



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-202X

脉冲信号发生器校准规范

Calibration Specification for PulseSignalGenerator

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

X X X X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发 布

脉冲信号发生器校准规范

Calibration Specification for Pulse Signal
Generator

JJFXXXX-202X
代替 JJG 490 - 2002

归口单位：全国无线电计量技术委员会
主要起草单位：XXXXXXXXXX
XXXXXXXXXX
XXXXXXXXXX
参加起草单位：XXXXXXXXXX

本规范主要起草人：

+++++

+++++

+++++

参加起草人：

+++++

+++++

+++++

+++++

目录

引言.....	III
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 脉冲频率.....	1
4.3 脉冲幅度.....	1
4.4 上升时间.....	1
4.5 下降时间.....	2
4.6 脉冲宽度.....	2
4.7 空度比.....	2
4.8 群脉冲.....	2
4.9 抖动.....	2
4.10 内触发延时.....	2
4.11 外触发延时.....	2
4.12 直流偏置.....	2
4.13 波形畸变.....	2
4.14 通道间时差一致性.....	2
5 校准条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 测量标准器及其他设备.....	3
6 校准项目和校准方法.....	3
6.1 校准项目.....	3
6.2 校准方法.....	4
7 校准结果表达.....	13
8 复校时间间隔.....	14
附录 A.....	15
附录 B.....	19
附录 C.....	22

附录 D.....	27
-----------	----

引言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性文件。

本规范是对 JJG490-2002《脉冲信号发生器检定规程》的修订，与 JJG 490-2002 相比，主要变化的内容包括：

- 由检定规程更改为校准规范。
- 频率范围由 0.1Hz~500MHz 修改为 0.1Hz~3.35GHz；
- 幅度范围由 10mV~200V 修改为 10mV~66V（峰峰值）；
- 删除最小触发电平和同步信号的检定项目，删除脉冲幅度比较仪测量脉冲幅度的检定方法；
- 增加了直流信号比较测量脉冲幅度的校准方法；
- 增加了占空比、波形畸变参数、通道间时间一致性等校准参数。

本规范历次版本发布情况如下：

- JJG 490-2002、JJG 490-1993、JJG 263-1981。

脉冲信号发生器校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围 0.1Hz~3.35GHz 单路或多路输出的脉冲信号发生器的校准，其他频率范围的脉冲信号发生器和脉冲信号模块可参照本规范执行。

2 引用文件

GB/T 9317 脉冲信号发生器通用规范

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

3 概述

脉冲信号发生器是一种通用电子仪器，输出频率、幅度、脉冲宽度、上升时间、下降时间等参数可调的脉冲信号，由时基模块、脉冲模块、输出模块和控制显示模块等组成。可用于电子测量仪表及各种通用、专用仪器仪表的相关脉冲、上升时间、计数等指标的检测和试验。

4 计量特性

4.1 参考频率

范围：1MHz、5MHz、10MHz；

频率偏差： $\pm (1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-8})$

4.2 脉冲频率

范围：0.1Hz~3.35GHz；

频率偏差： $\pm (1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-7})$ 。

4.3 脉冲幅度

范围（峰峰值，单端输出）：10mV~66V（0.1Hz~100kHz，高阻）；

10mV~10V（0.1Hz~100MHz，50 Ω ）；

10mV~5V（100MHz~770MHz，50 Ω ）；

50mV~2V（770MHz~3.35GHz，50 Ω ）；

最大允许误差： $\pm 0.10\%$ （0.1Hz~10kHz）；

$\pm 0.12\%$ （10kHz~2GHz）；

$\pm 2\%$ （2GHz~3.35GHz）。

4.4 上升时间

范围：25ps~5ms（10%~90%）；

最大允许误差：±300ps。

4.5 下降时间

范围：25ps~5ms（90%~10%）；

最大允许误差：±300ps。

4.6 脉冲宽度

范围：100ps~9.999999s；

最大允许误差：±（0.01%+40ps）。

4.7 空度比

范围：0.15%~99.85%；

最大允许误差：±0.06%。

4.8 群脉冲

脉冲数：1~1000000；

最大允许误差：±1

4.9 抖动

周期抖动、脉宽抖动、延迟抖动等（rms）：0~1μs。

4.10 内触发延时

范围：-5 ps ~ 10s；

最大允许误差：±20ps。

4.11 外触发延时

范围：-5 ps ~ 10s；

最大允许误差：±20ps。

4.12 直流偏置

范围：±（0~60）V；

最大允许误差：±1%。

4.13 波形畸变

过冲：0~15%；

前冲：0~15%；

振铃：0~15%；

倾斜：0~15%。

4.14 通道间时差一致性

0~1μs。

注：以上技术指标不作合格评定，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- 5.1.1 环境温度：23 °C ± 5 °C；
 5.1.2 环境湿度：≤80%；
 5.1.3 供电电源：220(1±10%)V、(50±1)Hz；
 5.1.4 其它：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准器及其他设备

5.2.1 频率计

频率范围：0.1Hz ~ 3.35GHz；
 时间间隔测量范围：1ns ~ 10s；
 时基频率偏差：± (1×10⁻⁵~1×10⁻⁹)；

5.2.2 数字电压表

具有延迟触发和高速采样功能；
 测量范围：DC：± (0~66) V；
 最大允许误差：±0.03%。

5.2.3 数字示波器

带宽：不低于脉冲信号频率的3倍且上升时间小于被校脉冲信号发生器上升时间的1/3；

电压测量范围：± (0~70) V；
 电压测量最大允许误差：± (1%~3%)；
 时间测量最大允许误差：±1%；
 输入通道：不少于2个；
 具有抖动测量功能。

5.2.4 外触发信号发生器

具有脉冲信号输出、BURST模式和手动触发等功能，脉冲信号的频率、幅度和宽度满足被校脉冲信号发生器输入外触发信号的要求。

5.2.5 直流标准源

DCV：± (0~66) V；
 最大允许误差：± (0.002%~0.1%)。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表1。

表1 校准项目表

序号	校准项目
1	参考频率
2	脉冲频率

3	脉冲幅度
4	上升时间、下降时间
5	脉冲宽度
6	空度比
7	群脉冲
8	抖动
9	内触发延时
10	外触发延时
11	直流偏置
12	波形畸变
13	通道间时差一致性

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

被校脉冲源外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，开关、按键、旋钮等应牢固且调节正常，显示装置能正常显示，被校脉冲信号发生器通电后，能正常工作。校准前，被校仪器和标准器按规定时间预热，并将检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

6.2.2 参考频率

6.2.2.1 按图 1 连接仪器；

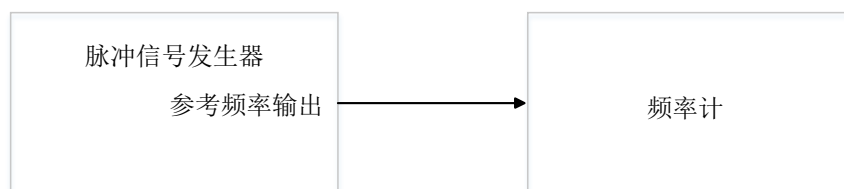


图 1 参考频率校准仪器连接框图

6.2.2.2 读取频率计脉冲信号发生器参考频率的测量值，按公式（1）计算相对频率偏差，并将结果填入附录 A 表格 A.2 中；

$$y = (f_x - f_0) / f_0 \quad (1)$$

式中： y —— 相对频率偏差；

f_x —— 参考频率测量值，MHz；

f_0 —— 参考频率标称值，MHz。

6.2.3 脉冲频率

6.2.3.1 按图 2 连接仪器；



图 2 脉冲频率校准仪器连接框图

6.2.3.2 被校脉冲信号发生器设置为连续输出，调节输出幅度为适当值，从低到高改变脉冲频率，用频率计测量频率值，记录于附录表 A.3 中。

6.2.4 脉冲幅度

6.2.4.1 数字电压表高速取样测量脉冲幅度

6.2.4.1 a) 按图 3 连接仪器；

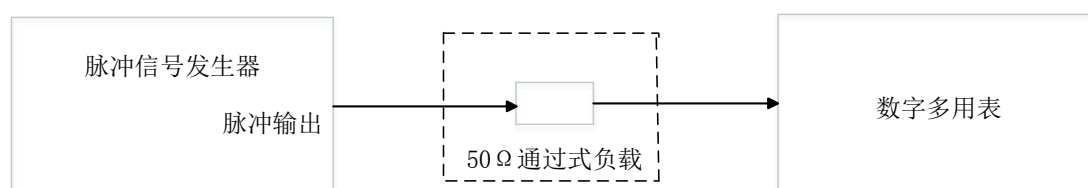


图 3 数字电压表高速取样测量幅度仪器连接框图

6.2.4.1 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式，按频率范围设置输出频率，占空比 50%，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度，数字电压表设置为直流测量，量程自动，电平触发，根据被校脉冲信号发生器的输出频率设置 NPLC 和高电平、低电平的延时时间，分别测量脉冲信号的高电平和低电平，按公式(2)计算脉冲信号幅度，并记录于附录 A 表 A.4 中。

$$U_{\text{amp}} = U_{\text{H}} - U_{\text{L}} \quad (2)$$

式中： U_{amp} —— 脉冲幅度测量值，V；

U_{H} —— 脉冲幅度高电平测量值，V；

U_{L} —— 脉冲幅度低电平测量值，V。

6.2.4.2 示波器测量脉冲幅度

6.2.4.2 a) 按图 4 连接仪器；



图 4 示波器测量脉冲幅度仪器连接框图

6.2.4.2 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式, 按频率范围设置输出频率, 占空比 50%, 按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度, 调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数, 使被测信号显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上, 且示波器屏幕上能完整显示不少于 4 个周期的脉冲波形, 用示波器的幅值测量功能测量脉冲幅度, 并记录于附录 A 表 A.5 中;

6.2.4.3 直流信号比较测量脉冲幅度

6.2.4.3 a) 按图 4 连接仪器, 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式, 按频率范围设置输出频率, 占空比 50%, 按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度, 调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数, 使被测信号显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上, 且示波器屏幕上能完整显示不少于 4 个周期的脉冲波形, 打开示波器的光标功能, 将两个光标分别置于脉冲信号的高电平和低电平处;

6.2.4.4 b) 保持示波器的所有设置不变, 按图 5 连接仪器, 调节标准直流源的输出幅度, 使其分别与示波器的两个光标线重合, 记录标准直流源的输出幅度, 并按公式 (2) 计算脉冲幅度测量值, 并记录于附录 A 表 A.6 中。

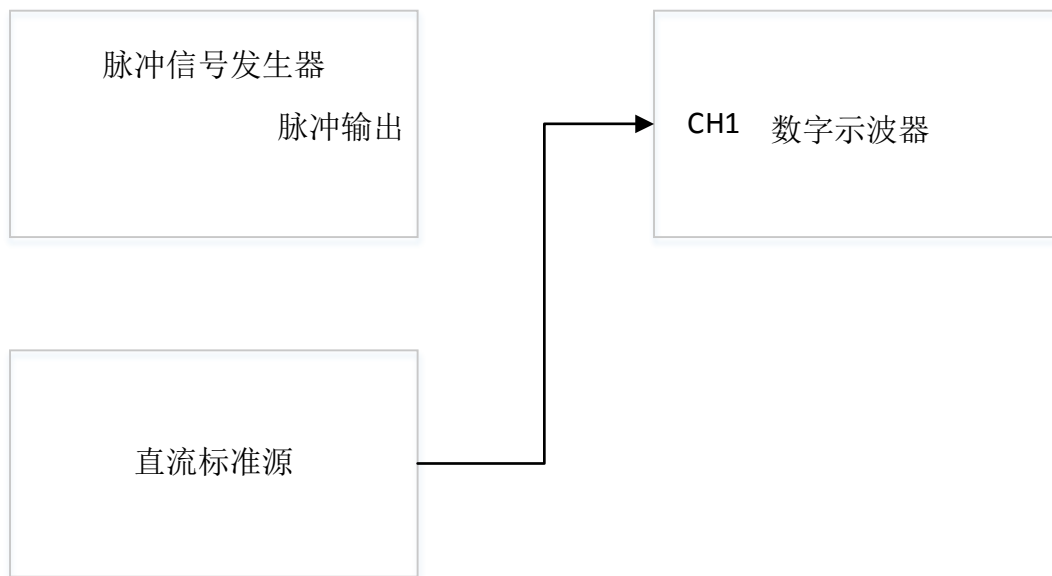


图 5 直流信号比较测量脉冲幅度仪器连接框图

6.2.5 上升时间、下降时间

6.2.5.1 按图 4 连接仪器;

6.2.5.2 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式, 按频率范围设置输出频率, 占空比 50%, 按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、上升时间和下降时间, 调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数, 使示波器屏幕显示一个完整的脉冲波形, 脉冲信号高度显示不少于屏幕垂直刻度的 70%, 脉冲信号上升沿、下降沿显示合适的宽度, 使用示波器测量功能, 测量上升时间、下降时间, 并记录于附录 A 表 A.7 中;

6.2.6 脉冲宽度

6.2.6.1 使用示波器测量

6.2.6.1 a) 按图 4 连接仪器；

6.2.6.1 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式，按频率范围设置输出频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、脉冲宽度，调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数，使示波器屏幕显示脉冲信号周期不少于 4 个，脉冲信号高度显示不少于屏幕垂直刻度的 70%，使用示波器测量功能，测量脉冲宽度，并记录于附录 A.8 中；

6.2.6.2 使用频率计测量

6.2.6.2 a) 按图 2 连接仪器；

6.2.6.2 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式，按频率范围设置输出频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、脉冲宽度，使用计数器脉冲宽度测量功能，测量脉冲宽度，并记录于附录 A.8 中；

6.2.7 空度比

6.2.7.1 使用示波器测量

6.2.7.1 a) 按图 4 连接仪器；

6.2.7.1 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式，按频率范围设置输出频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、空度比，调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数，使示波器屏幕显示脉冲信号周期不少于 4 个，脉冲信号高度显示不少于屏幕垂直刻度的 70%，使用示波器测量功能，测量空度比，并记录于附录 A.9 中；

6.2.7.2 使用计数器测量

6.2.7.2 a) 按图 2 连接仪器；

6.2.7.2 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式，按频率范围设置输出频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、空度比，使用计数器空度比测量功能，测量空度比，并记录于附录 A.9 中；

6.2.8 群脉冲

6.2.8.1 按图 2 连接仪器；

6.2.8.2 设置频率计为计数测量功能，设置被校脉冲信号发生器为 BURST 工作模式，手动触发，按要求设置脉冲信号发生器的频率、幅度和猝发脉冲数，读取频率计的测量值，并记录于附录 A 表 A.10 中；

6.2.9 抖动

6.2.9.1 周期抖动

6.2.9.1 a) 按图 4 连接仪器；

6.2.9.1 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式, 按频率范围设置输出频率, 按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、空度比等, 调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数, 使示波器屏幕显示脉冲信号周期不少于 8 个, 脉冲信号高度显示不少于屏幕垂直刻度的 70%, 使用示波器测量功能, 测量周期抖动, 并记录于附录 A 表 A.11 中。

6.2.9.2 脉宽抖动

6.2.9.2 a) 按图 4 连接仪器;

6.2.9.2 b) 设置被校脉冲信号发生器为连续输出模式, 按频率范围设置输出频率, 按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、空度比等, 调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数, 使示波器屏幕显示脉冲信号周期不少于 8 个, 脉冲信号高度显示不少于屏幕垂直刻度的 70%, 使用示波器测量功能, 测量脉宽抖动, 并记录于附录 A 表 A.11 中。

6.2.9.3 延迟抖动

6.2.9.3 a) 按图 6 连接仪器

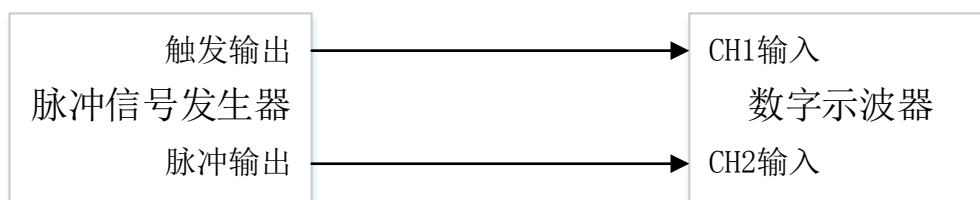


图 6 延迟抖动校准仪器连接框图

6.2.9.3 b) 按频率范围设置输出频率, 设置被校脉冲信号发生器输出幅度与触发信号相同, 按要求设置被校脉冲信号发生器的延迟、空度比等, 示波器设置触发源设置为 CH1 通道, 调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数, 脉冲信号高度显示不少于屏幕垂直刻度的 70%, 使用示波器测量功能, 测量延迟抖动, 并记录于附录 A 表 A.11 中。

6.2.10 内触发延时

6.2.10.1 使用频率计测量

6.2.10.1 a) 按图 7 连接仪器;

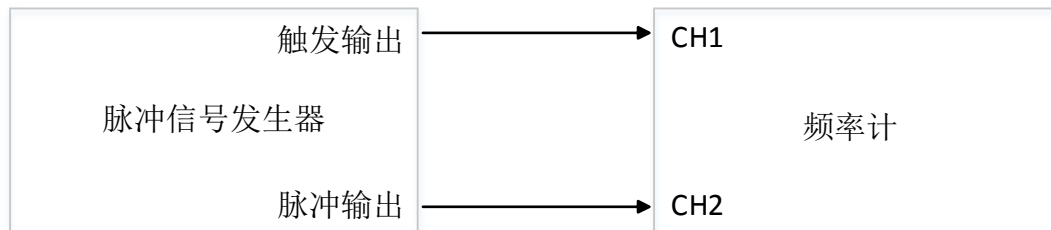


图 7 频率计测量内触发延时仪器连接框图

6.2.10.1 b) 设置脉冲源输出脉冲信号幅度与触发输出信号幅度相同,按频率范围设置被校脉冲信号发生器的输出频率,按要求设置延迟等参数,设置频率计为通道 1-通道 2 时间间隔测量功能,读取频率器的测量值,并填入记录 A 表 A.12 中。

6.2.10.2 使用示波器测量

6.2.10.2 a) 按图 6

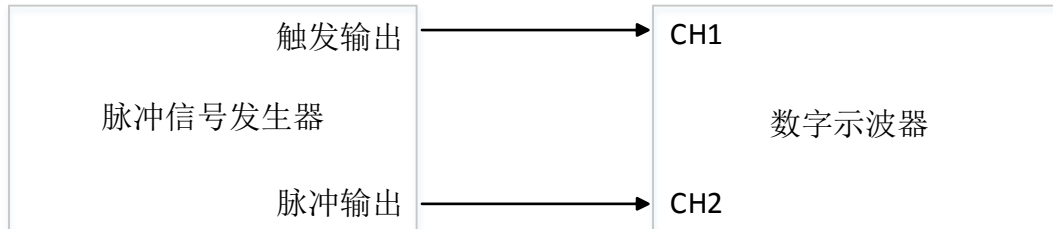


图 8 示波器测量内触发延时仪器连接框图

6.2.10.2 b) 设置脉冲信号发生器输出脉冲信号幅度与触发输出信号幅度相同,按频率范围设置被校脉冲信号发生器的输出频率,设置示波器为正常触发模式,触发源为 CH1,并根据触发输出信号幅度设置触发电平,按要求设置被校脉冲信号发生器的延迟等参数,用示波器测量功能测量测量延迟,并记录于附录 A 中标 A.12 中。

6.2.11 外触发延时

6.2.11.1 使用频率计测量

6.2.11.1 a) 按图 9 连接仪器,接入频率计两个通道的线缆长度相同;

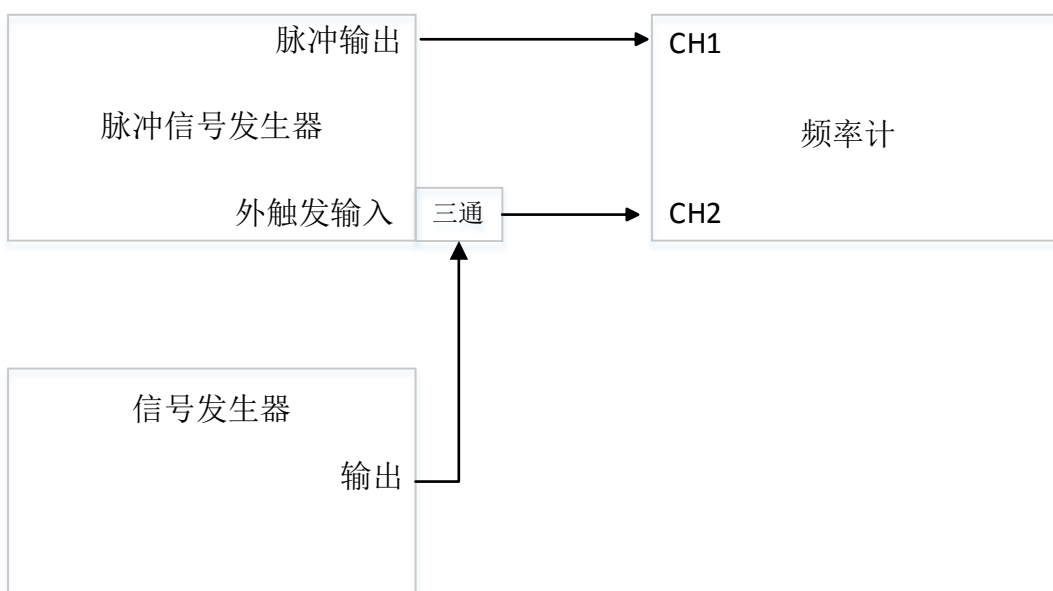


图 9 频率计测量外触发延迟仪器连接框图

6.2.11.1 b) 设置信号发生器输出脉冲信号,模式为 BURST,脉冲数为 1,手动触发,幅度、脉冲宽度等参数满足被校脉冲信号发生器的外触发信号的要求;

6.2.11.1 c) 设置被校脉冲信号发生器输出幅度与信号发生器输出信号经过三通后的幅度相同，按频率范围设置被校脉冲信号发生器的频率，设置被校脉冲信号发生器为 Burst 模式，脉冲数为 1，触发为外触发，按要求设置延迟，设置计数器为通道 1 到通道 2 时间间隔测量功能，手动触发信号发生器的输出，记录计数器的测量值于附录 A 表 A.13 中。

6.2.11.2 使用示波器测量

6.2.11.2 a) 按图 10 连接仪器；

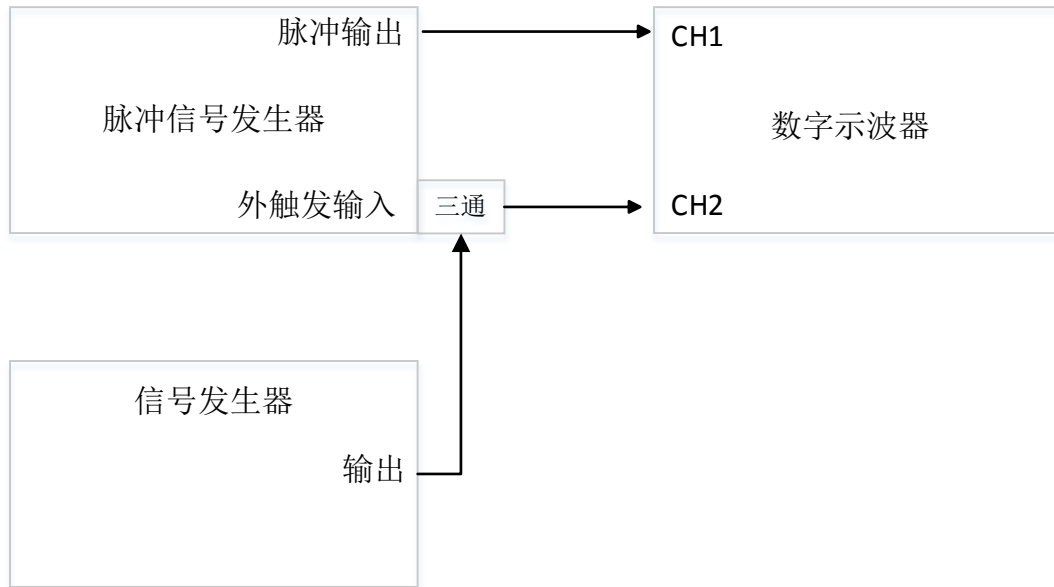


图 10 示波器测量外触发延迟仪器连接框图

6.2.11.2 b) 设置信号发生器输出脉冲信号，模式为 BURST，脉冲数为 1，手动触发，幅度、脉冲宽度等参数满足被校脉冲信号发生器的外触发信号的要求；

6.2.11.2 c) 设置被校脉冲信号发生器输出幅度与信号发生器输出信号经过三通后的幅度相同，按频率范围设置被校脉冲信号发生器的频率，设置被校脉冲信号发生器为 Burst 模式，脉冲数为 1，触发为外触发，按要求设置延迟，使用示波器测量功能，测量外触发延迟，并将测量结果记录于附录 A 表 A.13 中。

6.2.12 直流偏置

6.2.12.1 使用示波器测量

6.2.12.1 a) 按图 4 连接仪器；

6.2.12.1 b) 按频率范围设置被校脉冲信号发生器的频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、占空比等，使脉冲信号显示在示波器屏幕中间，且高度不小于 1 格，打开示波器光标，调节光标 1 的位置位于脉冲信号低电平位置，并保持不变，按要求设置直流偏置，调节光标 2 的位置位于加直流偏置后低电平位置，记录光标的测量结果于附录 A 表 A.14 中；

6.2.12.2 使用数字电压表测量

6.2.12.2 a) 按图 3 连接仪器，设置数字电压表为直流测量模式；

6.2.12.2 b) 按频率范围设置被校脉冲信号发生器的频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、占空比、直流偏置等，记录数字电压表的读数于附录 A 表 A.14 中。

6.2.13 波形畸变

6.2.13.1 按图 4 连接仪器；

6.2.13.2 按频率范围设置被校脉冲信号发生器的频率，按要求设置被校脉冲信号发生器的输出幅度、占空比，调节示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数，使示波器显示一个完整周期的脉冲波形，脉冲宽度显示不小于水平刻度的 1/3，脉冲信号高度显示不小于垂直刻度的 70%，且能完整显示脉冲波形上升沿和下降沿处的过冲；

6.2.13.3 使用光标或示波器测量功能，按图 11、图 12 中标识，依次测量脉冲信号的峰峰值（A），上升沿过冲（前过冲，B）、下降沿的过冲（后过冲，F）、前冲（D）、顶部不平整度（C）、高电平倾斜（ e_1 ）和低电平倾斜（ e_2 ）的幅度，分别按公式（3）、公式（4）、公式（5）、公式（6）和公式（7）计算前过冲、后过冲、前冲、振铃和倾斜，并记录于附录 A 表 A.15 中；

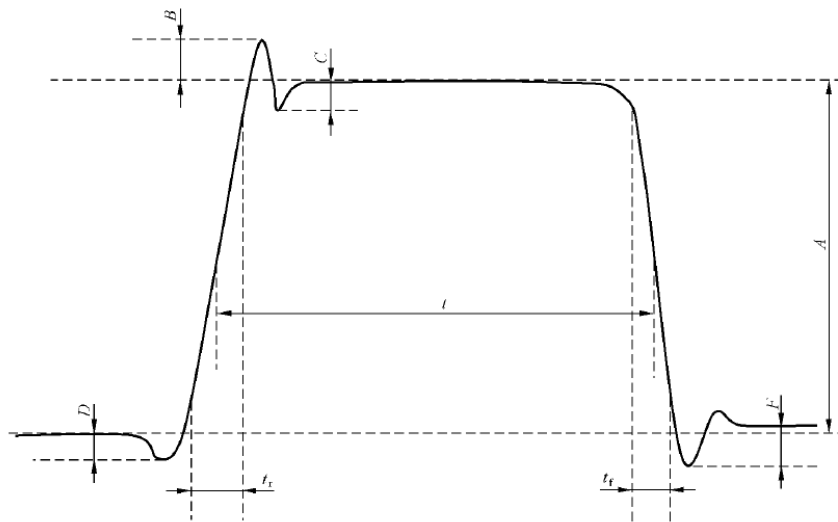


图 11 前冲、过冲、振铃等波形畸变示意图

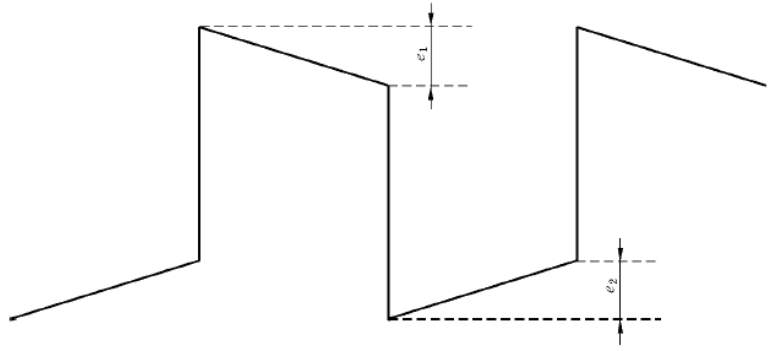


图 12 高电平倾斜、低电平倾斜示意图

前冲: $S_d = D / A \times 100\%$ (3)

式中: S_d ——前冲, %;
 D ——前冲幅度, V;
 A ——脉冲信号幅度, V。

前过冲: $S_b = D / A \times 100\%$ (4)

式中: S_b ——前过冲, %;
 B ——前过冲幅度, V;
 A ——脉冲信号幅度, V。

后过冲: $S_f = D / A \times 100\%$ (5)

式中: S_f ——后过冲, %;
 F ——后过冲幅度, V;
 A ——脉冲信号幅度, V。

振铃: $S_c = D / A \times 100\%$ (6)

式中: S_c ——振铃, %;
 C ——振铃幅度, V;
 A ——脉冲信号幅度, V。

倾斜: $S_e = E / A \times 100\%$ (7)

式中: S_e ——倾斜, %;
 E ——高电平倾斜 e_1 和低电平倾斜 e_2 中较大者, V;
 A ——脉冲信号幅度, V。

6.2.14 通道间时差一致性

6.2.14.1 按图 13 连接仪器;

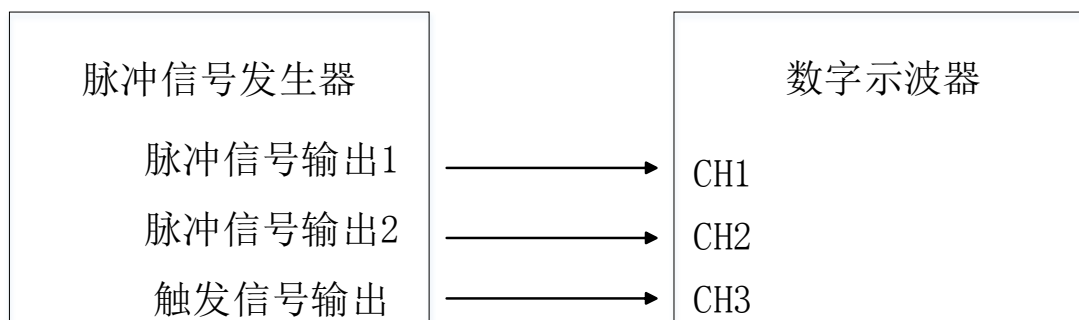


图 13 通道间时差一致性测量仪器连接框图

6.2.14.2 按频率范围设置被校脉冲信号发生器频率，按要求设置被校脉冲信号发生器输出幅度、占空比等，设置脉冲信号发生器的各输出通道信号延迟设置相同，设置脉冲信号幅度与触发信号幅度相同，设置示波器触发源为 CH3，触发模式为正常，调整示波器的垂直偏转系数和扫描时间系数，使各通道信号幅度显示高度不小于垂直刻度的 70%，使用光标或测量功能，测量各输出通道与触发信号的延迟时间，按公式（8）计算通道时滞，并将结果记录于附录 A 表 A16 中。

$$T_{\text{ch}} = T_{\text{max}} - T_{\text{min}} \quad (8)$$

式中： T_{ch} —— 通道间时差一致性，ns；

T_{max} —— 通道延时中的最大值，ns；

T_{min} —— 通道延时中的最小值，ns。

7 校准结果表达

校准证书至少应包含以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 被校准的地点；
- 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 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；
- 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；
- 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 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说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行决定, 建议不超过 12 个月。

附录 A

原始记录格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

外观及工作正常性	
----------	--

表 A.2 参考频率

标称值	频率偏差	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$

表 A.3 脉冲频率

标称值	测量值	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
.....		

表 A.4 脉冲幅度（数字电压表高速取样测量）

频率	高电平测量值	低电平测量值	脉冲幅度	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
.....				

表 A.5 脉冲幅度（示波器测量）

频率	幅度标称值	幅度测量值	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
.....			

表 A.6 脉冲幅度（直流信号比较测量）

频率	高电平测量值	低电平测量值	脉冲幅度	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
.....				

表 A.7 上升时间、下降时间

频率	占空比	上升时间标称值	上升时间测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				
频率	占空比	下降时间标称值	下降时间测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.8 脉冲宽度

频率	幅度	脉冲宽度标称值	脉冲宽度测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.9 空度比

频率	幅度	空度比标称值	空度比测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.10 群脉冲

频率	猝发数标称值	猝发数测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....			

表 A.11 抖动

频率	幅度	占空比	周期抖动测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				
频率	幅度	占空比	脉宽抖动测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				
频率	幅度	占空比	延迟抖动测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.12 内触发延迟

频率	幅度	延迟设置值	延迟测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.13 外触发延迟

频率	幅度	延迟设置值	延迟测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.14 直流偏置

频率	幅度	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 A.15 波形畸变

频率	幅度	占空比	测量值	不确定度 $U(k=2)$
			前冲： 前过冲： 后过冲： 振铃： 倾斜：	
.....				

表 A. 16 通道间时差一致性

频率	幅度	测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....			

附录 B

校准证书（内页）格式

表 B.1 外观及工作正常性检查

外观及工作正常性	
----------	--

表 B.2 参考频率

标称值	频率偏差	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$

表 B.3 脉冲频率

标称值	测量值	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
.....		

表 B.4 脉冲幅度

频率	占空比	幅度标称值	幅度测量值	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
.....				

表 B.5 上升时间、下降时间

频率	占空比	上升时间标称值	上升时间测量值	不确定度 $U (k=2)$
.....				
频率	占空比	下降时间标称值	下降时间测量值	不确定度 $U (k=2)$
.....				

表 B. 6 脉冲宽度

频率	幅度	脉冲宽度标称值	脉冲宽度测量值	不确定度 U ($k=2$)
.....				

表 B. 7 占空比

频率	幅度	占空比标称值	占空比测量值	不确定度 U ($k=2$)
.....				

表 B. 8 群脉冲

频率	猝发数标称值	猝发数测量值	不确定度 U ($k=2$)
.....			

表 B. 9 抖动

频率	幅度	占空比	周期抖动测量值	不确定度 U ($k=2$)
.....				
频率	幅度	占空比	脉宽抖动测量值	不确定度 U ($k=2$)
.....				
频率	幅度	占空比	延迟抖动测量值	不确定度 U ($k=2$)
.....				

表 B.10 内触发延迟

频率	幅度	延迟设置值	延迟测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 B.11 外触发延迟

频率	幅度	延迟设置值	延迟测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 B.12 直流偏置

频率	幅度	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....				

表 B.13 波形畸变

频率	幅度	占空比	测量值	不确定度 $U(k=2)$
			前冲： 前过冲： 后过冲： 振铃： 倾斜：	
.....				

表 B.14 通道间时差一致性

频率	幅度	测量值	不确定度 $U(k=2)$
.....			

附录 C

不确定度评定示例

C.1 脉冲频率测量不确定度评定

C.1.1 测量方法

测量方法参见 6.2.3，使用 Keysight 53230A 计数器测量频率，使用 FS725 铷原子频率标准作为参考频率标准信号接入计数器的外参考输入。

C.1.2 测量模型

测量模型按公式 (C.1) 建立。

$$f_r = f_s \quad (C.1)$$

式中：

f_r ——计数器频率测量的读数；单位 Hz；

f_s ——被校源输出频率设置值。

C.1.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 参考频标引入的不确定度分量；
- b) 计数器的显示分辨力引入的不确定度分量；
- c) 测量重复性引入的不确定度分量；

C.1.4 标准不确定度评定

C.1.4.1 参考频标引入的标准不确定度 u_1

参考频标 FS725 的频率最大允许误差为 $\pm 5 \times 10^{-11}$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{5 \times 10^{-11}}{\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-11}$$

C.1.4.2 计数器的显示分辨力引入的标准不确定度 u_2

53230A 计数器在闸门时间 1s 以上时显示位数至少为 12 位，显示分辨力为 1×10^{-12} ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{1 \times 10^{-12}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-13}$$

C.1.4.3 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

使用 53230A 计数器的统计功能，测量频率为 10MHz 时，测量 10 次的标准差 91.629mHz，引入的标准不确定度为：

$$u_3 = 9.1 \times 10^{-9}$$

C.1.5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
参考频标	u_1	2.89×10^{-11}
计数器测量分辨力	u_2	5.8×10^{-13}
测量重复性	u_3	9.1×10^{-9}

各不确定度分量之间没有值得考虑的相关性，其中计数器测量分辨力和测量重复性引入的不确定度为重复项，取其较大者代入计算，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 9.1 \times 10^{-9}$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 1.8 \times 10^{-8}$$

C.2 脉冲幅度测量不确定度评定

C.2.1 测量方法

信号发生器脉冲输出，测量脉冲幅度时占空比选择50%，测量脉冲幅度使用 3458A 数字万用表的取样功能，设置 3458A 为直流电压测量，设置合适的采样时间、触发方式、延迟时间，通过改变延迟时间分别选择测量脉冲信号的顶电平和底电平，顶电平和底电平的差值即为测量的脉冲信号的幅度，为了提高测量不确定度，每个电平测量取样 1 秒以上，取样个数大于 500 个后可充分消除信号稳定性和测量重复性引入的不确定度，测量的不确定度分量主要来自 3458A 数字万用表的数字取样方式测量不确定度，此处选取 1kHz、1V 测量点。

C.2.2 测量模型

$$L=L_s$$

式中：

L ——脉冲输出幅度值；

L_s ——标准器测量值。

C.2.3 不确定度来源

不确定度来源主要包括：

- a) 数字万用表最大允许误差引入的不确定度 u_1 ；
- b) 数字万用表分辨力引入的不确定度 u_2 ；
- c) 测量重复性引入的不确定度 u_3 。

C.2.4 标准不确定度评定

C.2.4.1 数字万用表最大允许误差引入的不确定度 u_1

数字万用表直流数字取样方式测量时最大允许误差 $\pm 0.006\%$ ，其分布为均匀分布，标准不确定度为

$$u_1 = \frac{0.006\%}{\sqrt{3}} = 0.0035\%$$

C.2.4.2 数字万用表分辨力引入的不确定度分量 u_2

数字万用表直流数字取样方式测量，在 1V 测量点分辨力为 0.0001V，其分布为均匀分布，标准不确定度为

$$u_2 = \frac{0.01\%}{2\sqrt{3}} = 0.00289\%$$

C.2.4.3 测量重复性引入的不确定度 u_3

对 1V 测量点测量 10 次，重复性试验记录及不确定度 u_3 如下表 2.1

表 2.1 重复性试验记录及不确定度 u_3

序号 i	测量值/V	序号 i	测量值/V
1	0.9566	6	0.9559
2	0.9567	7	0.9568
3	0.9560	8	0.9561
4	0.9566	9	0.9556
5	0.9553	10	0.9565
$\bar{L}$	0.9562	$s(L)$	0.000508

$$u_3 = \frac{s(L)}{\bar{L}} = 0.0533\%$$

C.2.5 合成标准不确定度

C.2.5.1 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量如下表 2.2

表 2.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	不确定度分量	类型	分布	k 值	标准不确定度
数字万用表最大允许误差引入	u_1	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.0035%
数字万用表分辨力引入	u_2	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.00289%
测量重复性引入	u_3	A	正态	1	0.0533%

C.2.5.2 合成标准不确定度 u_c

测量重复性和分辨力取其中较大值，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.053\%$$

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U = ku_c = 2 \times 0.053\% = 0.11\%$$

C.3 脉冲上升时间测量不确定度评定

C.3.1 测量方法

测量方法参见 7.2.4。

C.3.2 测量模型

测量模型按公式 (C.3) 建立。

$$T_r = T_s \quad (C.3)$$

式中：

T_r ——数字示波器上升时间测量值，单位 ns；

T_s ——数字示波器上升时间设置值，单位 ns。

C.3.3 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 数字示波器上升时间测量误差引入的标准不确定度；
- b) 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度；
- c) 测量重复性引入的标准不确定度；

C.3.4 标准不确定度评定

C.3.4 数字示波器上升时间测量误差引入的标准不确定度 u_1

数字示波器时间测量最大允许误差为 8ps，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{8}{\sqrt{3}} = 4.6 \text{ ps}$$

C.3.4.2 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度 u_2

数字示波器测量显示分辨力为 62.5 fs，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{62.5}{\sqrt{3}} = 0.036 \text{ ps}$$

C.3.4.3 测量重复性引入的标准不确定度 u_3

数字示波器对上升时间连续测量 10 次，得测量结果为（单位 ps）：80.125、80.250、80.125、80.125、80.250、80.375、80.125、80.250、80.375、80.125，引入的标准不确定度为：

$$u_3 = 0.103 \text{ ps}$$

C.3.5 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	标准不确定度
数字示波器测量误差	u_1	4.6 ps
数字示波器测量分辨力	u_2	0.036 ps
测量重复性	u_3	0.103 ps

各不确定度分量之间没有值得考虑的相关性，其中数字示波器测量分辨力和测量重复性引入的不确定度为重复项，取其较大者代入计算，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 4.6 \text{ ps}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 9.2 \text{ ns} \approx 9 \text{ ns}$$

附录 D

具有码型设置功能的脉冲信号发生器输出幅度测量方法

D.1 按图 D.1 连接仪器；

D.2 设置数字万用表为直流档，脉冲源输出信号频率为最低值，设置为连续输出模式，电平类型设置为 Normal，设置高电平为 50mV，低电平设置为 0mV，设置码型为 Zero Pattern，数据长度 32 bit，使用数字万用表测量低电平幅度；

D.3 设置电平类型为 Inverted，其余设置保持不变，用数字万用表测量高电平幅度；

D.4 用公式 D.1 计算脉冲信号幅度；

D.5 改变高电平的设置，重复 D.2~D.4，完成输出幅度的测量。