

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

射频电压表校准规范

Calibration Specification of RF Voltmeters

(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

射频电压表校准规范

Calibration Specification of
RF Voltmeters

JJF x x x - x x x
代替 JIG 250-1990
JIG 308-2013

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

福建省计量科学研究院

广东省计量科学研究院

参加起草单位：

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：

XXX (XXXXXX)

XXX (XXXXXX)

XXX (XXXXXX)

参加起草人：

XXX (XXXXXX)

XXX (XXXXXX)

XXX (XXXXXX)

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 概述.....	(1)
3 计量特性.....	(1)
3.1 交流电压基本误差.....	(1)
3.2 交流电压频率附加误差.....	(1)
4 校准条件.....	(2)
4.1 环境条件.....	(2)
4.2 测量标准及其他设备.....	(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.....	(6)
7 复校时间间隔.....	(7)
附录A 原始记录格式.....	(8)
附录B 校准证书内页格式.....	(9)
附录C 不确定度评定示例.....	(10)

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写，相关术语及测量不确定度评定遵循 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》两个文件。

本规范是对 JJG 250-1990《电子电压表检定规程》和 JJG 308-2013《射频电压表检定规程》的修订。与原规程相比，本规范主要技术变化如下：

- 1) 检定规程改为校准规范；
- 2) 频率范围由“500MHz 以内”和“2GHz 以内”变更为“10Hz~3GHz”；
- 3) 修订了概述章节对射频电压表的描述；

本规范历次版本发布情况：

——JJG 250-1990

——JJG 308-2013

射频电压表校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围 10Hz~3GHz，电压范围 100 μ V~300V 的射频电压表的校准，其他电压、频率范围的射频电压表（包括电子电压表、超高频数字交流毫伏表、超高频毫伏表等）可参照此规范。

2 概述

射频电压表是基础的电子测量仪器，主要用于高、低频信号电压的测量。射频电压表由衰减器、检波放大单元和指示器组成，利用将射频信号转换成直流或低频信号后加以测量和指示的原理实现射频电压的测量。模拟式和数字式射频电压表的结构框图如图 1(a)和图 1(b)所示。

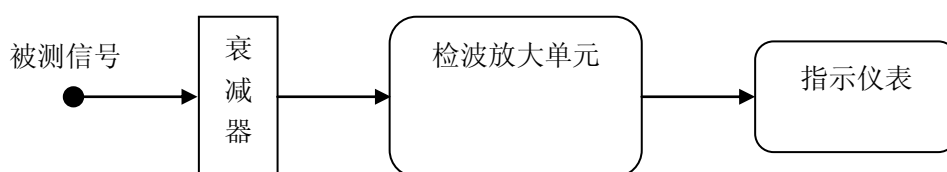


图 1(a)模拟式射频电压表结构框图

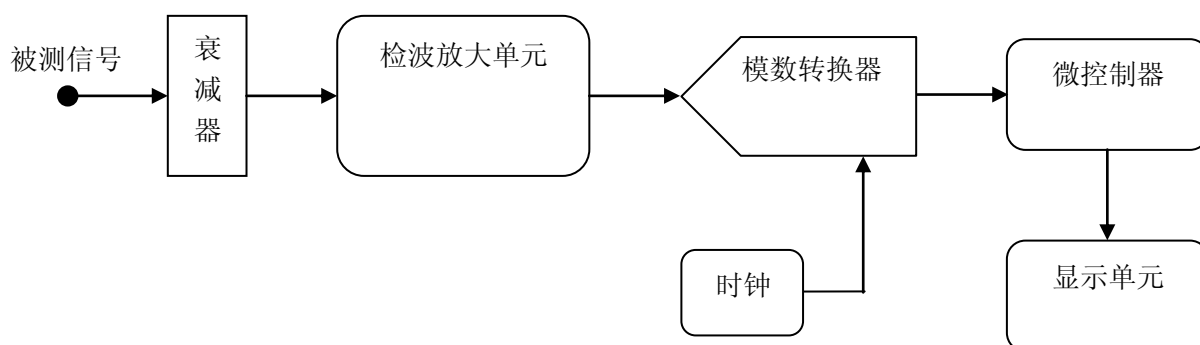


图 1(b)数字式射频电压表结构框图

3 计量特性

3.1 基本误差（定度频率）

测量范围：100 μ V~200V（10Hz~1MHz），100 μ V~300V（10Hz~100kHz）

最大允许误差： $\pm(1\sim5)\%$

注：根据仪器说明书选择合适的定度频率（如 1kHz、10kHz、100kHz 等）

3.2 频率附加误差

范围：200mV~1V（10Hz~3GHz）

最大允许误差：±（3~20）%（1kHz~3GHz）

注：以上技术指标仅供参考，不作合格性判断。

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：≤80%。

4.1.3 电源电压：（220±11）V；频率：（50±1）Hz。

4.1.4 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

4.2 测量标准及其他设备

4.2.1 交流电压标准源

电压范围：100μV~200V（10Hz~1MHz），100μV~300V（40Hz~100kHz）

最大允许误差：±（0.1%~2%）

4.2.2 交流电压标准表

电压范围：100μV~200V（10Hz~1MHz），100μV~300V（10Hz~100kHz）

最大允许误差：±（0.1%~2%）

4.2.3 交流电压源

电压范围：100μV~200V（10Hz~1MHz），100μV~300V（40Hz~100kHz）

正弦波失真度：<（0.1~0.5）%

输出稳定度：<（0.1~0.5）/10min

4.2.4 信号发生器

电压范围：100mV~2.5V

频率范围：10Hz~3GHz

幅度稳定度：<0.02dB/10min

4.2.5 高频电压标准

电压范围：0.1V~1.5V；

频率范围：10Hz~3GHz；

基本误差：±（0.3~0.5）%；

频率附加误差：±（0.5~1.5）%

注：校准用测量标准的允许误差不大于被校仪器最大允许误差的三分之一。

5 校准项目和校准方法

5.1 校准项目

射频电压表校准项目见表 1。

表 1 射频电压表校准项目表

序号	校准项目名称	条款
1	外观及工作正常性检查	5.2.1
2	基本误差	5.2.2
3	频率附加误差	5.2.3

5.2 校准方法

5.2.1 外观及工作正常性检查

- 被校射频电压表的外观应完好，配套附件齐全，各开关、按键等功能正常，无影响正常开展校准工作的机械损伤。
- 被校射频电压表按其说明书规定的时间预热后应能正常工作；显示功能正常；调节与测量配置功能正常；有自检功能的，应能通过自检。
- 检查结果记录在附录 A。

5.2.2 基本误差

5.2.2.1 标准源法

- 按图 2(a)连接仪器。

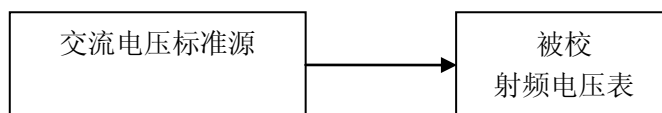


图 2 (a) 基本误差标准源法校准框图

- 根据量程选取校准点，选择一个常用量程作为基本量程，对于模拟式表，每个刻度线均选为校准点，对于数字式表，均匀选取不少于 5 个校准点。其他量程选取不少于 3 个校准点（模拟式表一般选取量程满度值的 1/3、2/3 及满度值，数字式表一般选取满度值的 1/5、1/2 及满度值或略低于满度值）。
- 设置交流电压标准源的电压频率为定度频率。
- 根据校准点，调节交流电压标准源的输出交流电压幅度，被校表指示值记为 U_x ，标准源指示值记为 U_s 。
- 模拟式表按公式 (1)、数字式表按公式 (2) 计算基本误差。

$$\Delta = \frac{U_x - U_s}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

Δ ——被校表基本误差，%；

U_x ——被校表指示值，V；
 U_s ——交流电压标准源指示值，V；
 U_N ——被校表量程满度值，V。

$$\Delta = \frac{U_x - U_s}{U_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

Δ ——被校表基本误差，%；
 U_x ——被校表指示值，V；
 U_s ——交流电压标准源指示值，V。

5.2.2.2 标准表法

a) 按图 2(b)连接仪器。

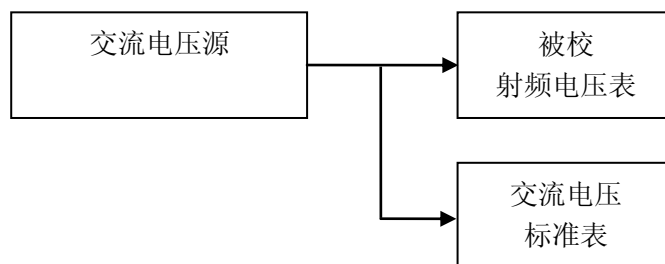


图 2 (b) 基本误差标准表法校准框图

b) 校准点选取方法同 1)。

c) 设置交流电压源的电压频率为定度频率。

d) 根据校准点，调节交流电压源的输出交流电压幅度，被校表指示值记为 U_x ，标准表指示值记为 U_s 。

f) 模拟式表按公式 (3)、数字式表按公式 (4) 计算基本误差。

$$\Delta = \frac{U_x - U_s}{U_N} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

Δ ——被校表基本误差，%；
 U_x ——被校表指示值，V；
 U_s ——标准表指示值，V；
 U_N ——被校表量程满度值，V。

$$\Delta = \frac{U_x - U_s}{U_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

Δ ——被校表基本误差，%；

U_x ——被校表指示值，V；

U_s ——标准表指示值，V。

5.2.3 频率附加误差

5.2.3.1 固定标准读被校法

a) 按图 3 连接仪器。

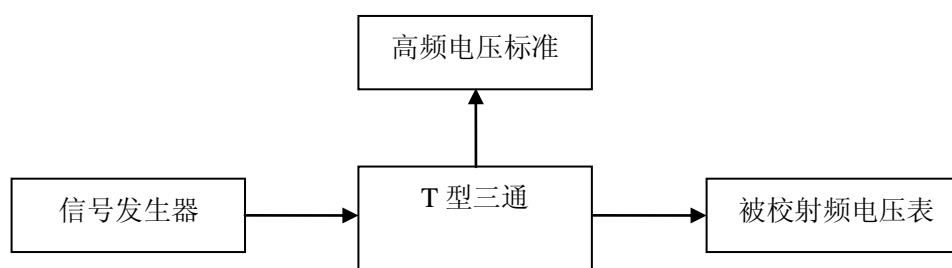


图 3 频率附加误差校准框图

b) 待校频率点的选取应根据被校表频率范围而定，一般覆盖上下限、定度频率点，在频率附加误差发生较大改变处适当多选。

c) 选定被校表的量程(优选 1V 档)，将信号发生器的频率设置为被校表的定度频率，调节其输出电压幅度，使被校表的指示接近满量程（优选 0.8 倍），此时高频电压标准的指示值记为 U_0 ，被校表的指示值记为 U_{f0} 。

d) 置信号发生器至待校频率，同时调节其输出电压幅度，使高频电压标准的指示值 U_0 保持不变，此时被校表的指示值记为 U_f 。

e) 按式（5）计算被校表的频率附加误差。

$$\Delta U_f = \frac{U_f - U_{f0}}{U_{f0}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

ΔU_f ——频率附加误差，%；

U_f ——待校频率点被校表指示值，V；

U_{f0} ——定度频率点被校表指示值，V；

f) 数字式表一般采用固定标准读被校法。

5.2.3.2 固定被校读标准法

- a) 按图 3 连接仪器。
- b) 待校频率点的选取同 1 b)
- c) 选定被校表的量程(优选 1V 档), 将信号发生器的频率设置为被校表的定度频率, 调节其输出电压幅度使被校表的指示接近满量程(优选 0.8 倍), 被校表电压指示值记为 U_x , 此时高频电压标准的指示值记为 U_{f0} 。
- d) 置信号发生器至待校频率, 同时调节其输出电压幅度, 保持被校表指示值 U_x 不变, 此时高频电压标准的指示值记为 U_f 。
- e) 按式 (6) 计算被校表的频率附加误差。

$$\Delta U_f = \frac{U_{f0} - U_f}{U_f} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

ΔU_f ——频率附加误差, %。

U_{f0} ——定度频率点功率传递标准的电压指示值, V;

U_f ——待校频率点功率传递标准的电压指示值, V。

- g) 模拟式表一般采用固定被校读标准法。

6 校准结果表达

射频电压表校准后, 出具校准证书。校准证书应至少包括以下信息:

- 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说明；
- 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

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

原始记录格式

一、外观及工作正常性检查：正常 不正常_____

二、交流电压基本误差：

表 A.1 交流电压基本误差

定度频率：_____

量程	标准示值	被校示值	误差 (%)	不确定度 ($k=2$)

三、交流电压频率附加误差：

表 A.2 交流电压频率附加误差 (a) ——固定标准读被校法

量程	频率	标准示值	被校示值	频率附加误差/ (%)	不确定度 ($k=2$)

表 A.2 交流电压频率附加误差 (b) ——固定被校读标准法

量程	频率	被校示值	标准示值	频率附加误差/ (%)	不确定度 ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

一、外观及工作正常性检查：正常 不正常_____

二、交流电压基本误差：

表 B.1 交流电压基本误差

定度频率：_____

量程	标准示值	被校示值	误差 (%)	不确定度 ($k=2$)

三、交流电压频率附加误差：

表 B.2 交流电压频率附加误差 (a) ——固定标准读被校法

量程	频率	标准示值	被校示值	频率附加误差/ (%)	不确定度 ($k=2$)

表 B.2 交流电压频率附加误差 (b) ——固定被校读标准法

量程	频率	被校示值	标准示值	频率附加误差/ (%)	不确定度 ($k=2$)

附录 C

不确定度评定报告示例

1 交流电压基本误差不确定度评定

使用交流电压标准源校准射频电压表的正弦波电压幅度误差。

1.1 测量模型

$$\Delta = U_x - U_s$$

式中： U_x —— 被校射频电压表示值，V；

U_s —— 交流电压标准源(以下简称“标准源”)输出电压值，V；

Δ —— 被校电压表示值误差，V。

1.2 不确定度来源：

经分析，不确定度来源有以下三项：

- 1) 交流电压标准源输出电压引入的标准不确定度 u_1 ，
- 2) 被校射频电压表读数分辨力引入的标准不确定度 u_2 ，
- 3) 测量重复性引入的标准不确定度 u_3 。

1.3 合成标准不确定度计算公式

这些分量彼此不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (c_i u_i)^2}$$

灵敏系数为： $c_1 = \partial\Delta/\partial U_x = 1; c_2 = \partial\Delta/\partial U_s = -1$

1.4 标准不确定度评定

以 1V,100kHz 测量点为例开展标准不确定度评定。

1.4.1 交流电压标准源电压输出不准确引入的不确定度分量：

按 B 类方法评定，根据说明书给出的技术指标，其交流电压测量误差为 $\pm 0.005\%$ ，

设为均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_1(V)$ 为：

$$u_1(V) = \frac{0.005\%}{\sqrt{3}} = 0.0029\%$$

1.4.2 被校射频电压表读数分辨力引入的不确定度分量：

被校射频电压表读数分辨力引入的不确定度分量按 B 类方法评定，其读数分辨力为 0.001V，设为均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_2(V)$ 为：

$$u_2(V) = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

1.4.3 测量重复性引入的不确定度分量:

测量重复性引入的不确定度分量按 A 类方法评定, 重复测量 10 次:

次数	测量值 (V)	次数	测量值 (V)
1	1.003	6	1.002
2	1.005	7	1.001
3	1.006	8	1.001
4	1.004	9	1.004
5	1.004	10	1.005

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i = 1.0035\text{V}$$

$$\text{实验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 0.00172\text{V}$$

由此引入的不确定度分量 $u_4(V)$ 为: $u_4(V) = 0.172\%$

1.5 不确定度分量计算

不确定度分量一览表:

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	分布	c_i	$ c_i u(x_i)$
u_1	标准源测量不准确	0.0029%	均匀	-1	0.0029%
u_2	被校表读数分辨率	0.058%	均匀	1	0.058%
u_3	测量重复性	0.172%	正态	1	0.172%

由于分辨率和测量重复性对测量不确定的贡献存在重复, 故两个分量中在合成不确定度时, 只取其中最大者 u_3 。

1.6 合成标准不确定度

由于各引入不确定度分量相互独立, 则合成标准不确定度为:

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_1^2(V) + u_3^2(V)} = 0.17\%$$

1.7 相对扩展不确定度

取 $k=2$, 则相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=k \times u_{\text{crel}}=2 \times 0.17\% \approx 0.4\%$

2 频率附加误差的不确定度评定

使用信号发生器、高频电压标准校准射频电压表频率附加误差。

2.1 测量模型

$$\Delta_f = \frac{U_f - U_{f0}}{U_{f0}} \times 100\% = \left(\frac{U_f}{U_{f0}} - 1 \right) \times 100\%$$

式中： U_{f0} —— 参考频率点 100kHz 被校射频电压表显示值，V；

U_f —— 参考频率点 100MHz 被校射频电压表显示值，V；

Δ_f —— 被校电压表频率附加误差误差，%。

灵敏系数为：
$$c_1 = \frac{\partial \Delta_f}{\partial U_f} = \frac{1}{U_{f0}}, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta_f}{\partial U_{f0}} = -\frac{U_f}{U_{f0}^2}$$

2.2 不确定度来源

经分析，不确定度来源有以下五项：

- 1) 信号发生器读数分辨力引入的标准不确定度 $u_1(U_{f0})$ 、 $u_1(U_f)$ ，
- 2) 高频电压标准校准因子引入的标准不确定度 $u_2(U_{f0})$ 、 $u_2(U_f)$ ，
- 3) 标准器与被检射频电压表连接时失配引入的标准不确定度 $u_3(U_{f0})$ 、 $u_3(U_f)$ ，
- 4) 被校射频电压表读数分辨力引入的标准不确定度 $u_4(U_{f0})$ 、 $u_4(U_f)$ ，
- 5) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_5(U_{f0})$ 、 $u_5(U_f)$ 。

2.3 合成标准不确定度计算公式

这些分量彼此不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (c_i u_i)^2}$$

2.4 标准不确定度评定

以 0.8V、100kHz 为参考点，0.8V、100MHz 为测量点为例开展标准不确定度评定。

2.4.1 信号发生器读数分辨力引入的不确定度分量：

按 B 类方法评定，其读数分辨力为 0.001V，设为均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_1(U_{f0})$ 、 $u_1(U_f)$ 为：

$$u_1(U_f) = u_1(U_{f0}) = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

2.4.2 高频电压标准引入的标准不确定度分量：

按 B 类方法评定，根据说明书给出的技术指标，100kHz、100MHz 频点的最大允许误差分别为 $\pm 0.01\%$ 、 $\pm 0.1\%$ ，设为均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定

度 $u_2(U_{f0})$ 、 $u_2(U_f)$ 为:

$$u_2(U_{f0}) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.006\%$$

$$u_2(U_f) = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

2.4.3 标准器与被检射频电压表连接时失配引入的不确定度分量:

失配因子十分接近于 1，可认为由失配引入的测量相对扩展不确定度 $U \approx 2|\Gamma_g \parallel \Gamma_s|$ 。通过校准端口的驻波比计算该端面的反射系数模值，标准器端面在 100kHz、100MHz 频点的反射系数模值 $|\Gamma_g|$ 为 0.02，被检射频电压表端面在 100kHz、100MHz 频点的反射系数模值 $|\Gamma_s|$ 为 0.05。采用 B 类评定，设为反正弦分布，包含因子 k 为 $\sqrt{2}$ ，则标准不确定度 $u_3(U_{f0})$ 、 $u_3(U_f)$ 为:

$$u_3(U_f) = u_3(U_{f0}) = \frac{2 \times 0.02 \times 0.05}{\sqrt{2}} = 0.141\%$$

2.4.4 被校射频电压表读数分辨力引入的不确定度分量:

被校射频电压表读数分辨力引入的不确定度分量按 B 类方法评定，其读数分辨力为 0.001V，设为均匀分布，取包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则标准不确定度 $u_4(U_{f0})$ 、 $u_4(U_f)$ 为:

$$u_4(U_f) = u_4(U_{f0}) = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

2.4.5 测量重复性引入的不确定度分量:

测量重复性引入的不确定度分量按 A 类方法评定，重复测量 10 次:

100kHz 时被校射频电压表的示值:

次数	测量值 (V)	次数	测量值 (V)
1	0.800	6	0.802
2	0.802	7	0.802
3	0.800	8	0.800
4	0.801	9	0.801
5	0.801	10	0.802

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i = 0.8011\text{V}$$

$$\text{实验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 0.000876\text{V}$$

由此引入的不确定度分量 $u_5(U_{f0})$ 为: $u_5(U_{f0}) = 0.109\%$

100MHz 时被校射频电压表的示值:

次数	测量值 (V)	次数	测量值 (V)
1	0.802	6	0.803
2	0.805	7	0.804
3	0.803	8	0.803
4	0.802	9	0.802
5	0.804	10	0.804

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i = 0.8032\text{V}$$

$$\text{实验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 0.001033\text{V}$$

由此引入的不确定度分量 $u_5(U_f)$ 为: $u_5(U_f) = 0.129\%$

2.5 不确定度分量计算

不确定度分量一览表:

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	分布	c_i	$ c_i u(x_i)$
$u_1(U_f)$	信号发生器 读数分辨力	0.058%	均匀	1.25	0.073%
$u_2(U_f)$	高频电压标准	0.058%	正态		0.073%
$u_3(U_f)$	失配	0.141%	反正弦		0.176%
$u_4(U_f)$	被校射频电压表 读数分辨力	0.058%	均匀		0.073%
$u_5(U_f)$	测量重复性	0.129%	正态		0.161%
$u_1(U_{f0})$	信号发生器 读数分辨力	0.058%	均匀	-1.25	0.073%
$u_2(U_{f0})$	高频电压标准	0.006%	正态		0.008%
$u_3(U_{f0})$	失配	0.141%	反正弦		0.176%
$u_4(U_{f0})$	被校射频电压表 读数分辨力	0.058%	均匀		0.073%
$u_5(U_{f0})$	测量重复性	0.109%	正态		0.136%

由于分辨力和测量重复性对测量不确定的贡献存在重复, 故两个分量中在合成不确定度时, 只取其中最大者。

$$\text{其中, 灵敏系数: } c_1 = \frac{1}{U_{f0}} = \frac{1}{0.8011} \approx 1.25; \quad c_2 = -\frac{U_f}{U_{f0}^2} = -\frac{0.8032}{0.8011^2} \approx -1.25。$$

2.6 合成标准不确定度

由于各引入不确定度分量相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_c(U_f) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(U_f) + c_1^2 u_2^2(U_f) + c_1^2 u_3^2(U_f) + c_1^2 u_5^2(U_f)} = 0.260\%$$

$$u_c(U_{f0}) = \sqrt{c_2^2 u_1^2(U_{f0}) + c_2^2 u_2^2(U_{f0}) + c_2^2 u_3^2(U_{f0}) + c_2^2 u_5^2(U_{f0})} = 0.234\%$$

由于 U_f 和 U_{f0} 之间存在正相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = u_c(U_f) + u_c(U_{f0}) = 0.260\% + 0.234\% = 0.50\%$$

2.7 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度 $U = k \times u_c = 2 \times 0.50\% = 1.0\%$
