

JJF(皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF(皖) 172—2024

电机定子试验装置校准规范

Calibration Specification of Motor Stator Test Device

2024-01-15 发布

2024-03-01 实施

安徽省市场监督管理局 发布

电机定子试验装置校准规范

Calibration Specification of Motor

Stator Test Device

JJF (皖) 172-2024

归口单位：安徽省电磁计量技术委员会

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

格力电器（合肥）有限公司

参加起草单位：合肥新沪屏蔽泵有限公司

本规范委托安徽省电磁计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

郭 军（安徽省计量科学研究院）

王 伟（安徽省计量科学研究院）

李 敏（格力电器（合肥）有限公司）

罗朝玉（安徽省计量科学研究院）

郑四顺（安徽省计量科学研究院）

参加起草人：

郭攀锋（安徽省计量科学研究院）

吴 勇（安徽省计量科学研究院）

陈翠云（合肥新沪屏蔽泵有限公司）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(3)
6 校准条件.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(5)
8 校准结果表达.....	(12)
9 复校时间间隔.....	(13)
附录 A 测量不确定度评定示例.....	(14)
附录 B 电机定子试验装置校准记录.....	(22)
附录 C 校准证书内页格式.....	(25)

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。
本规范为首次发布。

电机定子试验装置校准规范

1 范围

本规范适用于电机定子综合测试系统或其他具有相似测试功能试验装置（以下简称试验装置）电气性能参数的校准。

本规范不适用于电机整机测试系统和电机转子测试系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 1005—2019 电子式绝缘电阻表检定规程

JJG 837—2003 直流低电阻表检定规程

JJG 726—2017 标准电感器检定规程

JJF 1691—2018 绕组匝间绝缘冲击电压试验仪校准规范

GB/T 32192—2015 耐电压测试仪

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求

DL/T 845.1—2019 电阻测量装置通用技术条件 第1部分：电子式绝缘电阻表

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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

3.1 击穿报警电流 breakdown warning current

在试验装置上设置的预置电流值，当输出电流大于该值时，试验装置应自动切断输出电压并发出报警信号。

[GB/T 32192—2015, 3.7]

3.2 电压保持时间 voltage duration

试验装置的耐压输出电压在稳定阶段所经历的时间，不包括电压上升和下降的时间。

[GB/T 32192—2015, 3.8]

3.3 工作电压 working voltage

线路测量端子之间连接被测对象，测量其绝缘电阻时的端电压。

[DL/T 845.1—2019, 3.7]

3.4 绝缘电阻 insulation resistance

在绝缘结构的两个电极之间施加的直流电压与流经该对电极的泄漏电流之比。

[DL/T 845.1—2019, 3.11]

3.5 峰值 peak

对于平滑的冲击波形，波形曲线偏离零线的最大值。

[JJF 1691—2018, 3.1]

3.6 波前时间 wave front time

对于平滑的冲击波形，试验电压曲线峰值的 30% 和 90% (图中点 A 和 B) 之间时间间隔 T 的 1/0.6 倍。如图 1 所示。

[GB/T 16927.1—2011, 7.1.17]

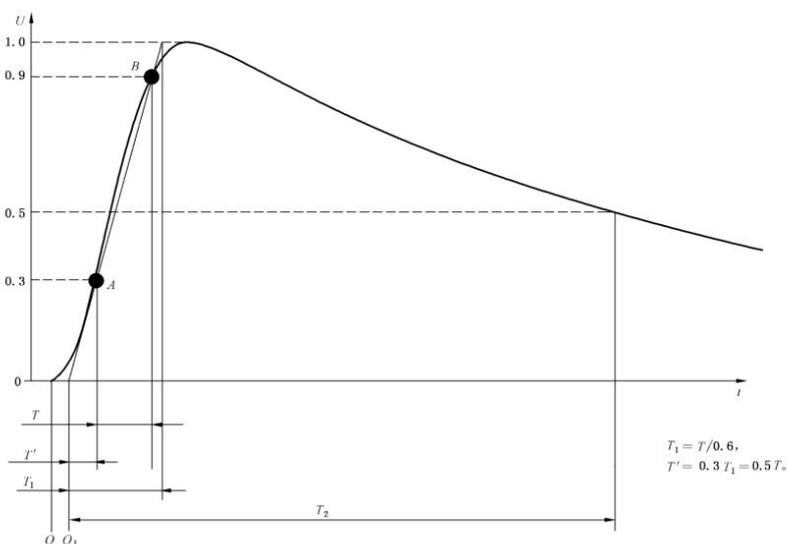


图 1 试验装置冲击电压波形时间参数的确定

4 概述

电机定子试验装置是用来检测电机定子部分的电气性能参数，具有交流耐压、绝缘电阻、匝间、直流电阻、电感等测试功能。试验装置的工作原理见图 2 所示，由电源模块、测量模块、控制单元、数据处理单元和显示单元等组成，实现多功能参数测试。

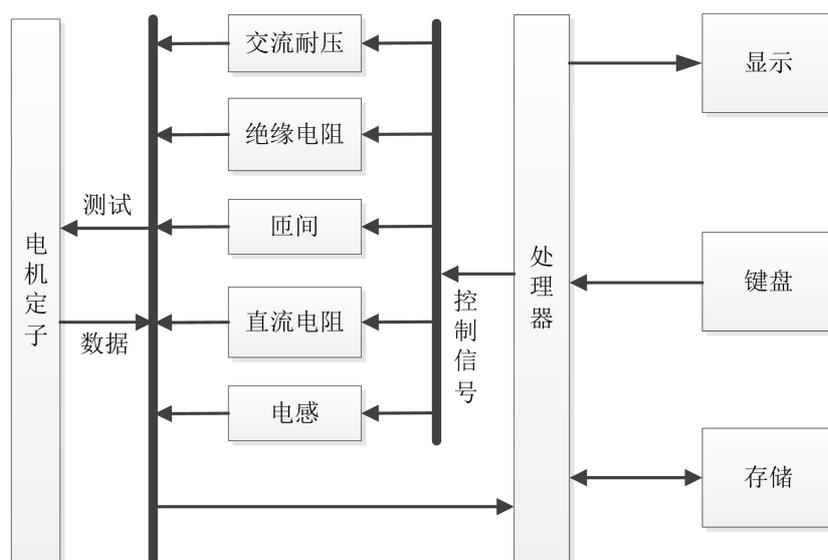


图2 原理框图

5 计量特性

5.1 交流耐压输出电压

试验装置交流耐压输出电压的最大允许误差一般为 $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

5.2 击穿报警电流

试验装置击穿报警电流的最大允许误差一般为 $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

5.3 电压保持时间

试验装置电压保持时间的最大允许误差一般为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。

5.4 工作电压

试验装置测量绝缘电阻时端电压的最大允许误差一般为 $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

5.5 绝缘电阻

试验装置测量绝缘电阻的最大允许误差一般为 $\pm 2\% \sim \pm 10\%$ 。

5.6 输出冲击电压峰值

试验装置测量匝间输出冲击电压峰值的最大允许误差一般为 $\pm 3\% \sim \pm 20\%$ 。

5.7 波前时间

试验装置输出冲击电压波的波前时间最大允许误差一般为 $\pm 10\% \sim \pm 30\%$ 。

5.8 冲击电压波对称性

两组交替输出型试验装置输出的两组冲击电压波最大允许误差一般为 $\pm 1\%$ 。

5.9 波形重合性

单输出记忆型试验装置每次输出的冲击电压波间的最大允许误差一般为 $\pm 1\%$ 。

5.10 波形面积相对差异量

波形面积相对差异量的限值由制造者说明书给出。

5.11 直流电阻

试验装置测量直流电阻的最大允许误差一般为 $\pm 0.3\% \sim \pm 10\%$ 。

5.12 电感

试验装置测量电感值的最大允许误差一般为 $\pm 0.5\% \sim \pm 2\%$ 。

注：以上条款不作为合格性判断依据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度： $\leq 80\%$ 。

电源电压： $220\text{V} \pm 22\text{V}$ ；频率： $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ ；电源总谐波畸变不大于 5%。

应配备保障人员安全的绝缘橡胶垫、手套和良好的接地线。

6.2 测量标准及辅助设备

测量标准及辅助设备见表 1。

表 1 测量标准及辅助设备

序号	测量标准及辅助设备	计量特性
1	耐电压测试仪校验仪	最大允许误差的绝对值（不确定度）不大于被校试验装置耐压输出电压和电压保持时间最大允许误差的 1/3
2	负载电阻器	额定电压值应不小于校准击穿报警电流时设置的耐压输出电压值
3	数字多用表	最大允许误差的绝对值（不确定度）不大于被校试验装置击穿报警电流最大允许误差的 1/3
4	高压高阻标准器	高压高阻标准器应能测量试验装置的工作电压和绝缘电阻值，最大允许误差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 2\%$
5	冲击分压器	阻值不小于 $1\text{k}\Omega$ ，最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ，方波响应时间不超过 5ns
6	数字示波器	带宽不小于 200MHz
7	绕组线圈	耐受电压不低于被校试验装置最高输出电压峰值

表 1 测量标准及辅助设备(续)

序号	测量标准及辅助设备	计量特性
8	标准电阻箱	应能允许通过测试直流电阻项目的电流, 最大允许误差为 $\pm 0.01\% \sim \pm 2\%$
9	标准电感器	最大允许误差的绝对值(不确定度)不大于被校试验装置测试电感值最大允许误差的 1/3
10	绝缘电阻表	500V 绝缘电阻表准确度级别不低于 10 级, 2500V 绝缘电阻表准确度级别不低于 20 级
11	耐电压测试仪	耐电压测试仪准确度级别不低于 5 级

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

试验装置的校准项目见表2。开展校准工作的实验室, 根据客户要求选择校准其中的项目。

表 2 校准项目一览表

序号	校准项目名称	校准方法条款
1	交流耐压输出电压	7.3.1
2	击穿报警电流	7.3.2
3	电压保持时间	7.3.3
4	工作电压	7.3.4
5	绝缘电阻	7.3.5
6	输出冲击电压峰值	7.3.6
7	波前时间	7.3.7
8	冲击电压波对称性	7.3.8
9	波形重合性	7.3.9
10	波形面积相对差异量	7.3.10
11	直流电阻	7.3.11
12	电感	7.3.12

7.2 校准前的准备工作

7.2.1 外观及通电检查

被校试验装置的名称、型号、制造厂名或商标、出厂编号等信息应齐全; 外壳、端钮、开

关和按键等应无影响校准或使用安全的松动、损伤、脱落；各种功能标志应齐全正确。

通电后开关、按键应能正常工作，各种显示均应正常。控制转向功能应正常，正转、反转和不转。

7.2.2 绝缘水平检查

使用 500V 绝缘电阻表测量被校试验装置的电源端与外壳，绝缘电阻值不小于 50MΩ；使用 2500V 绝缘电阻表测量输出端与外壳之间的绝缘电阻，绝缘电阻均不小于 100MΩ。

使用耐电压测试仪测量被校试验装置的电源端与外壳、输出端与外壳之间的耐电压，输出 1.5kV 正弦波工频电压持续 1min，无击穿与飞弧现象。

7.3 校准方法

7.3.1 交流耐压输出电压

采用直接测量法测量试验装置的交流耐压输出电压，由耐电压测试仪校验仪直接读取试验装置的实际输出电压值，校准接线见图 3。在量程 $10\%U_m \sim 100\%U_m$ 范围内均匀选取或根据客户需要选择不少于四个校准点，调节试验装置输出耐压电压由小至大，重复测量两次，取其平均值，即为试验装置交流耐压输出电压的实际值。误差按式 (1) 计算。

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

式中：

λ_u ——交流耐压输出电压示值相对误差，%；

U_x ——交流耐压输出电压设定值，V；

U_s ——交流耐压输出电压实际值，V。

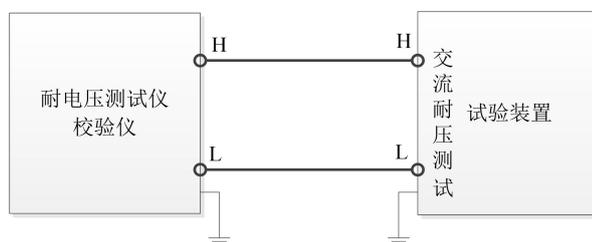


图 3 交流耐压输出电压（电压保持时间）校准接线图

7.3.2 击穿报警电流

击穿报警电流的示值误差校准接线见图 4。连接试验装置、负载电阻器和数字多用表或校验仪，负载电阻器置适当值，调整交流耐压输出电压，但不能低于 500V。调整负载电

阻器的阻值 R ，在电流量程的 $10\%I_m \sim 100\%I_m$ 范围内均匀选取至少 5 个校准点，每个校准点重复测量两次，取其平均值，即为击穿报警电流的实际值。误差按式 (2) 计算。

$$\lambda_1 = \frac{(I_x - I_s)}{I_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

λ_1 ——击穿报警电流示值相对误差，%；

I_x ——击穿报警电流显示值， μA 或 mA ；

I_s ——击穿报警电流实际值， μA 或 mA 。

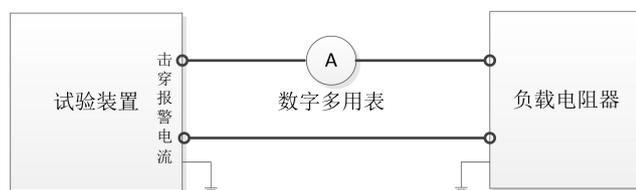


图 4 击穿报警电流校准接线图

7.3.3 电压保持时间

电压保持时间示值误差校准可与耐压输出电压校准同时进行。设定好试验装置的交流耐压输出电压时间，按下启动键的同时，应自动启动标准计时器，当发出切断信号时，自动终止计时。在时间范围内均匀选取不少于 3 个校准点，也可根据客户需求选择校准点。重复测量 2 次，测量结果的平均值即为电压持续时间的实际值。误差按式 (3) 计算。

$$\lambda_t = \frac{T_x - T_s}{T_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

λ_t ——电压保持时间示值相对误差，%；

T_x ——电压保持时间设定值，s；

T_s ——电压保持时间实际值，s。

7.3.4 工作电压

工作电压校准接线见图 5。在量程范围内均匀选取至少 2 个校准点，高压高阻标准器电压测量装置测得的电压即为试验装置的工作电压实际值，误差按式 (4) 计算。

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

式中:

δ_u ——工作电压示值相对误差, %;

U_x ——工作电压设定值, V;

U_s ——工作电压实际值, V。

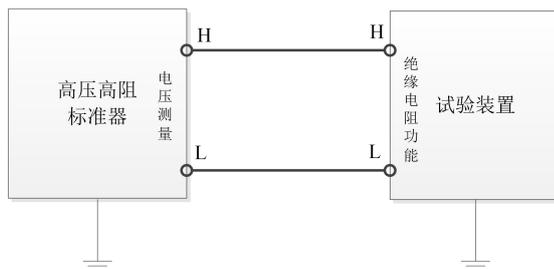


图5 工作电压校准接线图

7.3.5 绝缘电阻

绝缘电阻校准接线见图6。在被校试验装置绝缘电阻对应的额定电压下,在量程内至少选择3个校准点,调节高压高阻标准器设定值 R_n ,读取被校试验装置的显示值 R_x ,按公式(5)计算示值误差。

$$\delta_R = \frac{R_x - R_n}{R_n} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

δ_R ——绝缘电阻示值相对误差, %;

R_x ——试验装置绝缘电阻显示值, M Ω ;

R_n ——高压高阻标准器标准值, M Ω 。

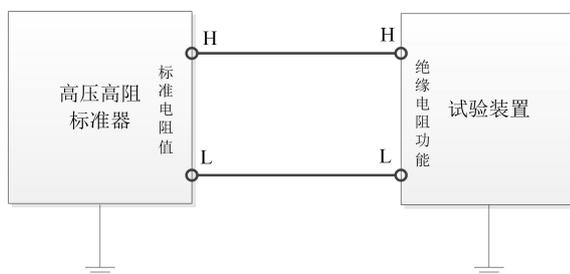


图6 绝缘电阻校准接线图

7.3.6 输出冲击电压峰值

试验装置的输出冲击电压峰值的测量接线见图7,可采用冲击分压器校准匝间冲击电压峰值。在试验装置匝间冲击电压量程内选取 $10\%U_m \sim 100\%U_m$ 的至少3个点分别进行校8

准。

在校准过程中, 如果示波器读取的波峰部分有振荡或过冲, 且幅度大于 5% 峰值, 应将波形振荡中心线的最高峰值中心线作为输出冲击电压峰值。

设定试验装置的冲击电压值, 启动过后, 读取示波器上电压峰值实测值 U_p , 试验装置上显示电压值 U_x , 按公式(6)计算冲击电压峰值示值误差。

$$\delta_p = \frac{U_x - U_p}{U_p} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

δ_p ——冲击电压峰值示值相对误差, %;

U_x ——冲击电压峰值显示值, kV;

U_p ——冲击电压峰值实际值, kV。

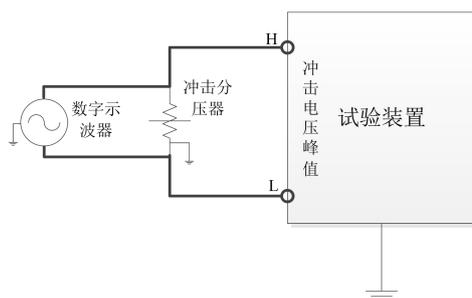


图 7 输出冲击电压峰值校准接线图

7.3.7 波前时间

波前时间与输出冲击电压峰值的校准接线相同, 可同步进行校准, 试验装置的波前时间可采用数字示波器时间测量功能读取实际值 T_n , 按公式 (7) 计算波前时间示值误差。

$$\delta_T = \frac{T_x - T_n}{T_n} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

δ_T ——波前时间示值相对误差, %;

T_x ——波前时间标称值, μs ;

T_n ——波前时间实际值, μs 。

7.3.8 冲击电压波对称性

两组交替输出型试验装置两个输出端并接一线圈, 试验装置对线圈分别施加冲击电压

波，用示波器观察波形。

两组交替输出型试验装置冲击电压波对称性误差可按公式 (8) 计算。

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_p} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

δ ——冲击电压波对称性误差，%；

ΔU ——两通道冲击电压峰值实际值的最大差值，kV；

U_p ——两通道冲击电压峰值实际值的平均值，kV。

7.3.9 波形重合性

单输出记忆型试验装置输出端接一线圈，试验装置对线圈施加冲击电压波，用数字示波器记录三次冲击电压波波形。

单输出记忆型试验装置波形重合性误差可按公式 (9) 计算。

$$\gamma = \frac{\Delta U_n}{U_p} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

γ ——波形重合性误差，%；

ΔU_n ——三次冲击电压峰值实际值的最大差值，kV；

U_p ——三次冲击电压峰值实际值的平均值，kV。

7.3.10 波形面积相对差异量

(1) 两组交替输出型试验装置波形面积相对差异量校准接线见图 8a。试验装置两个输出端并接一绕组线圈，对线圈施加冲击电压波，由试验装置读出其波形面积相对差异量。

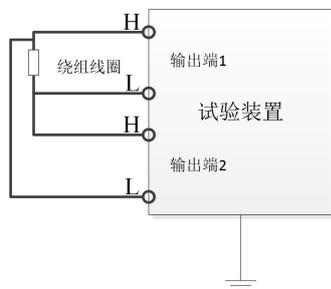


图 8a 两组交替输出型试验装置波形面积校准接线图

(2) 单输出记忆型试验装置波形面积相对差异量校准接线见图 8b。试验装置输出端接一绕组线圈，对线圈施加冲击电压波，由试验装置读出其波形面积相对差异量。

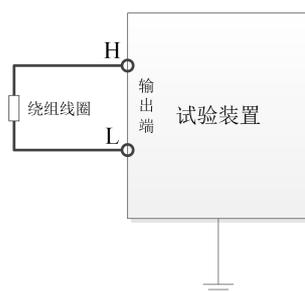


图 8b 单输出记忆型试验装置波形面积校准接线图

7.3.11 直流电阻

直流电阻的校准应选取不少于 8 个点进行校准，包含显示值的起始点、中间点和接近满度点，也可根据客户需求进行校准点选择。校准接线见图 9。采用四端子接法，调节标准电阻箱的阻值 R_n ，读取试验装置的直流电阻显示值 R_x ，按公式 (10) 计算直流电阻示值误差。

$$\gamma_R = \frac{R_x - R_n}{R_n} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

γ_R —— 直流电阻示值相对误差，%；

R_x —— 试验装置直流电阻显示值， Ω ；

R_n —— 标准电阻箱标准值， Ω 。

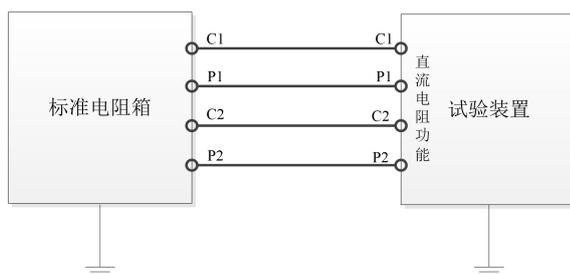


图 9 直流电阻校准接线图

7.3.12 电感

根据被校试验装置的电压和频率选择标准电感器，采用直接测量法校准试验装置的电感值，校准接线见图 10，若标准电感器为端钮式电感并且有金属屏蔽，则按三端接线方式要求屏蔽接线端接地，或按二端接线方式要求屏蔽接线端与低电位端相连。若标准电感器为端对式电感（无屏蔽接线端 G），直接连接试验装置对应端对即可。在试验装置电感测试量程内均匀选取包含上、下限值的至少 10 个点分别进行校准，也可根据客户需求进行校准点选择。调节电感标准值 L_n ，在试验装置上读得电感显示值 L_x ，按公式 (11) 计算电感示

值误差。

$$\delta_L = \frac{L_x - L_n}{L_n} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

δ_L ——电感示值相对误差，%；

L_x ——电感显示值，H；

L_n ——电感标准值，H。

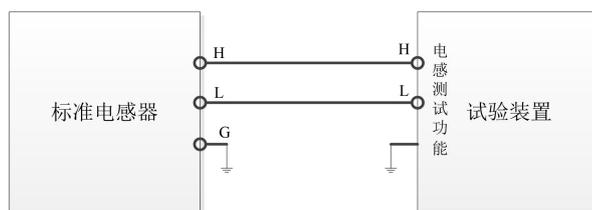


图 10a 三端接线方式电感校准试验装置接线图

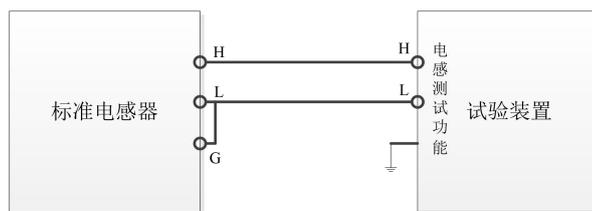


图 10b 二端接线方式电感校准试验装置接线图

8 校准结果表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- 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) 进行校准的日期；
- g) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述，物品状态的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；

- k) 被校对象的描述和明确标识;
- l) 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;
- 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说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

不确定度的评定示例见附录 A, 校准原始记录格式见附录 B, 校准证书(报告)内页格式见附录 C。

8.2 数据处理原则

校准结果小数点后保留的位数应与扩展不确定度有效位数一致。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

测量不确定度评定示例

A.1 概述

本附录对电机定子试验装置的交流耐压输出电压、绝缘电阻、输出冲击电压峰值、直流电阻和电感的测量结果进行不确定度评定，其他参数的测量不确定度评定程序类同。

环境条件：温度： $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$

被测对象：电机定子试验装置

测量标准：耐电压测试仪校验仪、高压高阻标准器、冲击分压器、示波器、标准电阻箱和标准电感器

测量方法：电机定子试验装置各参数示值误差校准方法见规范第 7.3 条款，采用相应的标准器测量示值。

A.2 测量模型

设 Z_N 为标准器测量时的实际值， Z_X 为电机定子试验装置显示值。由使用说明书可知，对于使用的标准器和电机定子试验装置，在标准条件下，温度、湿度、磁场等环境引入带来的影响可忽略，由此得到：

$$\Delta = Z_X - Z_N \quad (\text{A.1})$$

考虑到电机定子试验装置分辨力对测量结果的影响，测量模型成为：

$$\Delta = Z_X - Z_N + \delta Z_X \quad (\text{A.2})$$

式中：

Δ ——示值误差；

Z_X ——被校试验装置显示值；

Z_N ——标准器实际值；

δZ_X ——被校试验装置的分辨力对测量结果的影响。

A.3 交流耐压输出电压示值误差校准不确定度评定

A.3.1 标准不确定度评定

A.3.1.1 被校试验装置重复性引入的标准不确定度 $u_A(Z_X)$

测量结果的重复性引入的标准不确定度采用 A 类方法评定。对 1kV 交流耐压输出电压测量点，10 次重复测量结果如表 A.1 所示。

表 A.1 试验装置交流耐压输出电压重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/kV	1.006	1.005	1.005	1.004	1.007
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/kV	1.006	1.005	1.007	1.008	1.006

测量结果的平均值: $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.0059 \text{ kV}$

实验标准偏差: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} / \sqrt{N} = 0.00085 \text{ kV}$

则 $u_A(Z_x) = 0.00085 \text{ kV}$

A.3.1.2 测量标准耐电压测试仪校验仪的交流电压准确度引入的标准不确定度 $u(Z_N)$

测量标准耐电压测试仪校验仪交流电压的技术指标在 1kV 测量点最大允许误差为 $\pm 0.5\%$, 其半宽度 $a = 0.5\% \times 1\text{kV} = 0.005\text{kV}$, 为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则测量标准引入的标准不确定度为:

$$u(Z_N) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 0.00289 \text{ kV}$$

A.3.1.3 被校试验装置交流耐压输出电压的分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta Z_x)$

被校试验装置耐压输出电压分辨力为 1V, 其区间半宽为 $a = 0.5\text{V}$, 为均匀分布, 则包含因子 $k = \sqrt{3}$, 由分辨力引入的标准不确定度为:

$$u(\delta Z_x) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ V} = 0.000289 \text{ kV}$$

A.3.2 合成标准不确定度

不确定度分量汇总见表 A.2。灵敏系数由公式 (A.1) 或 (A.2) 计算得到。

表 A.2 交流耐压输出电压校准不确定度分量汇总表

输入量 x_i	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)/\text{kV}$	分布类型	灵敏系数	不确定度分量 u_i/kV
Z_x	被校试验装置的重复性	0.00085	正态	1	0.00085
Z_N	耐电压测试仪校验仪的最大允许误差	0.00289	均匀	-1	0.00289
δZ_x	被校试验装置的分辨力	0.000289	均匀	1	0.000289

为避免重复计算，一般测量重复性引入的不确定度分量和分辨率引入的不确定度分量取较大者。则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(0.00085)^2 + (0.00289)^2} \text{ kV} = 0.0031 \text{ kV}$$

A.3.3 扩展不确定度

$U = k \times u_c$ ，取 $k=2$ ，由此得到交流耐压输出电压 1kV 校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.0031 \text{ kV} = 0.0062 \text{ kV}，\text{相对扩展不确定度为：} U_{\text{rel}} = 0.7\%，k=2。$$

A.4 绝缘电阻示值误差校准不确定度评定

A.4.1 标准不确定度评定

A.4.1.1 被校试验装置重复性引入的标准不确定度 $u_A(Z_X)$

测量结果的重复性引入的标准不确定度采用 A 类方法评定。对 $1\text{M}\Omega$ 绝缘电阻测量点，10 次重复测量结果如表 A.3 所示。

表 A.3 试验装置绝缘电阻重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/ $\text{M}\Omega$	1.006	1.005	1.004	1.006	1.007
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/ $\text{M}\Omega$	1.006	1.005	1.006	1.004	1.006

测量结果的平均值： $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.0055 \text{ M}\Omega$

单次测量值的实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.000972 \text{ M}\Omega$

则 $u_A(Z_X) = 0.000972 \text{ M}\Omega$

A.4.1.2 测量高压高阻标准器准确度引入的标准不确定度 $u(Z_N)$

测量高压高阻标准器在 $1\text{M}\Omega$ 测量点最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，其半宽度 $a = 0.5\% \times 1\text{M}\Omega = 0.005 \text{ M}\Omega$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则测量标准引入的标准不确定度为：

$$u(Z_N) = \frac{a}{k} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \text{ M}\Omega = 0.00289 \text{ M}\Omega$$

A.4.1.3 被校试验装置绝缘电阻的分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta Z_X)$

被校试验装置绝缘电阻分辨力为 $0.001 \text{ M}\Omega$ ，其区间半宽为 $a = 0.0005 \text{ M}\Omega$ ，为均匀分

布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，由分辨力引入的标准不确定度为：

$$u(\delta Z_x) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \text{ M}\Omega = 0.000289 \text{ M}\Omega$$

A.4.2 合成标准不确定度

不确定度分量汇总见表 A.4。灵敏系数由公式 (A.1) 或 (A.2) 计算得到。

表 A.4 试验装置绝缘电阻校准不确定度分量汇总表

输入量 x_i	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i) / \text{M}\Omega$	分布 类型	灵敏 系数	不确定度分量 $u_i /$ $\text{M}\Omega$
Z_x	被校试验装置的重复性	0.000972	正态	1	0.000972
Z_N	高压高阻标准器的最大 允许误差	0.00289	均匀	-1	0.00289
δZ_x	被校试验装置的分辨力	0.000289	均匀	1	0.000289

为避免重复计算，一般测量重复性引入的不确定度分量和分辨率引入的不确定度分量取较大者。则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(0.000972)^2 + (0.00289)^2} \text{ M}\Omega = 0.00305 \text{ M}\Omega$$

A.4.3 扩展不确定度

$U = k \times u_c$ ，取 $k=2$ ，由此得到绝缘电阻 $1\text{M}\Omega$ 校准结果的扩展不确定度为：

$U = 2 \times 0.00305 \text{ M}\Omega = 0.0061 \text{ M}\Omega$ ，相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = 0.7\%$ ， $k=2$ 。

A.5 输出冲击电压峰值示值误差校准不确定度评定

A.5.1 标准不确定度评定

A.5.1.1 被校试验装置重复性引入的标准不确定度 $u_A(Z_x)$

测量结果的重复性引入的标准不确定度采用 A 类方法评定。对 1000V 匝间电压测量点，10 次重复测量结果如表 A.5 所示。

表 A.5 试验装置输出冲击电压峰值重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/V	1025	1022	1026	1023	1022
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/V	1021	1025	1027	1028	1026

测量结果的平均值： $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1024.5 \text{ V}$

单次测量值的实验标准偏差： $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.37 \text{ V}$

则 $u_A(Z_X) = 2.37 \text{ V}$

A.5.1.2 测量标准冲击分压器的电压准确度引入的标准不确定度 $u(Z_N)$

测量标准冲击分压器的电压技术指标在 1000V 测量点最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，其半宽度 $a = 1\% \times 1000\text{V} = 10 \text{ V}$ ，在该区间内为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则测量标准引入的标准不确定度为：

$$u(Z_N) = \frac{a}{k} = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ V} = 5.78 \text{ V}$$

A.5.1.3 被校试验装置输出冲击电压峰值的分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta Z_X)$

被校试验装置输出冲击电压峰值分辨力为 1 V，其区间半宽为 $a = 0.5 \text{ V}$ ，为均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，由分辨力引入的标准不确定度为：

$$u(\delta Z_X) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ V} = 0.289 \text{ V}$$

A.5.2 合成标准不确定度

不确定度分量汇总见表 A.6。灵敏系数由公式 (A.1) 或 (A.2) 计算得到。

表 A.6 试验装置输出冲击电压峰值校准不确定度分量汇总表

输入量 x_i	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i) / \text{V}$	分布类型	灵敏系数	不确定度分量 u_i / V
Z_X	被校试验装置的重复性	2.37	正态	1	2.37
Z_N	冲击分压器的最大允许误差	5.78	均匀	-1	5.78
δZ_X	被校试验装置的分辨力	0.289	均匀	1	0.289

为避免重复计算，一般测量重复性引入的不确定度分量和分辨率引入的不确定度分量取较大者。则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(2.37)^2 + (5.78)^2} \text{ V} = 6.25 \text{ V}$$

A.5.3 扩展不确定度

$U = k \times u_c$, 取 $k=2$, 由此得到输出冲击电压峰值 1000V 校准结果的扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 6.25 \text{ V} = 12.5 \text{ V}, \text{ 相对扩展不确定度为: } U_{\text{rel}} = 1.3\%, k=2.$$

A.6 直流电阻示值误差校准不确定度评定

A.6.1 标准不确定度评定

A.6.1.1 被校试验装置重复性引入的标准不确定度 $u_A(Z_X)$

测量结果的重复性引入的标准不确定度采用 A 类方法评定。对 100Ω 直流电阻测量点, 10 次重复测量结果如表 A.7 所示。

表 A.7 试验装置直流电阻重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/Ω	100.4	100.3	100.4	100.2	100.3
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/Ω	100.3	100.4	100.4	100.3	100.2

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 100.32 \text{ } \Omega$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0789 \text{ } \Omega$$

$$\text{则 } u_A(Z_X) = 0.0789 \text{ } \Omega$$

A.6.1.2 测量标准电阻箱的电阻准确度引入的标准不确定度 $u(Z_N)$

测量标准电阻箱的电阻技术指标在 100Ω 测量点最大允许误差为 $\pm 0.01\%$, 其半宽度 $a = 0.01\% \times 100 \Omega = 0.01 \text{ } \Omega$, 在该区间内为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则测量标准引入的标准不确定度为:

$$u(Z_N) = \frac{a}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} \text{ } \Omega = 0.00578 \text{ } \Omega$$

A.6.1.3 被校试验装置直流电阻的分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta Z_X)$

被校试验装置直流电阻分辨力为 0.1 Ω, 其区间半宽为 $a = 0.05 \text{ } \Omega$, 为均匀分布, 则包含因子 $k = \sqrt{3}$, 由分辨力引入的标准不确定度为:

$$u(\delta Z_X) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \text{ } \Omega = 0.0289 \text{ } \Omega$$

A.6.2 合成标准不确定度

不确定度分量汇总见表 A.8。灵敏系数由公式 (A.1) 或 (A.2) 计算得到。

表 A.8 试验装置直流电阻校准不确定度分量汇总表

输入量 x_i	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)/\Omega$	分布类型	灵敏系数	不确定度分量 u_i/Ω
Z_X	被校试验装置的重复性	0.0789	正态	1	0.0789
Z_N	直流电阻箱的最大允许误差	0.00578	均匀	-1	0.00578
δZ_X	被校试验装置的分辨力	0.0289	均匀	1	0.0289

为避免重复计算，一般测量重复性引入的不确定度分量和分辨率引入的不确定度分量取较大者。则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(0.0789)^2 + (0.00578)^2} \Omega = 0.0792 \Omega$$

A.6.3 扩展不确定度

$U = k \times u_c$ ，取 $k=2$ ，由此得到直流电阻 100 Ω 校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 0.0792 \Omega = 0.16 \Omega，\text{相对扩展不确定度为：} U_{\text{rel}} = 0.2\%，k=2。$$

A.7 电感示值误差校准不确定度评定

A.7.1 标准不确定度评定

A.7.1.1 被校试验装置重复性引入的标准不确定度 $u_A(Z_X)$

测量结果的重复性引入的标准不确定度采用 A 类方法评定。对 1H 电感测量点，10 次重复测量结果如表 A.9 所示。

表 A.9 试验装置电感重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
测量值/H	1.005	1.005	1.004	1.003	1.003
第 i 次测量	6	7	8	9	10
测量值/H	1.005	1.005	1.005	1.003	1.004

$$\text{测量结果的平均值：} \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.0042 \text{ H}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差：} s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.000919 \text{ H}$$

则 $u_A(Z_X)=0.000919$ H

A.7.1.2 测量标准电感器准确度引入的标准不确定度 $u(Z_N)$

测量标准电感器技术指标在 1H 测量点最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，其半宽度 $a=0.05\% \times 1\text{H}=0.0005$ H，在该区间内为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则测量标准引入的标准不确定度为：

$$u(Z_N)=\frac{a}{k}=\frac{0.0005}{\sqrt{3}}\text{H}=0.000289\text{H}$$

A.7.1.3 被校试验装置电感的分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta Z_X)$

被校试验装置电感分辨力为 0.001 H，其区间半宽为 $a=0.05$ H，为均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，由分辨力引入的标准不确定度为：

$$u(\delta Z_X)=\frac{0.0005}{\sqrt{3}}\text{H}=0.000289\text{H}$$

A.7.2 合成标准不确定度

不确定度分量的汇总见表 A.10。灵敏系数由公式 (A.1) 或 (A.2) 计算得到。

表 A.10 试验装置电感校准不确定度分量汇总表

输入量 x_i	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)/\text{H}$	分布类型	灵敏系数	不确定度分量 u_i/H
Z_X	被校试验装置的重复性	0.000919	正态	1	0.000919
Z_N	标准电感器的最大允许误差	0.000289	均匀	-1	0.000289
δZ_X	被校试验装置的分辨力	0.000289	均匀	1	0.000289

为避免重复计算，一般测量重复性引入的不确定度分量和分辨率引入的不确定度分量取较大者。则：

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=\sqrt{(0.000919)^2+(0.000289)^2}\text{H}=0.000964\text{H}$$

A.7.3 扩展不确定度

$U=k \times u_c$ ，取 $k=2$ ，由此得到电感 1H 校准结果的扩展不确定度为：

$U=2 \times 0.000964\text{H}=0.002\text{H}$ ，相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.2\%$ ， $k=2$ 。

附录 B

校准原始记录格式

电机定子试验装置校准记录

证书编号: _____ 共×页 第×页

送校单位: _____ 委托方地址: _____

仪器名称: _____ 制造单位: _____

规格型号: _____ 器具编号: _____

被校仪器状态 (完好“√”): 校准前: _____ 校准后: _____

校准依据: _____ 环境条件: 温度: _____ °C 相对湿度: _____ %

标准器名称	规格型号	不确定度/准确度等级 /最大允许误差	证书编号	有效期至

校准结果					
1、外观及通电检查: _____		2、绝缘水平检查: _____			
3、交流耐压输出电压:					
量程	设定值	实测值 (AC)		实际值	扩展不确定度

4、击穿报警电流：					
量程	显示值	实测值 (AC)		实际值	扩展不确定度
5、电压保持时间：					
量程	设定值	实测值		实际值	扩展不确定度
6、工作电压：			7、绝缘电阻：		
设定值	实际值	扩展不确定度	标准值	显示值	扩展不确定度
8、输出冲击电压峰值：			9、波前时间：		
显示值	实际值	扩展不确定度	标称值	实际值	扩展不确定度

附录 C

校准证书内页格式

证书编号××××××-××××

<校准机构授权说明> 校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求				
校准环境条件及地点:				
温度		°C	地点	
相对湿度		%	其他	
校准所依据的技术文件 (代号、名称):				
校准所使用的主要测量标准:				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	证书有效期至

证书编号×××××-××××

校准结果

1、交流耐压输出电压：			
量程	设定值	实际值	扩展不确定度
2、击穿报警电流：			
量程	显示值	实际值	扩展不确定度
3、电压保持时间：			
量程	设定值	实际值	扩展不确定度
4、工作电压：			
设定值	实际值		扩展不确定度

证书编号××××××-××××

校准结果

4、工作电压 (续):		
设定值	实际值	扩展不确定度
5、绝缘电阻:		
标准值	显示值	扩展不确定度
6、输出冲击电压峰值:		
显示值	实际值	扩展不确定度
7、波前时间:		
标称值	实际值	扩展不确定度

