



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 349—2001

通用计数器

Universal Counters

2001 - 11 - 30 发布

2002 - 03 - 01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

通用计数器检定规程

Verification Regulation of

Universal Counters

JJG 349—2001
代替 JJG 349—1984

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2001 年 11 月 30 日批准，并自 2002 年 03 月 01 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：上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：南京新联电子设备有限公司

石家庄市无线电四厂

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：

朱根富 （上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

骆立波 （南京新联电子有限公司）

王铁生 （石家庄市无线电四厂）

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量性能要求	(1)
3.1 技术指标	(1)
3.2 频率测量	(1)
3.3 周期测量	(2)
3.4 时间间隔测量	(2)
4 通用技术要求	(2)
5 计量器具控制	(2)
5.1 检定条件	(2)
5.2 检定项目及检定方法	(3)
5.3 检定结果的处理	(6)
5.4 检定周期	(6)
附录 A 检定证书(背面)格式	(7)
附录 B 晶体振荡器频率测量结果的不确定度评定	(9)

通用计数器检定规程

1 范围

本规程适用于频率测量范围在 1 GHz 以下的通用计数器（以下简称计数器）的首次检定、后续检定和使用中的检验。

2 概述

计数器的基本功能是直接测量频率、周期和时间间隔。基本工作原理是以适当的逻辑电路在预定的标准时间（闸门时间）内累计待测输入信号的振荡次数，或在待测时间间隔内累计标准时间（时基）信号的个数，进行频率、周期和时间间隔的测量。计数器广泛应用于计量、科研、生产等部门。

3 计量性能要求

3.1 技术指标

计数器内晶体振荡器（以下简称晶振）的技术指标如表 1 所示。

表 1

计量性能	晶 振 类 型	
	温补晶振	恒温晶振
开机特性	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	$10^{-6} \sim 10^{-9}$
日频率波动		$10^{-7} \sim 10^{-10}$
1s 频率稳定度	$10^{-8} \sim 10^{-10}$	$10^{-9} \sim 10^{-12}$
频率复现性	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	$10^{-8} \sim 10^{-9}$
频率准确度	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	$10^{-7} \sim 10^{-9}$

3.2 频率测量

3.2.1 输入特性

测量范围：(0 ~ 1) GHz

灵敏度：(10 ~ 50) mV（有效值）

3.2.2 测量误差

一般计数器：内部晶振频率准确度 $\pm \frac{1}{f}$

等分辨率计数器：内部晶振频率准确度 \pm 触发误差 $\pm \frac{\tau_1}{\tau}$

式中： τ ——闸门时间（取样时间）；

f ——被测频率；

τ_1 ——最小有效显示时间。

3.3 周期测量

3.3.1 输入特性

测量范围：10 ns ~ 100 s

灵敏度：(10 ~ 300) mV (有效值)

3.3.2 测量误差

一般计数器：内部晶振频率准确度 \pm 触发误差 $\pm \frac{\tau_2}{\tau}$

等分辨率计数器：内部晶振频率准确度 \pm 触发误差 $\pm \frac{\tau_1}{\tau}$

式中： τ_2 ——测量时选用的时基。

3.4 时间间隔测量

3.4.1 测量范围：10 ns ~ 10⁵ s

3.4.2 测量误差

一般计数器： $t \times$ 内部晶振频率准确度 \pm 触发误差 $\pm \tau_2$

等分辨率计数器： $t \times$ 内部晶振频率准确度 \pm 触发误差 $\pm \tau_1$

式中： t ——被测时间间隔。

4 通用技术要求

计数器的前或后面板上应具有制造厂、仪器型号、出厂序号及  标志；应具有内部晶振频率或时基信号的输出端口。

计数器的控制旋钮、按键开关和输入输出端口应有明确的标志。

计数器送检时要带有使用说明书和上次检定的检定证书。

5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检验。

5.1 检定条件

5.1.1 环境条件

5.1.1.1 环境温度：在 (15 ~ 30)℃ 内任选一点，检定期间该点温度波动不应超过 ± 2 ℃。

5.1.1.2 环境相对湿度： $\leq 80\%$

5.1.1.3 交流电源电压：220 (1 \pm 10%) V, (50 \pm 1) Hz

5.1.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.1.2 检定用设备

5.1.2.1 参考频标

参考频标的 1 s 频率稳定度比被检计数器内晶振高 3 倍，其它计量性能高一个数量级。

5.1.2.2 频标比对器

输入频率：1 MHz，5 MHz，10 MHz

比对不确定度： $\leq 1 \times 10^{-11}/\tau$

5.1.2.3 频率合成器

输出频率：应覆盖被检计数器的测量范围。

输出电平（有效值）：10 mV ~ 1 V

对于无外频标输入功能的频率合成器，其内部晶振的频率准确度应比被检计数器的晶振频率准确度高一个量级。

5.1.2.4 标准时间间隔发生器

信号形式：两路输出正、负脉冲列；或两路输出单个正、负脉冲；单路输出正、负脉冲宽度。

信号电平：TTL

内部晶振频率准确度要比被检计数器内部时基的准确度高一个量级。或具有外标输入功能。

输出时间间隔应覆盖被检计数器的测量范围。

5.2 检定项目及检定方法

5.2.1 检定项目一览表

通用计数器检定项目如表 2 所示。

表 2

项 目 名 称	首次检定	后续检定	使用中的检验
外观及工作正常性检查	+	+	+
频率测量	+	+	+
周期测量	+	+	+
时间间隔测量	+	+	-
日老化率	+	-	-
开机特性	+	+	+
日频率波动	+	+	+
1s 频率稳定度	+	+	+
频率复现性	+	+	-
频率准确度	+	+	+
注：“+”为应检项目，“-”为可不检项目。			

检定时以被检仪器说明书中的技术要求为准。

5.2.2 外观及工作正常性检查

5.2.2.1 计数器不应有影响正常工作的机械损伤，控制旋钮及按键应能正常动作，插座牢固，电风扇能正常运转，显示器能正常显示。各种标志应清晰完整。

5.2.2.2 输入参考频标的频率，对计数器测频及测周期等功能进行检查，结果应符合

技术要求。该项目也可按送检要求进行检查。

5.2.2.3 有外接频标功能的计数器，应对此功能进行检查。

5.2.3 内部晶振的检定

5.2.3.1 有晶振频率输出的计数器

按 JJG 180《电子计数器内石英晶体振荡器检定规程》和 JJG 181《高稳定石英晶体振荡器检定规程》进行检定。

5.2.3.2 无晶振频率输出的计数器

这类计数器指标都比较低，且属于一般计数器，可直接用被检计数器测量参考频标的频率，或测量频率合成器输出的频率，测量分辨力选在最高。所测数据的变化即反映内部晶振频率的变化。相应的技术指标按 JJG 180 检定规程进行检定。

5.2.4 频率测量的检定

5.2.4.1 测量范围及输入灵敏度的检定

输入灵敏度是指能使计数器正确读数所需要的被测信号的最小电平值。

仪器连接如图 1 所示。频率合成器的输出阻抗应与被检计数器的输入阻抗相匹配。将计数器功能开关置“频率”位置，“闸门时间”置于 1 s 位置。频率测量输入端如带有衰减器，则将衰减量调到最小位置。将合成器的输出频率调至受检频率值，其输出电平从 10 mV 逐渐增加，直至使计数器读数稳定为止，此时，合成器的输出电平，即为计数器的输入灵敏度。

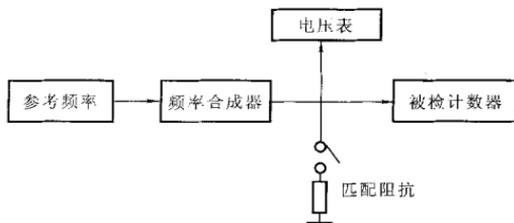


图 1 仪器连接图

受检频率点按表 3 选取。

表 3

频率范围	受检频率点
(0~10) MHz	1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 5 MHz, 8 MHz, 10 MHz
(0~100) MHz	1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 80 MHz, 100 MHz
(0~1) GHz	1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 800 MHz, 1 GHz

5.2.4.2 测量误差的检定

仪器连接如图 1 所示。计数器置于测频功能；受检频率点选取测量范围内最高值；信号电平调在已测得的灵敏度上；计数器“闸门时间”分别选取 0.1s, 1s, 10s。每一闸门时间测量 3 次，取算术平均值 $\overline{f_i}$ 作为该闸门时间的测量结果。按下式计算测量误差：

$$\Delta_f = \frac{\overline{f_i} - f_0}{f_0} \quad (1)$$

式中： $\overline{f_i}$ ——每一闸门时间的测量结果；

f_0 ——被测频率值。

5.2.5 周期测量的检定

5.2.5.1 测量范围及输入灵敏度的检定

仪器连接方法如图 1 所示。计数器置于测周期功能；周期“倍乘”置于“1”位置，“时基”置于最小位置。等分辨力计数器，按其说明书要求进行设置。周期测量输入端如带有衰减器，则将衰减量调到最小位置。将频率合成器的信号加到计数器的周期测量输入端。信号的周期选在 0.1 μ s, 1 μ s, 10 μ s, 0.1 ms, 1 ms, 10 ms, 0.1 s, 1 s, 10 s，其输出电平从 10 mV 逐渐增加，直到计数器读数稳定为止，此时频率合成器的输出电平，即为该检定点的输入灵敏度。

等分辨力的计数器，按说明书要求进行检定。

5.2.5.2 测量误差的检定

仪器连接如图 1 所示。被检计数器置于测周期功能。输入频率选用 10 Hz。信号电平调在已测得的灵敏度上。“时基”置于最小位置。计数器的“周期倍乘”分别选取 1, 10, 100。每一倍乘周期测量 3 次，取算术平均值 $\overline{T_i}$ 作为该倍乘周期的测量结果。按下式计算测量误差：

$$\Delta_T = \frac{\overline{T_i} - N_i T_0}{N_i T_0} \quad (2)$$

式中： $\overline{T_i}$ ——每一倍乘周期的测量结果；

N_i ——周期倍乘值；

T_0 ——被测周期值。

5.2.6 时间间隔测量的检定

时间间隔测量的检定按照 JJG 238《数字式时间间隔测量仪试行检定规程》中电脉冲时间间隔测量进行。

5.2.6.1 受检点的选取及误差计算

从测量的最小值开始，以后按每 10 倍程一个值，一直到测量的最大值。

若测时仪的量程是分挡的，最低挡按上法选取，其他挡只选取该挡的最大值。

每一受检点均测量 3 次，取其算术平均值作为该点的测量值。按下式计算测量误差：

$$\Delta_t = \overline{t_i} - t_0 \quad (3)$$

$$\bar{t}_i = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 t_i;$$

t_i ——每次测量值;

t_0 ——标准时间间隔发生器的给定值。

5.2.6.2 电脉冲时间间隔测量

仪器连接如图 2 和图 3 所示。

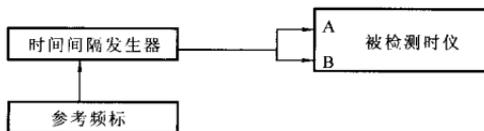


图 2 单脉冲宽度测量

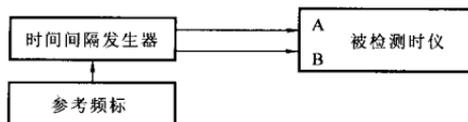


图 3 双脉冲时间间隔测量

正脉冲宽度测量：时间间隔发生器给出单个正脉冲信号，同时加到被检测时仪的 A、B 输入端，A 通道（启动通道）的触发斜率置于正，B 通道（停止通道）的触发斜率置于负。

负脉冲宽度测量：时间间隔发生器给出单个负脉冲信号，被检计时仪 A、B 两输入通道的斜率分别置于负和正。

两个正脉冲时间间隔测量：时间间隔发生器分两路给出单个正脉冲信号，启动信号加到测时仪的 A 通道，停止信号加到 B 通道，两通道的触发斜率均置于正。

两个负脉冲时间间隔测量：时间间隔发生器分两路给出单个负脉冲信号，启动信号加到测时仪 A 通道，停止信号加到 B 通道，两通道的触发斜率均置于负。

5.3 检定结果的处理

按本规程要求检定合格的计数器，出具检定证书；检定不合格的，出具检定结果通知书，并注明不合格的项目。

5.4 检定周期

通用计数器的检定周期一般不超过 1 年，必要时可随时送检。

附录 A

检定证书（背面）格式

A.1 频率测量范围及灵敏度

受检频率点	1 Hz	5 Hz	10 Hz	50 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
灵敏度/mV（有效值）								
受检频率点	1 MHz	10 MHz	50 MHz	80 MHz	100 MHz	500 MHz	800 MHz	1 GHz
灵敏度/mV（有效值）								

A.2 频率测量误差的检定

被测频率：

闸门时间 τ /s	测量结果 \bar{f}_i	测量误差
0.1		
1		
10		

A.3 周期测量范围及灵敏度

受检周期点	0.1 μ s	1 μ s	10 μ s	0.1 ms	1 ms	10 ms	0.1 s	1 s	10 s
灵敏度/mV（有效值）									

A.4 周期测量误差的检定

输入频率：10 Hz

周期倍乘值 N_i	测量结果 \bar{T}_i	测量误差
1		
10		
100		

A.5 时间间隔测量的检定

标准值 t_0	测量值 \bar{t}_i	测量误差

A.6 晶体振荡器的检定（预热时间 h ）

A.6.1 日老化率

A.6.2 开机特性

A.6.3 日频率波动

A.6.4 1 s 频率稳定度

A.6.5 频率复现性

A.6.6 频率准确度

附录 B

晶体振荡器频率测量结果的不确定度评定

B.1 概述

B.1.1 测量依据: JJG 180《电子计数器内晶体振荡器检定规程》

B.1.2 环境条件: 温度 (15 ~ 30)℃ 范围内任意值, 但温度变化不大于 $\pm 2^\circ\text{C}$; 湿度 (65 \pm 15)% RH; 交流电源电压 $220 \times (1 \pm 2\%) \text{V}$

B.1.3 测量标准: XST 石英晶体频率标准装置 (f : 5 MHz), 频率值的不确定度 (准确度) 为 3×10^{-10}

B.1.4 被测对象: 晶体振荡器 (f : 5 MHz)

B.1.5 测量方法

采用频差倍增法进行测量。将被测晶体振荡器输出的频率和石英晶体频率标准装置输出的标准频率加到频差倍增器相应的输入端, 用通用计数器测量经频差倍增器倍增后的频率, 经换算并与参考频标比较的差值就是该晶体振荡器的频率误差值。

B.1.6 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果, 一般可使用本不确定度的评定方法重新进行评定。

B.2 数学模型

$$A = A_s + \delta$$

式中: A ——被测晶振频率值, Hz;

A_s ——参考频率标准值, Hz;

δ ——被测与参考频标频率的误差, Hz。

B.3 输入量的标准不确定度评定

B.3.1 输入量 A_s 的标准不确定度 $u(A_s)$ 的评定

输入量 A_s 的不确定度主要来源于 XST 石英晶体频率标准的频标不确定度, 可根据检定证书给出的误差, 采用 B 类评定方法进行评定。

XST 石英晶体频率标准装置的检定证书给出的频率值的不确定度 (准确度) 为 3×10^{-10} , 即区间半宽度值为 $a = 3 \times 10^{-10}$, 可认为在区间内误差是均匀分布的, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则标准不确定度 $u(A_s)$ 为

$$u(A_s) = a/k = 1.73 \times 10^{-10}$$

估计 $|\Delta u(A_s)/u(A_s)|$ 为 0.10, 则自由度 $\nu_{A_s} = \nu_1 = 50$ 。

B.3.2 输入量 δ 的标准不确定度 $u(\delta)$ 的评定

输入量 δ 的不确定度来源主要由以下二个分项合成:

B.3.2.1 来源于石英晶体频率标准装置的配套设备频标比对器和通用计数器的不确定度, 采用 B 类评定方法进行评定。

根据 P07B 频标比对器技术说明书给出的技术指标, 被测频率为 1 MHz, 取样闸门时间 τ 为 10 s, 倍增次数 $M = 3 \times 10^3$ 时的比对误差为 3.3×10^{-11} , 即区间半宽度值 $a =$

3.3×10^{-11} , 可认为在区间内误差是均匀分布的, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则标准不确定度 $u(\delta_1)$ 为

$$u(\delta_1) = a/k = 1.9 \times 10^{-11}$$

估计 $|\Delta u(\delta_1)/u(\delta_1)|$ 为 0.10, 则自由度 $\nu_{B1} = 50$ 。

B.3.2.2 来源于被测晶体振荡器的测量不重复性, 可通过连续测量得到测量列, 采用 A 类评定方法进行评定。

对一台晶体振荡器, 取 $f_0 = 5 \text{ MHz}$, $f_x = 5 \text{ MHz}$, 倍增系数 3×10^3 , 取样闸门时间 D10 sF, 连续测量 10 次, 得到测量列: 5 000 000.014 9, 5 000 000.014 6, 5 000 000.014 7, 5 000 000.014 9, 5 000 000.014 6, 5 000 000.015 0, 5 000 000.014 8, 5 000 000.014 6, 5 000 000.015 1, 5 000 000.014 5 Hz 因此平均值为

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A = 5\,000\,000.014\,77 \text{ Hz}$$

$$\text{单次测量标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A - \bar{A})^2}{n-1}} = 0.000\,2 \text{ Hz}$$

所以 $u(\delta_2) = s/5 \text{ MHz} = 4.0 \times 10^{-11}$, 自由度为 $\nu_{B2} = 10 - 1 = 9$ 。

输入量 δ 的各分项 δ_1, δ_2 彼此独立不相关, 因此输入量 δ 的标准不确定度 $u(\delta)$ 为

$$\begin{aligned} u(\delta) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n u^2(\delta_i)} \\ &= \sqrt{(1.9 \times 10^{-11})^2 + (4.0 \times 10^{-11})^2} \\ &= 4.4 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

输入量 δ 的合成自由度 ν_2 为

$$\nu_2 = u^4(\delta) / [u^4(\delta_1)/\nu_{B1} + u^4(\delta_2)/\nu_{B2}] = 13$$

B.4 合成标准不确定度的评定

B.4.1 灵敏系数

数学模型: $A = A_S + \delta$

灵敏系数: $c_1 = \partial A / \partial A_S = 1$

$c_2 = \partial A / \partial \delta = 1$

B.4.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于下页表。

B.4.3 合成标准不确定度的计算

输入量 A_S 与 δ 彼此独立, 互不相关, 所以合成标准不确定度可按下式得到:

$$\begin{aligned} u_c^2(A) &= \left[\frac{\partial A}{\partial A_S} \times u(A_S) \right]^2 + \left[\frac{\partial A}{\partial \delta} \times u(\delta) \right]^2 \\ &= [c_1 u(A_S)]^2 + [c_2 u(\delta)]^2 \\ u_c(A) &= \sqrt{(4.4 \times 10^{-11})^2 + (1.7 \times 10^{-10})^2} = 1.76 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	标准不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$	自由度 ν_i
$u(\delta)$	标准装置配套设备及被测石英晶振测量不重复性	4.4×10^{-11}	1	4.4×10^{-11}	13
$\cdot u(\delta_1)$	频标比对器与通用计数器	1.9×10^{-11}			
$\cdot u(\delta_2)$	被测石英晶振测量不重复性	4.0×10^{-11}			
$u(A_s)$	石英晶体频率标准	1.7×10^{-10}	1	1.7×10^{-10}	50

B.4.4 合成标准不确定度的有效自由度

合成标准不确定度的有效自由度 ν_{eff} 为

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(A)}{\frac{[c_1 u(A_s)]^4}{\nu_1} + \frac{[c_2 u(\delta)]^4}{\nu_2}} = 56$$

B.5 扩展不确定度的评定

取置信概率 $p = 95\%$ ，按有效自由度 $\nu_{\text{eff}} = 56$ ，根据 t 分布表得到

$$k_p = t_{95}(56) = 2.01$$

扩展不确定度为

$$U_{95\text{rel}} = t_{95}(56) \times u_c(A) = 2.01 \times 1.76 \times 10^{-10} = 3.5 \times 10^{-10}$$

B.6 测量不确定度的报告与表示

石英晶体振荡器频率测量结果的扩展不确定度为

$$U_{95\text{rel}} = 3.5 \times 10^{-10}, \quad k = 2.01, \quad \nu_{\text{eff}} = 56$$