式中：

U —校准信号幅度标称值，V；

U_h —校准信号顶部电压测得值，V；

U_l —校准信号底部电压测得值，V；

δ_u —校准信号幅度相对误差。

7.2.12.2.2 数字多用表取样法

7.2.12.2.2.1 按图 15 连接仪器，将被检示波器的校准信号匹配接入数字多用表的电压测量输入端；



图 15 方波/直流校准信号幅度的校准连接框图

- 7.2.12.2.2 设置数字多用表为直流采样功能，量程设置为“自动”，设置合适积分周期与采样延迟时间，测量方波波形顶部电压值 U_h 和底部电压值 U_l ，例如方波信号频率为 1kHz 时，数字表积分周期（NPLC）置为“0.01”，采样延迟时间分别设为（0.0012s， 0.0007s）；
- 7.2.12.2.2.3 按式（22）计算被检示波器校准信号幅度的相对误差，记录结果。
- 7.2.12.2.3 直流校准信号幅度
- 7.2.12.2.3.1 按图 15 所示连接仪器，将被检示波器的直流校准信号输入数字多用表；
- 7.2.12.2.3.2 设置数字多用表为直流电压测量功能，量程设置为“自动”，读取数字多用表显示的幅度值；
- 7.2.12.2.3.3 按式（23）计算被检示波器校准信号幅度的相对误差，记录结果。

$$\delta_d = \frac{U_d - U_{d0}}{U_{d0}} \times 100\% \tag{23}$$

式中：

- δ_d — 直流校准信号幅度的相对误差；
- U_d — 校准信号(直流)幅度标称值，V；
- U_{d0} — 校准信号(直流)幅度测得值，V。

- 7.2.13 输入电阻
- 7.2.13.1 按图 16 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定被测量通道，设置 50Ω，DC 耦合；



图 16 输入电阻的校准连接框图

- 7.2.13.2 数字多用表置“四线电阻”测量状态，用同轴转香蕉接头的电缆，香蕉接头端接至数字多用表的四线测量连接端，同轴接头接至被检示波器选定输入端，如果用具有电阻测量功能的示波器校准仪，直接将示波器校准仪的输出通道接至被检示波器选定测量通道输入端，设置示波器校准仪为对应量程的测量功能。
- 7.2.13.3 按式（24）计算被检示波器输入电阻相对误差 δ_R ，记录结果：

$$\delta_R = \frac{R_t - R_0}{R_0} \times 100\% \tag{24}$$

式中：

- δ_R — 输入电阻相对误差，
- R_0 — 输入电阻测得值，Ω；

R_i — 输入电阻标称值, Ω ;

7.2.13.4 设置示波器输入电阻为 $1M\Omega$, 重复步骤 7.2.13.2~7.2.13.3;

7.2.13.5 重复步骤 7.2.13.1~7.2.13.4, 对被检示波器各通道输入电阻分别进行测量。

注: 由于数字多用表测量电阻需要给被测电阻加载电压信号, 若该电压超出示波器量程时, 输入电阻读值将不正确, 应注意小量程输入电阻测量结果。

7.2.14 触发灵敏度

7.2.14.1 内触发灵敏度 (边沿触发)

7.2.14.1.1 按图 9 连接仪器, 调用被检示波器出厂默认设置, 选定测量通道, 设置为 50Ω 、DC 耦合、内触发、常态触发模式、上升沿触发, 关闭其他通道, 将垂直挡位和水平挡位置合适档位;

7.2.14.1.2 用示波器校准仪或微波信号发生器产生一个标准正弦信号, 设置频率为被检示波器带宽的上限频率或仪器说明书上规定的值, 调节触发电平使屏幕波形稳定显示, 不断减小输出信号幅度, 直至触发灵敏度标称值, 反复调节示波器触发电平, 观测屏幕能否稳定显示;

7.2.14.1.3 设置示波器为下降沿触发, 重复步骤 7.2.14.1.2, 记录结果;

7.2.14.1.4 重复步骤 7.2.14.1.1~7.2.14.1.3, 对被检示波器其它各通道的内触发灵敏度分别进行测量。

7.2.14.2 外触发灵敏度 (边沿触发)

7.2.14.2.1 按图 17 连接仪器, 调用被检示波器出厂默认设置, 选定被测量通道, 设置为 50Ω 、DC 耦合、外部触发, 关闭其他通道, 将示波器校准仪或微波信号发生器产生的标准信号分两路, 一路接入被检示波器选定的测量通道, 一路接入被检示波器的外触发或辅助触发通道 (对应图 17 中的 CHB), 将垂直挡位和水平挡位置合适档位;



图 17 外触发灵敏度的校准连接框图

7.2.14.2.2 用示波器校准仪或微波信号发生器产生一个标准正弦信号, 设置信号频率为被检示波器带宽的上限频率或仪器说明书上规定的值, 调节信号幅度和示波器触发电平, 不断减小信号幅度使波形刚好能稳定显示, 记下此时的波形幅度, 记录结果。

8 校准结果表达

校准结果以校准证书 (或校准报告) 的形式给出。校准证书至少应包括下列信息:

- 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) 证书或报告的唯一性标识 (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) 对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

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
(资料性)
原始记录内页格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

表 A.2.1 直流增益（方法一）

通道	输入电阻	/div	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1M Ω	1mV				
通道 1	1M Ω	...				
通道 1	1M Ω	10V				
通道 1	50 Ω	1mV				
通道 1	50 Ω	...				
通道 1	50 Ω	1V				
...						
通道 4						

表 A.2.2 直流增益（方法二）

通道	输入电阻	/div	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1M Ω	5mV				
通道 1	1M Ω	...				
通道 1	1M Ω	5V				
通道 1	50 Ω	5mV				
通道 1	50 Ω	...				
通道 1	50 Ω	1V				
...						
通道 4						

表 A. 3 直流偏置

通道	输入电阻	/div	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1MΩ	5mV	正向最大			
通道 1	1MΩ	5mV	负向最大			
通道 1	1MΩ	5mV	0			
通道 1	50Ω	5mV	正向最大			
通道 1	50Ω	5mV	负向最大			
通道 1	50Ω	5mV	0			
...	...	...				
通道 4	...	...				

表 A. 4. 1 频带宽度（方法一）

通道	输入电阻	/div	参考频率处 幅度测得值	标称带宽频率 处幅度测得值	分贝数	不确定度
通道 1	50Ω					
通道 1	1MΩ					
...						
通道 4						

表 A. 4. 2 频带宽度（方法二）

通道	输入电阻	/div	参考频率处幅度 测得值 V_0	$V_i=0.707V_0$ 处 频率测得值	不确定度
通道 1	50Ω				
通道 1	1MΩ				
...					
通道 4					

表 A. 5 上升时间

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
通道 1	50Ω			
通道 1	1MΩ			

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
...				
通道 4				

表 A. 6 过冲

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
通道 1	50Ω			
通道 1	1MΩ			
...				
通道 4				

表 A. 7 本底噪声

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
通道 1	50Ω			
通道 1	1MΩ			
通道 4	50Ω			

表 A. 8 通道隔离度

通道	测得值	不确定度
通道 1~通道 2		
通道 1~通道 3		
通道 1~通道 4		
...		

表 A. 9. 1 时基（方法一）

标称值	测得值	相对误差	不确定度

表 A. 9. 2 时基（方法二）

通道	时基档位	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1ms/div				

表 A. 10 动态有效位数

通道	/div	信号幅度	信号频率	动态有效位数	不确定度
通道 1					

表 A. 11 最高采样率

标称值	测得值	不确定度

表 A. 12. 1 校准信号频率

标称值	测得值	相对误差	不确定度

表 A. 12. 2 校准信号幅度

信号类型	标称值	顶部测得值	底部测得值	测得值	相对误差	不确定度
方波						
直流		/				

表 A. 13 输入电阻

通道	标称值	/div	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	50Ω				
通道 1	1MΩ	...			
...					
通道 4					

表 A. 14. 1 内触发灵敏度（边沿触发）

通道	信号频率	测得值	不确定度
通道 1			
...			
通道 4			

表 A. 14. 2 外触发灵敏度（边沿触发）

通道	信号频率	测得值	不确定度
通道 1			
...			
通道 4			

附 录 B
(资料性)
校准证书内页格式

表 B. 1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

表 B. 2. 1 直流增益（方法一）

通道	输入电阻	/div	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1MΩ	1mV				
通道 1	1MΩ	...				
通道 1	1MΩ	10V				
通道 1	50Ω	1mV				
通道 1	50Ω	...				
通道 1	50Ω	1V				
...						
通道 4						

表 B. 2. 2 直流增益（方法二）

通道	输入电阻	/div	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1MΩ	5mV				
通道 1	1MΩ	...				
通道 1	1MΩ	5V				
通道 1	50Ω	5mV				
通道 1	50Ω	...				
通道 1	50Ω	1V				
...						
通道 4						

表 B.3 直流偏置

通道	输入电阻	/div	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1M Ω	5mV	正向最大			
通道 1	1M Ω	5mV	负向最大			
通道 1	1M Ω	5mV	0			
通道 1	50 Ω	5mV	正向最大			
通道 1	50 Ω	5mV	负向最大			
通道 1	50 Ω	5mV	0			
...	...	...				
通道 4	...	...				

表 B.4.1 频带宽度（方法一）

通道	输入电阻	/div	参考频率处 幅度测得值	标称带宽频率 处幅度测得值	分贝数	不确定度
通道 1	50 Ω					
通道 1	1M Ω					
...						
通道 4						

表 B.4.2 频带宽度（方法二）

通道	输入电阻	/div	参考频率处幅度 测得值 V_0	$V_f=0.707V_0$ 处 频率测得值	不确定度
通道 1	50 Ω				
通道 1	1M Ω				
...					
通道 4					

表 B.5 上升时间

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
通道 1	50 Ω			
通道 1	1M Ω			

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
...				
通道 4				

表 B. 6 过冲

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
通道 1	50Ω			
通道 1	1MΩ			
...				
通道 4				

表 B. 7 本底噪声

通道	输入电阻	/div	测得值	不确定度
通道 1	50Ω			
通道 1	1MΩ			
通道 4	50Ω			

表 B. 8 通道隔离度

通道	测得值	不确定度
通道 1~通道 2		
通道 1~通道 3		
通道 1~通道 4		
...		

表 B. 9. 1 时基（方法一）

标称值	测得值	相对误差	不确定度

表 B. 9. 2 时基（方法二）

通道	时基档位	标准值	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	1ms/div				

表 B. 10 动态有效位数

通道	/div	信号幅度	信号频率	动态有效位数	不确定度
通道 1					

表 B. 11 最高采样率

标称值	测得值	不确定度

表 B. 12. 1 校准信号频率

标称值	测得值	相对误差	不确定度

表 B. 12. 2 校准信号幅度

信号类型	标称值	顶部测得值	底部测得值	测得值	相对误差	不确定度
方波						
直流		/				

表 B. 13 输入电阻

通道	标称值	/div	测得值	相对误差	不确定度
通道 1	50Ω				
通道 1	1MΩ	...			
...					
通道 4					

表 B. 14. 1 内触发灵敏度（边沿触发）

通道	信号频率	测得值	不确定度
通道 1			
...			
通道 4			

表 B. 14. 2 外触发灵敏度（边沿触发）

通道	信号频率	测得值	不确定度
通道 1			
...			
通道 4			

附 录 C
(资料性)
实时示波器选校项目及校准方法

C.1 交流增益

C.1.1 功率计自校后按图 4 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω、AC 耦合、内触发、带宽限制按说明书要求设置，关闭其他通道，水平挡位设为合适值，垂直挡位设为最小；

C.1.2 设置信号发生器输出正弦波频率为 50MHz（1GHz 或按说明书要求频率），输出信号幅度为被检示波器垂直档位的 6 倍或 8 倍（即 6div 或 8div），用示波器的自动测量功能读取有效值幅度 U_{rms} ，记录结果；

C.1.3 设置功率计频率与信号发生器频率一致，读取功率计功率值 P_0 ，换算成电压值 U_0 ，记录结果；

C.1.4 按式 (c.1) 计算交流增益 G_A ，记录结果：

$$G_A = \frac{U_{rms}}{U_0} \quad (c.1)$$

C.1.5 按从低到高的顺序设置垂直挡位，重复步骤 C.1.1~C1.4；

C.1.6 重复步骤 C.1.1~C1.5，对被检示波器各通道交流增益分别进行测量。

C.2 回波损耗/驻波比

C.2.1 调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为 50Ω，设置合适的垂直档位（或按说明书要求设置）；



图 18 回波损耗/驻波比的校准连接框图

C.2.2 网络分析仪设定为单端口测量状态，设置网络分析仪最低输出频率作为其扫频的起始频率，选择被测示波器带宽频率做为其扫频的终止频率，设置合适的扫频步长，单端口校准后按图 18 连接仪器，调整网络分析仪的输出功率使示波器显示的波形幅度适中；

C.2.3 设置网络分析仪的测量参数为回拨损耗（或驻波比），读取被校示波器输入端的回拨损耗（或驻波比），记录结果；

C.2.4 重复步骤 C.1.1~C1.5，对被检示波器各通道输入端回波损耗（或驻波比）分别进行测量。

C.3 通道间延迟时间差

C.3.1 按图 19 连接仪器，调用被检示波器出厂默认设置，选定两个测量通道 A 和 B，设置为 50Ω、DC 耦合，关闭其他通道，两个测量通道的连接电缆电气特性应一致；



图 19 通道间延迟时间差的校准连接框图

C.3.2 设置示波器校准仪或微波信号发生器的频率为 10MHz（或按说明书要求设置），调节输出幅度，使被检示波器屏幕上显示的快沿信号幅度为对应通道量程的 80%；

C.3.3 设置被检示波器为实时采样方式、双通道打开时的最高采样率，调整被测通道各项设置，使信号稳定居中显示，调整示波器各项设置值时，两个被测通道应保持一致；

C.2.4 调整被检示波器的水平挡位使水平扫描速度最快，调节示波器校准仪或微波信号发生器频率，使屏幕内波形显示小于一个周期；

C.3.5 打开被检示波器自动测量功能或用光标测量功能，测量通道 A 和通道 B 的通道间延迟时间差，记录值 T_1 ；

C.3.6 通道 A 和通道 B 输入信号对换，再次测量通道 A 和通道 B 的通道间延迟时间差，记录值 T_2 ；

C.3.7 按式（c.2）计算被检示波器的通道间固有延迟时间差 T_Δ ，记录结果：

$$T_\Delta = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (\text{c.2})$$

C.3.8 重复步骤 C.3.1~C.3.7，对被检示波器其它各通道间固有延迟时间差分别进行测量。

C.4 ΔV (幅度)测量

C.4.1 如图1所示连接设备，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为1M Ω 、DC耦合、内触发、带宽限制按说明书要求设置，关闭其他通道，水平挡位设为合适值，垂直挡位设为最小；

C.4.2 示波器校准仪电阻设置与示波器一致，输出适当幅度 U 和频率的标准方波信号，调节被检示波器的水平档位、垂直档位、直流偏置和触发等，使 2~3 个周期的波形稳定居中显示，信号幅度占屏幕的 80%左右；

C.4.3 打开被检高速数字示波器的 ΔV 测量功能，移动两个测量光标，使之分别与标准方波信号的顶线和底线完全重合，读出信号幅度 U_m ，记录结果；

C.4.4 按从低到高的顺序设置垂直档位，重复步骤 C.4.1~C.4.3；

C.4.5 设置示波器输入电阻为 50 Ω ，重复步骤 C.4.1~C.4.4；

C.4.6 重复步骤 C.4.1~C.4.5，对被检示波器各通道的 ΔV 测量功能分别进行测量。

C.5 ΔT (时间)测量

C.5.1 如图11所示连接设备，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道；

C.5.2 示波器校准仪电阻设置与示波器一致，输出适当幅度和周期 T 的时标信号，调节被检示波器的水平档位、垂直档位、直流偏置和触发等，使 2~3 个周期的波形稳定居中显示，信号幅度占屏幕的 80%左右；

C.5.3 打开被检高速数字示波器的 ΔT 测量功能，移动两个测量光标，使之分别与相邻两个脉冲的前沿（或后沿）完全重合，读出信号信号周期 T_m ，记录结果。

C.6 最大存储深度

C.6.1 如图9所示连接设备，调用被检示波器出厂默认设置，选定测量通道，设置为50 Ω 、DC耦合，如果被检高速数字示波器输入电阻为高阻，应在示波器输入端接50 Ω 通过式负载；

C.6.2 将被检示波器置于实时取样状态，水平档位为最小、采样率为最高 r_{sa} 、存储深度为最大标称值；

C.6.3 用示波器校准仪或正弦信号发生器产生一个标准正弦信号，设置合适的信号幅度和频率，使屏幕上稳定显示 2~3 个周期的波形。

C.6.4 逐步增加水平档位，直到采样率自动发生改变，记下采样率改变前的水平档位 K （对于某些型号的示波器，采样率不能自动改变，水平档位调整到极限将不能继续调整，记下此时的水平档位 K ）；

C.6.5 按式（c.3）计算被校示波器的最大存储深度 L ，其中 D 为屏幕上水平显示格数（div），记录结果。

$$L = r_{sa} \times K \times D \quad (\text{c.3})$$

C.7 输入电容

C.7.1 按图 20 连接仪器，选择具有输入电容测量功能的示波器校准仪或 LCR 测试仪，调用被检示波器出厂默认设置，选定被测量通道，设置为 $1\text{M}\Omega$ 、DC 耦合；



图 20 输入电容的校准连接框图

C.7.2 设置示波器校准仪或 LCR 测试仪为电容测量功能，直接读取电容测得值 C ，记录结果。

C.7.3 重复步骤 C.7.1~C.7.2,对被检示波器各通道输入电容分别进行测量。

附 录 D
(资料性)
反卷积运算

若已知脉冲发生器输出的类冲激波形溯源数据，示波器可直接测量该类冲激波形，并用计算机读取波形数据，再用反卷积算法计算被测取样示波器的系统传递函数。反卷积算法公式如式 (D.1) 所示。

$$f_h(t) = f_m(t) \frac{1}{*} f_s(t) \quad (\text{D.1})$$

式中：

t ——具有相等时间间隔的时序数据，s；

$f_h(t)$ ——示波器系统传递函数，V；

$f_m(t)$ ——示波器测量的冲激波形数据，V；

$f_s(t)$ ——脉冲发生器输出的冲激波形溯源数据，V；

$\frac{1}{*}$ ——反卷积运算符号。

此反卷积运算可由计算机编程实现，实现步骤如下：

a) 波形数据中应包含时序数据和幅值数据，计算脉冲发生器输出的类冲激波形数据中时序数据的时间间隔 Δt_s ，计算示波器测量的类冲激波形数据中时序数据的时间间隔 Δt_m 。以 Δt_s 为时间间隔调整幅值数据 $f_m(t)$ ，调整方法如下：

方法一：以 Δt_s 设置示波器采样间隔，重新测量波形获取幅值数据 $f_m(t)$ 。

方法二：以 Δt_s 为时间间隔对幅值数据 $f_m(t)$ 做插值运算，计算公式 (D.2) 所示。

$$f_m(t_x) = \frac{f_m(t_2) - f_m(t_1)}{t_2 - t_1} \cdot t_x + \frac{f_m(t_1)t_2 - f_m(t_2)t_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{D.2})$$

式中：

t_1 ——具有相等时间间隔的时序数据中的时刻值，s；

t_2 ——具有相等时间间隔的时序数据中的时刻值，位置与 t_1 相邻，且值大于 t_1 ，s；

t_x ——位置与 t_1 相邻，且值大于 t_1 小于 t_2 的时刻值，s；

Δt_s ——时序数据的时间间隔，s；

$f_m(t_1)$ —— t_1 时刻示波器测量的波形幅值数据，V；

$f_m(t_2)$ —— t_2 时刻示波器测量的波形幅值数据，V；

$f_m(t_x)$ —— t_x 时刻示波器测量的波形幅值数据，V。

b) 计算脉冲发生器输出的类冲激波形数据中时序数据的时间窗长度 T_s ，计算示波器测量的类冲激波形数据中时序数据的时间窗长度 T_m 。以 T_s 为时间窗长度调整幅值数据 $f_m(t)$ ，调整方法如下：

当 $T_s < T_m$ 时，按 T_s 时长截取幅值数据 $f_m(t)$ （应包含主峰波形和反射波形）；

当 $T_s > T_m$ 时，对幅值数据 $f_m(t)$ 做补零处理或补噪声处理。

c) 将以上数据处理后的 $f_s(t)$ 和 $f_m(t)$ 的波形数据做快速傅里叶变换 (FFT) 运算，得到 $f_s(t)$ 的幅频响应 $A_s(\omega)$ 和相频响应 $\varphi_s(\omega)$ 、 $f_m(t)$ 的幅频响应 $A_m(\omega)$ 和相频响应 $\varphi_m(\omega)$ 。

d) 对幅频响应做除法运算, 即 $A_m(\omega)/A_s(\omega)$, 得到示波器幅频响应 $A_h(\omega)$; 对相频响应做除法运算, 即 $\varphi_m(\omega)/\varphi_s(\omega)$, 得到示波器相频响应 $\varphi_h(\omega)$ 。

e) 整合示波器幅频响应 $A_h(\omega)$ 和相频响应 $\varphi_h(\omega)$, 做快速反傅里叶变换 (IFFT) 运算, 得到示波器系统传递函数 $f_h(t)$ 。