

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

飞机供电特性参数测试系统校准规范

Calibration specification of the Testing Equipments

for Parameters in Aircraft Power Supply System

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

飞机供电特性参数测试系统 校准规范

Calibration specification of the Testing Equipments for
Parameters in Aircraft Power Supply System

JJF XXXX-XX

归口单位：全国航空专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

深圳中航技术检测所有限公司

中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所

参加起草单位：西北工业大学

中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

中国航空工业集团公司成都飞机设计研究所

本规范委托全国航空专用计量测试技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

（深圳中航技术检测所有限公司）

（中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所）

参加起草人：

（西北工业大学）

（中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院）

（中国航空工业集团公司成都飞机设计研究所）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	3
6 校准条件	5
6.1 环境条件	5
6.2 测量标准及其他设备	5
7 校准项目和校准方法	7
7.1 校准项目	7
7.2 校准方法	7
8 校准结果表达	19
9 复校时间间隔	20
附录 A 不确定度评定示例	21
附录 B 校准原始记录格式	26
附录 C 校准证书内页格式	36

引言

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》和 JJF1059.1-2012《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。

飞机供电特性参数测试系统校准规范

1 范围

本规范适用于具有单相、三相交流及直流测量功能的飞机供电特性参数测试系统的校准，也适用于具有上述单一测量功能或组合测量功能的测试系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GJB 181B—2012 飞机供电特性

GJB 5189—2003 飞机供电特性参数测试方法

GJB 5558—2006 飞机供电特性测试要求

RTCA/DO-160G 机载设备环境条件和试验程序第 16 部分电源输入

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 术语和定义

本规范所使用的术语及定义与 GJB 181B—2012《飞机供电特性》一致。

3.1 稳态 steady state

在任意长时段内供电特性保持在正常工作稳态特性范围内的一种状态。

3.2 瞬态 transient state

由于电气负载变化或发动机转速变化等原因引起的正常扰动造成电压或频率变化的一种状态。

3.3 瞬变 transient

直流电压的变化及交流电压或频率的变化过程，有些瞬变可能由于瞬时的供电中断或故障清除产生的非正常扰动而引起的。

3.4 交流电压 AC voltage

相电压每一半波的方均根值。

3.5 稳态交流电压 steady state AC voltage

在大于且接近 1s 时间间隔内交流电压的时间平均值。

3.6 交流电压峰值 peak AC voltage

每一半波绝对值最大的瞬时电压值。

3.7 波峰系数 crest factor

每个半波交流电压峰值与其方均根值之比的绝对值。

3.8 交流畸变 AC distortion

交流波形中除基波之外的方均根值。

3.9 交流畸变系数 AC distortion factor

交流畸变与基波分量方均根值之比。

3.10 交流畸变频谱 AC distortion spectrum

交流畸变每一频率分量的方均根值。

交流畸变频谱包括电压调制和频率调制产生的分量以及波形中的谐波和非谐波分量。

3.11 电压相位差 voltage phase difference

任意两相电压基波分量在从负到正方向过零时相邻交点间的电角度之差。

3.12 直流畸变 DC distortion

直流电压中交流分量的方均根值。

3.13 直流电压畸变系数 DC distortion factor

直流畸变与稳态直流电压之比。

3.14 直流畸变频谱 DC distortion spectrum

直流畸变每一频率分量的方均根值。

3.15 电压调制幅度 voltage modulation amplitude

在稳态工作期间任 1s 内出现的交流电压最大值与最小值之差

3.16 频率调制幅度 frequency modulation amplitude

在稳态工作期间任 1min 时间间隔内出现的最大和最小频率之差。

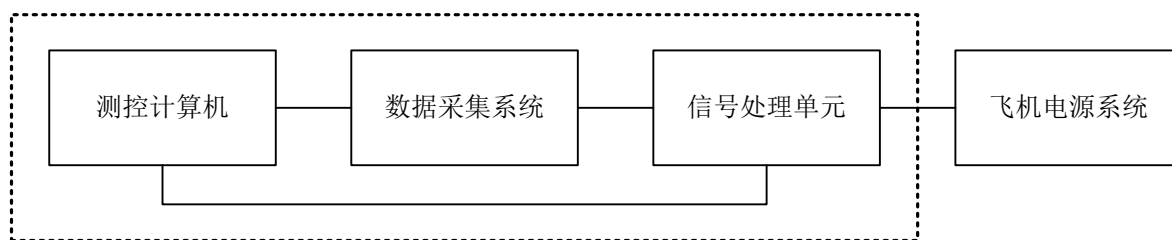
3.17 脉动幅度 ripple amplitude

瞬时电压与稳态直流电压的最大差值。

4 概述

飞机供电特性参数测试系统用于飞机电源系统、配电系统、机载产品供电兼容性及机载用电设备电源输入端电气参数测试。

飞机供电特性参数测试系统（以下简称测试系统）分为地面飞机供电特性参数测试系统和机载飞机供电特性参数测试系统；一般由测控计算机、数据采集系统、信号处理单元组成；信号处理单元完成被测设备的电压信号衰减、电流—电压信号转换、畸变信号调理及功率继电器信号输出等功能；调理后的模拟信号送入数据采集系统进行采样；测控计算机运行专用测试软件依据相关的供电特性标准对飞机电源系统的供电特性进行分析、处理、显示等工作，原理框图如图 1 所示。



飞机供电特性参数测试系统

图1 飞机供电特性参数测试系统原理框图

5 计量特性

5.1 稳态交流电压

测量范围：80V~180V（360Hz~800Hz）；

最大允许误差：±0.5%。

5.2 电压调制幅度

测量范围：0.5V~5V；

最大允许误差：±0.1V。

5.3 电压相位差

测量范围：110°~130°；

最大允许误差：±0.2°。

5.4 交流畸变系数

测量范围：0.005~0.05（10Hz~1MHz）；

最大允许误差：±0.0025。

5.5 交流畸变频谱

测量范围：-35dBV~10dBV（10Hz~1MHz）；

最大允许误差：±2dB（f≤50kHz）；±5dB（f>50kHz）。

5.6 波峰系数

测量范围：1.30~1.60；

最大允许误差：±0.02。

5.7 交流电压直流分量

测量范围：-0.20V~0.20V；

最大允许误差：±0.01V。

5.8 稳态频率

测量范围：360Hz~800Hz

最大允许误差：±0.1%。

5.9 频率调制幅度

测量范围：1Hz~5Hz；

最大允许误差：±0.4Hz。

5.10 稳态交流电流

测量范围：10A~2000A（360Hz~800Hz）；

最大允许误差：±1%。

5.11 瞬态峰值电压

测量范围：±（113V~280V）；

最大允许误差：±1%。

5.12 瞬态电压

测量范围：80V~180V；

最大允许误差：±1%。

5.13 瞬态频率

测量范围：360Hz~800Hz；

最大允许误差：±0.2%。

5.14 稳态直流电压

测量范围：10V~350V；

最大允许误差：±0.5%。

5.15 直流畸变系数

测量范围：0.005~0.05（10Hz~500kHz）；

最大允许误差：±0.0025。

5.16 直流畸变频谱

测量范围：-60dBV~10dBV（10Hz~500kHz）；

最大允许误差：±2dB（ $f \leq 50\text{kHz}$ ）；±5dB（ $f > 50\text{kHz}$ ）。

5.17 脉动幅度

测量范围：0.1V~6V（10Hz~500kHz）；

最大允许误差：±0.05V。

5.18 直流电压瞬变

测量范围：10V~350V；

最大允许误差：±1%。

5.19 稳态直流电流

测量范围：10A~2000A；

最大允许误差：±1%。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

a) 环境温度：23℃±5℃；

b) 相对湿度：≤80%；

c) 供电电源：(220±22)V，(50±1) Hz；

注：现场校准时，现场的环境条件和供电条件不符合上述要求时，则应考虑其对不确定度的影响。

6.2 测量标准及其他设备

校准时由标准器及及配套设备引入的扩展不确定度 U ($k=2$) 应不大于被校准测试系统最大允许误差绝对值的 1/3。

6.2.1 交流功率标准源

1) 电压范围：10mV~200V，最大允许误差：±0.1%；

2) 电流范围：10mA~50A，最大允许误差：±0.2%；

3) 频率范围：300Hz~850Hz，最大允许误差：±0.02%；

4) 谐波输出：谐波次数 2 至 20，谐波幅度 0~5%，最大允许误差±0.1%（绝对误差）；

5) 幅度调制：调制频率 1Hz~200Hz，调制幅度 0.1V~5V，最大允许误差±0.01V；

6) 频率调制：调制变化率 1Hz/s~200Hz/s，调制幅度 0.1Hz~10Hz，调制量最大允许误差±0.1Hz；

7) 电压相间相位 110°~130°，最大允许误差±0.05°；

8) 电压与电流相位 $0\sim\pm 60^\circ$, 最大允许误差 $\pm 0.05^\circ$ 。

6.2.2 直流标准电压源

- 1) 电压输出范围: $10\text{mV}\sim 350\text{V}$;
- 2) 最大允许误差: $\pm 0.1\%$ 。

6.2.3 交流标准电流源

- 1) 电流范围: $10\text{A}\sim 2000\text{A}$;
- 2) 频率范围: $300\text{Hz}\sim 850\text{Hz}$;
- 3) 最大允许误差: $\pm 0.2\%$

6.2.4 直流标准电流源

- 1) 电流范围: $10\text{A}\sim 2000\text{A}$;
- 2) 最大允许误差: $\pm 0.2\%$

6.2.5 宽带功率放大器

- 1) 频率范围: $10\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$;
- 2) 输出信号幅度: 电压峰峰值不小于 350V ;
- 3) 直流偏移: $0\sim 300\text{V}$ 。

6.2.6 任意波形发生器:

- 1) 频率范围: 不小于 1MHz ;
- 2) 信号幅度: 电压峰峰值不小于 20V ;
- 3) 垂直分辨率: 不低于 16bit 。

6.2.7 功率分析仪

- 1) 电压测量范围: $10\text{mV}\sim 400\text{V}$, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$;
- 2) 电流测量范围: $10\text{mA}\sim 2000\text{A}$, 最大允许误差: $\pm 0.2\%$
- 3) 测量带宽不小于 1MHz , 谐波幅值允许误差 $\pm (0.1\%\sim 5\%)$ 。

6.2.8 数字示波器

- 1) 工作带宽: 不低于 500MHz (输入阻抗 $1\text{M}\Omega$);
- 2) 直流增益: $1\text{mV/div}\sim 10\text{V/div}$, 最大允许误差: $\pm 0.5\%\text{FS}$;
- 3) 具有 FFT 及谐波分析功能, 最大允许误差 $\pm (0.1\%\sim 5\%)$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 稳态交流电压；
- b) 电压调制幅度；
- c) 电压相位差；
- d) 交流畸变系数；
- e) 交流畸变频谱；
- f) 波峰系数；
- g) 交流电压直流分量；
- h) 稳态频率；
- i) 频率调制幅度；
- j) 稳态交流电流；
- k) 瞬态峰值电压；
- l) 瞬态电压；
- m) 瞬态频率；
- n) 稳态直流电压；
- o) 直流畸变系数；
- p) 直流畸变频谱；
- q) 脉动幅度；
- r) 直流电压瞬变；
- s) 稳态直流电流。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

- a) 外观及附件检查

测试系统与计量特性有关的各引出端的标志应清晰，电压回路和电流回路公共端应有明显标志；结构特殊或专用的输入输出端口，须配有专用电缆和相应工具。

- b) 工作正常性检查

按照使用说明书对被校测试系统通电，对其各项功能进行检查，均应正常；功能性检查完成后，给测试系统所选定的测量通道加入其测量范围 50%~90%内的任意非零恒定信号，检查其是否工作正常。

c) 预热

校准前，校准用标准设备及被校测试系统应按各自使用说明书的要求进行开机预热；无明确要求时，开机预热时间不小于 30min。预热后，按照使用说明书对测试系统进行预调整，校准过程中不应做对测试系统性能有影响的调整。

7.2.2 稳态交流电压

a) 按图2连接仪器；

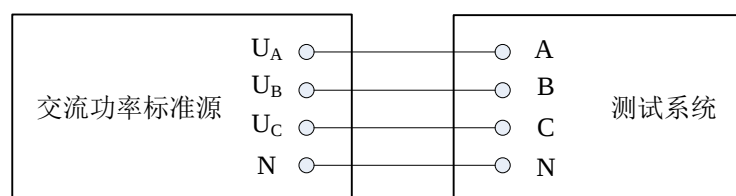


图2 稳态交流电压校准连接示意图

b) 对于变频交流测试系统，选取360Hz、400Hz及800Hz等3个频率点；对于恒频交流测试系统选取400Hz频率点；每个频率点在80V~180V范围内选取不少于5个电压校准点，如选取80V、100V、115V、150V、180V。也可根据测试系统的使用要求选取校准点。

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为稳态交流电压测量模式；

d) 根据校准点设置交流功率标准源的电压输出 U_N （三相同时输出时，初始相位分别设置为 $\phi A=0^\circ$ 、 $\phi B=120^\circ$ 、 $\phi C=240^\circ$ ），待读数稳定后，读取测试系统相应测量通道示值 U_X ；

e) 按公式（1）和公式（2）计算被校测试系统的稳态交流电压示值误差；

$$\Delta U = U_X - U_N \quad (1)$$

$$\gamma_U = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ΔU —被校测试系统稳态交流电压绝对示值误差，V；

U_N —交流功率标准源输出电压标准值，V；

U_x —测试系统测量显示值，V；

γ_U —被校测试系统稳态交流电压相对示值误差。

7.2.3 电压调制幅度

- a) 按图2连接仪器；
- b) 设定载波信号为115V/400Hz，正弦调制方式，在1Hz、10Hz、200Hz等3个调制频率下各选取调制幅度0.5V、2.5V、5V作为校准点；或根据测试系统的使用要求选取校准点。
- c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为电压调制幅度测量模式；
- d) 根据校准点设置交流功率标准源的电压调制幅度输出（三相同步输出时，初始相位设为 $\phi_A=0^\circ$ 、 $\phi_B=120^\circ$ 、 $\phi_C=240^\circ$ ），待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.4 电压相位差

- a) 按图2连接仪器；
- b) 对于变频交流测试系统，选取360Hz、400Hz及800Hz等3个频率点；对于恒频交流测试系统选取400Hz频率点；每个频率点选取 116° 、 118° 、 120° 、 122° 、 124° 等5个校准点；或根据测试系统的使用要求选取校准点。
- c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为电压相位差测量模式；
- d) 设置交流功率标准源的电压输出115V，根据校准点设定频率及相位，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.5 交流畸变系数

- a) 按图2连接仪器；
- b) 对于交流变频测试系统，选取基波115V/800Hz；对于恒频交流测试系统，选取基波为115V/400Hz。谐波次数选择2次、4次、6次、8次、10次、12次、14次，每个谐波至少做0.5%和2.75%两个谐波含量的校准；总谐波含量按5.00%选取；或根据测试系统的使用要求选取校准点。
- c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为交流畸变系数测量模式；
- d) 按校准点设置交流功率标准源的基波及谐波输出，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.6 交流畸变频谱

对于变频交流测试系统，选取基波115V/800Hz；对于恒频交流测试系统选取基波为115V/400Hz；交流畸变频谱的校准点按照飞机供电特性交流电压最大畸变频谱图的波形拐点选取，如选取10Hz（-10dBV）、100Hz（-10dBV）、1kHz（10dBV）、3kHz（10dBV）（变频测试系统为6kHz）、10kHz（-0.46dBV）（变频测试系统为5.56dBV）、100kHz（-20.46dBV）（变频测试系统为-14.44dBV）六个校准点；或根据测试系统的使用要求选取校准点。

7.2.6.1 标准源法

- 按图2连接仪器；
- 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为交流畸变频谱测量模式；
- 按校准点设置交流功率标准源的基波及畸变输出，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值；在测试系统测控软件显示界面内的畸变频谱记录曲线中寻找相应频率畸变信号，按照测控软件的使用说明求出该频率分量的频谱幅度。

7.2.6.2 标准表法

- 按图3连接线路；

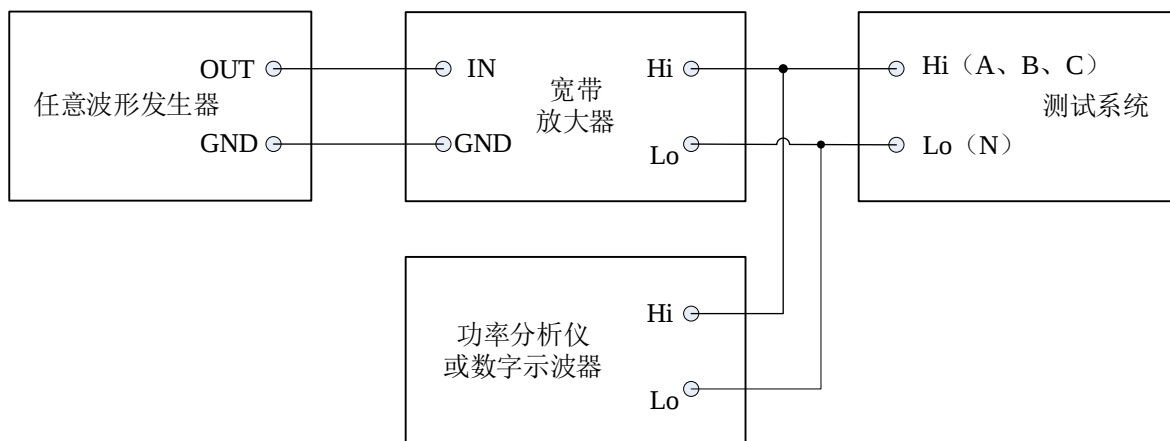


图3 交流电压畸变频谱校准标准表法接线示意图

- 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为交流畸变频谱测量模式；
- 采用任意波发生器模拟交流畸变频谱的各种变化，宽带功率放大器把这种变化放大到实际供电信号的水平：按校准点设定任意波发生器输出幅度为10V的基波及畸变信号，同时调节宽带放大器输出幅度至115V±2V范围，直至从功率分析仪或数字存储示波器读取

示值满足校准要求，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值；

d) 在测试系统测控软件显示界面内的畸变频谱记录曲线中寻找相应频率畸变信号，按照测控软件的使用说明求出该频率分量的频谱幅度。

7.2.7 波峰系数

校准点选取：对于变频交流测试系统，选取360Hz、400Hz及800Hz等3个频率点，对于恒频交流测试系统选取400Hz频率点；每个频率点在波峰系数1.30~1.60范围内取不少于4个校准点，如选取1.30、1.41、1.50、1.60。

7.2.7.1 时域法

- a) 按图3连接线路；
- b) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为波峰系数测试模式；
- c) 调整任意波形发生器三角波的斜率并将三角波削顶，定量控制产生不同波峰系数的交流电压；
- d) 按校准点设定任意波发生器输出幅度为10V的信号，同时调节宽带放大器输出幅度至 $115V \pm 2V$ 范围，从功率分析仪或数字示波器读取波峰系数示值作为标准值，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.7.2 频域法

- a) 按图3连接线路；
- b) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为波峰系数测试模式；
- c) 采用含有3个以下谐波的频率波形，由给定的谐波含量比确定最小波峰系数，而最大波峰系数存在于峰值直接叠加状态，在最大和最小之间的波峰系数值，通过调整相位关系产生确定
- d) 按校准点设定任意波发生器输出幅度为10V的信号，同时调节宽带放大器输出幅度至 $115V \pm 2V$ 范围，从功率分析仪或数字示波器读取波峰系数示值作为标准值，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.8 交流电压直流分量

- a) 按图3连接线路；
- b) 对于变频交流测试系统，选取360Hz、400Hz及800Hz等3个频率点，对于恒频交流测试系统选取400Hz频率点；每个频率点在交流电压直流分量 $-0.2V \sim 0.2V$ 范围内取不少于4

个校准点，如选取-0.2V、-0.1V、0.1V、0.2V；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为交流电压直流分量测试模式；

d) 设定任意波发生器输出幅度为10V的信号，同时调节宽带放大器输出幅度为115V $\pm$ 2V，按校准点调节宽带放大器直流偏置电压，从功率分析仪或数字存储示波器读取交流电压直流分量示值作为标准值；待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.9 稳态频率

a) 按图2连接线路；

b) 对于变频交流测试系统，在幅值115V、360Hz $\sim$ 800Hz频率范围内选择不少于5个频率点，如选取360Hz、400Hz、500Hz、600Hz、800Hz等5个频率点；对于恒频交流测试系统，选取为375Hz、400Hz、425Hz、480Hz等4个频率点；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为稳态频率测试模式；

d) 按校准点设置交流功率标准源的输出，三相同步输出时，初始相位设为 $\phi_A=0^\circ$ 、 $\phi_B=120^\circ$ 、 $\phi_C=240^\circ$ ，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.10 频率调制幅度

a) 按图2连接线路；

b) 设定载波信号为115V/400Hz，在1Hz/s、10Hz/s、100Hz/s等3个频率调制变化率下各选取频率调制幅度1Hz、2.5Hz、5Hz作为校准点；或根据测试系统的使用要求选取校准点；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为频率调制幅度测试模式；

d) 根据校准点设定设置交流功率标准源的频率调制输出（三相同步输出时，初始相位设为 $\phi_A=0^\circ$ 、 $\phi_B=120^\circ$ 、 $\phi_C=240^\circ$ ），待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.11 稳态交流电流

a) 按图4连接线路；

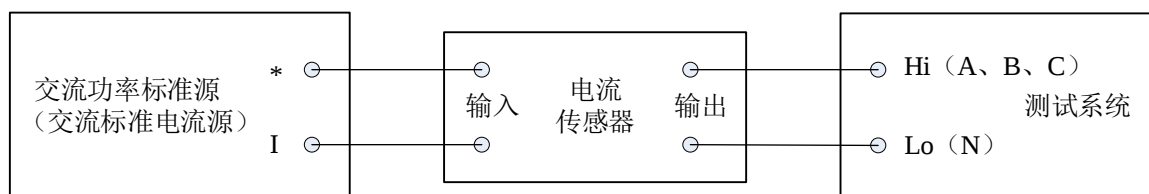


图4 稳态交流电流校准连接示意图

b) 对于变频交流测试系统，选取360Hz、400Hz及800Hz等3个频率点，对于恒频交流测试系统选取400Hz频率点；每个频率点在测量范围内选取10%、20%、50%、80%、100%等5个校准点；或根据测试系统的使用要求选取校准点；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为稳态交流电流测试模式；

d) 根据校准点设置交流功率标准源（或交流标准电流源）的电流输出，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.12 瞬态峰值电压

a) 按图2连接线路；

b) 对于变频交流测试系统，选取360Hz、400Hz及800Hz等3个频率点，对于恒频交流测试系统选取400Hz频率点；每个频率点在电压峰值 $\pm$ （113V~280V）范围内取不少于5对电压校准点，如选取 $\pm 113.1\text{V}$ 、 $\pm 162.6\text{V}$ 、 $\pm 212.1\text{V}$ 、 $\pm 254.6\text{V}$ 、 $\pm 280.0\text{V}$ ；或根据测试系统的使用要求选取校准点；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为峰值电压测试模式；

d) 按校准点设定设置交流功率标准源峰值电压输出（三相同步输出时，初始相位设为 $\phi_A=0^\circ$ 、 $\phi_B=120^\circ$ 、 $\phi_C=240^\circ$ ），待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.13 瞬态电压

a) 按图3连接线路；

b) 选取400Hz频率点，按照图5所示的正常瞬变电压包络线校准交流瞬态电压；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为交流电压瞬变测试模式；

d) 调节任意波发生器及宽带放大器输出瞬态电压变化曲线，以功率分析仪或数字存储示波器存储记录交流电压示值变化曲线作为标准值，同时用被校设备测量并记录瞬变电压信号，并绘制电压瞬变曲线。

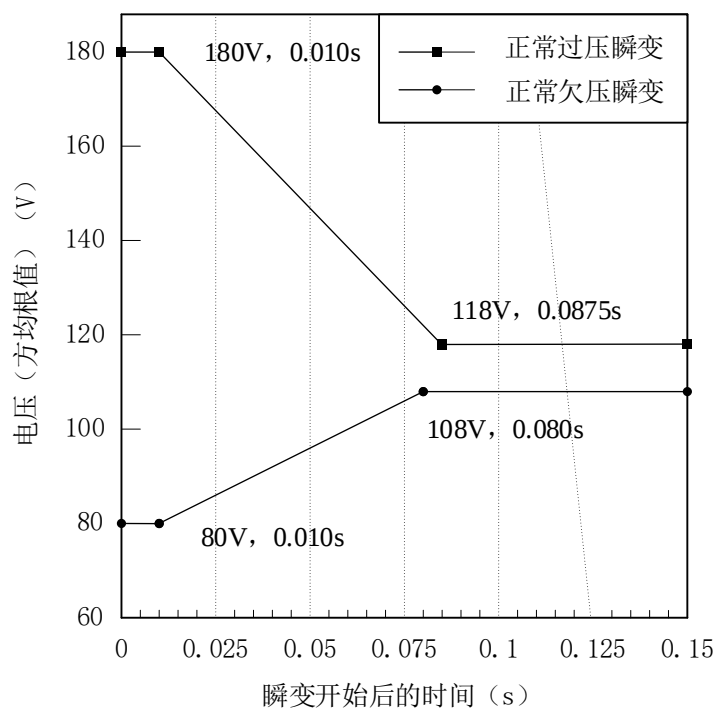


图5 交流正常瞬变电压包络线

7.2.14 瞬态频率

- 按图3连接线路；
- 选取400Hz频率点，按照图6的正常瞬变频率包络线校准交流瞬态频率；

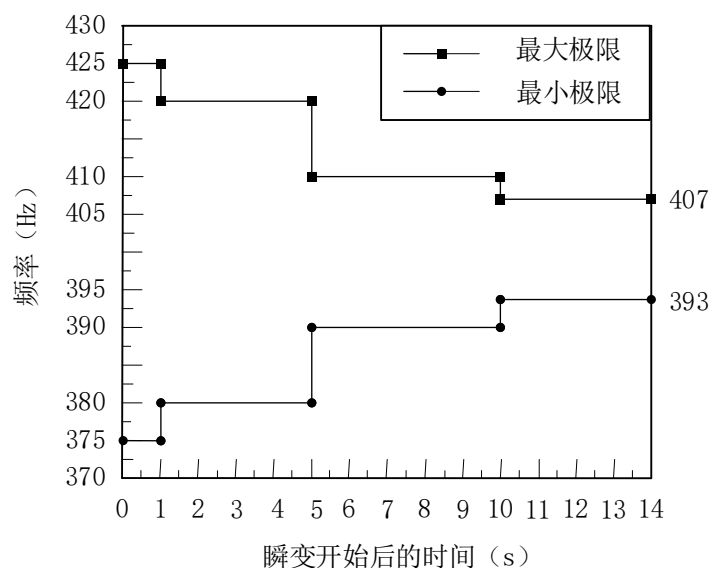


图6 交流正常瞬变频率包络线

- 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为频率瞬变测试模式；

d) 按校准点调节任意波发生器及宽带放大器输出瞬态频率变化曲线，以功率分析仪或数字存储示波器存储记录频率值作为标准值，同时用被校设备测量并记录频率瞬变信号，并绘制频率瞬变曲线。

7.2.15 稳态直流电压

a) 按图8连接线路；

b) 对于直流28V测试系统，校准点选取包含瞬变上下限的5个点，如10V、25V、28V、30V、50V；对于直流270V测试系统，校准点取50V、100V、200V、270V、350V等5个点；或根据测试系统的使用要求选取校准点；

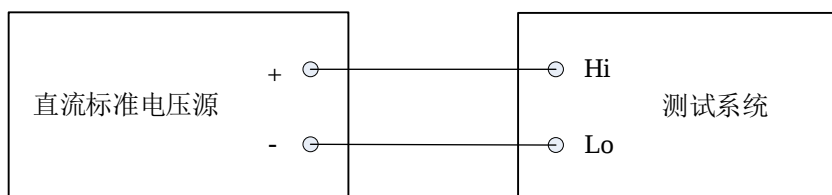


图7 稳态直流电压校准接线示意图

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为稳态直流电压测试模式；

d) 根据校准点设置直流标准电压源的输出电压，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

7.2.16 直流畸变系数

a) 按图3连接线路；

b) 直流畸变系数的校准点在频率10Hz~500kHz范围内选取不少于5个频率点，一如10Hz、100Hz、1kHz、10kHz、100kHz，每个频率点选取0.005、0.025、0.05等3个畸变系数数值，或根据测试系统的使用要求选取校准点；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为直流畸变系数测试模式；

d) 按校准点设置任意波发生器的输出信号和功率放大器的放大倍数，使得功率放大器的输出满足：直流分量份为 $28V \pm 1V$ 或 $270V \pm 10V$ ，叠加的交流分量为选定的畸变系数信号；

e) 从功率分析仪读取信号交流分量及直流分量，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值；

f) 按照以下公式计算标准直流电压畸变系数：

$$k_{zj} = \frac{U_{ac}}{U_{dc}} \quad (3)$$

式中：

k_{zj} ——标准直流电压畸变系数；

U_{ac} ——功率分析仪测得的直流畸变信号的交流分量，V；

U_{dc} ——功率分析仪测得的直流畸变信号的直流分量，V。

7.2.17 直流畸变频谱

a) 按图3连接线路；

b) 直流畸变频谱的校准点覆盖直流电压最大畸变频谱上限选取不少于6个点，如按表1所示选取；或根据测试系统的使用要求选取校准点；

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为直流畸变频谱测试模式；

表1 直流畸变频谱校准点

频率/Hz	畸变频谱幅值/dBV	
	直流 28V 测试系统	直流 270V 测试系统
10	-20	-10
100	-10	0
1k	0	10
5k	0	10
50k	-20	-10
100k	-32.04	-22.04

d) 按校准点设置任意波发生器的输出信号和功率放大器的放大倍数，使得功率放大器的输出满足：直流含量为28V±1V或270V±10V），叠加的交流含量为选定的畸变频谱信号；

e) 待读数稳定后，用功率分析仪（数字存储示波器）和被校测试系统同时测量功率放大器输出信号的畸变频谱；对功率分析仪（数字存储示波器）的采样数据进行频谱分析，作为标准值。

7.2.18 脉动幅度

a) 按照图3连接线路；

b) 直流电压脉动幅度校准点的信号频率及幅度分量按表2所示选取，或根据测试系统的使用要求选取校准点；

表2 直流电压脉动频率及幅值

校准信号	脉动频率分量/Hz	电压（V方均根值）	
		28V系统	270V系统
A	1200	1.00	3.16
	2400	0.20	0.96
	3600	0.33	1.56
	4800	0.10	0.48
	6000	0.16	0.78
	7200	0.05	0.24
B	2400	1.00	3.16
	4800	0.20	0.96
	7200	0.33	1.56
	9600	0.10	0.48
	12000	0.16	0.78
	14400	0.05	0.24
	16800	0.08	0.36

c) 选定测试系统被校准的测量通道，并置为直流电压脉动幅度测试模式；

d) 按校准点设置任意波发生器的输出信号和功率放大器的放大倍数，使得功率放大器的输出满足：直流含量为 $28V \pm 1V$ 或 $270V \pm 10V$ ，叠加的交流含量为选定的脉动信号；

e) 待读数稳定后，用功率分析仪（数字存储示波器）和被校测试系统同时测量功率放大器输出信号的脉动幅度；功率分析仪（数字存储示波器）测得瞬时电压与稳态直流电压的最大差值作为标准值。

7.2.19 直流电压瞬变

a) 按图3连接线路;

b) 28V测试系统按图8所示设定瞬态变化校准曲线、270V测试系统按图9所示设定瞬态变化校准曲线;

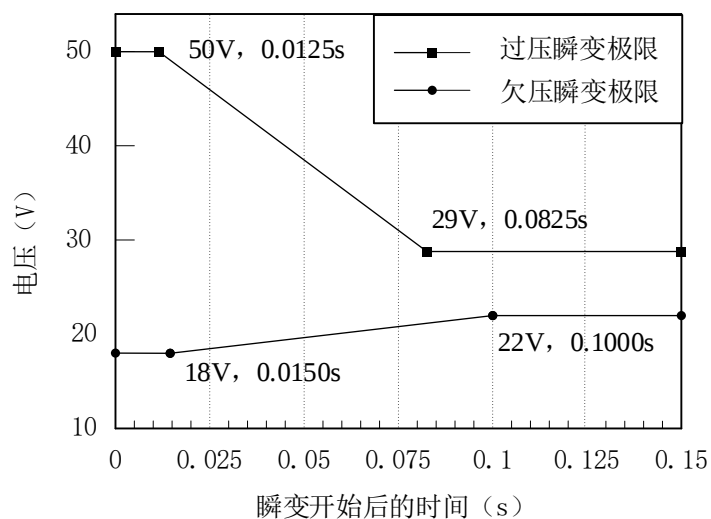


图8 28V 直流正常瞬变电压包络线

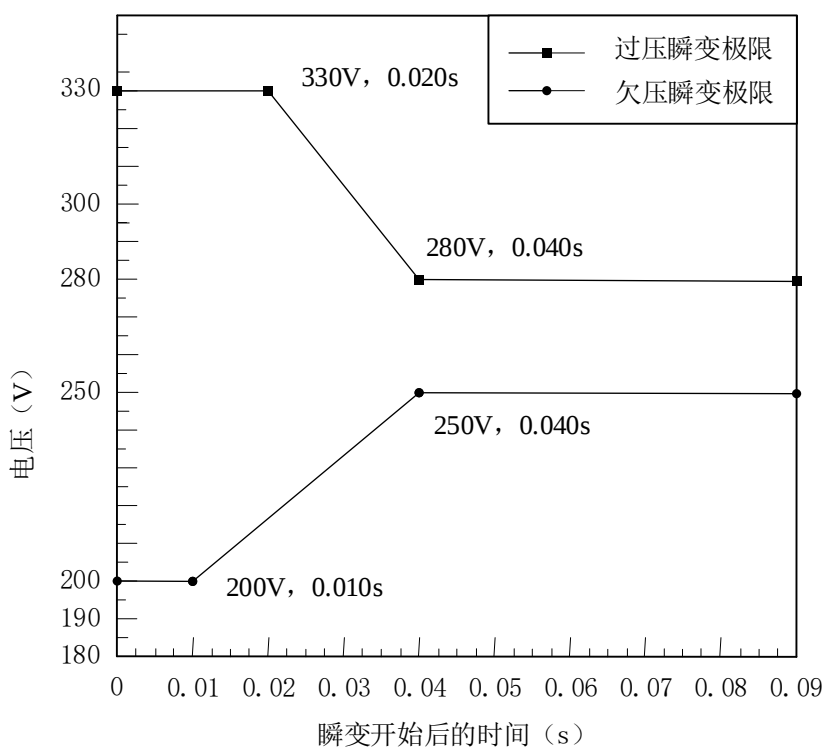


图9 270V 直流正常瞬变电压包络线

- c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为直流电压瞬变测试模式；
- d) 按校准点调节任意波发生器及宽带放大器输出瞬态电压变化曲线，以功率分析仪或数字存储示波器存储记录电压示值变化曲线作为标准值，同时用被校设备测量并记录瞬变电压信号，并绘制电压瞬变曲线。

7.2.20 稳态直流电流

- a) 按图10连接线路；
- b) 在电流测量范围内选取10%、20%、50%、80%、100%等5个校准点，或根据测试系统的使用要求选取校准点；
- c) 选定测试系统被校准的测量通道，并设置为稳态直流电流测试模式；

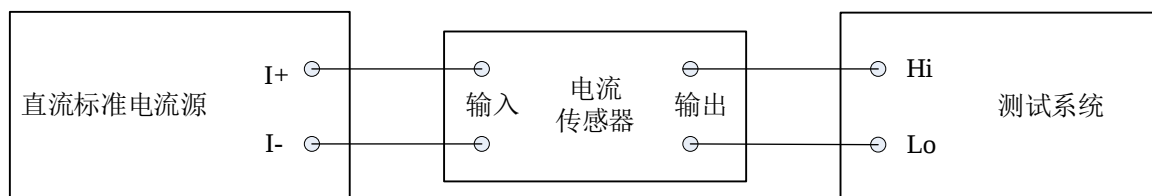


图10 稳态直流电流校准连接示意图

- d) 根据校准点设置直流标准电流源的电流输出，待读数稳定后，读取被校测试系统相应测量通道示值。

8 校准结果表达

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（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) 对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) 校准证书和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, 不得部分复制证书或报告的声明。

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。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由测试系统的使用情况、使用者、本身质量等诸多因素所决定的, 因此送校单位可根据实际使用情况决定其复校时间间隔, 建议一般不超过 1 年。

附录 A 不确定度评定示例

A.1 测量条件及测量方法

测量环境条件：温度 22.8℃，相对湿度 56%；

测量标准：交流功率标准源；

被测对象：某型飞机交流供电特性参数测试系统；

测量方法：稳态交流电压，7.2.2 节；波峰系数，7.2.7 节；频率调制幅度，7.2.10 节。

A.2 稳态交流电压不确定度评定

A.2.1 测量模型

$$\Delta U = U_x - U_N \quad (\text{A.2.1})$$

式中：

ΔU —被校测试系统稳态交流电压绝对示值误差，V；

U_N —交流功率标准源输出电压标准值，V；

U_x —测试系统测量显示值，V；

A.2.2 标准不确定度分量的评定

在校准条件下，稳态交流电压的测量不确定度主要由交流功率标准源的最大允许误差和被校测试系统的测量重复性或分辨力引起，温度、湿度等其它因素的影响可忽略不计。

a) 交流功率标准源最大允许误差引入的标准不确定度 u_1

根据交流功率标准源的技术说明书，其最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，按均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由交流功率标准源引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.05\% \times 115\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.03\text{V}$$

b) 被校测试系统交流电压测量重复性引入的标准不确定度 u_2

被校测试系统在测量 115V/400Hz 交流电压时，在重复性测量条件下，得到一系列数据如下表所示。

表 A.2.1 稳态交流电压重复性测量数据

测量序号 i	1	2	3	4	5
----------	---	---	---	---	---

测量结果 (V)	115.01	115.04	114.96	114.99	115.06
测量序号 i	6	7	8	9	10
测量结果 (V)	114.95	115.03	115.06	115.02	114.96

用单次测量值作为校准结果时, 被校测试系统稳态交流电压测量重复性引入的标准不确定度, 采用贝塞尔公式用单次实验标准偏差评定为:

$$u_2 = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_{xi} - \overline{U_x})^2} = 0.04V$$

c) 被校测试系统交流电压测量分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校测试系统交流电压测量示值分辨力为 0.01V, 按均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_3 = \frac{0.01V}{2\sqrt{3}} = 0.003V$$

A.2.3 合成标准不确定度

考虑到被校测试系统交流电压测量分辨力引入的标准不确定度和重复性引入的标准不确定度有重复, 取二者中较大者, 故将分辨力引入的标准不确定度 u_3 舍去; 其余不确定度分量互不相关, 则合成标准不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.05V$$

A.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = ku_c = 0.10V$$

A.3 波峰系数不确定度评定

A.3.1 测量模型

$$\Delta C_f = C_{fx} - C_{fn} \quad (A.3.1)$$

式中:

ΔC_f — 波峰系数示值误差;

C_{IN} —功率分析仪显示值；

C_{IX} —测试系统测量显示值；

A.3.2 标准不确定度分量的评定

在校准条件下，波峰系数的测量不确定度主要由功率分析仪的最大允许误差、波峰系数发生系统的短期稳定性和被校测试系统的测量重复性或分辨力引起，温度、湿度等其它因素的影响可忽略不计。

a) 功率分析仪最大允许误差引入的标准不确定度 u_1

功率分析仪波峰系数测量的误差为 ± 0.005 ，符合均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由功率分析仪波峰系数测量不准确引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003$$

b) 波峰系数发生系统的短期稳定性引入的标准不确定度 u_2

波峰系数发生系统包括任意波形发生器和宽带功率放大器，波峰系数输出的短期稳定性为 0.001/10min，符合均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则短期稳定性引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.001}{\sqrt{3}} = 0.0006$$

c) 测量值重复性引入的不确定度分量 u_3

被校测试系统在重复性测量条件下，得到一系列数据如下表所示。

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
波峰系数	1.41	1.42	1.41	1.42	1.41	1.42	1.41	1.41	1.41	1.41

用单次测量值作为校准结果时，被校测试系统稳态交流电压测量重复性引入的标准不确定度，采用贝塞尔公式用单次实验标准偏差评定为：

$$u_3 = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{\text{fXi}} - \overline{C_{\text{fX}}})^2} = 0.005$$

d) 被校测试系统波峰系数测量示值分辨力引入的标准不确定度分量 u_4

被校测试系统测量示值分辨力为 0.01，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则分辨力引入的标准不确定度：

$$u_4 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.003$$

A.3.3 合成标准不确定度

考虑到被校测试系统交流电压测量分辨力引入的标准不确定度和重复性引入的标准不确定度有重复，取二者中较大者，故将分辨力引入的标准不确定度 u_4 舍去；其余不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.006$$

A.3.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.012$$

A.4 频率调制幅度不确定度评定

A.4.1 测量模型

$$F_{MX} = F_{MN} \quad (\text{A.4.1})$$

式中：

F_{MN} —交流功率标准源输出频率调制幅度，Hz；

F_{MX} —测试系统测量显示值，Hz；

A.4.2 标准不确定度分量的评定

在校准条件下，频率调制幅度（以 2Hz 为例）的测量不确定度主要由交流功率标准源输出的最大允许误差和被校测试系统的测量重复性或分辨力引起，温度、湿度等其它因素的影响可忽略不计。

a) 交流功率标准源输出最大允许误差引入的标准不确定度 u_1

交流功率标准源频率调制幅度输出的最大允许误差为 $\pm 0.05\%$ ，按均匀分布，包含因

子 $k=\sqrt{3}$ ，则由交流功率标准源引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.05\% \times 2\text{Hz}}{\sqrt{3}} = 0.0006\text{Hz}$$

b) 被校测试系统频率调制幅度测量重复性引入的标准不确定度 u_2

被校测试系统在测量频率调制幅度时，重复性测量条件下，得到一系列数据如下表所示。

序号	1	2	3
频率调制幅度 (Hz)	1.98	2.05	2.01

校准时取最大值作为测量结果，校准结果分散性大，试验标准偏差采用极差法计算；测量值重复性引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{2.05\text{Hz} - 1.98\text{Hz}}{1.69} = 0.04\text{Hz}$$

c) 被校测试系统频率调制幅度测量分辨力引入的标准不确定度 u_3

被校测试系统频率调制幅度测量示值分辨力为 0.01Hz，按均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.01\text{Hz}}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{Hz}$$

A.4.3 合成标准不确定度

考虑到被校测试系统频率调制幅度测量分辨力引入的标准不确定度和重复性引入的标准不确定度有重复，取二者中较大者，故将分辨力引入的标准不确定度 u_3 舍去；其余不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.04\text{Hz}$$

A.4.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.08\text{Hz}$$

附录 B 校准原始记录格式

XXXXX 校准原始记录

证书编号：

送校仪器信息：				
委托单号		送校单位		
名 称		制造单位		
型号/规格		出厂编号		
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
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	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

XXXXX 校准原始记录

证书编号：

B.1 稳态交流电压（误差列、不确定度列）

序号	所测相	标准值(V)	测试值(V)		
			360Hz	400Hz	800Hz
1	A	80.00			
	B				
	C				
2	A	100.00			
	B				
	C				
3	A	115.00			
	B				
	C				
4	A	150.00			
	B				
	C				
5	A	180.00			
	B				
	C				

B.2 电压调制幅度

调制频率 Hz	调制幅度 (V)		
	标准值	测试值	误差
1	0.5		
	2.5		
	5		
10	0.5		
	2.5		
	5		
200	0.5		
	2.5		
	5		

B.3 电压相位差

测试条件	相位标准值 (°)	测试值		
		A-B (°)	B-C (°)	C-A (°)
115V/360Hz	A-B: B-C: C-A:			
	A-B: B-C: C-A:			
	A-B: B-C: C-A:			
115V/400Hz	A-B: B-C: C-A:			
	A-B: B-C: C-A:			
	A-B: B-C: C-A:			
115V/800Hz	A-B: B-C: C-A:			
	A-B: B-C: C-A:			
	A-B: B-C: C-A:			

B.4 交流畸变系数

基波	谐波次数	谐波含量标准值 (%)	谐波含量测量值 (%)
115V/800Hz	2	0.5	
	4	0.5	
	6	0.5	
	8	0.5	
	10	0.5	
	12	0.5	
	14	0.5	
	2	2.75	
	4	2.75	
	6	2.75	
	8	2.75	
	10	2.75	
	12	2.75	
	14	2.75	
	总谐波	5	
115V/400Hz	2	0.5	
	4	0.5	
	6	0.5	
	8	0.5	
	10	0.5	
	12	0.5	
	14	0.5	
	2	2.75	
	4	2.75	
	6	2.75	
	8	2.75	
	10	2.75	
	12	2.75	
	14	2.75	
	总谐波	5	

B.5 交流畸变频谱

频率值 (Hz)	标准值 (dBV)	测试值 (dBV)
10	-10	
100	-10	
1000	10	
3000	10	
10000	-0.46	
100000	-20.46	

B.6 波峰系数

频率 (Hz)	波峰系数标准值	波峰系数测量值
360	1.30	
	1.41	
	1.5	
	1.6	
400	1.30	
	1.41	
	1.5	
	1.6	
800	1.30	
	1.41	
	1.5	
	1.6	

B.7 交流电压直流分量

测试条件	标准值 (V)	测试值 (V)
115V/360Hz	-0.2	
	-0.1	
	0.1	
	0.2	
115V/400Hz	-0.2	
	-0.1	
	0.1	
	0.2	
115V/800Hz	-0.2	
	-0.1	
	0.1	
	0.2	

B.8 稳态频率

序号	幅度设置值 (V)	标称值(Hz)	测试值(Hz)	误差 (%)
1	115	360		
2		400		
3		500		
4		600		
5		800		

B.9 频率调制幅度

调制幅度标准值 (Hz)	测量值 (Hz)		
	1Hz/s	10Hz/s	100Hz/s
1.00			
2.50			
5.00			

B.10 稳态交流电流

频率 (Hz)	标准值(A)	测量值(A)	误差(%)
360			
400			
800			

B.11 瞬态峰值电压

序号	标准值(V)	测试值(V)		
		360Hz	400Hz	800Hz
1	113.1			
	-113.1			
2	162.6			
	-162.6			
3	212.1			
	-212.1			
4	254.6			
	-254.6			
5	280			
	-280			

B.12 瞬态电压

测试条件	电压瞬变曲线波形图
正常瞬变电压上限包络线	
正常瞬变电压下限包络线	

B.13 瞬态频率

测试条件	电压瞬变曲线波形图
正常瞬变频率上限包络线	

正常瞬变频率下限包络线	
-------------	--

B. 14 稳态直流电压

序号	标准值(V)	测试值(V)	误差 (%)
1			
2			
3			
4			
5			

B. 15 直流畸变系数

频率 (Hz)	标准值	测量值
10	0.005	
	0.025	
	0.05	
100	0.005	
	0.025	
	0.05	
1000	0.005	
	0.025	
	0.05	
10000	0.005	
	0.025	
	0.05	
100000	0.005	
	0.025	
	0.05	

B. 16 直流畸变频谱

频率 (Hz)	标准值 (dBV)	测量值 (dBV)
10		

100		
1000		
5000		
50000		
100000		

B. 17 脉动幅度

测试项目	脉动频率分量 (Hz)	电压 (V方均根值)	
		标准值	测试值
A	1200		
	2400		
	3600		
	4800		
	6000		
	7200		
	8400		
	脉动幅度		
B	2400		
	4800		
	7200		
	9600		
	12000		
	14400		
	16800		
	脉动幅度		

B. 18 直流电压瞬变

测试条件	电压瞬变曲线波形图
正常瞬变电压上限包络线	
正常瞬变电压下限包络线	

B. 19 稳态直流电流

序号	标准值(A)	测量值(A)	误差(%)
----	--------	--------	-------

JJF X X X X – X X X X

1			
2			
3			
4			
5			

附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

<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	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
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	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

证书编号 XXXXXX-XXXX

校 准 结 果

(校准项目及校准结果)

说明:

根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下_____个月校准一次。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校 准 员:

核 验 员:

第 X 页 共 X 页