



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) 0000—2024

电容纹波电流测试仪校准规范

Calibration Specification for Capacitive Ripple Current Testers

(报批稿)

2024-00-00发布

2024-00-00实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

电容纹波电流测试仪校准规范
Calibration Specification for Ripple Current
Testers

JJF(电子) 0000—2024

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：广电计量检测集团股份有限公司

参加起草单位：河南广电计量检测有限公司

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

张 辉（广电计量检测集团股份有限公司）

伍尚彬（广电计量检测集团股份有限公司）

刘 娴（广电计量检测集团股份有限公司）

刘灿星（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

李 平（广电计量检测集团股份有限公司）

朱镇杰（广电计量检测集团股份有限公司）

师 航（河南广电计量检测有限公司）

目录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 额定纹波电流	1
3.2 额定纹波电压	1
4 概述	1
5 计量特性	1
5.1 纹波电流	1
5.2 纹波电压	2
5.3 纹波频率	2
5.4 直流偏压	2
5.5 计时偏差	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其他设备	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准方法	3
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	8
附录 A 原始记录格式	9
附录 B 校准证书内页格式	11
附录 C 测量不确定度评定示例	13

引 言

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》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

电容纹波电流测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于电容纹波电流测试仪的校准,符合本规范的电容耐久、电容寿命测试仪和试验装置可参考使用。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 2693—2001 电子设备用固定电容器 第1部分:总规范

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范;凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 额定纹波电流 rated ripple current

一种规定频率的最大允许交流电流的有效值,在该电流下电容器可以在规定温度下连续工作。

[来源:GB/T 2693-2001, 2.2.22]

3.2 额定纹波电压 rated ripple voltage

叠加在直流电压上的一种规定频率的最大允许交流电压有效值,在该电压下电容器在规定的温度下可以连续工作。

[来源:GB/T 2693-2001, 2.2.20]

4 概述

电容纹波电流测试仪(以下简称测试仪)用于对电解电容、金属膜电容、塑料电容等电容器进行耐久或寿命测试。测试仪一般由直流偏置源、纹波电流或电压源、计时器和参数显示部分组成。测试时在电容两端加以直流电压,并叠加额定或任意设定的纹波电流或电压,同时计时器进行测试时间记录,对电容器进行纹波耐久或寿命测试。

5 计量特性

5.1 纹波电流

输出电流范围:(0.01~30) A, 100Hz~1kHz, 最大允许误差:±0.5%;

(0.01~10) A, 1kHz~100kHz, 最大允许误差: $\pm(2\%\sim5\%)$;

(0.03~10) A, 100kHz~1MHz, 最大允许误差: $\pm(5\%\sim15\%)$ 。

5.2 纹波电压

电压测量范围: (0.01~90) V, 10Hz~1kHz, 最大允许误差: $\pm0.3\%$;

(0.01~30) V, 1kHz~100kHz, 最大允许误差: $\pm1.0\%$;

(0.01~15) V, 100kHz~1MHz, 最大允许误差: $\pm(2.5\%\sim5\%)$ 。

5.3 纹波频率

频率范围: 100Hz~1MHz, 最大允许误差: $\pm0.01\%$ 。

5.4 直流偏压

直流电压: (0.1~500) V, 最大允许误差: $\pm0.2\%$ 。

5.5 计时日差

日差: $\pm(5\text{s/d}+60\text{s})$ 。

注: 以上范围及指标不适用于合格性判定, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: $(23\pm5)^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 环境相对湿度: 不大于 80%。

6.1.3 供电电源: 电压 (220 ± 11) V, 频率 (50 ± 1) Hz。

6.1.4 其他: 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 电流分析仪

交流电流: (0.01~30) A, 100Hz~1kHz, 最大允许误差: $\pm0.15\%$;

(0.01~10) A, 1kHz~100kHz, 最大允许误差: $\pm(0.5\%\sim1\%)$ 。

频率范围: 100Hz~100kHz; 相对频率偏差: 优于 0.001%。

6.2.2 数字示波器

频带宽度: 不小于100MHz;

直流增益最大允许误差: $\pm1.5\%$ 。

时基最大允许误差: $\pm1\times10^{-5}$ 。

6.2.3 示波器电流探头

最大电流：不小于15A；最大允许误差： $\pm 1\%$ 。

上升时间：不大于17.5ns；

6.2.4 交流电压源

电压范围：(0.01~100) V，10Hz~100kHz；最大允许误差： $\pm (0.1\% \sim 0.3\%)$ 。

(0.01~15) V，100kHz~1MHz；最大允许误差： $\pm (0.8\% \sim 1.5\%)$ 。

6.2.5 直流电压表

直流电压：(0.1~500) V；最大允许误差： $\pm 0.05\%$ 。

6.2.6 电子秒表

日差： $\pm 0.5\text{s/d}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目如表 1 所示。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	纹波电流	7.2.2
2	纹波电压	7.2.3
3	纹波频率	7.2.4
4	直流偏压	7.2.5
5	计时日差	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校测试仪的外观应完好，各开关、按键等调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤。被校测试仪应有说明书及配套附件。被校测试仪按技术说明书规定时间预热，预热后应显示正常，检查结果记录到表A.1中。

7.2.2 纹波电流

7.2.2.1 低频纹波电流

a) 按图 1 连接被校测试仪和测量标准。

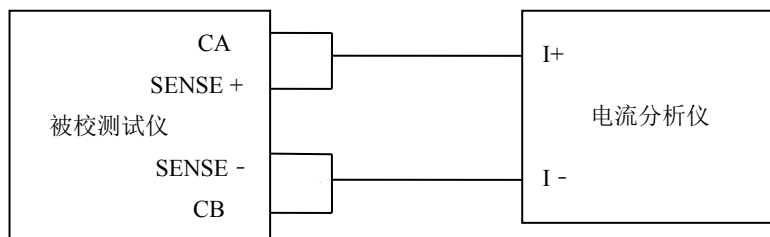


图 1 低频纹波电流校准连接示意图

b) 将被校测试仪的电流输出端 CA 和 CB 分别与采集端 SENSE “+” 和 “-” 连接，接至电流分析仪的电流输入端，设置被校测试仪为并联模式，调节被校测试仪的纹波频率、纹波电流值和测试时间。

c) 设置电流分析仪为交流电流测量功能，根据纹波电流大小调节电流分析仪的量程，记录纹波电流值到表 A.2.1 中。

d) 按公式 (1) 计算低频纹波电流的示值误差，记录到表 A.2.1 中。

$$\delta_I = \frac{I_L - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ_I ——纹波电流示值误差；

I_L ——被校纹波电流设定值，A；

I_0 ——纹波电流实测值，A。

e) 改变纹波电流的设定值，应包括纹波电流量程的低、中、高点，重复 b) 到 d)，记录结果到表 A.2.1 中。

f) 改变纹波电流的频率，重复 b) 到 e)，记录结果到表 A.2.1 中。

7.2.2.2 高频纹波电流 ($\geq 100\text{kHz}$)

a) 按图 2 连接被校测试仪和测量标准。

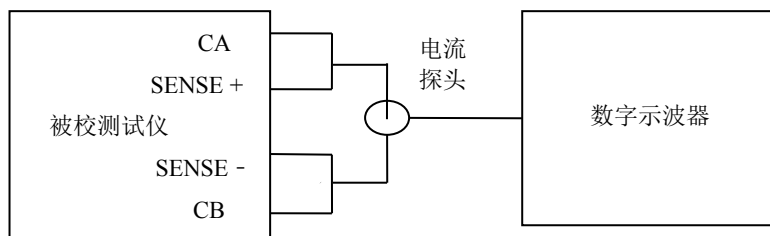


图 2 高频纹波电流校准连接示意图

b) 将被校测试仪的电流输出端 CA 和 CB 分别与采集端 SENSE “+” 和 “-” 连接，输出端短接，将短接线穿过示波器电流探头，示波器电流探头接至数字示波器。

设置被校测试仪为并联模式，调节被校测试仪纹波频率、纹波电流值和测试时间。

c) 设置数字示波器电流探头倍率，调节数字示波器的垂直和水平刻度，记录纹波电流值到表 A.2.2 中。

d) 按公式 (1) 计算高频纹波电流的示值误差，记录到表 A.2.2 中。

e) 改变纹波电流的设定值，应包括纹波电流量程的低、中、高点，重复 b) 到 d)，记录结果到表 A.2.2 中。

f) 改变纹波电流的频率，重复 b) 到 e)，记录结果到表 A.2.2 中。

7.2.3 纹波电压

a) 按图 3 连接被校测试仪和测量标准。

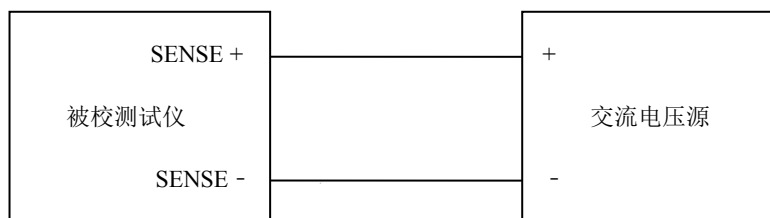


图 3 纹波电压校准连接示意图

b) 将交流电压源输出端与被校测试仪的纹波电压采集端 SENSE “+” 和 “-” 连接，设置被校测试仪为纹波电压测量状态，调节被校测试仪的测试时间。

c) 调节交流电压源的输出频率和输出电压，记录纹波电压值到表 A.3 中。

d) 按公式 (2) 计算纹波电压流的示值误差，记录到表 A.3 中。

$$\delta_U = \frac{U_s - U_0}{U_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_U ——纹波电压示值误差；

U_s ——纹波电压示值，V；

U_0 ——纹波电压标准值，V。

e) 改变纹波电压的标准值，应包括纹波电压量程的低、中、高点，重复 b) 到 d)，记录结果到表 A.3 中。

f) 改变纹波电压的频率，重复 b) 到 e)，记录结果到表 A.3 中。

7.2.4 纹波频率

a) 按图 1 或图 2 连接被校测试仪和测量标准。

- b) 按 7.2.2 的操作步骤, 调节被校测试仪纹波电流的频率 f_s 。
- c) 设置电流分析仪或数字示波器为频率测量功能, 读取电流分析仪或数字示波器的频率示值 f_0 , 记录到表 A.4 中。
- d) 按公式 (3) 计算纹波频率的相对频率偏差, 记录到表 A.4 中;

$$\delta_f = \frac{f_s - f_0}{f_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

δ_f —纹波频率相对频率偏差;

f_s —纹波频率设定值, Hz;

f_0 —纹波频率实测值, Hz。

- e) 改变纹波频率值, 应包括纹波频率量程的低、中、高点, 重复 b) 到 d), 记录结果到表 A.4 中。

7.2.5 直流偏压

- a) 按图 4 连接被校测试仪和测量标准。

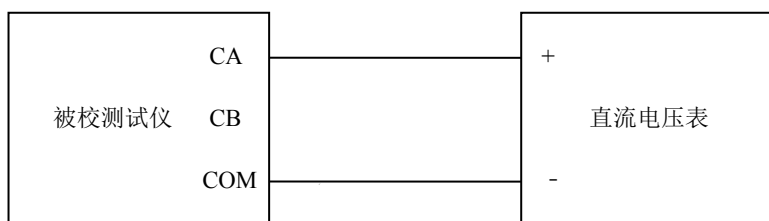


图 4 直流偏压校准连接示意图

- b) 将被校测试仪直流偏压输出端和 COM 端与直流电压表连接, 设置被校测试仪直流偏压输出功能, 调节被校测试仪的直流偏压输出值。
- c) 根据被测直流偏压值调节直流电压表量程, 记录直流偏压值到表 A.5 中。
- d) 按公式 (2) 计算直流偏压的示值误差, 记录到表 A.5 中。
- e) 改变直流偏压设定值, 应包括直流偏压量程的低、中、高点, 重复 b) 到 d), 记录结果到表 A.5 中。
- f) 改变直流偏压输出端, 重复 b) 到 e), 记录结果到表 A.5 中。

7.2.6 计时日差

- a) 按 7.2.2 进行纹波电流校准, 设定测试时间 t_s 为 15min。
- b) 被校测试仪启动测试时按秒表开始计时, 测试结束时按秒表停止键, 记录秒表

计时间间隔 t_0 到表 A.6 中。

c) 按公式 (4) 计算计时日差, 记录到表 A.6 中。

$$\delta_T = \frac{t_S - t_0}{t_0} \times 86400 \text{ s/d} \quad (4)$$

式中:

δ_T ——日差, s/d;

t_S ——时间设定值, s;

t_0 ——时间实测值, s。

8 校准结果表达

电容纹波电流测试仪校准后, 出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息:

- 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) 证书或报告的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校准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。

校准原始记录格式见附录 A, 校准证书内页格式见附录 B, 校准不确定度的评定方法见附录 C。

9 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，建议不超过 1 年。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

A.2 纹波电流

表 A.2.1 (低频) 纹波电流

纹波频率:			
设定值 I_L A	标准值 I_0 A	示值误差 δ_I	不确定度 U ($k=2$)

表 A.2.2 (高频) 纹波电流

纹波频率:			
设定值 I_H A	标准值 I_0 A	示值误差 δ_I	不确定度 U ($k=2$)

A.3 纹波电压

表 A.3 纹波电压

纹波频率:			
标准值 U_0 V	示值 U_S V	示值误差 δ_U	不确定度 U ($k=2$)

A.4 纹波频率

表 A. 4 纹波频率

纹波电流:			
设定值 f_s Hz	标准值 f_0 Hz	相对频率偏差 δ_f	不确定度 U ($k=2$)

A.5 直流偏压

表 A. 5 直流偏压

设定值 U_s V	标准值 U_0 V	示值误差 δ_U	不确定度 U ($k=2$)

A.6 计时日差

表 A. 6 计时日差

设定值 t_s s	标准值 t_0 s	计时日差 δ_T	不确定度 U ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

B.2 纹波电流

表 B.2.1 (低频) 纹波电流

纹波频率:			
设定值 I_L A	标准值 I_0 A	示值误差 δ_I	不确定度 U ($k=2$)

表 B.2.2 (高频) 纹波电流

纹波频率:			
设定值 I_H A	标准值 I_0 A	示值误差 δ_I	不确定度 U ($k=2$)

B.3 纹波电压

表 B.3 纹波电压

纹波频率:			
标准值 U_0 V	示值 U_S V	示值误差 δ_U	不确定度 U ($k=2$)

B.4 纹波频率

表 B. 4 纹波频率

纹波电流:			
设定值 f_s Hz	标准值 f_0 Hz	相对频率偏差 δ_f	不确定度 U ($k=2$)

B.5 直流偏压

表 B. 5 直流偏压

设定值 U_s V	标准值 U_0 V	示值误差 δ_U	不确定度 U ($k=2$)

B.6 计时日差

表 B. 6 计时日差

设定值 t_s s	标准值 t_0 s	计时日差 δ_T	不确定度 U ($k=2$)

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 高频纹波电流测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

高频纹波电流的测量模型用式 (C.1) 表示。

$$I_H = U_H / K_H \quad (\text{C.1})$$

式中：

I_H ——高频纹波电流设定值，A；

U_H ——数字示波器电压测量值，V；

K_H ——示波器电流探头电流/电压转换比率，V/A。

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：数字示波器电压测量最大允许误差、示波器电流探头转换灵敏度误差、示值分辨力误差、测量重复性引入的不确定度分量。

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 数字示波器电压测量最大允许误差引入的不确定度分量 u_1

数字示波器电压测量最大允许误差为 $\pm 1.5\%$ ，按均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_1=1.5\%/\sqrt{3}=0.87\%$ 。

C.1.3.2 数字示波器电流探头电流/电压转换比率最大允许误差引入的不确定度分量 u_2

数字示波器电流探头电流/电压转换比率最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ ，按均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_1=1.0\%/\sqrt{3}=0.578\%$ 。

C.1.3.3 示值分辨力引入的不确定度分量 u_3

数字示波器测量分辨力为 0.01A，半区间 $a=0.005\text{A}$ ，按均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_3=0.005\text{A}/\sqrt{3}=0.0029\text{A}$ 。

C.1.3.4 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

对纹波电流 10A，100kHz 进行重复性测量，结果见表 C.1（单位：A）：

表 C.1 高频纹波电流重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	9.97	9.96	9.98	9.95	9.94
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	9.94	9.96	9.96	9.94	9.98
平均值 \bar{x}_n	9.958		实验标准 差 s	0.016	

则测量重复性引入的不确定度分量 $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.016A$ ，相对不确定度分

量 $u_A = 0.16\%$ 。

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差，因此由示值分辨力引入的不确定度分量 u_3 和测量重复性引入的不确定度分量 u_A 取大者。

C.1.4 合成标准不确定度

C.1.4.1 主要不确定度汇总表

主要不确定度分量汇总见表 C.2。

表 C.2 主要不确定度汇总表

不确定度来源 u_i	$a_i/\%$	k_i	$u_i/\%$
数字示波器最大允差 u_1	1.5	$\sqrt{3}$	0.866
示波器电流探头最大允差 u_2	1.0	$\sqrt{3}$	0.578
测量重复性 u_A	0.155	1	0.155

C.1.4.2 相对合成标准不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，相对合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_A^2} = 1.06\%$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_{rel} = k u_c = 2.2\%$ ， $k=2$ 。

C.2 纹波电压测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

纹波电压的测量模型用式 (C.2) 表示。

$$U_S = U_0 \quad (C.2)$$

式中：

U_S ——纹波电压示值, V;

U_0 ——纹波电压标准值, V。

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源主要有: 交流电压源电压最大允许误差、示值分辨力误差、测量重复性引入的不确定度分量。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 交流电压源电压最大允许误差引入的不确定度分量 u_1

交流电压源电压最大允许误差为 $\pm 0.3\%$, 按均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则不确定度分量 $u_1=0.3\%/\sqrt{3}=0.173\%$ 。

C.2.3.2 示值分辨力引入的不确定度分量 u_2

测试仪纹波电压测量分辨力为 0.001V, 半区间 $a=0.0005V$, 按均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则不确定度分量 $u_3=0.0005V/\sqrt{3}=0.00029V$ 。

C.2.3.3 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

对纹波电压 10V, 100kHz 进行重复性测量, 结果见表 C.3 (单位: V):

表 C.3 纹波电压重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	9.996	9.993	9.995	9.998	9.996
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	9.994	9.996	9.999	9.995	9.992
平均值 \bar{x}_n	9.9954		实验标准 差 s	0.0022	

则测量重复性引入的不确定度分量 $u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0022V$, 相对不确定度分

量 $u_A=0.022\%$ 。

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差, 因此由示值分辨力引入的不确定度分量 u_2 和测量重复性引入的不确定度分量 u_A 取大者。

C.2.4 合成标准不确定度

C.2.4.1 主要不确定度汇总表

主要不确定度分量汇总见表 C.4。

表 C.4 主要不确定度汇总表

不确定度来源 u_i	$a_i/\%$	k_i	$u_i/\%$
数字示波器最大允差 u_1	0.3	$\sqrt{3}$	0.173
测量重复性 u_A	0.022	1	0.022

C.2.4.2 相对合成标准不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，相对合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_A^2} = 0.175\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = k u_c = 0.35\%$ ， $k=2$ 。