



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

## 低频信号发生器校准规范

Calibration Specification of Low-frequency Signal Generators

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

XXXX校准规范  
Calibration Specification of Low-  
frequency Signal Generators

JJF XXXX—XXXX  
代替 JJG602—2014

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：浙江省质量科学研究院  
湖北省计量测试技术研究院  
中国计量科学研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院  
山东省计量科学研究院

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

孙 杰（浙江省质量科学研究院）  
顾夏珍（浙江省质量科学研究院）  
葛久志（湖北省计量测试技术研究院）

参加起草人：

张子龙（中国计量科学研究院）  
方 维（浙江省质量科学研究院）  
刘 晓（山东省计量科学研究院）  
王 芳（湖北省计量测试技术研究院）

# 目录

引言	I
1 范围	1
2 概述	1
3 计量特性	1
3.1 频率	1
3.2 电压幅度	1
3.3 额定输出功率	1
3.4 衰减	2
3.5 输出正弦波信号总失真系数	2
4 校准条件	2
4.1 环境条件	2
4.2 校准用设备	2
5 校准项目和校准方法	2
5.1 校准项目	2
5.2 校准方法	3
6 校准结果表达	7
7 复校时间间隔	7
附录 A 原始记录内页格式	8
附录 B 校准证书内页格式	12
附录 C 主要项目测量不确定度评定示例	16

## 引 言

本规范依据 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》编制。

本规范是对 JJG 602—2014《低频信号发生器检定规程》的修订，与 JJG 602—2014 相比，主要修订的内容包括：

——编写格式符合 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》的要求；

——检定规程改为校准规范；

——频率范围由“10mHz~1MHz”修改为“10Hz~1MHz”；电压幅度范围由“10mV~300V（峰值）和 0V~20V（有效值）”修改为“10mV~500V”；额定输出功率范围由“4W、5W 或仪器使用手册的给出值”修改为“0.5W~450W”。

——频率最大允许误差由“ $\pm(0.02\%\sim2\%)$ ”修改为“ $\pm(0.001\%\sim3\%)$ ”；频率稳定度（频率漂移）由“ $(0.02\%\sim0.4\%)/h$ ”修改为“ $(0.0005\%\sim0.4\%)/h$ ”；电压幅度最大允许误差由“ $\pm(2\%\sim10\%)$ ”修改为“ $\pm(0.5\%\sim10\%)$ ”；电压幅度幅频特性由“ $\pm(0.2\%\sim6.0\%)$ ”修改为“ $\pm(0.1\%\sim12\%)$ ”；额定输出功率幅频特性由“ $\pm(0.2\%\sim6.0\%)$ ”修改为“ $\pm(0.2\%\sim12\%)$ ”；衰减最大允许误差由“ $\pm(0.2\text{dB}\sim3.0\text{dB})$ ”修改为“ $\pm(0.05\text{dB}\sim3.0\text{dB})$ ”；电压输出端正弦波信号总失真系数由“0.03%~1.0%”修改为“0.01%~5.0%”；功率输出端正弦波信号总失真系数由“0.5%~1.5%”修改为“0.15%~5.0%”。

——校准用设备测量范围做了相应修改，并将文字描述的最大允许误差进行了量化；

——删除电压指示表项目，删除电压指标表频率附加误差项目。

本规范历次版本发布情况如下：

——JJG 602—2014；

——JJG 602—1996；

——JJG 230—1980；

——JJG 64—1990。

## 低频信号发生器校准规范

### 1、范围

本规范适用于正弦波低频信号发生器的校准。

### 2、概述

低频信号发生器主要用于机械、力学、地震、土木、电力、环境监测、汽车电子等领域的电子设备的测试和维修。主要由振荡电路、放大电路、功率放大器、幅度调节电路、衰减电路和电源电路等部分组成。振荡电路产生低频正弦波，送至放大电路和功率放大器进行放大后，经幅度调节电路和衰减电路输出电压和功率。（原理框图如图 1 所示）

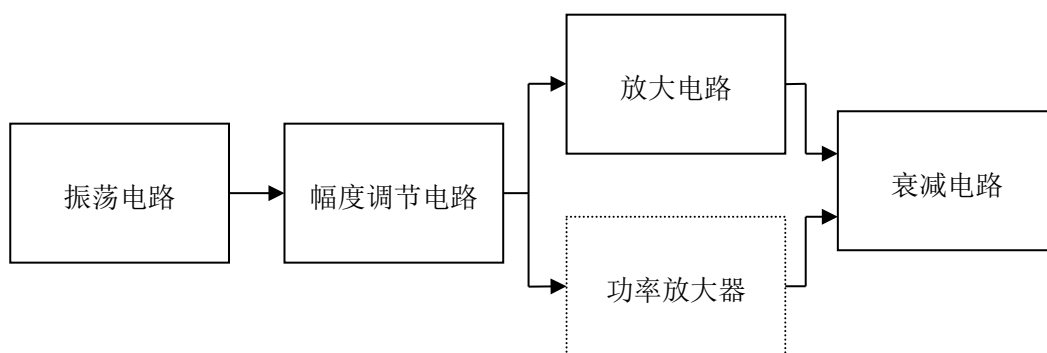


图 1 低频信号发生器原理框图

### 3、计量特性

#### 3.1 频率

范围：10Hz～1MHz；

最大允许误差：±（0.001%～3%）；

频率稳定度（频率漂移）：（0.0005%～0.4%）/h。

#### 3.2 电压幅度

范围：10mV～500V（10Hz～1MHz，输出衰减器 0dB 时）；

最大允许误差：±（0.5%～10%）；

电压幅度幅频特性：±（0.2%～12%）（参考频率 1kHz 或者生产厂家指定）。

#### 3.3 额定输出功率

额定输出功率范围：0.5W～450W，其对应额定负载电阻的典型值为 8 Ω、50 Ω、75 Ω、150 Ω、200 Ω、600 Ω、5 kΩ，其他可参考仪器说明书的给出值；

额定输出功率幅频特性：±（0.2%～12%）（参考频率 1kHz 或者生产厂家指定）。

### 3.4 衰减

范围：0dB~100dB；

最大允许误差：±（0.05dB~3.0dB）。

### 3.5 输出正弦波信号总失真系数

电压输出端：0.01%~5.0%（输出电压3V时）；

功率输出端：0.15%~5.0%。

注：以上技术指标不作合格性判定，仅提供参考。

## 4、校准条件

### 4.1 环境条件

4.1.1 环境温度：（23±5）℃。

4.1.2 相对湿度：（20%~80%）。

4.1.3 供电电源：（220±22）V，（50±1）Hz。

4.1.4 其它：无影响仪器正常工作的电磁干扰及机械振动。

### 4.2 校准用设备

#### 4.2.1 频率计

频率测量范围：1Hz~1MHz；

最大允许误差：±（0.0001%~0.3%）。

#### 4.2.2 标准电压表

频率范围：10Hz~1MHz；

电压测量范围：10mV~500V；

最大允许误差：±（0.1%~3%）。

#### 4.2.3 失真度测量仪

频率范围：5Hz~200kHz；

失真度测量范围：0.01%~30%；

最大允许误差：±（5%~10%）。

#### 4.2.4 负载电阻

金属膜电阻；

电阻标称值：4 Ω-5 kΩ（典型值 8 Ω）；

最大允许误差：±5%电阻标称值；

功率：其值应不低于额定输出功率的二倍。

## 5、校准项目和校准方法

### 5.1 校准项目

校准项目见表1。

表 1 校准项目表

序号	项目名称
1	频率
2	频率稳定度
3	输出电压幅度
4	输出电压幅度幅频特性
5	额定输出功率及幅频特性
6	衰减
7	电压输出正弦波信号总失真系数
8	功率输出正弦波信号总失真系数

## 5.2 校准方法

### 5.2.1 外观及工作正常性检查

被校低频信号发生器的外观应完好，各开关、按键等调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤。被校低频信号发生器应有说明书、及配套附件。

被校低频信号发生器按技术说明书规定时间预热，预热后应显示正常。

### 5.2.2 频率

a) 仪器连接如图 2 所示。

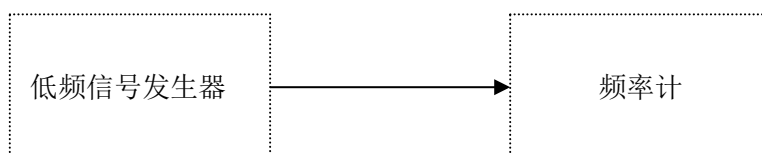


图 2 频率校准连接示意图

b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，调节输出幅度为适当值，使频率计正常工作，调节频率至被校点。

c) 设置频率计为频率测试状态，读取频率值，记录于附录 A 表 A.2 中。

d) 改变被校低频信号发生器频率，重复 c)。

### 5.2.3 频率稳定度

a) 仪器连接如图 2 所示。

b) 被校低频信号发生器按规定预热后，设置为正弦波输出，调节输出幅度为适当值，使频率计正常工作，



- c) 调节被校低频信号发生器频率至频率范围高端的上限值 $f_u$ 。
- d) 设置频率计为频率测试状态，读取频率值 $f_s$ ，记录于附录 A 表 A.3 中。
- e) 按公式 (1) 计算频率稳定度 A，记录到附录 A 表 A.3 中；

$$A = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_u} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$f_{\max}$ ——频率计测量的实测值 $f_s$ 中的最大值，(Hz)；

$f_{\min}$ ——频率计测量的实测值 $f_s$ 中的最小值，(Hz)；

$f_u$ ——被校频率标称值，(Hz)。

- f) 每隔 10 分钟重复 d) 到 e)，共测量 1 小时。

#### 5.2.4 输出电压幅度

- a) 仪器连接如图 3 所示。



图 3 输出电压幅度校准连接示意图

- b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，输出衰减器设置为 0dB，按频率范围选择输出频率，调节电压幅度至被校点。
- c) 设置标准电压表为交流电压测试状态，读取电压幅度值，记录于附录 A 表 A.4 中。
- d) 改变被校低频信号发生器输出电压幅度，重复 c)。
- e) 改变被校低频信号发生器输出频率，重复 c) 到 d)。

#### 5.2.5 输出电压幅度幅频特性

- a) 仪器连接如图 3 所示。
- b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，参考频率设置为 1kHz（或者生产厂家指定值），调节电压幅度至最大输出幅度（或额定输出幅度）并保持。
- c) 设置标准电压表为交流电压测试状态，读取电压幅度值 $U_{f0}$ ，记录到附录 A 表 A.5 中。
- d) 改变被校低频信号发生器频率，从标准电压表读取电压幅度值 $U_f$ 。
- e) 按公式 (2) 或 (3) 计算输出电压幅度幅频特性 $A_v$ ，记录到附录 A 表 A.5 中，重复 d) 到 e)。

$$A_v = \frac{U_f - U_{f0}}{U_{f0}} \times 100\% \quad (2)$$

$$A_v = 20 \lg \frac{U_f}{U_{f0}} \quad (3)$$

式中：

$A_v$ ——输出电压幅度幅频特性；

$U_f$ ——其他频率点电压幅度实际值，V；

$U_{f0}$ ——参考频率点电压幅度实际值，V。

### 5.2.6 额定输出功率及幅频特性

a) 仪器连接如图 3 所示。

b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，功率输出端接入匹配负载电阻  $R$ ，参考频率设置为 1kHz（或者生产厂家指定值），调节电压输出幅度至额定输出功率并保持。

c) 设置标准电压表为交流电压测试状态，读取电压幅度值  $U_{f0}$ ，按公式（4）计算额定输出功率  $P_{f0}$ ，记录到附录 A 表 A.6 中。

d) 改变被校低频信号发生器频率，从标准电压表读取电压幅度值  $U_f$ ，按公式（5）计算额定输出功率  $P_f$ ，记录到附录 A 表 A.6 中。

e) 按公式（6）或（7）计算额定输出功率幅频特性  $A_p$ ，记录到附录 A 表 A.6 中，重复 d) 到 e)。

$$P_{f0} = \frac{U_{f0}^2}{R} \quad (4)$$

$$P_f = \frac{U_f^2}{R} \quad (5)$$

$$A_p = \frac{P_f - P_{f0}}{P_{f0}} \times 100\% \quad (6)$$

$$A_p = 10 \lg \frac{P_f}{P_{f0}} \quad (7)$$

式中：

$A_p$ ——额定输出功率幅频特性；

$U_f$ ——其他频率点电压幅度实际值，V；

$U_{f0}$ ——参考频率点电压幅度实际值，V；

$R$ ——匹配负载电阻， $\Omega$ ；

$P_f$ ——其他频率点功率实际值，W；

$P_0$ ——参考频率点功率实际值，W。

### 5.2.7 衰减

a) 仪器连接如图 3 所示。

b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，参考频率设置为 1kHz（或者生产厂家指定值），调节电压幅度至最大输出幅度并保持，输出衰减器设置为 0dB。

c) 设置标准电压表为交流电压测试状态，读取电压幅度值  $U_0$ 。

d) 逐档改变被校低频信号发生器衰减量，从标准电压表读取电压幅度值  $U_x$ ，按公式（8）计算衰减  $A_x$ ，记录到附录 A 表 A.7 中。

$$A_x = 20 \left| \lg \frac{U_x}{U_0} \right| \quad (8)$$

式中：

$A_x$ ——衰减，dB；

$U_x$ ——衰减器设置为各档衰减位置时电压幅度值，V；

$U_0$ ——衰减器设置为 0dB 时电压幅度值，V。

e) 改变被校低频信号发生器频率，重复 d)。

### 5.2.8 电压输出正弦波信号总失真系数

a) 仪器连接如图 4 所示。

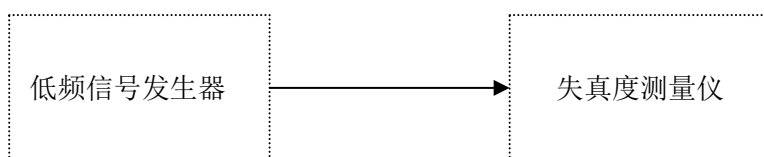


图 4 电压输出正弦波信号总失真系数校准连接示意图

b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，输出幅度设置为 3V，频率设置为被较频率点。

c) 设置失真度测量仪为失真度测量状态，读取失真度值，记录到附录 A 表 A.8 中。

d) 改变被校低频信号发生器频率值，重复 c)。

### 5.2.9 功率输出正弦波信号总失真系数

- a) 仪器连接如图 4 所示。
- b) 设置被校低频信号发生器为正弦波输出状态，功率输出端接入功率输出规定匹配负载电阻，输出幅度设置为 3V，频率设置为被较频率点。
- c) 设置失真度测量仪为失真度测量状态，读取失真度值，记录到附录 A 表 A.9 中。
- d) 改变被校低频信号发生器频率值，重复 c)。

## 6、校准结果表达

低频信号发生器校准后，出具校准证书，校准证书至少应包含以下信息：

- 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和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 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) 校准证书或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，不得部分复制证书的声明。

## 7、复校时间间隔

低频信号发生器复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。

## 附录 A

## 原始记录内页格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

表 A.2 频率

频段	标称值	实测值	不确定度 $U(k=2)$

表 A.3 频率稳定度

频率标称值	时间/min	实测值	不确定度 $U(k=2)$
	0		
	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
	60		

频率稳定度		
-------	--	--

表 A. 4 输出电压幅度

频率	10 Hz		1 kHz		1MHz	
标称值	实测值	不确定度 $U(k=2)$	实测值	不确定度 $U(k=2)$	实测值	不确定度 $U(k=2)$

表 A. 5 输出电压幅度幅频特性

频率 Hz	输出电压幅度 V	实测值 V	幅频特性 %	不确定度 $U(k=2)$
— — —				
10				
— — —				
频率 kHz	输出电压幅度 V	实测值 V	幅频特性 %	不确定度 $U(k=2)$
1				
— — —				
1000				

表 A.6 额定输出功率及幅频特性

频率 Hz	额定功率 W	功率实测值				幅频特性 %		不确定 度 $U$ ( $k=2$ )
		电阻值		电阻值		电阻值	电阻值	
		电压 V	功率 W	电压 V	功率 W			
— — —								
10								
— — —								
1 kHz								
— — —								
1 MHz								

表 A.7 衰减

频率	1 kHz			10 Hz		
标称值 dB	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U$ ( $k=2$ )	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U$ ( $k=2$ )
0						

频率	1 MHz			频率值		
标称值 dB	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U(k=2)$	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U(k=2)$
0						

表 A.8 电压输出正弦波信号总失真系数

频率 Hz	失真度 %	不确定度 $U_{rel}(k=2)$	频率 kHz	失真度 %	不确定度 $U(k=2)$
10			2		
20			5		
—			—		
—			—		
—			—		

表 A.9 功率输出正弦波信号总失真系数（负载电阻：      ）

频率 Hz	失真度 %	不确定度 $U_{rel}(k=2)$	频率 kHz	失真度 %	不确定度 $U(k=2)$
10			2		
20			5		



—			—		
—			—		
—			—		

## 附录 B

### 校准证书内页格式

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

表 B.2 频率

频段	标称值	实测值	不确定度 $U(k=2)$

表 B.3 频率稳定度

频率标称值	时间/min	实测值	不确定度 $U(k=2)$
	0		
	10		
	20		
	30		

	40		
	50		
	60		
频率稳定度			

表 B.4 输出电压幅度

频率	10 Hz		1 kHz		1MHz	
标称值	实测值	不确定度 $U(k=2)$	实测值	不确定度 $U(k=2)$	实测值	不确定度 $U(k=2)$

表 B.5 输出电压幅度幅频特性

频率 Hz	输出电压幅度 V	实测值 V	幅频特性 %	不确定度 $U(k=2)$
— — —				
10				
— — —				
频率 kHz	输出电压幅度 V	实测值 V	幅频特性 %	不确定度 $U(k=2)$

1				
— — —				
1000				

表 B.6 额定输出功率及幅频特性

频率 Hz	额定功率 W	功率实测值				幅频特性 %		不确定 度 $U$ ( $k=2$ )
		电阻值		电阻值		电阻值	电阻值	
		电压 V	功率 W	电压 V	功率 W			
— — —								
10								
— — —								
1 kHz								
— — —								
1 MHz								

表 B.7 衰减

频率	1 kHz			10 Hz		
标称值 dB	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U$ ( $k=2$ )	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U$ ( $k=2$ )
0						

频率	1 MHz			频率值		
标称值 dB	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U(k=2)$	电压实测值 V	计算值 dB	不确定度 $U(k=2)$
0						

表 B. 8 电压输出正弦波信号总失真系数

频率 Hz	失真度 %	不确定度 $U_{rel}(k=2)$	频率 kHz	失真度 %	不确定度 $U_{rel}(k=2)$
10			2		
20			5		
—			—		
—			—		
—			—		

表 B. 9 功率输出正弦波信号总失真系数（负载电阻：      ）

频率 Hz	失真度 %	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$	频率 kHz	失真度 %	不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$
10			2		
20			5		
— — —			— — —		

## 附录 C

### 主要项目测量不确定度评定示例

#### C.1 频率校准不确定度评定

##### C.1.1 测量方法

使用通用计数器直接测量被校低频信号发生器输出信号的频率。

以使用 EE3386 通用计数器校准低频信号发生器 X010A 输出 100Hz 信号为例进行不确定评定。

##### C.1.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源有以下 3 项:

- (1) 通用计数器计数最大允许误差引入的不确定度分量  $u_1$ ;
- (2) 通用计数器分辨力引入的不确定度分量  $u_2$ ;
- (3) 重复性引入的不确定度分量  $u_3$ ;

##### C.1.3 标准不确定度评定

###### C.1.3.1 通用计数器计数最大允许误差引入的不确定度分量

对于通用计数器 EE3386, 其最大允许误差为  $\pm 3 \times 10^{-8}$ 。按均匀分布, 则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_1 = 1.7 \times 10^{-8}$ 。

###### C.1.3.2 通用计数器分辨力引入的不确定度分量

对于通用计数器 EE3386, 其频率测量位数为 10 位。按均匀分布, 则包含因子  $k_2 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_2 = 3.0 \times 10^{-11}$ 。

###### C.1.3.3 重复性引入的不确定度分量

X010A 输出 100Hz 信号频率重复性测量结果, 见表 C.1。

表 C.1 X010A 输出 100Hz 信号频率重复性测量结果

测量结果 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	100.02	100.01	100.05	100.04	100.05	100.05	100.03	100.01	100.04	100.04

经计算, 重复性引入的相对标准不确定度  $u_3=1.6 \times 10^{-4}$ 。

#### C.1.4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关, 则

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{(1.7 \times 10^{-8})^2 + (3.0 \times 10^{-11})^2 + (1.6 \times 10^{-4})^2} = 1.6 \times 10^{-4}$$

#### C.1.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ , 相对扩展不确定度  $U_r = k u_{\text{crel}} = 3.2 \times 10^{-4}$ 。

### C.2 电压幅度校准不确定度评定

#### C.2.1 测量方法

使用标准电压表直接测量被校低频信号发生器输出信号的电压幅度。

以使用 931B 标准电压表校准低频信号发生器 X010A 输出 5V (1kHz) 信号为例进行不确定度评定。

#### C.2.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源有以下 3 项:

- (1) 标准电压表最大允许误差引入的不确定度分量  $u_1$ ;
- (2) 标准电压表分辨力引入的不确定度分量  $u_2$ ;
- (3) 重复性引入的不确定度分量  $u_3$ ;

#### C.2.3 标准不确定度评定

##### C.2.3.1 标准电压表最大允许误差引入的不确定度分量

对于标准电压表 931B, 其 5V (1kHz) 点最大允许误差为  $\pm (0.05\% \times 5 + 0.005\% \times 10) = \pm 0.30 \times 10^{-2}(\text{V}) = \pm 3\text{mV}$ 。按均匀分布, 则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_1 = 1.7\text{mV}/5\text{V} = 3.4 \times 10^{-4}$ 。

##### C.2.3.2 标准电压表分辨力引入的不确定度分量

对于标准电压表 931B, 其在电压测量位数为 5 位。按均匀分布, 则包含因子  $k_2 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_2 = 3.0 \times 10^{-6}$ 。

##### C.2.3.3 重复性引入的不确定度分量

X010A 输出 5V（1kHz）信号电压重复性测量结果，见表 C.2。

表 C.2 X010A 输出 5V（1kHz）信号电压幅度重复性测量结果

测量结果 V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	4.959	4.958	4.954	4.955	4.958	4.955	4.958	4.958	4.959	4.958

经计算，重复性引入的相对标准不确定度  $u_3=3.6 \times 10^{-4}$ 。

#### C.2.4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{(3.4 \times 10^{-4})^2 + (3.0 \times 10^{-6})^2 + (3.6 \times 10^{-4})^2} = 5.0 \times 10^{-4}$$

#### C.2.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U_r = k u_{\text{crel}} = 1.0 \times 10^{-3}$ 。

### C.3 电压幅度幅频特性校准不确定度评定

#### C.3.1 测量方法

使用标准电压表直接测量被校低频信号发生器输出信号的参考频率点和其他频率点电压幅度，然后使用公式  $A_v = 20 \lg \frac{U_f}{U_{f0}}$ ，进行计算电压幅度幅频特性。

以使用 34401A 数字电压表校准低频信号发生器 X010A 输出 5V（1kHz）和 5V（100kHz）信号为例进行不确定评定。

#### C.3.2 不确定度来源

经分析，不确定度来源有以下 3 项：

- （1）标准电压表最大允许误差引入的不确定度分量  $u_{f1}$  和  $u_{f01}$ ；
- （2）由标准电压表分辨力引入的不确定度分量和  $u_{f2}$  和  $u_{f02}$ ；
- （3）重复性引入的不确定度分量  $u_{f3}$  和  $u_{f03}$ ；

#### C.3.3 标准不确定度评定

##### C.3.3.1 标准电压表最大允许误差引入的不确定度分量

对于标准电压表 34401A，其 5V（1kHz）点最大允许误差为  $\pm (0.06\% \times 5 + 0.03\% \times 10) = \pm 0.006\text{V} = \pm 6\text{mV}$ 。按均匀分布，则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ ，计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{f1} = 6\text{mV}/5\text{V} = 1.2 \times 10^{-3}$ ；其 5V（100kHz）点最大允许误差为  $\pm (0.60\% \times 5 + 0.08\% \times 10) = \pm 0.038\text{V} = \pm 38\text{mV}$ 。按均匀分布，则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ ，计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{f01} = 38\text{mV}/5\text{V} = 7.6$

$\times 10^{-3}$ 。

### C.3.3.2 标准电压表分辨力引入的不确定度分量

对于标准电压表 34401A，其在电压测量位数为 5 位。按均匀分布，则包含因子  $k_2=\sqrt{3}$ ，计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{f2}=3.0\times 10^{-6}$ ， $u_{f02}=3.0\times 10^{-6}$ 。

### C.3.3.3 重复性引入的不确定度分量

X010A 输出 5V（1kHz）和 5V（100kHz）信号电压重复性测量结果见表 C.3 和 C.4。

表 C.3 X010A 输出 5V（1kHz）信号电压幅度重复性测量结果

测量结果 V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	5.000	5.001	5.001	5.000	4.998	4.998	5.002	5.001	5.002	5.002

表 C.4 X010A 输出 5V（100kHz）信号电压幅度重复性测量结果

测量结果 V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	5.008	5.007	5.007	5.007	5.006	5.006	5.007	5.005	5.005	5.006

经计算，重复性引入的相对标准不确定度  $u_{f3}=3.0\times 10^{-4}$ ， $u_{f03}=1.9\times 10^{-4}$ 。

### C.3.4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则

$$u_{crel1} = \sqrt{(1.2 \times 10^{-3})^2 + (3.0 \times 10^{-6})^2 + (3.0 \times 10^{-4})^2} = 1.2 \times 10^{-3}$$

$$u_{crel2} = \sqrt{(7.6 \times 10^{-3})^2 + (3.0 \times 10^{-6})^2 + (1.9 \times 10^{-4})^2} = 7.6 \times 10^{-3}$$

基于和  $u_r$  和  $u_0$  计算公式，则

$$u_{crel} = \frac{20}{\ln 10} \times \sqrt{(u_{crel1})^2 + (u_{crel2})^2} = 0.067\text{dB}$$

### C.3.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，相对扩展不确定度  $U_r = k u_{crel} = 0.13\text{dB}$ 。

## C.4 总失真系数校准不确定度评定

### C.4.1 测量方法

使用音频分析仪直接测量被校低频信号发生器输出正弦波信号的总失真系数。

以使用 8903B 音频分析仪校准低频信号发生器 X010A 输出信号总失真系数为例进行不确定度评定。



## C.4.2 不确定度来源

经分析，不确定度来源有以下 3 项：

- (1) 音频分析仪最大允许误差引入的不确定度分量  $u_1$ ；
- (2) 音频分析仪分辨力引入的不确定度分量  $u_2$ ；
- (3) 重复性引入的不确定度分量  $u_3$ ；

## C.4.3 标准不确定度评定

### C.4.3.1 音频分析仪最大允许误差引入的不确定度分量

对于音频分析仪 8903B，其失真相对最大允许误差为  $\pm 10\%$ 。按均匀分布，则包含因子  $k_1=\sqrt{3}$ ，计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{1\text{rel}}=5.8\%$ 。

### C.4.3.2 音频分析仪分辨力引入的不确定度分量

对于音频分析仪 8903B，测量 0.0080% 失真度值时，其失真测量分辨力为 0.0001%，取其一半值为 0.00005%。按均匀分布，则包含因子  $k_2=\sqrt{3}$ ，计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{2\text{rel}}=0.63\%$ 。

### C.4.3.3 重复性引入的不确定度分量

X010A 输出信号失真度重复性测量结果，见表 C.5。

表 C.5 X010A 输出 100Hz 信号频率重复性测量结果

测量结果%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0081	0.0080	0.0080	0.0081	0.0081	0.0080

经计算，重复性引入的相对标准不确定度  $u_{3\text{rel}}=0.60\%$ 。

## C.4.4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{(5.8\%)^2 + (0.63\%)^2 + (0.60\%)^2} = 5.9\%$$

## C.4.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，相对扩展不确定度  $U_r = k u_{\text{crel}} = 12\%$ 。

## C.5 衰减校准不确定度评定

### C.5.1 测量方法

使用标准电压表直接测量被校低频信号发生器输出信号的电压幅度，然后使用

公式  $A_x = \left| 20 \lg \frac{U_x}{U_0} \right|$  进行计算衰减值。

以使用数字电压表校准低频信号发生器输出 10V (1kHz) 和 1V (1kHz) 信号为例进行 20dB 衰减不确定评定。

### C.5.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源有以下 3 项:

- (1) 标准电压表最大允许误差引入的不确定度分量  $u_{x1}$  和  $u_{01}$ ;
- (2) 标准电压表分辨力引入的不确定度分量和  $u_{x2}$  和  $u_{02}$ ;
- (3) 重复性引入的不确定度分量  $u_{x3}$  和  $u_{03}$ ;

### C.5.3 标准不确定度评定

#### C.5.3.1 标准电压表最大允许误差引入的不确定度分量

对于标准电压表 34401A, 其 10V (1kHz) 点最大允许误差为  $\pm (0.06\% \times 10 + 0.03\% \times 100) = \pm 0.03(\text{V}) = \pm 30\text{mV}$ 。按均匀分布, 则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{x1} = 18\text{mV}/10\text{V} = 1.8 \times 10^{-4}$ ; 其 1V (1kHz) 点最大允许误差为  $\pm (0.05\% \times 1 + 0.03\% \times 10) = \pm 0.003(\text{V}) = \pm 3\text{mV}$ 。按均匀分布, 则包含因子  $k_1 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{01} = 1.8\text{mV}/1\text{V} = 1.8 \times 10^{-4}$ 。

#### C.5.3.2 标准电压表分辨力引入的不确定度分量

对于标准电压表 34401A, 其在电压测量位数为 5 位。按均匀分布, 则包含因子  $k_2 = \sqrt{3}$ , 计算可得引入的相对标准不确定度  $u_{x2} = 3.0 \times 10^{-6}$ ,  $u_{02} = 3.0 \times 10^{-6}$ 。

#### C.5.3.3 重复性引入的不确定度分量

X010A 输出 10V (1kHz) 和 1V (1kHz) 信号电压重复性测量结果见表 C.6 和 C.7。

表 C.6 X010A 输出 10V (1kHz) 信号电压幅度重复性测量结果

测量结果 V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	10.02	10.02	10.03	10.02	10.03	10.03	10.02	10.02	10.02	10.02

表 C.7 X010A 输出 1V (1kHz) 信号电压幅度重复性测量结果

测量结果 V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1.002	1.001	1.002	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.001

经计算, 重复性引入的相对标准不确定度  $u_{x2} = 4.8 \times 10^{-4}$ ,  $u_{02} = 5.2 \times 10^{-4}$ 。

### C.5.4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关, 则

$$u_{\text{crel1}} = \sqrt{(1.8 \times 10^{-4})^2 + (3.0 \times 10^{-6})^2 + (4.8 \times 10^{-4})^2} = 5.1 \times 10^{-4}$$

$$u_{\text{crel2}} = \sqrt{(1.8 \times 10^{-4})^2 + (3.0 \times 10^{-6})^2 + (5.2 \times 10^{-4})^2} = 5.5 \times 10^{-4}$$

基于  $u_x$  和  $u_0$  计算公式，则

$$u_{\text{crel}} = \frac{20}{\ln 10} \times \sqrt{(u_{\text{crel1}})^2 + (u_{\text{crel2}})^2} = 0.0065 \text{dB}$$

### C.5.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，相对扩展不确定度  $U_r = k u_{\text{crel}} = 0.013 \text{dB}$ 。