

引用格式: 栾静. 关于检定通用计数器测量结果不确定度评定方法的探讨[J]. 时间频率学报, 2022, 45(3): 229-237.

关于检定通用计数器测量结果不确定度 评定方法的探讨

栾静

(海军计量测试研究所, 葫芦岛 125003)

摘要:在通用计数器检定/校准过程中,测量结果不确定度评定是评价计量检定/校准质量的重要指标。本文针对通用计数器检定/校准过程中需要给出测量结果不确定度的计量需求,以铷原子频率标准装置检定 SS7300 通用计数器为例,详细介绍了通用计数器相对频率偏差、1 s 频率稳定度、频率测量误差和时间间隔测量误差四个重要指标的检定方法,以及测量结果的不确定度评定过程。建立了数学模型,分析了测量结果的不确定度来源,并对测量结果的不确定度进行了计算,给出了评定结果表达形式,并讨论了检定中应注意的几个问题。经实践证明该评定方法准确、有效,可供撰写铷原子频率标准装置建标报告和计数器测量结果不确定度评定方面参考。

关键词:时间频率计量;通用计数器;不确定度评定

DOI:10.13875/j.issn.1674-0637.2022-03-0229-09

Discussion on uncertainty evaluation method of measurement results of general counter verification

LUAN Jing

(Navy Metrology and Test Research Institute, Huludao 125003, China)

Abstract: During the verification/calibration of general counter, the uncertainty evaluation of measurement results is an important indicator to evaluate the quality of metrological verification/calibration. This paper aims at the measurement requirements of the uncertainty of measurement results in the verification/calibration process of general counter, taking rubidium atomic frequency standard device verifying SS7300 general counter as an example, the verification methods of four important indexes of general counter, relative frequency deviation, 1 s frequency stability, frequency measurement error and time interval error are introduced in detail, and the uncertainty evaluation process of measurement results. The mathematical model is established, and the source of uncertainty of measurement results is analyzed and calculated, and the expression of the evaluation results is given, and several problems needing attention in measurement are discussed. The practice shows that the evaluation method is accurate and effective, which can be used as a reference for writing the standard establishment report of rubidium atomic frequency standard device and evaluating the uncertainty of counter measurement results.

Key words: time and frequency metrology; general counter; uncertainty evaluation

0 引言

通用计数器是时间与频率计量检定中最常用的一种计量器具,它采用高可靠性大规模集成电路,采用多周期同步、倒数计数和 TDC 计数相结合来提高测量精度。它具有频率、周期、时间间隔、脉宽、累加计数、相位差等测量功能,还具备频率的多次平均、最大值、最小值、标准偏差、Allan 方差的测量运算能力^[1-3]。随着电子技术的不断进步,通用计数器被广泛应用于航空航天、导弹、武器装备、科学实验室,以及工业生产等重要领域,完成时间和频率的计量工作^[4-6]。因此通用计数器的测量准确度就显得尤为重要了,所以本文针对通用计数器检定的测量结果,进行不确定度来源分析与评定方法研究,给出检定计数器测量结果的不确定度,确保溯源量值的科学性和可靠性^[7-8]。

1 通用计数器检定方法

通用计数器的检定,依据 JJG349—2014《通用计数器检定规程》进行。

1.1 检定方法

通用计数器内置时基振荡器部分的检定,如:开机特性、日频率波动、1 s 频率稳定度、相对频率偏差,依据 JG180-2002《电子测量仪器内石英晶体振荡器检定规程》进行。频率测量范围、输入灵敏度及测量误差,周期测量范围、输入灵敏度及测量误差和时间间隔测量范围及测量误差的检定,依据 JJG349-2014《通用计数器检定规程》进行^[9-10]。

本文只介绍相对频率偏差、1 s 频率稳定度、频率测量误差和时间间隔测量误差的检定方法及测量结果不确定度评定方法,其他项目可参照以上四个参数的方法进行。

1.2 检定系统组成及工作原理

通用计数器检定系统由铷原子频率标准装置和被检计数器组成。其中,铷原子频率标准装置由 TR2001 铷原子频率标准、PO7D-2 频标比对器、8257D 信号源和 TFG5010T 时间合成器组成。选用 SS7300 通用计数器作为典型被测件。

① 内部晶振的相对频率偏差和 1 s 频率稳定度检定

由铷原子频率标准、PO7D-2 频标比对器对通用计数器的内部晶振的相对频率偏差和 1 s 频率稳定度进行检定,系统组成如图 1 所示。

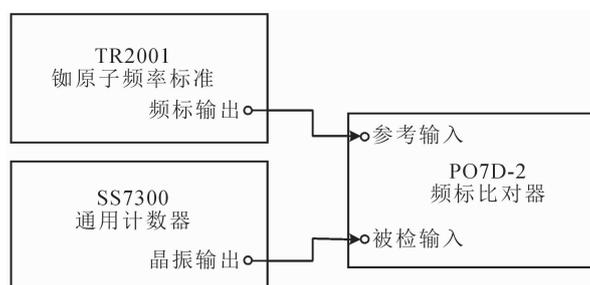


图 1 通用计数器内部晶振检定系统组成框图

本标准装置采用频差倍增法进行频率检定,被检计数器晶振的输出接入 PO7D-2 频标比对器的“被检输入”端,TR2001 铷原子频率标准输出接入 PO7D-2“参考输入”端,通过 PO7D-2 内部频差倍增系统多次变频、混频,将被测晶振频率与频标两者频率偏差逐级扩大,然后通过 PO7D-2 内部数据采集处理系统采样、处理,最后输出测量结果。

② 频率测量误差检定

由铷原子频率标准和 8257D 信号源对通用计数器的频率测量误差进行检定,通用计数器频率测量误差的检定是在该通道的上限频率点进行的。其中,8257D 信号源用于输出标准频率信号,该信号频率值为被检

通用计数器在该通道的上限频率值。铷原子频率标准的 10 MHz 标准频率信号,输入到 8257D 信号源的外频标输入端,用于提高 8257D 信号源输出频率信号的准确度,使其输出的标准频率信号与被测通用计数器在该通道的频率测量误差满足 1:4 的量传关系。

TR2001 铷原子频率标准“10 MHz 输出”接入 8257D 信号源“外频标输入”端,提高 8257D 信号源输出频率信号的准确度,8257D 信号源“输出端”接入被检计数器的“CH1 输入”端,以 SS7300 通用计数器为例,检定通道 1 的频率上限值为 200 MHz,所以检定该计数器在通道 1 上测量频率 200 MHz 时的频率测量误差。系统组成如图 2 所示。

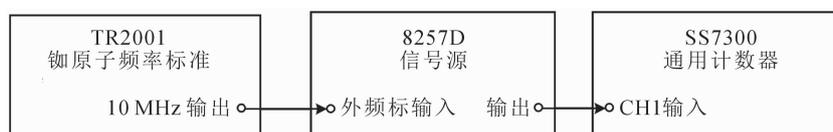


图 2 频率测量误差检定系统框图

③ 时间间隔测量误差检定

由铷原子频率标准和 TFG5010T 时间合成器对通用计数器的时间间隔测量误差进行检定,通用计数器时间间隔测量误差的检定是从测量的最小值开始,之后按每 10 倍程一个测量点,直到测量的最大值。以 SS7300 通用计数器为例,检定该计数器的时间间隔测量误差。系统组成如图 3 所示。



图 3 时间间隔测量误差检定系统框图

2 测量结果不确定度分析与评定

通用计数器的检定测量结果不确定度评定包括相对频率偏差、1 s 频率稳定度、频率测量误差和时间间隔测量误差 4 项。

2.1 相对频率偏差不确定分析与评定

2.1.1 建立数学模型

相对频率偏差是频率实际值与标称值之差除以频率标称值的比值。数学模型如公式(1)所示:

$$y(\tau) = \frac{f_x - f_0}{f_0} = \frac{\bar{F} - F_0}{Mf_0}, \quad (1)$$

式(1)中: f_x 为被检晶振在 τ 内的平均频率的标称值,单位是 Hz; f_0 为被检晶振频率的标称值,单位是 Hz; F 为计数器测得频率值,单位是 Hz; \bar{F} 为计数器测得 3 次 F 的平均值,单位是 Hz; F_0 为计数器测得频率的标称值,单位是 Hz; M 为频差倍增器的等效倍增次数; $y(\tau)$ 为相对平均频率偏差。

2.1.2 测量不确定度来源分析

影响相对频率偏差不确定度的因素主要有以下几个方面:

- ① 铷原子频率标准输出频率不准引入的标准不确定度 u_{B1} ;
- ② 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B2} ;
- ③ PO7D-2 频标比对器引入的标准不确定度 u_{B3} ;
- ④ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A 。

2.1.3 不确定度评定

根据不确定度评定方法,分别进行 A 类不确定度评定和 B 类不确定度评定,计算合成标准不确定度,进而确定扩展不确定,得出不确定测量结果。

① 铷原子频率标准输出频率不准引入的标准不确定度 u_{B1}

由铷原子频率标准说明书可知,相对频率偏差优于 $\pm 5 \times 10^{-11}$,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$ (k 为置信因子),所以, $u_{B1} = 5 \times 10^{-11} / \sqrt{3} \approx 2.9 \times 10^{-11}$ 。

② 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B2}

由铷原子频率标准说明书可知,铷原子频率标准 10 s 稳定度优于 8×10^{-12} ,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B2} = 8 \times 10^{-12} / \sqrt{3} \approx 4.6 \times 10^{-12}$ 。

③ PO7D-2 频标比对器引入的标准不确定度 u_{B3}

由 PO7D-2 说明书得其比对不确定度 $y(\tau) = 2 \times 10^{-13}$ ($\tau = 10$ s),按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B3} = 2 \times 10^{-13} / \sqrt{3} \approx 1.2 \times 10^{-13}$ 。

④ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A

按图 1 连接,对 SS7300 通用计数器内部晶振相对频率偏差重复测量 6 次,测量结果如表 1 所示。

表 1 相对频率偏差测量值

测量次数	测量值	平均值	实验标准偏差
1	1.4×10^{-8}		
2	1.7×10^{-8}		
3	1.1×10^{-8}		
4	1.8×10^{-8}	1.5×10^{-8}	2.6×10^{-9}
5	1.5×10^{-8}		
6	1.3×10^{-8}		

按贝塞尔公式,如公式(2)所示,计算实验标准偏差,用平均值实验标准偏差作为该测量结果的重复性,用 $s_n(x)$ 表示:

$$s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

标准不确定度为: $u_A = s_n(x) = 2.6 \times 10^{-9}$ 。

⑤ 合成标准不确定度 u_C

以上各不确定度分量相互独立,所以合成标准不确定度为: $u_C = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_A^2} = 2.6 \times 10^{-9}$ 。

⑥ 扩展不确定度 U

扩展不确定度 U 是由合成不确定度的倍数表示的测量不确定度,一般倍数 k 取 2,指对被测量值的不确定程度。 $U = ku_C = 5 \times 10^{-9}$ ($k = 2$)。

⑦ 测量结果表示

相对频率偏差为 1.5×10^{-8} , $U = 5 \times 10^{-9}$ ($k = 2$)。

2.2 1 s 频率稳定度不确定分析与评定

2.2.1 建立数学模型

频率稳定度是描述平均频率随机起伏程度的量,平均时间称为取样时间,为重要参数。不同的稳定度量值对应不同的取样时间。使用频标比对器测量相应取样时间的 Allan 标准偏差,数学模型如公式(3)所示:

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{i=1}^{100} (y_{i+1}(\tau) - y_i(\tau))^2}, \quad (3)$$

式(3)中: m 为测量组数; $\sigma_y(\tau)$ 为频率稳定度; $y_i(\tau), y_{i+1}(\tau)$ 分别为第*i*次和第*i*+1次测得的相对平均频率偏差值。

2.2.2 测量不确定度来源分析

影响1 s频率稳定度不确定度的因素主要有以下几个方面:

- ① 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B1} ;
- ② PO7D-2 频标比对器引入的标准不确定度 u_{B2} ;
- ③ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A 。

2.2.3 不确定度评定

根据不确定度评定方法,分别进行A类不确定度评定和B类不确定度评定,计算合成标准不确定度,进而确定扩展不确定,得出不确定测量结果。

- ① 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B1}

由铷原子频率标准说明书可知,铷原子频率标准1 s稳定度优于 2.5×10^{-11} ,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以,
 $u_{B1} = 2.5 \times 10^{-11} / \sqrt{3} \approx 1.4 \times 10^{-11}$ 。

- ② PO7D 频标比对器引入的标准不确定度 u_{B2}

由PO7D说明书得其比对不确定度 $y(\tau) = 1 \times 10^{-12}$ ($\tau = 1$ s),按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B2} = 1 \times 10^{-12} / \sqrt{3} \approx 5.8 \times 10^{-13}$ 。

- ③ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A

按图1连接,对SS7300通用计数器内部晶振1 s频率稳定度重复测量6次,测量结果如表2所示。

表2 1 s频率稳定度测量值

测量次数	测量值	平均值	实验标准偏差
1	3.5×10^{-11}		
2	2.4×10^{-11}		
3	3.2×10^{-11}		
4	2.5×10^{-11}	2.9×10^{-11}	4.9×10^{-12}
5	3.4×10^{-11}		
6	2.6×10^{-11}		

按贝塞尔公式,如公式(2)所示,计算实验标准偏差作为该测量结果的重复性,用 $s_n(x)$ 表示。 $u_A = s_n(x) = 4.9 \times 10^{-12}$ 。

- ④ 合成标准不确定度 u_C

以上各不确定度分量相互独立,所以合成标准不确定度为: $u_C = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_A^2} = 5.1 \times 10^{-12}$ 。

- ⑤ 扩展不确定度 U

扩展不确定度 U 是由合成不确定度的倍数表示的测量不确定度。 $U = ku_C = 1 \times 10^{-11}$ ($k = 2$)。

- ⑥ 测量结果表示

1 s频率稳定度为 3×10^{-11} , $U = 1 \times 10^{-11}$ ($k = 2$)。

2.3 频率测量误差不确定分析与评定

2.3.1 建立数学模型

数学模型如公式(4)所示:

$$\Delta f = f_x - f_o, \quad (4)$$

式(4)中: f_o 为信号源输出频率的标称值,单位是Hz; f 为计数器测量的频率值,单位是Hz。

2.3.2 测量不确定度来源分析

影响频率测量误差不确定度的因素主要有以下几个方面:

- ① 铷原子频率标准输出频率不准引入的标准不确定度 u_{B1} ;
- ② 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B2} ;
- ③ 信号源引入的标准不确定度 u_{B3} ;
- ④ 被测计数器分辨力引入的标准不确定度 u_{B4} ;
- ⑤ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A 。

2.3.3 不确定度评定

根据不确定度评定方法,分别进行 A 类不确定度评定和 B 类不确定度评定,计算合成标准不确定度,进而确定扩展不确定,得出不确定测量结果。

- ① 铷原子频率标准输出频率不准引入的标准不确定度 u_{B1}

由铷原子频率标准说明书可知,相对频率偏差优于 $\pm 5 \times 10^{-11}$,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B1} = 5 \times 10^{-11} / \sqrt{3} \approx 2.9 \times 10^{-11}$ 。

- ② 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B2}

由铷原子频率标准说明书可知,铷原子频率标准 10 s 稳定度优于 8×10^{-12} ,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B2} = 8 \times 10^{-12} / \sqrt{3} \approx 4.6 \times 10^{-12}$ 。

- ③ 信号源引入的标准不确定度 u_{B3}

由于信号源的外参考频标采用的是铷原子频率标准 10 MHz 信号,此项影响不再重复评定。

- ④ 被测计数器分辨力引入的标准不确定度 u_{B4}

SS7300 通用计数器在测量时,选择闸门时间 1 s,测量的分辨力为 0.001 Hz,按均匀分布,则: $u_{B4} = \frac{0.001/2.0 \times 10^{-8}}{\sqrt{3}} = 2.87 \times 10^{-12}$ 。

- ⑤ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A

按图 2 连接,用 SS7300 通用计数器通道 1 测量 8257D 信号源输出的 200 MHz 信号频率,被检通用计数器闸门时间设置为 1 s,测量 3 次,取其算术平均值作为该点的测量结果,重复测量 6 次,取算术平均值作为该闸门时间的频率测量结果,并记录有效分辨力,按公式(4) 计算频率测量误差。重复测量 6 次,测量结果如表 3 所示。

表 3 频率测量误差测量值

测量次数	测量值 /MHz	误差 /Hz	误差平均值 /Hz	实验标准偏差 /Hz
1	200.000 002 1	2.1		
2	200.000 002 2	2.2		
3	200.000 002 2	2.2		
4	200.000 002 1	2.1	2.15	0.055
5	200.000 002 1	2.1		
6	200.000 002 2	2.2		

按贝塞尔公式,如公式(2) 所示,计算实验标准偏差,用平均值实验标准偏差作为该测量结果的重复性,用 $s_n(x)$ 表示。 $u_A = s_n(x) = 0.055$,单位是 Hz。

- ⑥ 合成标准不确定度 u_C

以上各不确定度分量相互独立,所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{(u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2) \times (200 \times 10^6)^2 + u_A^2} = 0.055, \text{单位是 Hz。}$$

⑦ 扩展不确定度 U

扩展不确定度 U 是由合成不确定度的倍数表示的测量不确定度。 $U = ku_c = 0.12 \approx 0.1$, 单位是 Hz ($k=2$)。

⑧ 测量结果表示

频率测量误差为 2.2 Hz, $U = 0.1 \text{ Hz} (k=2)$ 。

2.4 时间间隔测量误差不确定分析与评定

2.4.1 建立数学模型

数学模型如公式(5)所示:

$$\Delta t = t_x - t_0, \quad (5)$$

式(5)中: t_0 为时间间隔发生器输出时间间隔值; t 为时间间隔测量结果。

2.4.2 测量不确定度来源分析

影响时间间隔测量误差不确定度的因素主要有以下几个方面:

- ① 铷原子频率标准输出频率不准引入的标准不确定度 u_{B1} ;
- ② 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B2} ;
- ③ 信号源引入的标准不确定度 u_{B3} ;
- ④ 被测计数器时间间隔测量分辨力引入的标准不确定度 u_{B4} ;
- ⑤ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A 。

2.4.3 不确定度评定

根据不确定度评定方法,分别进行 A 类不确定度评定和 B 类不确定度评定,计算合成标准不确定度,进而确定扩展不确定,得出不确定测量结果。

① 铷原子频率标准输出频率不准引入的标准不确定度 u_{B1}

由铷原子频率标准说明书可知,相对频率偏差优于 $\pm 5 \times 10^{-11}$,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B1} = 5 \times 10^{-11} / \sqrt{3} \approx 2.9 \times 10^{-11}$ 。

② 铷原子频率标准输出频率不稳引入的标准不确定度 u_{B2}

由铷原子频率标准说明书可知,铷原子频率标准 10 s 稳定度优于 8×10^{-12} ,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,所以, $u_{B2} = 8 \times 10^{-12} / \sqrt{3} \approx 4.6 \times 10^{-12}$ 。

③ 信号源引入的标准不确定度 u_{B3}

由于信号源的外参考频标采用的是铷原子频率标准 10 MHz 信号,此项影响不再重复评定。

④ 被测计数器时间间隔测量分辨力引入的标准不确定度 u_{B4}

SS7300 通用计数器在测量时,时间间隔测量的分辨力为 300 ps,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,则: $u_{B4} = \frac{\delta}{k} = \frac{300}{\sqrt{3}} = 173$,单位是 ps。

⑤ 测量重复性引入的标准不确定度 u_A

按图 3 连接,用 SS7300 通用计数器通道 1 测量 TFG5010T 时间合成器输出的 1 ms 时间间隔信号,测量 3 次,取其算术平均值作为该点的测量结果,重复测量 6 次,取算术平均值时间间隔测量结果,并记录有效分辨力,按公式(5)计算频率测量误差。重复测量 6 次,测量结果如表 4 所示。

表 4 时间间隔测量误差测量值

测量次数	测量值 /ms	误差 /ns	误差平均值 /ns	实验标准偏差 /ns
1	1.000 000 5	0.5		
2	1.000 000 6	0.6		
3	1.000 000 5	0.5	0.55	0.055
4	1.000 000 5	0.5		
5	1.000 000 6	0.6		
6	1.000 000 6	0.6		

按贝塞尔公式,如公式(2)所示,计算实验标准偏差,用平均值实验标准偏差作为该测量结果的重复性,用 $s_n(x)$ 表示。标准不确定度为: $u_A = s_n(x) = 0.055$,单位是 ns。

⑥ 合成标准不确定度 u_C

以上各不确定度分量相互独立,所以合成标准不确定度为:

$$u_C = \sqrt{(u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2) \times (1 \times 10^6)^2 + u_{B4}^2 + u_A^2} = 0.18, \text{单位是 ns。}$$

⑦ 扩展不确定度 U

扩展不确定度 U 是由合成不确定度的倍数表示的测量不确定度。 $U = ku_C = 0.36 \approx 0.4$,单位是 ns($k = 2$)。

⑧ 测量结果表示

频率测量误差为 0.55 ns, $U = 0.4 \text{ ns}(k = 2)$ 。

3 检定通用计数器时应注意的问题

检定通用计数器时测量结果的准确性会受到检定时环境条件、设备选取、采用测量方法、人员因素等影响,在检定时应注意以下问题。

① 环境条件的控制

对于时间频率计量设备的检定/校准,环境温度的控制非常重要。晶振和原子频标输出频率信号的准确度受环境温度的影响较大,一般指标高的晶振在仪器设计时都安放在恒温槽内,确保晶振工作环境温度的稳定,技术指标不受环境影响。电子仪器内部晶振的检定一般要求环境温度变化不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$,原子频标的检定一般要求环境温度变化不超过 $\pm 1^\circ\text{C}$,所以我们在检定通用计数器时,应注意环境温度应在 $15^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 范围内任选一点,检定过程中环境温度的变化不应该超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

② 仪器预热时间的控制

晶振和原子频标通电后,需要预热一定时间,输出的频率稳定度才能达到技术指标要求。所以我们在检定通用计数器时,应把所使用的设备预热一定的时间,一般为 30 min,需要看到铷原子频标的锁定指示灯亮了,再开始检定工作。

③ 输入阻抗的选择

通用计数器的测量通道输入阻抗一般有两种选择,低阻(50Ω)输入和高阻($1 \text{ M}\Omega$)输入。在检定频率测量误差时,需要保证通用计数器的输入阻抗与信号源的输出阻抗一致。检定通用计数器的频率测量误差一般要求在该通道的上限频率点检定,输出该频率信号的信号源一般为 50Ω 输出,所以检定时通用计数器测量通道输入阻抗一般选择 50Ω 输入。

④ 参考频标的选择

检定通用计数器内部晶振时,一般选择原子频标输出的 5 MHz 或者 10 MHz 作为参考频率源,其频率准确度应优于被检通用计数器频率准确度一个数量级,其频率稳定度应优于被检通用计数器频率稳定度 3 倍。检定系统中使用的频标比对器,其比对不确定度应优于被检通用计数器相应取样时间频率稳定度 3 倍。

⑤ 信号源的选择和输出信号幅度的设置

检定通用计数器频率测量误差时,选取的信号源输出频率信号准确度应优于被检通用计数器内部晶振频率准确度一个数量级,其频率稳定度应优于被检通用计数器内部晶振频率稳定度3倍,如果不能满足要求,应增加外频标输入,给信号源输入一个满足技术要求的参考外频标。另外,信号源输出的频率信号幅度应该高于检定通用计数器频率输入灵敏度时测得的幅度,以便保证通用计数器能正常触发,测量结果准确可靠。

4 结语

测量不确定度是表征赋予被测量的量值分散性的参数,它反映了测量值的分散程度。分析检定通用计数器测量结果的不确定度,一方面便于使用它的人员可以评定其可靠性;另一方面也增强了测量结果之间的可比性。因此,在我们日常计量工作中,对计数器测量结果进行不确定度评定是十分必要的工作。本文提供的评定方法可供撰写铷原子频率标准装置建标报告和计数器测量结果不确定度评定方面参考,该方法的研究也确保了溯源量值的科学性、可靠性。同时,本文是对JJG349-2014《通用计数器检定规程》的细化,是在操作层面对《规程》的详细说明,因此对于《规程》推广使用具有重要的推动作用。

参考文献:

- [1] 王立康. 测量不确定度评定概述及其在时间频率计量中的应用[J]. 工业计量, 2018, 28(2): 50-52.
- [2] 龙波, 王菊凤, 黄徐瑞晗, 等. 铷原子频率标准频率偏差的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2018, 45(11): 109-110.
- [3] 潘海飞, 王武华. 铯原子频率标准建标与不确定度评定[J]. 现代电子技术, 2015, 38(3): 95-96+99.
- [4] 韩海林, 孙杰. 铷原子频率标准频率稳定度测量方法及不确定度评定[J]. 电子世界, 2015(15): 117-118.
- [5] 王文庆, 翟德强. 铷原子频率标准装置不确定度的评定[J]. 科技信息, 2017(3): 72-73.
- [6] 蒋侃. 晶体振荡器测量值的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2016, 43(9): 92-93.
- [7] 马江峰, 柏航, 范洪志, 等. 频率测量的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2016, 43(2): 91-92.
- [8] 彭钰钦, 涂亚庆, 杨辉跃. DFT 算法频率和相位差测量不确定度评估[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(9): 17-22.
- [9] 朱根富. 晶体振荡器频率测量结果的不确定度评定[J]. 计量技术, 2002(3): 48-49.
- [10] 孙莹. 测量不确定度在时频领域的应用[J]. 航空计测技术, 2002(4): 34-37.