

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx-xxxx

时码发生器校准规范

Calibration Specification of Timecode Generators

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx 发布

xxxx-xx-xx 实施

国家市场监督管理总局 发布

时码发生器校准规范

Calibration Specification of
Timecode Generators

JJF xxxx-xxxx
代替 JJF1724-2018

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：北京无线电计量测试研究所

参加起草单位：中国计量科学研究院

中国信息通信研究院

中国电力科学研究院有限公司

星汉时空科技（北京）有限公司

本规范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：

杨 帆 (北京无线电计量测试研究所)

杨 军 (北京无线电计量测试研究所)

阎栋梁 (北京无线电计量测试研究所)

参加起草人：

王玉琢 (中国计量科学研究院)

张大元 (中国信息通信研究院)

孟 静 (中国电力科学研究院有限公司)

岳冬梅 (星汉时空科技（北京）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.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 通用时码发生器.....	(2)
5.1.1 1PPS 时间偏差.....	(2)
5.1.2 B 码时间偏差.....	(2)
5.1.3 NTP 时间偏差.....	(3)
5.1.4 PTP 时间偏差.....	(3)
5.1.5 时间保持偏差.....	(3)
5.1.6 内时基性能.....	(3)
5.2 标准时码发生器.....	(3)
5.2.1 1PPS 时间偏差.....	(3)
5.2.2 B 码时间偏差.....	(3)
5.2.3 NTP 时间偏差.....	(3)
5.2.4 PTP 时间偏差.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其它设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(5)
7.1 校准项目.....	(5)
7.2 校准方法.....	(5)
8 校准结果表达.....	(11)
9 复校时间间隔.....	(11)
附录 A 校准记录格式.....	(12)
附录 B 校准证书（内页）格式.....	(14)
附录 C 主要校准项目不确定度评定示例.....	(15)

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》及 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范是对 JJF1724-2018《时码发生器校准规范》的修订，修订内容如下：

- 进一步明确了本规范的适用范围；
- 补充了两项引用文件；
- 修改了概述中时码发生器的工作原理；
- 修改计量特性“相对于标准时间偏差”为“时间偏差”；
- 修改了计量特性的指标范围；
- 完善了 1PPS 时间偏差、B 码时间偏差的测量方法；
- 增加了 NTP 时间偏差、PTP 时间偏差的校准项目。

本规范历次版本发布情况：

- JJF1724-2018。

时码发生器校准规范

1 范围

本规范适用于两类时码发生器的校准：

第一类，通用时码发生器，接收并锁定 GNSS 信号或外部参考时间频率信号，产生 1PPS、B(DC)、B(AC)、NTP、PTP 时间信号；

第二类，标准时码发生器，接收并锁定外部高精度参考时间信号，产生 1PPS、B(DC)、B(AC)、NTP、PTP 时间信号，此类时码发生器通常作为标准时间码源使用。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1180-2025 时间频率计量名词术语及定义

JJG 2007-2015 时间频率计量器具检定系统表

JJF 1984-2022 电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范

JJF1957-2021 铷原子频率标准校准规范

JJF2198-2025 网络时间服务器校准规范

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）适用本规范。

3 术语和计量单位

3.1 时间保持偏差 time-keeping offset

时码发生器在正常跟踪锁定外部参考信号并达到产品说明书规定的驯服时间后，断开外部参考信号，使时码发生器工作在保持模式下，在其技术指标说明书规定的保持时间内输出的 1PPS 信号与标准时间的偏差绝对值的最大值。单位为秒(s)。

4 概述

通用时码发生器由参考信号接收单元、时间保持单元和时间信号产生单元组成，基本原理如图 1 所示。参考信号接收单元从 GNSS 天线或外部时间信号中解调获取时间信息；时间保持单元利用时间信息对内时基进行驯服控制，产生时间信号和频率信号；当 GNSS 天线或外部时间信号断开时，内时基则进行时间保持，持续产生时间信

号和频率信号；时间信号产生单元经编码对外输出 1PPS、B(AC)码、B(DC)码、NTP、PTP 等时间信号。此类时码发生器广泛应用于通信基站、智能变电站、铁路车辆段、靶场等部门，为用户提供各类时间码信号。

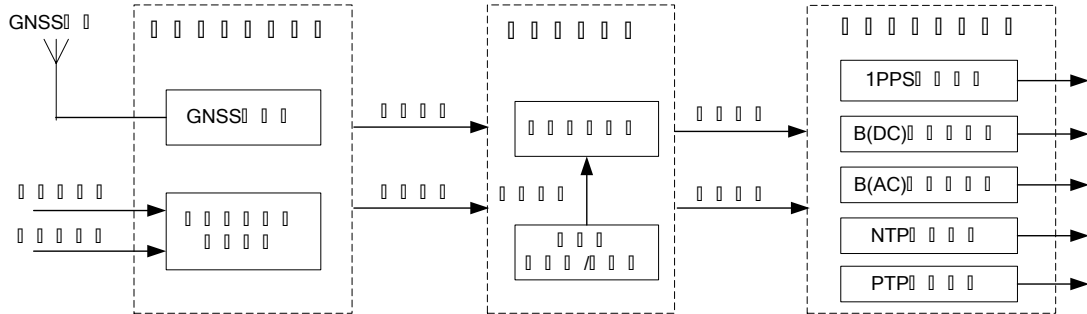


图 1 通用时码发生器原理框图

标准时码发生器由参考信号接收单元、时间保持单元、时间信号产生单元和 NTP/PTP 测量单元组成，基本原理如图 2 所示。参考信号接收单元从外部参考时间源中解调获取时间信息；时间保持单元和时间信号产生单元的工作原理与通用时码发生器相同；NTP/PTP 测量单元以驯服后的信号为参考，实现对 NTP/PTP 信号的测量。此类时码发生器主要应用于实验室内，外接实验室标准时间信号，产生各类高精度标准时间码源，为时间综合测试仪等设备的时间码计量测试提供时间参考。

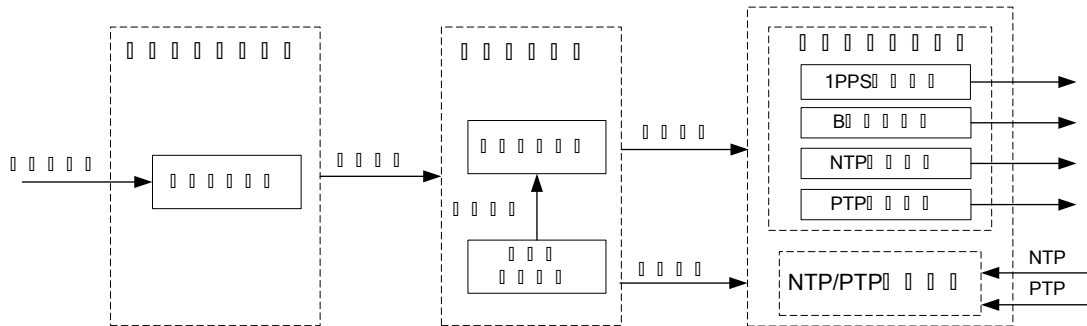


图 2 标准时码发生器原理框图

5 计量特性

5.1 通用时码发生器

5.1.1 1PPS 时间偏差

$$\pm(30\text{ns}\sim 1\mu\text{s});$$

5.1.2 B 码时间偏差

$$\text{B(DC)码 } \pm(50\text{ns}\sim 10\mu\text{s}),$$

B(AC)码 $\pm(1\mu\text{s}\sim 100\mu\text{s})$;

5.1.3 NTP 时间偏差

$\pm(1\mu\text{s}\sim 100\text{ms})$;

5.1.4 PTP 时间偏差

$\pm(100\text{ns}\sim 10\mu\text{s})$;

5.1.5 时间保持偏差

$\pm(200\text{ns}\sim 1\text{ms})$ (保持时间 24h);

5.1.6 内时基性能

内时基为晶体振荡器时,

相对频率偏差: $\pm(1\times 10^{-5}\sim 1\times 10^{-10})$,

1s 频率稳定度: $1\times 10^{-8}\sim 1\times 10^{-12}$,

日老化率: $\pm(1\times 10^{-6}\sim 1\times 10^{-12})$;

内时基为铷原子钟时,

相对频率偏差: $\pm(2\times 10^{-10}\sim 2\times 10^{-11})$,

1s 频率稳定度: $5\times 10^{-11}\sim 2\times 10^{-12}$,

日频率漂移率: $\pm(1\times 10^{-11}\sim 1\times 10^{-13})$ 。

5.2 标准时码发生器

5.2.1 1PPS 时间偏差

$\pm(5\text{ns}\sim 1\mu\text{s})$;

5.2.2 B 码时间偏差

B(DC)码 $\pm(10\text{ns}\sim 1\mu\text{s})$,

B(AC)码 $\pm(1\mu\text{s}\sim 20\mu\text{s})$;

5.2.3 NTP 时间偏差

$\pm(10\text{ns}\sim 1\text{ms})$;

5.2.4 PTP 时间偏差

$\pm(10\text{ns}\sim 1\mu\text{s})$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度

内时基为晶体振荡器时：在(15~30) °C 范围内，温度最大允许变化 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，且没有温度突变；

内时基为铷原子钟时：在(18~25) °C 范围内，温度最大允许变化 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，且没有温度突变。

6.1.2 环境湿度

相对湿度 $\leq 80\%$ 。

6.1.3 供电电源

交流电源：220(1 $\pm$ 10%)V，50(1 $\pm$ 2%)Hz。

6.1.4 其他

周围无影响仪器设备正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 参考时间源

1PPS 信号时间偏差：优于被校时码发生器 1PPS 信号时间偏差的 1/3。

6.2.2 参考频率源

相对频率偏差：比被校时码发生器小 1 个量级；

1s 频率稳定度：优于被校时码发生器 1s 频率稳定度的 1/3；

日频率漂移率（日老化率）：比被校时码发生器小 1 个量级。

注：参考频率源可以选用一个或多个，分别满足上述要求。

6.2.3 时间间隔计数器

时间间隔：1ns~1s；

最大允许误差： $\pm 1\text{ns}$ ；

有外接频标功能。

6.2.4 数字示波器

通道数： ≥ 2 ；

带宽： $\geq 350\text{MHz}$ ；

时间间隔测量最大允许误差： $\pm 0.2\%$ 。

6.2.5 时间综合测试仪

时间偏差优于被校时码发生器时间偏差的 1/3，或具有外接参考时标功能；

具备 B 码、NTP 时间偏差、PTP 时间偏差测量功能；

注：内时基校准所用测量标准及设备参见 JJF 1984-2022 《电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范》和 JJF1957-2021 《铷原子频率标准校准规范》。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

通用时码发生器校准项目见表 1。

表 1 通用时码发生器校准项目表

序号	校准项目名称		校准方法的条款
1	外观及工作正常性		7.2.1
2	1PPS 时间偏差		7.2.2
3	B 码时间偏差		7.2.3
4	NTP 时间偏差		7.2.4
5	PTP 时间偏差		7.2.5
6	时间保持偏差		7.2.6
7	内时基性能	相对频率偏差	7.2.7
8		1s 频率稳定度	
9		日频率漂移率（日老化率）	

标准时码发生器校准项目见表 2。

表 2 标准时码发生器校准项目表

序号	校准项目名称		校准方法的条款
1	外观及工作正常性		7.2.1
2	1PPS 时间偏差		7.2.2
3	B 码时间偏差		7.2.3
4	NTP 时间偏差		7.2.4
5	PTP 时间偏差		7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

(1) 外观检查

目测被校时码发生器的外观及附件。仪器上应有仪器名称、型号、生产商、出厂编号和电源要求。

电源开关、输入输出端口、功能设置开关等均应有明确的识别标志，显示屏能正常显示工作参数。

各接口应牢固可靠、各功能开关应灵活可用，无影响正常工作的机械损伤。

(2) 工作正常性检查

按照要求将 GNSS 天线、参考时间源或参考频率源等外部参考信号连接至被校时码发生器的相应接口。通电后，按其技术说明书规定的时间预热，被校时码发生器显示锁定正常后，用示波器观察各输出端口波形。结果记入附录 A 表 A.1 中。

7.2.2 1PPS 时间偏差

对被校通用时码发生器 and 被校标准时码发生器，均采用时间间隔计数器法。

a) 按图 3 所示连接仪器：

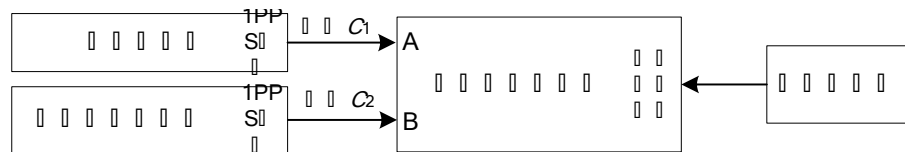


图 3 1PPS 时间偏差校准系统连接框图

b) 被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说明书规定的预热和驯服时间；

c) 设置时间间隔计数器通道 A、B 的触发电平为信号幅度的 50%，测量通道 A 到通道 B 的时间间隔；

d) 对于被校通用时码发生器，当工作状态为锁定到 GNSS 信号时，每秒测量 1 次，连续测量 24h；当工作状态为锁定到外部时间源或外部频率源时，每秒测量 1 次，连续测量 100s；

e) 对于被校标准时码发生器，工作状态为锁定到外部时间源，每秒测量 1 次，连续测量 100s；

f) 按公式 (1) 计算 1PPS 时间偏差 ΔT_{1PPS} ，

$$\Delta T_{1\text{PPS}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{1\text{PPS},i} + \tau_1 - \tau_2 \quad (1)$$

式中： $\Delta T_{1\text{PPS}}$ ——被校时码发生器的 1PPS 时间偏差，ns；

$\Delta T_{1\text{PPS},i}$ ——时间间隔计数器第 i 秒测量值，ns；

N ——取样个数；

τ_1 ——线缆 C_1 的延迟，ns；

τ_2 ——线缆 C_2 的延迟，ns；

g) 结果记入附录 A 的表 A.2 中。

7.2.3 B 码时间偏差

对被校通用时码发生器，可采用时间综合测试仪法和示波器法。对被校标准时码发生器，采用示波器法。

1) 时间综合测试仪法

被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说明书规定的预热和驯服时间；参照 JJF2198-2025 中 8.2.5.2 规定的校准方法，用时间综合测试仪测量被校时码发生器的 B(DC)/B(AC)时间偏差。

2) 示波器法

a) 按图 4 所示连接仪器；

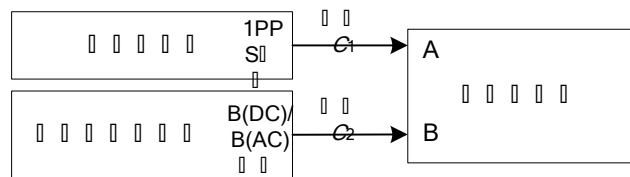


图 4 B 码时间偏差校准系统（示波器法）连接框图

b) 被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说明书规定的预热和驯服时间；

c) 调节数字示波器触发电平和扫描时间，使被测波形清晰稳定地显示在屏幕上，测量参考时间源 1PPS 信号与被校时码发生器 B(DC)/B(AC)码之间的时差 ΔT_i ，每秒测量 1 次，连续测量 100s；B(DC)时间偏差示意图如图 5 所示，B(AC)时间偏差示意图

如图 6 所示；

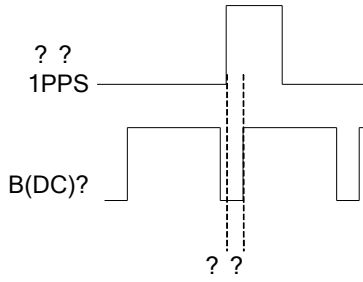


图 5 B(DC)时间偏差示意图

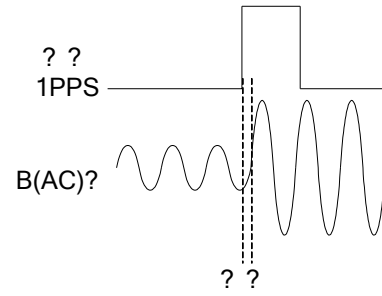


图 6 B(AC)时间偏差示意图

d) 按公式 (2) 计算 B(DC)/B(AC)码时间偏差 $\Delta T_{B(DC)/B(AC)}$,

$$\Delta T_{B(DC)/B(AC)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{B(DC)/B(AC),i} + \tau_1 - \tau_2 \quad (2)$$

式中: $\Delta T_{B(DC)/B(AC)}$ ——被校时码发生器的 B(DC)/B(AC)时间偏差, ns/ μ s;

$\Delta T_{B(DC)/B(AC),i}$ ——数字示波器第 i 秒测量值, ns/ μ s;

N ——取样个数;

τ_1 ——线缆 C_1 的延迟, ns;

τ_2 ——线缆 C_2 的延迟, ns;

e) 结果记入附录 A 的表 A.3 中。

7.2.4 NTP 时间偏差

对被校通用时码发生器, 采用时间综合测试法。对被校标准时码发生器, 采用自测法。

1) 时间综合测试法

被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号, 达到产品说明书规定的预热和驯服时间; 参照 JJF2198-2025 中 8.2.3.1 规定的校准方法, 用时间综合测试仪测量被校时码发生器的 NTP 时间偏差。

2) 自测法

a) 按图 7 连接设备;

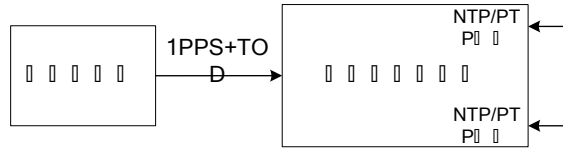


图 7 NTP 时间偏差校准系统（自测法）连接框图

- b) 被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说明书规定的预热和驯服时间；
- c) 利用网线连接被校时码发生器的 NTP 输出口和 NTP 测量口；
- d) 启动被校时码发生器的 NTP 测量功能，每秒测量 1 次，连续测量 100s；
- e) NTP 测量值加 7.2.2 节 1PPS 时间偏差测量结果，即被校时码发生器的 NTP 时间偏差 ΔT_{NTP} ，按公式（3）计算，

$$\Delta T_{\text{NTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{NTP},i} + \Delta T_{1\text{PPS}} \quad (3)$$

式中： ΔT_{NTP} ——被校时码发生器的 NTP 时间偏差， μs ；

$\Delta T_{\text{NTP},i}$ ——被校时码发生器 NTP 自测第 i 秒的测量值， μs ；

N ——取样个数；

$\Delta T_{1\text{PPS}}$ ——被校时码发生器的 1PPS 时间偏差， ns ；

- f) 结果记入附录 A 表 A.4 中。

7.2.5 PTP 时间偏差

对被校通用时码发生器，采用时间综合测试法。对被校标准时码发生器，采用自测法。

1) 时间综合测试法

被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说明书规定的预热和驯服时间；参照 JJF2198-2025 中 8.2.4.1 规定的校准方法，用时间综合测试仪测量被校时码发生器的 PTP 时间偏差。

2) 自测法

- a) 按如图 7 所示连接仪器；
- b) 被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说

说明书规定的预热和驯服时间；

- c) 利用网线连接被校时码发生器的 PTP 输出口和 PTP 测量口；
- d) 启动被校时码发生器的 PTP 测量功能，每秒测量 1 次，连续测量 100s；
- e) PTP 测量值加 7.2.2 节 1PPS 时间偏差测量结果，即被校时码发生器的 PTP 时间偏差 ΔT_{PTP} ，按公式（4）计算，

$$\Delta T_{\text{PTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{PTP},i} + \Delta T_{\text{1PPS}} \quad (4)$$

式中： ΔT_{PTP} ——被校时码发生器的 PTP 时间偏差，ns；

$\Delta T_{\text{PTP},i}$ ——被校时码发生器 PTP 自测第 i 秒的测量值，ns；

N ——取样个数；

ΔT_{1PPS} ——被校时码发生器的 1PPS 时间偏差，ns；

- f) 结果记入附录 A 表 A.5 中。

7.2.6 时间保持偏差

- a) 按图 3 所示连接仪器；
- b) 被校时码发生器按照产品说明书规定连接并锁定外部参考信号，达到产品说明书规定的预热和驯服时间；
- c) 断开外部参考信号，使被校时码发生器工作在保持模式下；
- d) 设置时间间隔计数器通道 A、B 的触发电平为信号幅度的 50%，测量通道 A 到通道 B 的时间间隔，每秒测量 1 次，连续测量 24h（或根据说明书给出的保持时间确定测量时间），取所有测量值的最大值 ΔT_{max} 作为测量结果，按公式（5）计算被校时码发生器的时间保持偏差 ΔT ，

$$\Delta T = \Delta T_{\text{max}} + \tau_1 - \tau_2 \quad (5)$$

式中： ΔT ——被校时码发生器的时间保持偏差， μs ；

ΔT_{max} ——保持期间绝对值最大值的时间偏差测量值， μs ；

τ_1 ——线缆 C_1 的延迟，ns；

τ_2 ——线缆 C_2 的延迟, ns;

- e) 结果记入附录 A 的表 A.6 中。

7.2.7 内时基性能

当内部频率标准为晶体振荡器时, 按 JJF 1984-2022《电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范》进行校准; 当内部频率标准为铷原子钟时, 按 JJF1957-2021《铷原子频率标准校准规范》进行校准。结果记入附录 A 的表 A.7 中。

8 校准结果表达

校准证书应至少包括以下内容:

- 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或应用有关时, 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) 校准证书和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, 不得部分复印证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行决定, 建议不超过 12 个月。

附录 A

校准记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

检查项目	记录
外观	
工作正常性	

A.2 1PPS 时间偏差

1PPS 时间偏差/ns	不确定度 $U(k=2)$ /ns

A.3 B 码时间偏差

B 码类型	B 码时间偏差/ μ s	不确定度 $U(k=2)$ / μ s
B(DC)码		
B(AC)码		

A.4 NTP 时间偏差

NTP 时间偏差/ μ s	不确定度 $U(k=2)$ / μ s

A.5 PTP 时间偏差

PTP 时间偏差/ns	不确定度 $U(k=2)$ /ns

A.6 时间保持偏差

保持时间	时间保持偏差/ns

A.7 内时基性能

校准项目	测量值	不确定度 $U(k=2)$
相对频率偏差		
1s 频率稳定度		
日频率漂移率（日老化率）		

附录 B

校准证书（内页）格式

B.1 外观及工作正常信号检查

检查项目	记录
外观	
工作正常性	

B.2 时间偏差

校准项目	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1PPS 时间偏差		
B(DC)码时间偏差		
B(AC)码时间偏差		
NTP 时间偏差		
PTP 时间偏差		

B.3 时间保持偏差

保持时间	时间保持偏差

B.4 内时基性能

校准项目	测量值	不确定度 $U(k=2)$
相对频率偏差		
1s 频率稳定度		
日频率漂移率（日老化率）		

附录 C

主要校准项目不确定度评定示例

C.1 1PPS 时间偏差不确定度评定

测量方法见 7.2.2，被校时码发生器工作在锁定外部标准时间源 UTC(BIRM)状态，时间间隔计数器为 53230A。

C.1.1 测量模型

$$\Delta T_{1\text{PPS}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{1\text{PPS},i} + \tau_1 - \tau_2 \quad (\text{C.1})$$

式中： $\Delta T_{1\text{PPS}}$ ——被校时码发生器的 1PPS 时间偏差，ns；

$\Delta T_{1\text{PPS},i}$ ——时间间隔计数器第 i 秒测量值，ns；

N ——取样个数；

τ_1 ——线缆 C_1 的延迟，ns；

τ_2 ——线缆 C_2 的延迟，ns；

不确定度来源

测量不确定度来源主要包括：

- 1) 参考时间源输出 1PPS 不准引入的不确定度；
- 2) 时间间隔计数器测量误差引入的不确定度；
- 3) 时间间隔计数器通道时延一致性引入的标准不确定度；
- 4) 线缆延迟测量不准引入的标准不确定度；
- 5) 测量重复性引入的不确定度。

C.1.2 标准不确定度评定

- 1) 参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度 u_1

参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度 u_1 按 B 类方法评定，参考时间源输出 1PPS 信号相对于标准时间的最大偏差为 $\pm 5\text{ns}$ ，即区间半宽度 $a = 5\text{ns}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。则参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{5\text{ns}}{\sqrt{3}} \approx 2.89\text{ns}$$

2) 时间间隔计数器测量误差引入的标准不确定度 u_2

时间间隔计数器测量误差引入的标准不确定度 u_2 按 B 类方法进行评定, 53230A 计数器时间测量的最大允许误差为 $\pm 1\text{ns}$, 即区间半宽度 $a = 1\text{ns}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。则时间间隔计数器测量误差引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{1\text{ns}}{\sqrt{3}} \approx 0.58\text{ns}$$

3) 时间间隔计数器通道时延一致性引入的标准不确定度 u_3

53230A 时间间隔计数器通道时延一致性为 52ps 。按 B 类方法进行评定, 分散区间的半宽度为 $a = 52\text{ps}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则时间间隔计数器通道时延一致性引入的标准不确定度为:

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{52\text{ps}}{\sqrt{3}} = 0.03\text{ns}$$

4) 线缆延迟测量不准引入的标准不确定度 u_4

线缆延迟测量不准引入的标准不确定度 u_4 按 B 类方法进行评定。所用线缆的延迟用网络分析仪测得, 2 根线缆的时延分别为 12.452ns 和 12.818ns , 扩展不确定度为 0.8% ($k=2$), 则线缆延迟测量不准引入的不确定度 $u_{4,1}$ 、 $u_{4,2}$ 分别为:

$$u_{4,1} = \frac{12.452 \times 0.8\%}{2} = 0.05\text{ns}$$

$$u_{4,2} = \frac{12.818 \times 0.8\%}{2} = 0.05\text{ns}$$

因此,

$$u_4 = \sqrt{u_{4,1}^2 + u_{4,2}^2} \approx 0.07\text{ns}$$

5) 测量重复性引入的标准不确定度 u_5

测量重复性引入的标准不确定度 u_5 按 A 类方法进行评定, 连续独立测量 100 次 (100 个测量值), 用贝塞尔公式计算实验标准偏差为: $s(\Delta T) = 0.1\text{ns}$

校准时取测量的平均值，故测量重复性引入的标准不确定度为

$$u_5 = \frac{s(\Delta T)}{\sqrt{n}} = \frac{0.1\text{ns}}{\sqrt{100}} = 0.003\text{ns}$$

C.1.3 不确定度分量一览表

表 A.1 1PPS 时间偏差测量不确定度分量一览表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	参考时间源输出 1PPS 不准引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	2.89ns
u_2	时间间隔计数器测量误差引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.58ns
u_3	时间间隔计数器通道时延一致性引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.03ns
u_4	线缆延迟测量不准引入	B	—	2	0.07ns
u_5	测量重复性引入	A	正态	1	0.003ns

C.1.4 合成标准不确定度

以上各分量互不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 2.9\text{ns}$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，即扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 5.8\text{ns}$$

C.2 B(DC)码时间偏差不确定度评定

测量方法见 7.2.3，被校时码发生器工作在锁定外部标准时间源 UTC(BIRM)状态，数字示波器为 MSO64。

C.2.1 测量模型

$$\Delta T_{\text{B(DC)}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{B(DC)},i} + \tau_1 - \tau_2 \quad (\text{C.2})$$

式中： $\Delta T_{\text{B(DC)}}$ ——被校时码发生器的 B(DC)时间偏差，ns；

$\Delta T_{\text{B(DC)},i}$ ——数字示波器第 i 秒测量值，ns；

N ——取样个数；

τ_1 ——线缆 C_1 的延迟，ns；

τ_2 ——线缆 C_2 的延迟, ns。

C.2.2 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括:

- 1) 参考时间源输出 1PPS 不准引入的不确定度;
- 2) 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度;
- 3) 数字示波器时基精度引入的标准不确定度;
- 4) 数字示波器通道间延迟引入的标准不确定度;
- 5) 线缆延迟测量不准引入的标准不确定度;
- 6) 测量重复性引入的标准不确定度。

C.2.3 标准不确定度评定

- 1) 参考时间源输出 1PPS 不准引入的不确定度 u_1

参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度 u_1 按 B 类方法评定, 参考时间源输出 1PPS 信号相对于标准时间的最大偏差为 $\pm 5\text{ns}$, 即区间半宽度 $a=5\text{ns}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。则参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度为:

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{5\text{ns}}{\sqrt{3}} \approx 2.89\text{ns}$$

- 2) 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度 u_2

MSO64 数字示波器测量 B(DC)附加偏差时, 采样率为 25GS/s , 对应的时间间隔测量分辨力为 40ps , 分散区间的半宽度为 $a=40\text{ps}$, 按 B 类方法评定, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 即数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{40\text{ps}}{\sqrt{3}} \approx 0.023\text{ns}$$

- 3) 数字示波器时基精度引入的标准不确定度 u_3

根据 MSO64 数字示波器手册, 其时基精度为 $\pm 2 \times 10^{-7}$, 按 B 类方法评定, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, B(DC)时间偏差测量时, 数字示波器测量值为 5.8ns , 则数字示波器时基精度引入的标准不确定度为:

$$u_3 = \frac{5.8\text{ns} \times 2 \times 10^{-7}}{k} = \frac{1.16\text{ns} \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} \approx 6.7 \times 10^{-7} \text{ns}$$

4) 数字示波器通道间延迟引入的标准不确定度 u_4

根据 MSO64 数字示波器手册, 其任意两个通道间延迟为 320ps, 按 B 类方法评定, 其分散区间的半宽度为 $a=320\text{ps}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则数字示波器通道间延迟引入的标准不确定度为:

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{320\text{ps}}{\sqrt{3}} \approx 0.18\text{ns}$$

5) 线缆延迟测量不准引入的标准不确定度 u_5

线缆延迟测量不准引入的标准不确定度 u_5 按 B 类方法进行评定。所用线缆的延迟用网络分析仪测得, 2 根线缆的时延分别为 12.452ns 和 12.818ns, 扩展不确定度为 0.8% ($k=2$), 则线缆延迟测量不准引入的不确定度 $u_{5,1}$ 、 $u_{5,2}$ 分别为:

$$u_{5,1} = \frac{12.452 \times 0.8\%}{2} = 0.05\text{ns}$$

$$u_{5,2} = \frac{12.818 \times 0.8\%}{2} = 0.05\text{ns}$$

因此,

$$u_5 = \sqrt{u_{5,1}^2 + u_{5,2}^2} \approx 0.07\text{ns}$$

6) 测量重复性引入的标准不确定度 u_6

测量重复性引入的标准不确定度 u_6 按 A 类方法评定, 连续独立测量 100 次 (100 个测量值), 从 MSO64 界面读取 100 次测量结果的实验标准偏差: $s(\Delta T) = 0.58\text{ns}$

校准时取测量的平均值, 故测量重复性引入的标准不确定度为

$$u_6 = \frac{s(\Delta T)}{\sqrt{N}} = \frac{0.58}{\sqrt{100}} = 0.058\text{ns}$$

C.2.4 不确定度分量一览表

表 A.3 B(DC)码时间偏差测量不确定度分量一览表

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
--------	----------	------	------	-------	--------

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	参考时间源输出 1PPS 不准引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	2.89ns
u_2	数字示波器测量分辨力引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.023ns
u_3	数字示波器时基精度引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	6.5×10^{-7} ns (忽略)
u_4	数字示波器通道间延迟引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.18ns
u_5	线缆延迟测量不准引入	B	—	2	0.07ns
u_6	测量重复性引入	A	正态	1	0.058ns

C.2.5 合成标准不确定度

以上各分量互不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 2.9\text{ns}$$

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，即扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 5.8\text{ns}$$

C.3 B(AC)码时间偏差不确定度评定

测量方法见 7.2.3，被校时码发生器工作在锁定外部标准时间源 UTC(BIRM)状态，数字示波器为 MSO64。

C.3.1 测量模型

$$\Delta T_{\text{B(AC)}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{B(AC)},i} + \tau_1 - \tau_2 \quad (\text{C.3})$$

式中： $\Delta T_{\text{B(AC)}}$ ——被校时码发生器的 B(AC)时间偏差， μs ；

$\Delta T_{\text{B(AC)},i}$ ——数字示波器第 i 秒测量值， μs ；

N ——取样个数；

τ_1 ——线缆 C_1 的延迟， ns ；

τ_2 ——线缆 C_2 的延迟， ns 。

C.3.2 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括：

- 1) 参考时间源输出 1PPS 不准引入的不确定度；
- 2) 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度；
- 3) 数字示波器时基精度引入的标准不确定度；
- 4) 数字示波器通道间延迟引入的标准不确定度；
- 5) 线缆延迟测量不准引入的标准不确定度；
- 6) 测量重复性引入的标准不确定度。

C.3.3 标准不确定度评定

- 1) 参考时间源输出 1PPS 不准引入的不确定度 u_1

参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度 u_1 按 B 类方法评定，参考时间源输出 1PPS 信号相对于标准时间的最大偏差为 $\pm 5\text{ns}$ ，即区间半宽度 $a=5\text{ns}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。则参考时间源输出 1PPS 不准引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{5\text{ns}}{\sqrt{3}} \approx 2.89\text{ns}$$

- 2) 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度 u_2

MSO64 数字示波器测量 B(DC)附加偏差时，采样率为 25GS/s，对应的时间间隔测量分辨力为 40ps，分散区间的半宽度为 $a=40\text{ps}$ ，按 B 类方法评定，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，即数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{40\text{ps}}{\sqrt{3}} \approx 0.023\text{ns}$$

- 3) 数字示波器时基精度引入的标准不确定度 u_3

根据 MSO64 数字示波器手册，其时基精度为 $\pm 2 \times 10^{-7}$ ，按 B 类方法评定，服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，B(AC)时间偏差测量时，数字示波器测量值为 38ns，则数字示波器时基精度引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{38\text{ns} \times 2 \times 10^{-7}}{k} = \frac{7.6\text{ns} \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} \approx 4.4 \times 10^{-6}\text{ns}$$

4) 数字示波器通道间延迟引入的标准不确定度 u_4

根据 MSO64 数字示波器手册,其任意两个通道间延迟为 320ps,按 B 类方法评定,其分散区间的半宽度为 $a=320\text{ps}$,服从均匀分布,包含因子 $k=\sqrt{3}$,则数字示波器通道间延迟引入的标准不确定度为:

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{320\text{ps}}{\sqrt{3}} = 0.18\text{ns}$$

5) 线缆延迟测量不准引入的标准不确定度 u_5

线缆延迟测量不准引入的标准不确定度 u_5 按 B 类方法进行评定。所用线缆的延迟用网络分析仪测得,2 根线缆的时延分别为 12.452ns 和 12.818ns,扩展不确定度为 0.8% ($k=2$),则线缆延迟测量不准引入的不确定度 $u_{5,1}$ 、 $u_{5,2}$ 分别为:

$$u_{5,1} = \frac{12.452 \times 0.8\%}{2} = 0.05\text{ns}$$

$$u_{5,2} = \frac{12.818 \times 0.8\%}{2} = 0.05\text{ns}$$

因此,

$$u_5 = \sqrt{u_{5,1}^2 + u_{5,2}^2} \approx 0.07\text{ns}$$

6) 测量重复性引入的标准不确定度 u_6

测量重复性引入的标准不确定度 u_6 按 A 类方法评定,连续独立测量 100 次 (100 个测量值),从 MSO64 界面读取 100 次测量结果的实验标准偏差: $s(\Delta T) = 72.3\text{ns}$

校准时取测量的平均值,故测量重复性引入的标准不确定度为

$$u_6 = \frac{s(\Delta T)}{\sqrt{N}} = \frac{72.3}{\sqrt{100}} \approx 7.2\text{ns}$$

C.3.4 不确定度分量一览表

表 A.3 B(AC)码时间偏差测量不确定度分量一览表

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	参考时间源输出 1PPS 不准引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	2.89ns
u_2	数字示波器测量分辨力引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.023ns

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_3	数字示波器时基精度引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	$6.5 \times 10^{-7} \text{ ns}$ (忽略)
u_4	数字示波器通道间延迟引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.18ns
u_5	线缆延迟测量不准引入	B	—	2	0.07ns
u_6	测量重复性引入	A	正态	1	7.2ns

C.3.5 合成标准不确定度

以上各分量互不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \approx 7.8 \text{ ns}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，即扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c \approx 15.6 \text{ ns}$$

C.4 NTP 时间偏差标准不确定度评定

测量方法见 7.2.4，被校时码发生器工作在锁定外部标准时间源 UTC(BIRM)状态。

C.4.1 测量模型

$$\Delta T_{\text{NTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{NTP},i} + \Delta T_{\text{1PPS}} \quad (\text{C.4})$$

式中： ΔT_{NTP} ——被校时码发生器的 NTP 时间偏差， μs ；

$\Delta T_{\text{NTP},i}$ ——被校时码发生器 NTP 自测第 i 秒的测量值， μs ；

N ——取样个数；

ΔT_{1PPS} ——被校时码发生器的 1PPS 时间偏差， ns ；

C.4.2 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括：

- 1) 被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入的不确定度；
- 2) 测量重复性引入的不确定度。

C.4.3 标准不确定度评定

1) 被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入的不确定度 u_1

被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入的不确定度见 C.1 节,

$$u_1 = 2.9\text{ns}$$

2) 测量重复性引入的不确定度 u_2

测量重复性引入的不确定度 u_2 通过多次重复测量, 按 A 类方法评定, 从被校时码发生器的界面读取 100 测量结果的平均值和实验标准偏差。

被校时码发生器 NTP 时间偏差自测结果的实验标准偏差为:

$$s(\Delta T) = 650\text{ns}$$

测量时取平均值作为测量结果, 故测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{s(\Delta T)}{\sqrt{N}} = \frac{650\text{ns}}{\sqrt{100}} = 65\text{ns}$$

C.4.4 不确定度分量一览表

表 A.4 NTP 时间偏差测量不确定度分量一览表

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	2.9ns
u_2	测量重复性引入	A	正态分布	1	65ns

C.4.5 合成标准不确定度

以上各分量互不相关, 合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 65\text{ns}$$

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 即扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.13\mu\text{s}$$

C.5 PTP 时间偏差不确定度评定

测量方法见 7.2.5, 被校时码发生器工作在锁定外部标准时间源 UTC(BIRM)状态。

C.5.1 测量模型

$$\Delta T_{\text{PTP}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{\text{PTP},i} + \Delta T_{\text{1PPS}} \quad (\text{C.5})$$

式中： ΔT_{PTP} ——被校时码发生器的 PTP 时间偏差， μs ；

$\Delta T_{\text{PTP},i}$ ——被校时码发生器 PTP 自测第 i 秒的测量值， μs ；

N ——取样个数；

ΔT_{1PPS} ——被校时码发生器的 1PPS 时间偏差， ns ；

C.5.2 不确定度来源

测量不确定度来源主要包括：

- 1) 被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入的不确定度；
- 2) 测量重复性引入的不确定度。

C.5.3 标准不确定度评定

- 1) 被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入的不确定度 u_1

被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入的不确定度见 C.1 节，

$$u_1 = 2.9\text{ns}$$

- 2) 测量重复性引入的不确定度 u_2

测量重复性引入的不确定度 u_2 通过多次重复测量，按 A 类方法评定，从被校时码发生器的界面读取 100 测量结果的平均值和实验标准偏差。

被校时码发生器 PTP 时间偏差自测结果的实验标准偏差为：

$$s(\Delta T) = 0.3\text{ns}$$

测量时取平均值作为测量结果，故测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{s(\Delta T)}{\sqrt{N}} = \frac{0.3\text{ns}}{\sqrt{100}} = 0.03\text{ns}$$

C.5.4 不确定度分量一览表

表 A.5 PTP 时间偏差测量不确定度分量一览表

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_1	被校时码发生器 1PPS 时间偏差测量不准引入	B	均匀分布	$\sqrt{3}$	2.9ns

标准不确定度	标准不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
u_2	测量重复性引入	A	正态分布	1	0.03ns

C.5.5 合成标准不确定度

以上各分量互不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 2.9\text{ns}$$

C.5.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，即扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 5.8\text{ns}$$