

# 显示用标准闪烁光源校准

## 实 验 报 告

(2026.05.15)

一、 实验目的

使用数字示波器、光电探测器和频率计对显示用标准闪烁光源关键参数（闪烁度、闪烁频率、闪烁频率稳定度、响应时间、响应时间稳定度）进行校准。

二、 实验地点

福建省厦门市计量检定测试院湖滨南路 170 号主楼 516 室。

三、 环境条件

实验室温度 22.5℃；相对湿度：56%；光学暗室。

四、 校准设备

表 1 校准设备表

校准使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	校准证书编号	证书有效期至
示波器	带宽：2GHz; 实时采样率： 10 GSa/s	DC 增益(MPE): ±2%;时间测量 (MPE):±25ps	DX2025-14933	2026-12-03
高速光电探测器	波长范围： (380-780)nm	光谱响应度： $U_{rel}=2\%$ , $k=2$	GXgf2026-010 14	2027-04-07
频率计	频率：(1~ 1000)Hz	频率： $U_{rel}=2\times$ $10^{-8}$ , $k=2$	DX2026-02184	2027-03-12

五、 校准人：

阮育娇、黄艺滨。

六、 被校样品信息：

名称：显示用标准闪烁光源；型号：NIMFL-410；厂家：中国计量科学研究院；编号：F1-05。

七、 校准方法及结果：

NIMFL-410 型显示用标准闪烁光源的校准结果如下：

### (1) 闪烁度

校准方法：连接调整设备，使光电探测器的光轴垂直对准标准闪烁光源的中心位置；按照说明书要求对标准闪烁光源进行预热；待光源稳定后，设置标准闪烁光源的调制频率和调制幅度，用光电探测器和数字示波器重复测量 3 次，取 3 次测量值的平均值作为闪烁度的测量结果。

校准结果：

闪烁度范围 (dB)	标准闪烁光源设置			闪烁度 (dB)	测量不确定度 ( $k=2$ ) (dB)
	周期 /ms	高电流 /mA	低电流 /mA		
-10~0	40	40	6	-5.94	0.09
-80~-10	40	40	15	-10.65	0.30
	17	40	20	-37.97	0.30
	17	40	24	-40.39	0.30
	17	40	28	-43.50	0.30
	17	40	32	-47.55	0.30
	17	40	36	-54.11	0.30
	9	40	38	-76.33	0.30

### (2) 闪烁频率

校准方法：设置标准闪烁光源闪烁频率，由光电探测器和频率计测得闪烁光源的闪烁频率，重复测量 3 次，取 3 次测量值的平均值作为闪烁频率测量值，然后计算闪烁频率的相对示值误差。

校准结果：

标准光源调制频率 (Hz)	闪烁频率 (Hz)	相对示值误差(%)	相对测量不确定度 ( $k=2$ )
1	1.03	-2.9	0.3%
10	10.18	-1.8	0.3%
20	20.06	-0.3	0.3%
50	49.45	1.1	0.3%
100	99.18	0.8	0.3%
125	124.1	0.5	0.3%

### (3) 闪烁频率稳定度

校准方法：设置标准闪烁光源闪烁频率，由光电探测器和频率计测得标准闪烁光源的闪烁频率。每间隔 3 min 记录一次，30min 共记录 11 个值。

$$\Delta f = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\bar{f}} \times 100\%$$

式中：

$\Delta f$ ——频率稳定度，%；

$f_{\max}$ ——30min 内频率最大测量值，Hz；

$f_{\min}$ ——30min 内频率最小测量值，Hz；

$\bar{f}$ ——30min 内频率平均测量值，Hz。

校准结果：

频率标称值 (Hz)	时间 (min)	频率实测值 (Hz)	频率平均值 (Hz)	频率稳定度
20	0	20.07	20.066	0.05%
	3	20.07		
	6	20.06		
	9	20.07		
	12	20.06		
	15	20.07		
	18	20.06		
	21	20.07		
	24	20.07		
	27	20.06		
	30	20.07		

(4) 响应时间

校准方法：连接调整标准闪烁光源和测量设备，使光电探测器垂直对准标准闪烁光源的中心位置。开启标准闪烁光源，按说明书要求进行预热；设置标准闪烁光源响应时间，由光电探测器和示波器测得标准闪烁光源的响应时间，重复测量 3 次，取 3 次测量值的平均值作为响应时间测量值。

校准结果：

标准闪烁光源设置 $t_{\text{上升}}/t_{\text{下降}}$ (ms)	上升时间 (ms)	下降时间 (ms)	响应时间 (ms)	相对测量不 确定度 ( $k=2$ )
1/1	0.72	0.77	1.49	0.5%
2/2	1.52	1.57	3.09	0.5%
5/5	3.87	3.90	7.77	0.5%
10/10	7.85	7.91	15.76	0.5%
20/20	15.56	15.61	31.17	0.5%
50/50	38.61	38.69	77.30	0.5%

(5) 响应时间稳定度

校准方法：连接调整标准闪烁光源和测量设备，使光电探测器垂直对准标准闪烁光源的中心位置。设置标准闪烁光源响应时间，由光电探测器和示波器测得标准闪烁光源的响应时间。每间隔 3 min 记录一次，30min 共记录 11 个值。

$$\Delta T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{\bar{T}} \times 100\%$$

式中：

$\Delta T$ ——响应时间稳定度，%；

$T_{\max}$ ——30min 内响应时间最大测量值，ms；

$T_{\min}$ ——30min 内响应时间最小测量值，ms；

$\bar{T}$ ——30min 内响应时间平均测量值，ms。

校准结果：

时间 (min)	上升时间 实测值(ms)	下降时间 实测值(ms)	响应时间 实测值(ms)	响应时间平均值 (ms)	响应时间 稳定度
0	15.56	15.61	31.17	31.186	0.16%
3	15.58	15.63	31.21		
6	15.57	15.64	31.21		
9	15.58	15.62	31.20		
12	15.55	15.61	31.16		
15	15.56	15.61	31.17		
18	15.56	15.62	31.18		
21	15.57	15.61	31.18		
24	15.56	15.61	31.17		
27	15.56	15.63	31.19		
30	15.57	15.64	31.21		

## 八、 校准结果不确定度分析示例

### 1 闪烁度测量不确定度评定

本示例以闪烁度校准点-6dB 和-38dB 为例进行闪烁度不确定度的评定。

#### 1.1 测量模型

被校标准闪烁光源的闪烁度的测量模型为：

$$F = F_s \quad (1.1)$$

式中：

$F$ ——闪烁度标准值，dB；

$F_s$ ——闪烁度测量值，dB。

#### 1.2 不确定度分量评定

不确定度来源主要包括：光电探测器响应非线性引入的不确定度，示波器幅度测量引入的不确定度，标准闪烁光源的闪烁度不稳定性引入的不确定度，以及测量重复性引入的不确定度。

##### 1.2.1 光电探测器响应非线性引入的标准不确定度分量 $u_1(F)$

光电探测器响应非线性为 1%，引入的闪烁度测量最大误差为 1%，认为该项服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为：

$$u_1(F) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} \approx 0.58\%， \text{ 即 } u_1(F) = 0.025\text{dB}。$$

##### 1.2.2 示波器幅度测量引入的标准不确定度分量 $u_2(F)$

示波器的幅度测量的最大允许误差为±2%，认为该项服从均匀分布，引入的电压测量标准不确定度为 $\frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$ ，根据推导，由此引入的闪烁度测量标准不确定度为：

$u_2(F) = 1.15\% * 0.614 \approx 0.88\%$ ，即 $u_2(F) = 0.031\text{dB}$ 。

1.2.3 标准闪烁光源的闪烁度不稳定性引入的测量不确定度 $u_3(F)$

标准闪烁光源在 30 min 的亮度稳定度为 0.3%转化成对数约为 0.013 dB，此项不确定度服从均匀分布，因此不稳定性引入的不确定度为： $u_3(F) = \frac{0.013\text{dB}}{2 \times \sqrt{3}} \approx 0.004\text{dB}$ 。

1.2.4 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_4(F)$

用测量装置对标准闪烁光源的闪烁度进行 10 次独立重复测量，测量数据如表 1.1 所示。根据贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差  $s=0.02\text{dB}$ ，则测量重复性引入的不确定度分量 $u_4(F) = 0.02\text{dB}$ 。

表 1.1 闪烁度测量重复性实验结果（单位：dB）

测量次数	测量值	
	-6	-38
1	-6.04	-38.12
2	-6.07	-38.27
3	-6.05	-37.95
4	-6.06	-38.21
5	-6.09	-37.91
6	-6.04	-38.14
7	-6.03	-38.03
8	-6.02	-37.85
9	-6.06	-38.16
10	-6.05	-38.18
平均值	-6.05	-38.08
$s_n$	0.02	0.14

1.3 合成标准不确定度的评定

表 1.2 闪烁度测量不确定度分量来源一览表

标准不确定度	不确定度来源	评定方法		标准不确定度
$u_1(F)$	光电探测器响应非线性	B 类		0.025dB
$u_2(F)$	示波器幅度测量	B 类		0.038dB
$u_3(F)$	标准闪烁光源的闪烁度不稳定	B 类		0.004dB
$u_4(F)$	测量重复性	A 类	闪烁度：-6dB	0.02dB
			闪烁度：-38dB	0.14dB

由于各标准不确定度分量不相关，故合成标准不确定度为：

当闪烁度为-6dB 时，

$u_c = \sqrt{(u_1(F))^2 + (u_2(F))^2 + (u_3(F))^2 + (u_4(F))^2} = 0.045\text{dB}$

当闪烁度为-38dB 时，

$$u_c = \sqrt{(u_1(F))^2 + (u_2(F))^2 + (u_3(F))^2 + (u_4(F))^2} = 0.15\text{dB}$$

#### 1.4 扩展不确定度的评定

取  $k=2$ ，则闪烁度的扩展测量不确定度为：

当闪烁度为-6dB 时，

$$U = ku_c = 0.09\text{dB}, k=2。$$

当闪烁度为-38dB 时，

$$U = ku_c = 0.30\text{dB}, k=2。$$

## 2 闪烁频率测量不确定度评定

本示例以闪烁频率校准点 20Hz 为例进行闪烁频率不确定度的评定。

### 2.1 测量模型

被校准标准闪烁光源的频率示值误差的测量模型为：

$$\Delta f = \frac{f_t - f_s}{f_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

式中：

$\Delta f$ ——闪烁频率的相对示值误差，%；

$f_t$ ——闪烁频率标称值，Hz；

$f_s$ ——闪烁频率测量值，Hz。

### 2.2 不确定度分量评定

不确定度来源主要包括：光电探测器响应时间引入的不确定度，频率计频率测量引入的不确定度，标准闪烁光源的频率不稳定性引入的不确定度，以及标准闪烁光源频率的测量重复性引入的不确定度。

#### 2.2.1 光电探测器响应时间引入的标准不确定度分量 $u_1(f)$

光电探测器响应时间为  $10 \mu\text{s}$ ，引入的频率测量最大误差为 0.02%，认为该项服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为：

$$u_1(f) = \frac{0.02\%}{\sqrt{3}} \approx 0.012\%$$

#### 2.2.2 频率计频率测量误差引入的标准不确定度分量 $u_2(f)$

频率计的频率测量的最大允许误差为  $\pm 0.1\%$ ，认为该项服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度为：

$$u_2(f) = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \approx 0.06\%$$

#### 2.2.3 标准闪烁光源的频率不稳定性引入的标准不确定度分量 $u_3(f)$

标准闪烁光源的 30 min 的频率稳定度为 0.05%，此项服从均匀分布，因此不稳定性引入的不确定度为： $u_3(f) = \frac{0.05\%}{\sqrt{3}} \approx 0.03\%$ 。

#### 2.2.4 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_4(f)$

用测量装置对标准闪烁光源的频率进行 10 次独立重复测量，测量数据如表 2.1 所示。根据贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差  $s=0.027\text{Hz}$ ，则测量重复性引入的不确定度分量  $u_4(f) = \frac{0.027}{30} \times 100\% = 0.09\%$ 。

表 2.1 闪烁频率测量重复性实验结果（单位：Hz）

测量次数	测量值
1	20.01
2	20.02
3	20.05
4	20.06
5	20.04
6	20.03
7	20.07
8	20.08
9	20.09
10	20.07
平均值	20.05
$s_n$	0.027
$u_4(f)$	0.09%

### 2.3 合成标准不确定度的评定

表 2.2 闪烁频率测量不确定度分量来源一览表

标准不确定度	不确定度来源	评定方法	标准不确定度分量
$u_1(f)$	光电探测器响应时间	B 类	0.012%
$u_2(f)$	频率计频率测量误差	B 类	0.06%
$u_3(f)$	标准闪烁光源的频率不稳定性	B 类	0.03%
$u_4(f)$	测量重复性	A 类	0.09%

由于各标准不确定度分量不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{(u_1(f))^2 + (u_2(f))^2 + (u_3(f))^2 + (u_4(f))^2} \approx 0.12\%$$

### 2.4 扩展不确定度的评定

取  $k=2$ ，则标准闪烁光源的闪烁频率的扩展测量不确定度为：

$$U_{rel}=ku_c=0.24\%, k=2。$$

## 3 响应时间测量不确定度评定

本示例以响应时间校准点 3.00ms 为例进行响应时间不确定度的评定。

### 3.1 测量模型

被校标准闪烁光源的响应时间的测量模型为：

$$T = T_s \quad (3.1)$$

式中：

$T$ ——响应时间标准值，ms；

$T_s$ ——响应时间测量值，ms。

### 3.2 不确定度分量评定

不确定度来源主要包括：光电探测器响应时间引入的不确定度，示波器时间测量引入的不确定度，以及响应时间测量重复性引入的不确定度。

#### 3.2.1 测量装置带宽不充分引入的标准不确定度分量 $u_1(T)$

标准器由示波器（带宽 200MHz 以上）和光电探测器组成，则测量装置的瞬



态响应时间为 $t_r = \sqrt{\left(\frac{0.35}{200 \times 10^3}\right)^2 + (10/1000)^2} \approx 0.01\text{ms}$ , 被测的响应时间为 3ms, 则引入的最大相对误差为:

$$\delta = \frac{\sqrt{(3)^2 + (0.01)^2} - 3}{3} \times 100\% = 0.001\%$$

设为均匀分布, 则测量装置带宽不充分引入的标准不确定度分量为:

$$u_1(T) = 0.001\% / \sqrt{3} \approx 0.001\%$$

3.2.2 示波器时间测量引入的标准不确定度分量 $u_2(T)$

示波器在 0.5ns~5s 的时间测量误差为 0.2%, 认为该项服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度为:  $u_2(T) = 0.2\% / \sqrt{3} = 0.12\%$ 。

3.2.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_3(T)$

用测量装置对标准闪烁光源的响应时间进行 10 次独立重复测量, 测量数据如表 3.1 所示。

表 3.1 响应时间测量重复性实验结果 (单位: ms)

测量次数	测量值
1	3.02
2	3.03
3	3.03
4	3.03
5	3.02
6	3.01
7	3.02
8	3.04
9	3.02
10	3.03
平均值	3.025
$s_n$	0.009

根据贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差  $s=0.009\text{ms}$ , 测量 3 次取平均值, 则测量重复性引入的不确定度分量 $u_3(T) = \frac{0.009}{3.025 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.18\%$ 。

3.3 合成标准不确定度的评定

表 3.2 响应时间测量不确定度分量来源一览表

标准不确定度	不确定度来源	评定方法	标准不确定度分量
$u_1(T)$	光电探测器响应时间	B 类	0.001%
$u_2(T)$	示波器时间测量	B 类	0.12%
$u_3(T)$	测量重复性	A 类	0.18%

由于各标准不确定度分量不相关, 故合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{(u_1(T))^2 + (u_2(T))^2 + (u_3(T))^2} \approx 0.22\%$$

### 3.4 扩展不确定度的评定

取  $k=2$ ，则响应时间的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = ku_c = 0.44\%, \quad k=2。$$

## 九、 实验报告小结

使用数字示波器、光电探测器、频率计对显示用标准闪烁光源进行校准。  
实验数据表明，该校准方法可靠并切实可行。