



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—20XX

差模传导干扰模拟器校准规范

Calibration Specification of Differential Mode Conducted Disturbances Simulators

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

差模传导干扰模拟器校准规范

Calibration Specification of Differential Mode

Conducted Disturbances Simulators

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）

中国计量科学研究院

参加起草单位：上海市计量测试技术研究院

中国测试技术研究院

湖南省计量检测研究院

苏州泰思特电子科技有限公司

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：

参加起草人：

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 调制周期与调制频率 modulation period and modulation frequency	1
3.2 总谐波畸变率 total harmonic distortion (THD)	1
3.3 差模电压 differential mode voltage /symmetrical voltage	1
3.4 差模电流 differential mode current	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 差模电压传导干扰模拟器	2
5.2 差模电流传导干扰模拟器	4
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 测量标准及其他设备	5
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	6
8 校准结果表达	12
9 复校时间间隔	12
附录 A 校准原始记录格式	13
附录 B 校准证书内页格式	15
附录 C 主要项目测量不确定度评定示例	18
附录 D 差模电压/电流试验等级	26

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制定工作的基础性系列规范。

本规范编制中参考了下列文件：

GB/T 17626.19《电磁兼容性试验和测量技术交流电源端口 2 kHz 至 150 kHz 差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。

差模传导干扰模拟器校准规范

1 范围

本规范适用于符合 GB/T 17626.19《电磁兼容性试验和测量技术交流电源端口 2 kHz 至 150 kHz 差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验》中要求的差模电压传导干扰模拟器、差模电流传导干扰模拟器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 17626.19 电磁兼容性试验和测量技术交流电源端口 2 kHz 至 150 kHz 差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验

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 调制周期与调制频率 modulation period and modulation frequency

调制频率为按照所需传递信号的变化规律而变化的载波瞬时频率。调制周期 T_{mod} 与调制频率 f_{mod} 为倒数关系，即 $f_{\text{mod}}=1/T_{\text{mod}}$ 。

3.2 总谐波畸变率 total harmonic distortion (THD)

不大于指定次数的所有谐波分量（电压/电流）的均方根值与基波分量（电压/电流）均方根值的比值。

3.3 差模电压 differential mode voltage /symmetrical voltage

在一组规定的带电导体中任意两根之间的电压，又称对称电压。

3.4 差模电流 differential mode current

双芯电缆或多芯电缆中的某两根缆芯中的电流相量差的幅值的一半。

4 概述

差模传导干扰模拟器是实现差模电压和电流干扰注入的试验装置，用于确认电气和电子设备在电压不高于220V(相线-中线；如果没有中线时为相线-地线)、频率为50Hz的供电电源下工作时，承受来自诸如电力电子、电力线通信系统(PLC)等差模传导骚扰的

抗扰度。

差模传导干扰模拟器包括差模电压传导干扰模拟器和差模电流传导干扰模拟器，其中差模电压传导干扰模拟器主要由差模电压试验发生器和耦合去耦网络（可内置或外置）等组成，差模电流传导干扰模拟器主要由差模电流试验发生器和变流器网络等组成，均可输出间歇期连续波（电压/电流）试验波形和矩形调制脉冲（电压/电流）试验波形，试验波形示意图如图1和2所示。

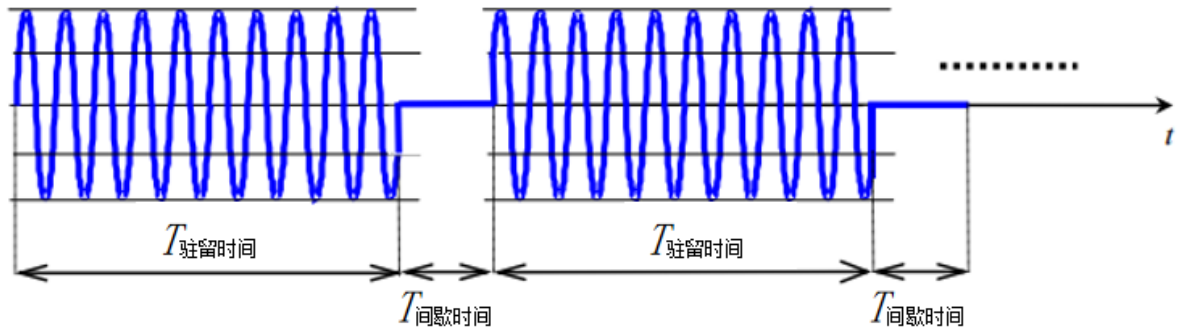


图1 间歇期连续波（电压/电流）试验波形

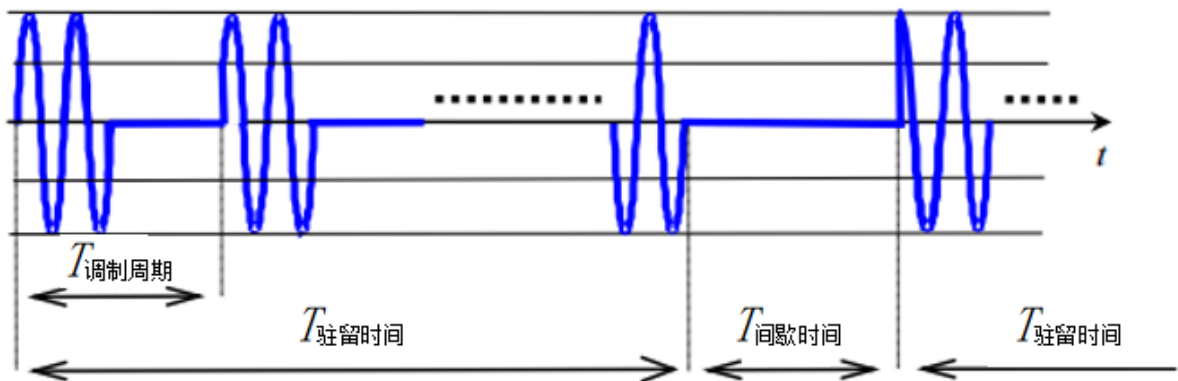


图2 矩形调制脉冲（电压/电流）试验波形

5 计量特性

5.1 差模电压传导干扰模拟器

5.1.1 开路电压

测量范围（有效值）：0.1V~20V；

最大允许误差：±5%。

5.1.2 频率

测量范围：2kHz~150kHz；

最大允许误差：±5%。

5.1.3 驻留时间

测量范围：3s~10s；

最大允许误差：±10%。

5.1.4 间歇时间

标称值：300ms；

最大允许误差：±200ms。

5.1.5 调制周期与调制频率

调制频率：3Hz、101Hz、301Hz、601Hz；

调制频率与调制周期互为倒数关系；

最大允许误差：±10%。

5.1.6 电压总谐波畸变率

小于 5%。

5.1.7 内阻

标称值：10 Ω；

最大允许误差：±30%。

5.1.8 去耦衰减

测量范围：2kHz~150kHz；

允许范围：小于-10dB（2kHz），-50dB(150kHz)，随频率的对数线性减小，从 2 kHz 时的-10 dB 减少到 50 kHz 时的-50 dB，并保持-50 dB 直至 150 kHz。

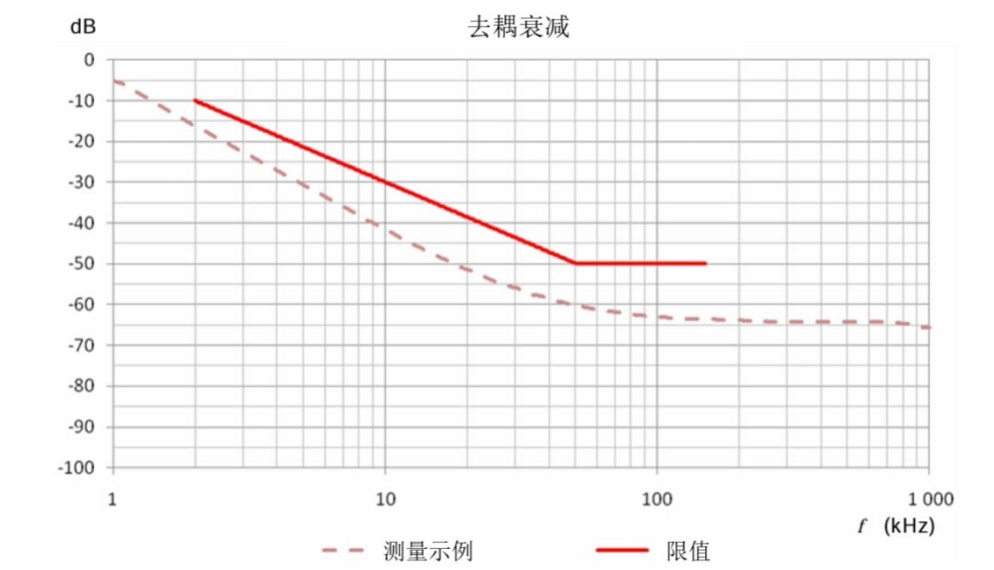


图3 耦合去耦网络--去耦衰减特性

5.2 差模电流传导干扰模拟器

5.2.1 短路电流

测量范围（有效值）：0.01A~4A；

最大允许误差：±5%。

5.2.2 频率

测量范围：2kHz~150kHz；

最大允许误差：±5%。

5.2.3 驻留时间

测量范围：3s~10s；

最大允许误差：±10%。

5.2.4 间歇时间

标称值：300ms；

最大允许误差：±200ms。

5.2.5 调制周期与调制频率

调制频率：3Hz、101Hz、301Hz、601Hz；

调制频率与调制周期互为倒数关系；

最大允许误差：±10%。

5.2.6 电流总谐波畸变率

小于 5%。

5.2.7 内阻

标称值：1Ω；

最大允许误差：±30%。

注：上述指标不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(23±5)℃。

相对湿度：≤80%。

电源要求：(220±22)V，(50±1)Hz。

其他：周围无影响校准工作正常进行的电磁干扰及机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字示波器

带宽：不小于10MHz；

幅度测量最大允许误差：±2%；

时基最大允许误差：±1×10⁻⁴。

6.2.2 差分电压探头

输入阻抗：不小于1MΩ；

衰减比：1~10，最大允许误差：±2%。

6.2.3 电流传感器

带宽：不小于1MHz；

转换系数：1~10，最大允许误差：±1%。

6.2.4 谐波分析仪

频率范围：2kHz~1MHz；

电压输入范围：（0.1~20）V；

电流输入范围：（0.01~4）A；

谐波电压含有率最大允许误差：±0.5%；

谐波电流含有率最大允许误差：±1.0%。

6.2.5 网络分析仪

频率范围：2kHz~150kHz；

传输系数幅值测量最大允许误差：±0.1dB。

6.2.6 不平衡/平衡阻抗转换器

在2kHz~150kHz频率范围内实现50Ω至10Ω的阻抗转换；

数量：2只；

电压驻波比：不大于1.3。

6.2.7 匹配负载

频率范围：2kHz~150kHz；

标称值：10Ω；

最大允许误差：±30%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

如表1所示。

表1 校准项目表

序号	校准项目	
1	外观及工作正常性检查	
2	差模电压传导干扰模拟器	开路电压
		频率
		间歇时间
		驻留时间
		调制周期与调制频率
		电压总谐波畸变率
		内阻
		去耦衰减
3	差模电流传导干扰模拟器	短路电流
		频率
		间歇时间
		驻留时间
		调制周期与调制频率
		电流总谐波畸变率
		内阻

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校差模传导干扰模拟器不应有影响正常工作的机械损伤，前面板各按键、开关、连接器应安装牢固，通断分明，并按规定时间进行预热，将检查记录在附录 A.1。

7.2.2 差模电压传导干扰模拟器的校准

7.2.2.1 开路电压

a) 按照图 4 进行设备连接，设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端间歇期连续波输出模式。



图 4 开路电压校准示意图

b) 合理选择差分电压探头的衰减比，调节数字示波器的垂直灵敏度、时间基准和触发模式（自动触发）使完整的波形显示在屏幕中心，测量不同差模电压试验等级（见附录 D.1）设定下的开路电压(有效值)，记录在附录 A.2。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的开路电压(有效值)，记录在附录 A.2。

d) 设置差模电压传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式，在电源频率 50Hz 下，重复步骤 b~c)，测量波形的开路电压(有效值)，记录在附录 A.3。

7.2.2.2 频率

a)按照图 4 进行设备连接。设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端间歇期连续波输出模式。

b)设定差模电压传导干扰模拟器的输出频率，合理选择差分电压探头的衰减比，调节数字示波器使完整的波形显示在屏幕中心，测量间歇期连续波输出波形频率，记录在附录 A.2。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的频率，记录在附录 A.2。

d) 设置差模电压传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式，在电源频率 50Hz 下，重复步骤 b~c)，测量矩形脉冲调制输出波形频率，记录在附录 A.3。

7.2.2.3 间歇时间

a)按照图 4 进行设备连接。设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端间歇期连续波输出模式。

b) 设定差模电压传导干扰模拟器的间歇时间为 300ms，合理选择差分电压探头的衰减比，调整数字示波器使完整的波形显示在屏幕中央，测量间歇期连续波输出波形的间歇时间，记录在附录 A.2。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的间歇时间，记录在附录 A.2。

d) 设置差模电压传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式，在电源频率 50Hz 下，重复步骤 b~c)，测量矩形脉冲调制波形的间歇时间，记录在附录 A.3。

7.2.2.4 驻留时间

a)按照图 4 进行设备连接。设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端间歇期连续波输出模式。

b) 设定差模电压传导干扰模拟器的驻留时间，合理选择差分电压探头的衰减比，调整数字示波器使完整的波形显示在屏幕中央，测量间歇期连续波输出波形的驻留时间，记录在附录 A.2。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的驻留时间，记录在附录 A.2。

d) 设置差模电压传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式，在电源频率 50Hz 下，重复步骤 b~c)，测量矩形脉冲调制波形的驻留时间，记录在附录 A.3。

7.2.2.5 调制周期与调制频率

a)按照图 4 进行设备连接。设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端矩形脉冲调制输出模式。

b) 设定差模电压传导干扰模拟器的调制频率分别为 3Hz、101Hz、301Hz 和 601Hz，占空比 50%，合理选择差分电压探头的衰减比，调整数字示波器使完整的波形显示在屏幕中央，测量波形的调制周期和调制频率，记录在附录 A.3。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的调制周期和调制频率，记录在附录 A.3。

7.2.2.6 电压总谐波畸变率

a) 按照图 5 进行设备连接。设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端间歇期连续波输出模式。

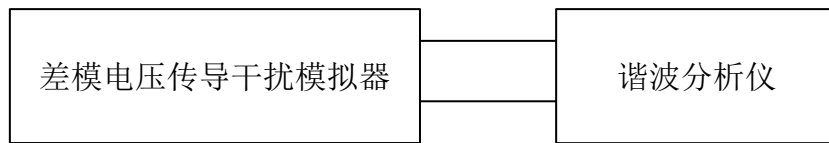


图 5 电压总谐波畸变率校准示意图

b) 合理选择谐波分析仪的电压和带宽量程，测量不同频率、差模电压试验等级的谐波电压分量，结合公式 1，计算得到电压总谐波畸变率，记录在附录 A.2。

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^N V_i^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中：\$V_i\$——为第 \$i\$ 次谐波电压的均方根值，其中 \$V_1\$ 为基波电压的均方根值，单位 V；

\$N\$——为谐波次数。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的电压总谐波畸变率，记录在附录 A.2。

7.2.2.7 内阻

a) 按照图 6 进行设备连接（短路线尽可能短，电阻不超过 0.01 \$\Omega\$）。设置差模电压传导干扰模拟器为电源线 L(L1、L2、L3)-N 端间歇期连续波输出模式。

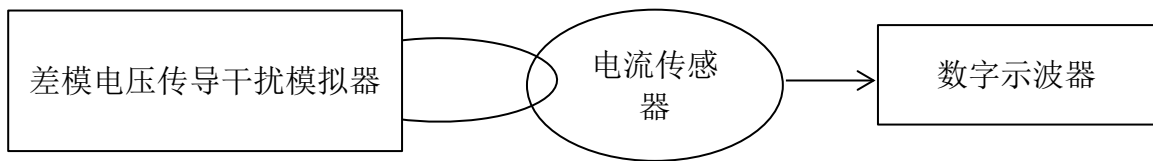


图 6 内阻校准示意图

b) 设定差模电压传导干扰模拟器的差模电压试验等级和频率，合理选择电流传感器的转换系数，调节数字示波器使完整的波形显示在屏幕中心，测量间歇期连续波输出波形的短路电流（有效值），记录在附录 A.2。

c) 改变差模电压传导干扰模拟器的耦合去耦网络输出端口，重复上述过程，测量每一种电源线耦合端口（对应电源端口短路）的短路电流，记录在附录 A.2。

d) 计算相同频率、差模电压试验等级下捕捉的开路电压（有效值）与短路电流（有效值）的比值，记为差模电压传导干扰模拟器的内阻，记录在附录 A.2。

7.2.2.8 去耦衰减

a) 设置网络分析仪的测量频率范围为被校耦合去耦网络的工作频率，源功率为 0dBm，中频带宽不大于 1kHz。使用校准件对网络分析仪进行单端口开路、短路、匹配负载校准及二端口直通校准。

b) 按照图 7 进行设备连接。设置网络分析仪测量模式为 S_{21} 传输测量，显示格式为对数幅度，读取网络分析仪在不同频率下的插入损耗 A_1 ，记录在附录 A.4。

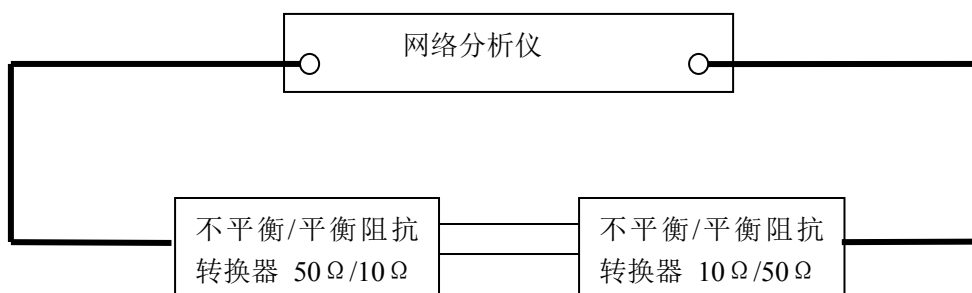


图 7 不平衡/平衡阻抗转换器插入损耗校准示意图

c) 按照图 8 进行设备连接。将步骤 b) 所用的不平衡/平衡阻抗转换器 $10\Omega/50\Omega$ 连接到耦合去耦网络的 EUT 端口，不平衡/平衡阻抗转换器 $50\Omega/10\Omega$ 连接到电源端口，并将匹配负载端接在耦合去耦网络的输入端口，读取网络分析仪在对应频率下的插入损耗 A_2 ，记录在附录 A.4。

d) 针对三相耦合去耦网络，去耦衰减按照 L1-N、L2-N、L3-N、L1-L2、L2-L3、L3-L1 耦合方式依次进行，重复上述步骤 c)，记录在附录 A.4。

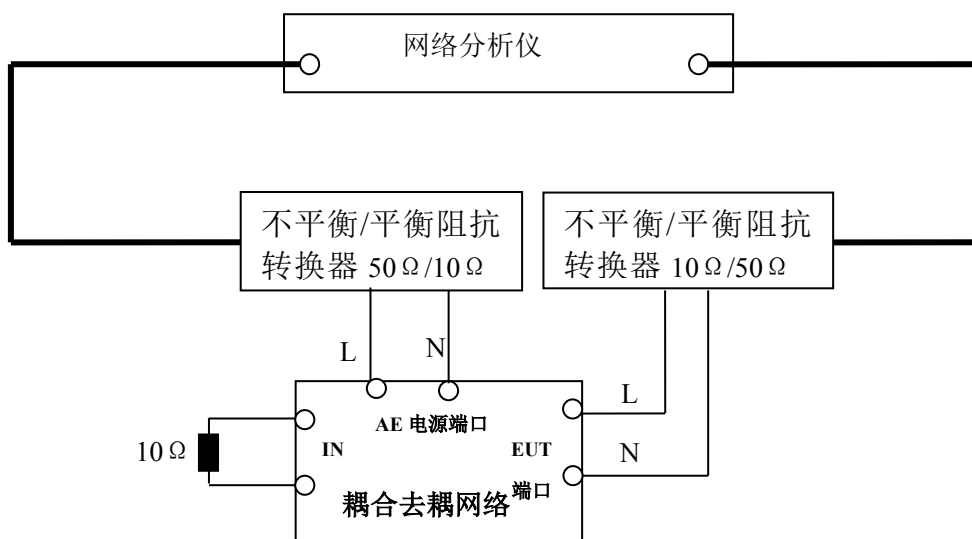


图 8 去耦衰减校准示意图

e) 依据式 2) 计算去耦衰减 A ，记录在附录 A.4。

$$A = A_2 - A_1 \quad (2)$$

式中:

A ——去耦衰减, 单位 dB;

A_1 ——接入 1 对不平衡/平衡阻抗转换器的插入损耗, 单位 dB。

A_2 ——接入耦合去耦网络的插入损耗, 单位 dB。

7.2.3 差模电流传导干扰模拟器的校准

7.2.3.1 短路电流

a) 按照图 9 进行设备连接(短路线尽可能短, 电阻不超过 0.01Ω)。设置差模电流传导干扰模拟器为间歇期连续波输出模式。

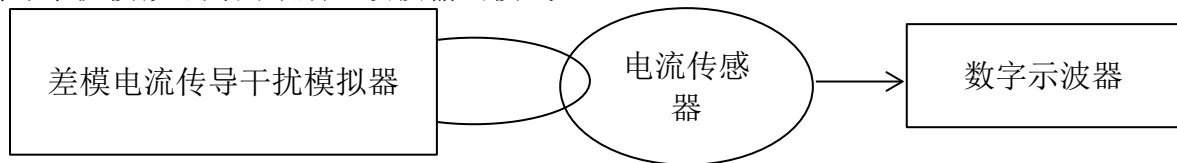


图 9 短路电流和频率校准示意图

b) 合理选择电流传感器的转换系数, 调节数字示波器使完整的波形显示在屏幕中心, 测量不同差模电流试验等级(见附录 D.2)设定下的短路电流(有效值), 记录在附录 A.5。

c) 设置差模电流传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式, 在电源频率 50Hz 下, 重复步骤 b), 测量矩形脉冲调制输出波形的短路电流(有效值), 记录在附录 A.6。

7.2.3.2 频率

a) 按照图 9 进行设备连接。设置差模电流传导干扰模拟器为间歇期连续波输出模式。

b) 设定差模电流传导干扰模拟器的输出频率, 合理选择电流传感器的转换系数, 调节数字示波器使完整的波形显示在屏幕中心, 测量间歇期连续波输出波形频率, 记录在附录 A.5。

c) 设置差模电流传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式, 在电源频率 50Hz 下, 重复步骤 b), 测量矩形脉冲调制输出波形频率, 记录在附录 A.6。

7.2.3.4 间歇时间

a) 按照图 9 进行设备连接。设置差模电流传导干扰模拟器为间歇连续波输出模式。

b) 设定差模电流传导干扰模拟器的间歇时间为 300ms, 合理选择电流传感器的转换系数, 调整数字示波器使完整的波形显示在屏幕中央, 测量间歇连续波输出波形的间歇时间, 记录在附录 A.5。

c) 设置差模电流传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式, 在电源频率 50Hz 下, 重复步骤 b), 测量矩形脉冲调制输出波形的间歇时间, 记录在附录 A.6。

7.2.3.5 驻留时间

a) 按照图 9 进行设备连接。设置差模电流传导干扰模拟器为间歇期连续波输出模式。

b) 设定差模电流传导干扰模拟器的驻留时间，合理选择电流传感器的转换系数，调整数字示波器使完整的波形显示在屏幕中央，测量间歇期连续波输出波形的驻留时间，记录在附录 A.5。

c) 设置差模电流传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式，在电源频率 50Hz 下，重复步骤 b)，测量矩形脉冲调制输出波形的驻留时间，记录在附录 A.6。

7.2.3.6 调制周期与调制频率

a) 按照图 9 进行设备连接。设置差模电流传导干扰模拟器为矩形脉冲调制输出模式。

b) 设定差模电流传导干扰模拟器的调制频率分别为 3Hz、101Hz、301Hz 和 601Hz，占空比 50%，合理选择电流传感器的转换系数，调整数字示波器使完整的波形显示在屏幕中央，测量矩形脉冲调制输出波形的调制周期和调制频率，记录在附录 A.6。

7.2.3.7 电流总谐波畸变率

a) 按照图 10 进行设备连接。设置差模电流传导干扰模拟器为间歇期连续波输出模式。

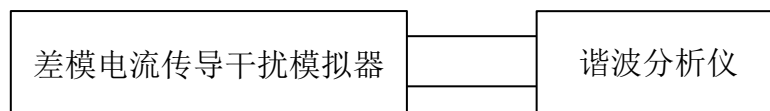


图 10 电流总谐波畸变率校准示意图

b) 合理选择谐波分析仪的电流和带宽量程，测量不同频率、差模电流试验等级的谐波电流分量，结合公式 3，计算得到电流总谐波畸变率，记录在附录 A.5。

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^N I_i^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中： I_i ——为第 i 次谐波电流的均方根值，其中 I_1 为基波电流的均方根值，单位 A；
 N ——为谐波次数。

7.2.3.8 内阻

a) 按照图 11 进行设备连接。设置差模电流传导干扰模拟器为间歇期连续波输出模式。

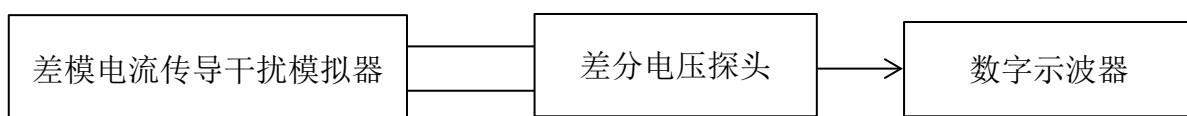


图 11 内阻校准示意图

b) 设定差模电流传导干扰模拟器的差模电压试验等级和频率，合理选择差分电压探头的衰减比，调节数字示波器使完整的波形显示在屏幕中心，测量间歇期连续波输出波形的开路电压（有效值），记录在附录 A.5。

c) 计算相同频率、差模电流试验等级下捕捉的开路电压（有效值）与短路电流（有效值）的比值，记为差模电流传导干扰模拟器的内阻，记录在附录 A.5。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反应，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。

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 校准原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查：

项目	检查结果
外观、工作正常性检查	

A.2 差模电压传导干扰模拟器（间歇期连续波输出模式）

耦合方式	频率（kHz）		开路电压（Vrms）		短路电流	间歇时间(ms)		驻留时间(s)		内阻（ Ω ）		电压总谐波畸变率（%）
	设定值	实测值	设定值	实测值	实测值	设定值	实测值	设定值	实测值	标称值	实际值	
	2					300				10		
	...					300				10		
	...					300				10		
	...					300				10		
	...					300				10		
	150					300				10		

A.3 差模电压传导干扰模拟器（矩形脉冲调制输出模式）

耦合方式	频率（kHz）		开路电压(Vrms)		驻留时间(s)		间歇时间(ms)		调制频率(Hz)与调制周期(s)	
	设定值	实测值	设定值	实测值	设定值	实测值	设定值	实测值	设定值	实测值
	2						300			
	...						300			
	...						300			
	...						300			
	...						300			
	150						300			

A.4 耦合去耦网络

耦合方式	频率（kHz）	A_1 (dB)	A_2 (dB)	去耦衰减实测值（dB）
------	---------	------------	------------	-------------

	2			
	...			
	...			
	...			
	...			
	150			

A.5 差模电流传导干扰模拟器（间歇期连续波输出模式）

频率(kHz)		短路电流 (Arms)		开路电压 (Vrms)	内阻 (Ω)		驻留时间(s)		间歇时间(ms)		电 流 总 谐 波 畸 变 率 (%)
设定 值	实测 值	设定 值	实测 值	实测值	标称 值	实际 值	设定 值	实测 值	设定 值	实测 值	
2					10				300		
...					10				300		
...					10				300		
...					10				300		
...					10				300		
150					10				300		

A.6 差模电流传导干扰模拟器（矩形脉冲调制输出模式）

频率 (kHz)		短路电流 (Arms)		驻留时间(s)		间歇时间(ms)		调制频率(Hz)与调制周期 (s)	
设定 值	实测 值	设定 值	实测 值	设定 值	实测 值	设定 值	实测 值	设定值	实测值
2						300			
...						300			
...						300			
...						300			
...						300			
150						300			

附录 B 校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查：

项目	检查结果
外观、工作正常性检查	

B.2 差模电压传导干扰模拟器（间歇期连续波输出模式）

(1) 开路电压与频率

耦合方式	频率 (kHz)		开路电压(Vrms)		不确定度(k=2)
	设定值	实测值	设定值	实测值	

(2) 间歇时间

耦合方式	频率(kHz)	开路电压(Vrms)	间歇时间(ms)		不确定度(k=2)
	设定值	设定值	设定值	实测值	

(3) 驻留时间

耦合方式	频率(kHz)	开路电压(Vrms)	驻留时间(s)		不确定度(k=2)
	设定值	设定值	设定值	实测值	

(4) 电压总谐波畸变率

耦合方式	频率(kHz)	开路电压(Vrms)	电压总谐波畸变率 (%)	不确定度(k=2)
	设定值	设定值	实测值	

(5) 内阻

耦合方式	频率(kHz)	开路电压(Vrms)	短路电流(Arms)	内阻 (Ω)	不确定度(k=2)
	设定值	实测值	实测值	实测值	

B.3 差模电压传导干扰模拟器（矩形脉冲调制输出模式）

(1) 开路电压与频率

耦合方式	频率 (kHz)		开路电压(Vrms)		不确定度(k=2)
	设定值	实测值	设定值	实测值	

(2)驻留时间

耦合方式	频率(kHz)	开路电压(Vrms)	驻留时间(s)		不确定度($k=2$)
	设定值	设定值	设定值	实测值	

(3)间歇时间

耦合方式	频率(kHz)	开路电压(Vrms)	间歇时间(ms)		不确定度($k=2$)
	设定值	设定值	设定值	实测值	

(4)调制周期与调制频率

耦合方式	频率 (kHz)	开路电压(Vrms)	调制频率(Hz)与调制周期(s)		不确定度($k=2$)
	设定值	设定值	设定值	实测值	

B.4 耦合去耦网络

(1)去耦衰减

耦合方式	频率(kHz)	去耦衰减 (dB)	不确定度($k=2$)
	设定值	实测值	

B.5 差模电流传导干扰模拟器 (间歇期连续波输出模式)

(1)短路电流与频率

频率 (kHz)		短路电流(Arms)		不确定度($k=2$)
设定值	实测值	设定值	实测值	

(2)间歇时间

频率(kHz)	短路电流(Arms)	间歇时间(ms)		不确定度($k=2$)
设定值	设定值	设定值	实测值	

(3)驻留时间

频率(kHz)	短路电流(Arms)	驻留时间(s)	不确定度($k=2$)
---------	------------	---------	---------------

设定值	设定值	设定值	实测值	

(4)电流总谐波畸变率

频率(kHz)	短路电流(Arms)	电流总谐波畸变率 (%)	不确定度($k=2$)
设定值	设定值	实测值	

(5)内阻

频率(kHz)	短路电流(Arms)	开路电压(Vrms)	内阻 (Ω)	不确定度($k=2$)
设定值	实测值	实测值	实测值	

B. 6 差模电流传导干扰模拟器 (矩形脉冲调制输出模式)

(1)开路电压与频率

频率 (kHz)		短路电流(Arms)		不确定度($k=2$)
设定值	实测值	设定值	实测值	

(2)驻留时间

频率(kHz)	短路电流(Arms)	驻留时间(s)		不确定度($k=2$)
设定值	设定值	设定值	实测值	

(3)间歇时间

耦合方式	频率(kHz)	短路电流(Arms)	间歇时间(ms)		不确定度($k=2$)
	设定值	设定值	设定值	实测值	

(4)调制周期与调制频率

频率(kHz)	短路电流(Arms)	调制频率(Hz)与调制周期(s)		不确定度($k=2$)
设定值	设定值	设定值	实测值	

附录 C

主要项目测量不确定度评定示例

C.1 开路电压的测量不确定度评定

C.1.1 测量方法

将差分电压探头连接到差模电压传导干扰模拟器的输出端口和数字示波器的输入端口，通过数字示波器读取开路电压的测量值。

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源如下：

- (1) 差模电压传导干扰模拟器开路电压测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 差分电压探头衰减比引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 数字示波器电压示值误差引入的不确定度分量 u_3 ；
- (4) 数字示波器电压读数分辨力引入的不确定度分量 u_4 。

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

重复测量差模电压传导干扰模拟器的开路电压的10次数据见表C.1。

表C.1 开路电压测量重复性数据

序号	开路电压 (Vrms)	序号	开路电压 (Vrms)
1	19.4	6	19.4
2	19.5	7	19.5
3	19.8	8	19.6
4	19.7	9	19.5
5	19.5	10	19.5
平均值 $\bar{x}$	19.54	实验标准偏差 $s(x_i)$	0.126

则标准不确定度：

$$u_1 = \frac{s(x_i)}{\sqrt{1} \times \bar{x}} = \frac{0.126}{\sqrt{1} \times 19.54} = 0.64\%$$

C.1.3.2 差分电压探头衰减比引入的不确定度分量 u_2

按照B类方法评定，差分电压探头衰减比最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，服从均匀分布，即

$k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度：

$$u_2 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

C.1.3.3 数字示波器电压示值误差引入的不确定度分量 u_3

在进行开路电压测量时，数字示波器电压示值误差为 $\pm 2\%$ ，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则数字示波器电压示值误差引入的不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

C.1.3.4 数字示波器电压读数分辨力引入的不确定度分量 u_4

数字示波器电压读数分辨力为 0.1V，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则电压读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_3 = \frac{0.1}{2 \times \sqrt{3} \times 19.54} = 0.15\%$$

C.1.4 合成标准不确定度

标准不确定度分量汇总主要分量见表 C.2。

表C.2 开路电压测量不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	标准不确定度分量
	符号	数值		
测量重复性	u_1	0.64%	1	0.64%
差分电压探头衰减比	u_2	1.15%	1	1.15%
数字示波器电压示值误差	u_3	1.15%	1	1.15%
数字示波器电压读数分辨力	u_4	0.15%	1	0.15%

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.75\%$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{rel} = k \cdot u_c = 2 \times 1.75\% = 3.5\%$$

C.2 驻留时间的测量不确定度评定

C.2.1 测量方法

将差分电压探头连接到差模电压传导干扰模拟器的输出端口和数字示波器的输入

端口，通过数字示波器读取驻留时间测量值。

C.2.2 不确定度来源

主要不确定度来源如下：

- (1) 测量重复性引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 数字示波器时间测量误差引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 数字示波器光标定位误差引入的不确定度分量 u_3 ；
- (4) 数字示波器时间读数分辨力引入的不确定度分量 u_4 。

C.2.3 标准不确定度分量评定

C.2.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

重复测量差模电压传导干扰模拟器的驻留时间的 10 次数据见表 C.3。

表C.3 驻留时间测量重复性数据

序号	驻留时间 (s)	序号	驻留时间 (s)
1	3.10	6	3.10
2	3.08	7	3.08
3	3.12	8	3.07
4	3.14	9	3.05
5	3.15	10	3.07
平均值 $\bar{x}$	3.096	实验标准偏差 $s(x_i)$	0.032

则标准不确定度

$$u_1 = \frac{s(x_i)}{\sqrt{1} \times \bar{x}} = \frac{0.032}{\sqrt{1} \times 3.096} = 1\%$$

C.2.3.2 数字示波器时间测量误差引入的标准不确定度 u_2

根据技术资料 and 上级校准证书，时间测量的不确定度 $U_{rel} = 0.1\%$ ， $k = 2$ ，则标准不确定为：

$$u_2 = \frac{0.1\%}{2} = 0.05\%$$

C.2.3.3 数字示波器光标定位误差引入的标准不确定度 u_3

根据技术资料，光标定位误差为 $\pm 2\%$ ，服从矩形分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，其标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

C.2.3.4 数字示波器时间读数分辨力引入的标准不确定度 u_4

数字示波器时间读数分辨力为 0.01s，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_4 = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3} \times 3.096} \times 100\% = 0.09\%$$

C.2.4 合成标准不确定度

标准不确定度分量汇总见表 C.4。

表 C.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	标准不确定度分量
	符号	数值		
测量重复性	u_1	1%	1	1%
数字示波器时间测量误差	u_2	0.05%	1	0.05%
数字示波器光标定位误差	u_3	1.15%	1	1.15%
数字示波器时间读数分辨力	u_4	0.09%	1	0.09%

以上各项标准不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.5\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{rel} = ku_c = 3\%$$

C.3 内阻的测量不确定度评定

C.3.1 测量模型

$$R = \frac{U}{I} \quad (C.1)$$

式中：

R ——差模电压传导干扰模拟器的内阻测量值,单位 Ω ;

U ——差模电压传导干扰模拟器的开路电压示值，单位 V；

I ——差模电压传导干扰模拟器的短路电流示值，单位 A；

考虑到 U 和 I 相关，则

$$u(R)^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial U}\right)^2 u(\bar{U})^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial I}\right)^2 u(\bar{I})^2 + 2 \frac{\partial R}{\partial U} \frac{\partial R}{\partial I} u(\bar{U}, \bar{I}) \quad (C.2)$$

其中

$$u(\bar{U}, \bar{I}) = r(\bar{U}, \bar{I}) \times u(\bar{U}) \times u(\bar{I}) \quad (\text{C. 3})$$

$$\frac{\partial R}{\partial U} = \frac{1}{\bar{I}} \quad \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{\bar{U}}{\bar{I}^2} \quad (\text{C. 4})$$

相关系数

$$r(\bar{U}, \bar{I}) = \frac{\sum(U_i - \bar{U})(I_i - \bar{I})}{\sqrt{\sum(U_i - \bar{U})^2 \sum(I_i - \bar{I})^2}} \quad (\text{C. 5})$$

$$u(R) = \sqrt{\left(\frac{1}{\bar{I}}\right)^2 u(\bar{U})^2 + \left(-\frac{\bar{U}}{\bar{I}^2}\right)^2 u(\bar{I})^2 + 2\left(\frac{1}{\bar{I}}\right)\left(-\frac{\bar{U}}{\bar{I}^2}\right) u(\bar{U}) u(\bar{I}) r(\bar{U}, \bar{I})}$$

$$\text{或 } u_{rel}(R) = \sqrt{[u_{rel}(\bar{U})]^2 + [u_{rel}(\bar{I})]^2 - 2[u_{rel}(\bar{U})][u_{rel}(\bar{I})]r(\bar{U}, \bar{I})} \quad (\text{C. 6})$$

C.3.2 不确定度来源

主要不确定度来源如下：

C.3.2.1 差模电压传导干扰模拟器的开路电压标准不确定度 $u_{rel}(\bar{U})$

- (1)开路电压测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- (2)差分电压探头衰减比引入的标准不确定度 u_2 ；
- (3)数字示波器电压示值误差引入的标准不确定度 u_3 ；
- (4)数字示波器电压读数分辨力引入的标准不确定度 u_4 。

C.3.2.2 差模电压传导干扰模拟器的短路电流标准不确定度 $u_{rel}(\bar{I})$

- (1)短路电流测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- (2)电流传感器转换系数引入的标准不确定度分量 u_2 ；
- (3)数字示波器电流示值误差引入的标准不确定度 u_3 ；
- (4)数字示波器电流读数分辨力引入的标准不确定度 u_4 。

C.3.3 标准不确定度分量评定

C.3.3.1 差模电压传导干扰模拟器的开路电压标准不确定度 $u_{rel}(\bar{U})$

- (1)开路电压测量重复性引入的标准不确定度 u_1

测量差模电压传导干扰模拟器在频率 150kHz 电压为 10V 的 10 次数据见表 C.5。

表 C.5 开路电压重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值/V	9.88	9.81	9.87	9.86	9.82	9.84	9.83	9.84	9.85	9.87

平均值为

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum x_i = 9.847\text{V}$$

实验标准偏差为

$$s(x_i) = 0.023\text{V}$$

测量重复性引入的标准不确定度

$$u_1 = \frac{s(x_i)}{\sqrt{1} \times \bar{x}} = \frac{0.023}{\sqrt{1} \times 9.847} = 0.23\%$$

(2) 差分电压探头衰减比引入的标准不确定度 u_2

按照B类方法评定，差分电压探头衰减比最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，服从均匀分布，即

$k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度：

$$u_2 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

(3) 数字示波器电压示值误差引入的标准不确定度 u_3

在进行开路电压测量时，数字示波器电压示值最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则数字示波器电压示值误差引入的标准不确定度：

$$u_3 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

(4) 数字示波器电压读数分辨力引入的标准不确定度 u_4

数字示波器电压读数分辨力为 0.01V ，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_4 = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3} \times 9.847} \times 100\% = 0.03\%$$

C.3.3.2 差模电压传导干扰模拟器的短路电流标准不确定度 $u_{rel}(\bar{I})$

(1) 短路电流测量重复性引入的标准不确定度 u_1

测量差模电压传导干扰模拟器在频率 150kHz 电压为 10V 的 10 次短路电流数据见表 C.6。

表 C.6 短路电流重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值/A	0.956	0.967	0.954	0.951	0.957	0.956	0.965	0.964	0.968	0.957

其平均值

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum x_i = 0.960\text{A}$$

实验标准偏差

$$s(x_i) = 0.006\text{A}$$

测量重复性引入的不确定度

$$u_1 = \frac{s(x_i)}{\sqrt{1} \times \bar{x}} = \frac{0.006}{\sqrt{1} \times 0.960} = 0.63\%$$

(2) 电流传感器转换系数引入的标准不确定度 u_2

电流传感器转换系数最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度：

$$u_2 = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

(3) 数字示波器电流示值误差引入的标准不确定度 u_3

在进行短路电流测量时，数字示波器电流示值最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则由数字示波器电流示值误差引入的标准不确定度：

$$u_3 = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

(4) 数字示波器电流读数分辨力引入的标准不确定度 u_4

数字示波器电流读数分辨力为 0.001A，服从均匀分布，即 $k = \sqrt{3}$ ，则读数分辨力引入的不确定度分量为

$$u_4 = \frac{0.001}{2 \times \sqrt{3} \times 0.960} \times 100\% = 0.03\%$$

C.3.4 合成标准不确定度评定

C.3.4.1 差模电压传导干扰模拟器的开路电压标准不确定度

差模电压传导干扰模拟器的开路电压标准不确定度分量见表C.7。

表C.7 开路电压测量不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数	标准不确定度分量
	符号	数值		
开路电压测量重复性	u_1	0.23%	1	0.23%
差分电压探头衰减比	u_2	1.15%	1	1.15%
数字示波器电压示值误差	u_3	1.15%	1	1.15%
数字示波器读数分辨力	u_4	0.03%	1	0.03%

各项标准不确定度分量互不相关，则开路电压标准不确定度

$$u_{rel}(\bar{U}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.64\%$$

C.3.4.2 差模电压传导干扰模拟器的短路电流标准不确定度

差模电压传导干扰模拟器的短路电流标准不确定度分量见表C.8。

表C.8 短路电流测量不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	标准不确定度分量
--------	--------	------	----------

	符号	数值		
短路电流测量重复性	u_1	0.63%	1	0.63%
电流传感器转换系数	u_2	0.58%	1	0.58%
数字示波器电流示值误差	u_3	1.15%	1	1.15%
数字示波器电流读数分辨力	u_4	0.03%	1	0.03%

各项标准不确定度分量互不相关，则短路电流合成标准不确定度

$$u_{rel}(\bar{I}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.43\%$$

C.3.4.3 差模电压传导干扰模拟器的内阻合成标准不确定度

将 $\bar{U}$ 、 $\bar{I}$ 、表C.5和表C.6的数值带入式（C.5）中得到

$$r(\bar{U}, \bar{I}) = -0.56$$

其中 $u_{rel}(\bar{U}) = 1.64\%$ ， $u_{rel}(\bar{I}) = 1.43\%$ ，带入式（C.6）

$$u_c(R) = \sqrt{(1.64\%)^2 + (1.43\%)^2 - 2 \times (-0.56) \times 1.64\% \times 1.43\%} = 2.7\%$$

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ， $U_{rel} = 2 \times u_c(R) = 5.4\%$

附录 D

差模电压/电流试验等级

D.1 差模电压试验等级

表D.1 差模电压试验等级

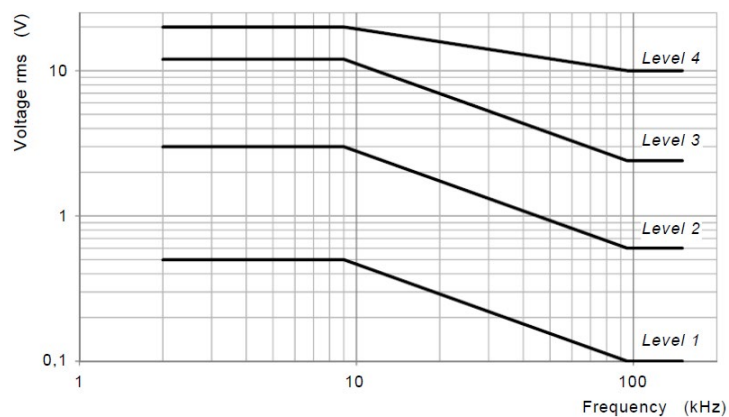
等级	未调制差模电压 (V_{rms})		
	2kHz~9 kHz	9kHz~95 kHz	95kHz~150kHz
1	0.5	0.5~0.1	0.1
2	3	3~0.6	0.6
3	12	12~2.4	2.4
4	20	20~10	10
X	特定	特定	特定

注：X为特殊等级或其它产品规定电压等级；

其中在 2kHz~9kHz，电平不变；

在 9kHz~95kHz，电平的对数随频率的对数线性减小；

在 95kHz~150kHz，电平不变。



图D.1 差模电压试验幅值-频率图

D.2 差模电流试验等级

表D.2 差模电流试验等级

等级	未调制差模电流 (A_{rms})	
	2kHz~30 kHz	30kHz~150kHz
1	1	0.5
2	2	1
3	3	1.5
4	4	2
X	特定	特定

注：X为可以高于、低于、或位于其间的任何试验等级特殊等级

