



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) 0096—2023

汽车电子瞬态传导发射测试系统

校准规范

Calibration Specification for Automotive Electronic Transient Conduction

Emission Test Systems

(报批稿)

202X-××-××发布

202X-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

汽车电子瞬态传导发射测试 系统校准规范

Calibration Specification of Automotive Electronic
Transient Conduction Emission Test Systems

JJF (电子) 0096—2023

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：广电计量检测（合肥）股份有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

潘 乔（广电计量检测集团股份有限公司）

张 辉（广电计量检测集团股份有限公司）

李 平（广电计量检测集团股份有限公司）

李文兴（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

何 健（广电计量检测集团股份有限公司）

陈新运 广电计量检测（合肥）股份有限公司

王卓念（广电计量检测集团股份有限公司）

目录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	1
4.1 电子开关切换时间	1
4.2 电子/机械开关开通、关断时间	1
4.3 电子开关电压压降	2
4.4 人工网络阻抗	2
5 校准条件	3
5.1 环境条件	3
5.2 测量标准及其它设备	3
6 校准项目和校准方法	4
6.1 校准项目	4
6.2 校准方法	4
7 校准结果表达	6
8 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	10
附录 C 测量不确定度评定示例	12

引 言

本规范依据 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》编写。

本规范为首次发布。

汽车电子瞬态传导发射测试系统校准规范

1 范围

本规范适用于汽车电子瞬态传导发射测试系统的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 6113.201 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-1 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量

GB/T 21437.2 道路车辆—电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第 2 部分沿电源线的电瞬态传导发射和抗扰性

注：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 概述

汽车电子瞬态传导发射测试系统（测试系统）用于汽车电子电气部件沿电池供电线或开关电源线的瞬态传导发射试验，检验汽车电子电气部件在开关断开、闭合等各种不同工作模式下，沿电池供电线或开关电源线的瞬态传导发射情况。测试系统由人工网络AN，机械开关（用于测量慢速瞬态发射）、电子开关（用于测量低电压瞬态发射）以及控制模块组成。原理结构示意图如图1所示。

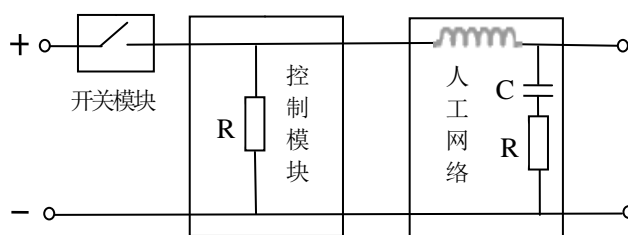


图1 汽车电子瞬态传导发射测试系统原理结构示意图

4 计量特性

4.1 电子开关切换时间

开关切换时间：300ns，最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

4.2 电子/机械开关开通、关断时间

时间范围：(0.01~99.99)s，最大允许误差： $\pm(10\%+10\text{ms})$ 。

4.3 电子开关电压压降

当被校测试系统中电子开关电流为 25A 电时，电压压降 $\Delta U \leq 2V$ 。

4.4 人工网络阻抗

人工网络阻抗特性曲线图，如图 2 所示。

最大允许误差： $\pm 10\%$ ；频率范围：(0.1~100) MHz。

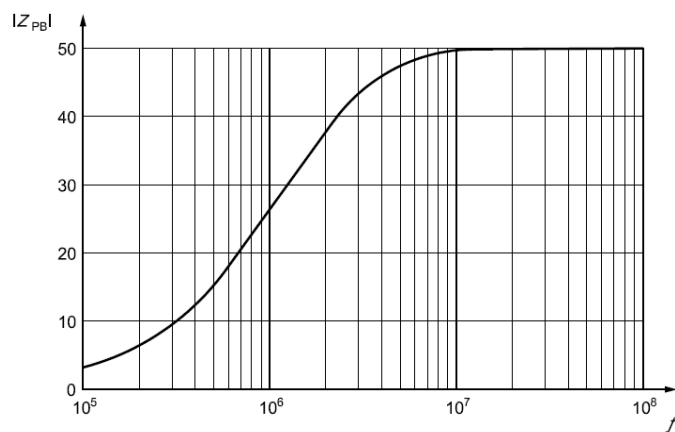


图 2 人工网络阻抗特性曲线图

图中：

$|Z_{PB}|$ ——阻抗， Ω ；

f ——频率，Hz。

人工网络原理图如图 3 所示。

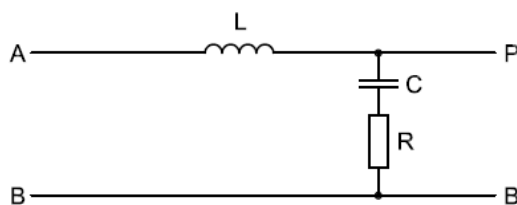


图 3 人工网络原理示意图

图中：

A——电源端； L——电感器；

B——公共端； P——被测设备端；

C——电容器； R——电阻器。

注：以上范围及指标不适用于合格性判定，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度: $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 环境相对湿度: $\leq 80\%$ 。

5.1.3 供电电源: 电压 $(220 \pm 22) \text{V}$, 频率 $(50 \pm 1) \text{Hz}$ 。

5.1.4 其他: 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其它设备

5.2.1 数字示波器

频带宽度: $\geq 400 \text{MHz}$, 采样率: $\geq 2 \text{Gs/s}$;

时基最大允许误差: $\pm 1 \times 10^{-4}$;

输入阻抗 $\geq 1 \text{M}\Omega$ 。

5.2.2 示波器探头

频带宽度: $\geq 400 \text{MHz}$, 衰减比: 10:1或100:1;

最大允许误差: $\pm 3\%$;

最大输入电压: 500V;

输入阻抗: $\geq 10 \text{M}\Omega$ 。

5.2.3 阻抗分析仪及校准件

频率范围: 0.1MHz~120MHz;

阻抗测量范围: $1 \Omega \sim 60 \Omega$;

阻抗 $|Z|$ 最大允许误差: $\pm 1\%$ 。

注: 包括基于射频电压-电流法原理的阻抗分析仪和基于反射法原理的矢量网络分析仪。

5.2.4 负载模拟器

阻值: 0.6Ω 、电感: $50 \mu\text{H}$ (1kHz), 功率: $\geq 400 \text{W}$ 。

5.2.5 数字电压表

测量范围: $(0.01 \sim 500) \text{V}$, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$ 。

5.2.6 直流稳定电源

电压输出范围: $(0.1 \sim 100) \text{V}$, 电流输出范围: $(0.1 \sim 40) \text{A}$, 最大允许误差: $\pm 0.1\%$;

负载调整率: $< 1\text{V}$, 功率: $\geq 400 \text{W}$ 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 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	外观及工作正常性检查	6.2.1
2	电子开关切换时间	6.2.2
3	电子/机械开关开通、关断时间	6.2.3
4	电子开关带载电压压降	6.2.4
5	人工网络阻抗	6.2.5

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

被校测试系统外观应完好，标示清晰完整，各部件按键操作正常，连接端口牢固，无影响正常工作的机械损伤。检查结果记录于附录A表A.1中。

6.2.2 电子开关切换时间

6.2.2.1 校准前应确保被校测试系统与负载模拟器连接完整，仪器接地良好。

6.2.2.2 接线如图 4 所示，设置试验电源（直流稳定电源）输出电压 13.5V，将电子开关的测量端与示波器探头输入端连接，示波器探头输出端接至示波器。

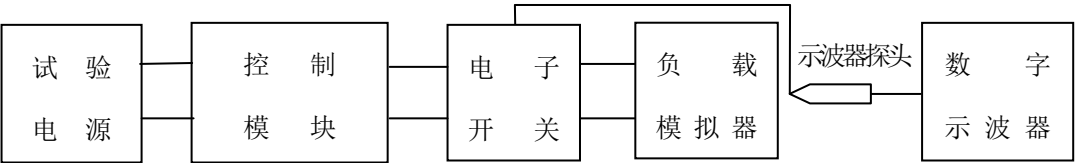


图 4 电子开关切换时间校准接线示意图

6.2.2.3 设置示波器触发模式为单次触发，输入端口阻抗为高阻，垂直偏转系数和扫描时间位于适当档位，用示波器捕抓试验脉冲完整波形图。

6.2.2.4 用示波器光标测量峰值电压从 90%下降到 10%两点之间所对应的时间间隔作为电子开关切换时间，将时间的测量结果记录于附录 A 表 A.2 中。

按公式（1）计算电子开关切换时间误差：

$$\Delta T = T_x - T_0 \tag{1}$$

式中：

ΔT ——开关切换时间误差, ns;

T_x ——开关切换时间标称值, ns;

T_0 ——开关切换时间测量值, ns。

6.2.3 电子/机械开关开通、关断时间

6.2.3.1 接线如图 5 所示, 设置试验电源输出电压 13.5V, 将被校电子/机械开关中的测量端与示波器探头输入端连接, 示波器探头输出端接至示波器。

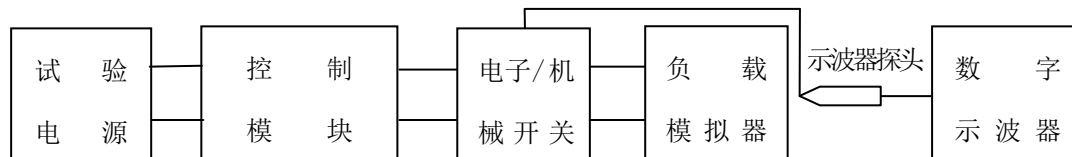


图 5 电子/机械开关时间校准示意图

6.2.3.2 设置电子/机械开关时间参数, 调整示波器触发模式为自动, 输入端口阻抗设置为高阻, 垂直偏转系数和扫描时间位于适当档位, 启动被校测试系统, 使示波器能够观测到试验脉冲完整波形。读取波形正脉冲宽度, 作为开关开通时间, 读取波形负脉冲宽度, 作为开关关断时间, 记录于附录 A 表 A.3 中。

6.2.3.3 重复上述步骤, 测量电子/机械开关其他时间参数, 将各时间实测值记录于附录 A 表 A.3 中。

按公式 (2) 计算开关开通、关断时间误差:

$$\Delta T = T_x - T_0 \quad (2)$$

式中:

ΔT ——时间误差, s;

T_x ——开关开通/关断时间标称值, s;

T_0 ——开关开通/关断时间测量值, s。

6.2.4 电子开关带载电压压降

6.2.4.1 接线如图 6 所示, 调节试验电源输出电压, 使试验电源输出电流达到 25A, 将数字多用表与试验电源输出端并联, 读取当前电压值 U_1 ; 将数字多用表与负载模拟器两端并联, 读取负载模拟器两端电压值 U_2 , 按公式 (3) 计算电压压降值, 记录于附录 A 表 A.5 中。

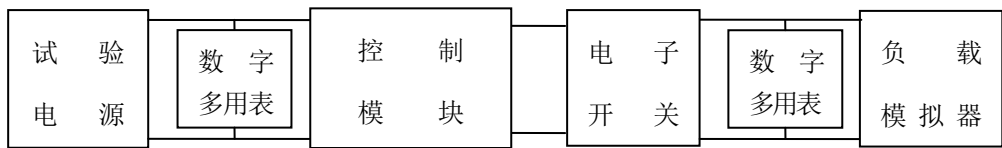


图6 电子开关带载电压压降校准示意图

用公式（3）计算电子开关带载电压压降：

$$\Delta U = U_1 - U_2 \tag{3}$$

6.2.5 人工网络阻抗

6.2.5.1 将人工网络和阻抗分析仪放置在接地导电平板上，接地布置应符合 GB/T6113.201 的要求。

6.2.5.2 设置阻抗分析仪扫频范围不小于被校人工网络工作频率，测量参数设置为“模值-相角”格式，阻抗分析仪连接测试电缆后分别用校准件进行开路、短路和负载校准。

6.2.5.3 接线如图 7 所示，将人工网络电源端 A 跟公共端 B 通过短路线进行短接，另一公共端 B 与被测设备端 P 分别与阻抗分析仪测试电缆进行连接。

6.2.5.4 对阻抗分析仪执行单次触发测量，按照附录 A 表中的测量点或客户要求的测量点设置对应频率值，读取待测频率点的阻抗值，将测量结果记录在附录 A 表 A.5 中。重复上述步骤，完成全部频率点的校准。

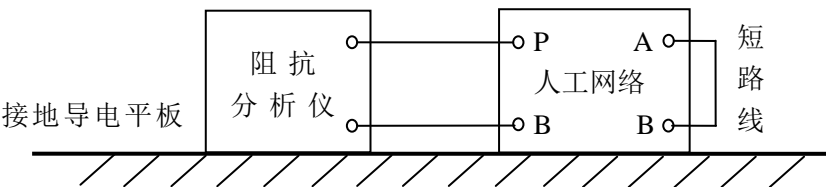


图7 人工网络校准示意图

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。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。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的, 因此, 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

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
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 电子开关切换时间

表 A.2 电子开关切换时间

标称值/ns	实测值/ns	示值误差/ns	扩展不确定度 U ($k=2$)
300			

A.3 电子/机械开关开通、关断时间

表 A.3.1 电子/机械开关开通时间

设置值/s	实测值/s	示值误差/s	扩展不确定度 U ($k=2$)

表 A.3.2 电子/机械开关关断时间

设置值/s	实测值/s	示值误差/s	扩展不确定度 U ($k=2$)

A.4 电子开关带载电压压降

表 A. 4 电压压降

测试电流	实测值/V	允许值/V	扩展不确定度 U ($k=2$)
25A			

A.5 人工网络阻抗

表 A. 5 人工网络阻抗

频率/MHz	标称值/ Ω	实测值/ Ω	扩展不确定度 U ($k=2$)
0.1	3.19		
0.3	9.45		
0.5	15.27		
1	26.99		
3	44.37		
5	47.73		
10	49.40		
30	49.93		
50	49.98		
100	49.99		

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
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 电子开关切换时间

表 B.2 电子开关切换时间

标称值/ns	实测值/ns	示值误差/ns	扩展不确定度 U ($k=2$)
300			

B.3 电子/机械开关开通、关断时间

表 B.3.1 电子/机械开关开通时间

设置值/s	实测值/s	示值误差/s	扩展不确定度 U ($k=2$)

表 B.3.2 电子/机械开关关断时间

设置值/s	实测值/s	示值误差/s	扩展不确定度 U ($k=2$)

B.4 电子开关带载电压压降

表 B. 4 电压压降

测量电流	实测值/V	允许值/V	扩展不确定度 U ($k=2$)
25A			

B.5 人工网络阻抗

表 B. 5 人工网络阻抗

频率/MHz	标称值/ Ω	实测值/ Ω	扩展不确定度 U ($k=2$)
0.1	3.19		
0.3	9.45		
0.5	15.27		
1	26.99		
3	44.37		
5	47.73		
10	49.40		
30	49.93		
50	49.98		
100	49.99		

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 电子开关切换时间测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

用示波器、示波器探头组成测量标准，采用示波器时间测量功能对汽车电子瞬态传导发射测试系统中电子开关切换时间进行测量，测量模型为：

$$\Delta T = T_{90} - T_{10} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔT ——电子开关切换时间实测值，ns；

T_{90} ——波形中峰值电压 90% 对应的时间值，ns；

T_{10} ——波形中峰值电压 10% 对应的时间值，ns；

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源主要有测量标准的频带宽度不充分宽，数字示波器幅度测量误差、数字示波器时间测量误差、数字示波器光标测量分辨率、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 测量标准频带宽度不充分宽引入的不确定度分量 u_1

测量标准由示波器（带宽 500MHz）和电压探头（带宽 500MHz）组成，则测量标准的瞬态响应时间： $\text{Tr} = \sqrt{\left(\frac{0.35}{0.5}\right)^2 + \left(\frac{0.35}{0.5}\right)^2} = 1.67(\text{ns})$ ，被测汽车电子瞬态传导发射测

试系统开关切换时间为 300ns，则引入的测量误差为： $\delta = \frac{\sqrt{300^2 + 1.67^2} - 300}{300} = 0.0015\%$ ，

按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则测量装置带宽不充分宽引入的不确定度分量

$$u_1 = \frac{0.0015\%}{\sqrt{3}} = 0.00089\%$$

C.1.3.2 数字示波器幅度测量误差引入的不确定度分量 u_2

数字示波器幅度测量最大允许误差为： $\pm 1.5\%$ ，设其服从均匀分布，取置信因子

$k=\sqrt{3}$ ，则其不确定度分量： $u_2 = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{1.5\%}{\sqrt{3}} = 0.87\%$

C.1.3.3 数字示波器时间测量误差引入的不确定度分量 u_3

数字示波器时间测量最大允许误差为： $\pm 1 \times 10^{-4}$ ，设其服从均匀分布，取置信因子

$k=\sqrt{3}$ ，则其不确定度分量： $u_3 = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{1 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 5.8 \times 10^{-5}$

C.1.3.4 数字示波器光标测量分辨力引入的不确定度分量 u_4

设读取脉冲幅度的 0% 和 100% 因光标测量分辨力相对误差分别为 ε_1 和 ε_2 ，读取脉冲幅度的 10% 和 90% 因光标测量分辨力相对误差分别为 ε_3 和 ε_4 ，读取脉冲幅度的 10% 和 90% 对应的时间刻度时因光标测量分辨力相对误差分别为 ε_5 和 ε_6 ；假设 6 次的判读误差均相等，即 $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=\varepsilon_4=\varepsilon_5=\varepsilon_6=\varepsilon$ ，设误差为均匀分布，又假定 $\varepsilon=0.5\%$ ，则 $u_{41}=$

$u_{42}=u_{43}=u_{44}=u_{45}=u_{46}=\frac{0.5\%}{\sqrt{3}}=0.289\%$ ，则数字示波器读数分辨力引入的不确定度分量

$$u_4 = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2 + u_{43}^2 + u_{44}^2 + u_{45}^2 + u_{46}^2} = 0.7073\%$$

C.1.3.5 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

在重复条件下对汽车电子瞬态传导发射测试系统的电子开关切换时间进行 10 次重复性测量，结果如下表(ns)：

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	321.5	332.4	331.1	337.5	326.8
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	314.2	317.4	309.7	320.4	323.6
平均值 \bar{x}_n	323.5		标准差	8.64	

则测量重复性引入的不确定度分量： $u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 8.64\text{ns}$ 。

相对不确定度分量： $u_A = \frac{8.64\text{ns}}{300\text{ns}} \times 100\% = 2.88\%$

C.1.4 合成标准不确定度

C.1.4.1 主要不确定度汇总表

不确定度来源(u_i)	a_i	k_i	u_i
测量标准频带宽度, u_1	0.0015%	$\sqrt{3}$	0.00089%
数字示波器幅度测量误差, u_2	1.5%	$\sqrt{3}$	0.87%
数字示波器时间测量误差, u_3	1×10^{-4}	$\sqrt{3}$	5.8×10^{-5}
数字示波器光标分辨力 u_4	---	$\sqrt{3}$	0.707%
测量重复性, u_A	2.88%	1	2.88%

C.1.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_A^2} = 3.09\%$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = k u_c = 6.2\%$, $k=2$ 。

C.2 阻抗测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

用阻抗分析仪测量汽车电子瞬态传导发射测试系统人工网络阻抗的测量模型为:

$$|Z_x| = |Z_s| \quad (\text{C.2})$$

式中:

$|Z_x|$ ——人工网络阻抗标称值,

$|Z_s|$ ——阻抗分析仪示值。

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源主要有: 阻抗分析仪测量误差、阻抗分析仪测量分辨力、测量重复性引入的不确定度分量等。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 阻抗分析仪测量误差引入的不确定度分量 u_1

阻抗分析仪 E4991A 在 0.1MHz~100MHz 频率范围内, 最大允许误差为 $\pm 0.08\%$,

按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则相对不确定度分量: $u_1 = \frac{0.08\%}{\sqrt{3}} = 0.046\%$

C.2.3.2 阻抗分析仪测量分辨力引入的不确定度分量 u_2

在测量频率为 10MHz 的阻抗值时, 阻抗分析仪测量分辨力为 0.01Ω , 设其服从均

匀分布, 取置信因子 $k=\sqrt{3}$, 则不确定度分量 $u_2 = \frac{\delta}{2\sqrt{3}} = \frac{0.0\Omega}{2\sqrt{3}} = 0.0029\Omega$, 相对不确

定度为: $u_2 = \frac{0.0029}{49.40}\Omega \times 100\% = 0.0587\%$ 。

C.2.3.3 测量重复性引入的不确定度分量 u_A

在重复条件下对汽车电子瞬态传导发射测试系统中的人工网络在频率 10MHz 下的阻抗进行 10 次重复测量, 结果如下表 (Ω):

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	49.78	49.20	49.47	49.81	48.83
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	49.01	48.89	49.14	48.76	48.54
平均值 \bar{x}_n	49.14		标准差 s	0.43	

则测量重复性引入的不确定度分量: $u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{(10-1)}} = 0.43 (\Omega)$

相对不确定度分量: $u_A = \frac{0.43\Omega}{49.98\Omega} \times 100\% = 0.86\%$

C.2.4 合成标准不确定度

C.2.4.1 主要不确定度汇总表

不确定度来源(u_i)	a_i	k_i	u_i
阻抗分析仪测量误差, u_1	0.08%	$\sqrt{3}$	0.046%
阻抗分析仪测量分辨率, u_2	0.0101%	$\sqrt{3}$	0.00587%
测量重复性, u_A	0.86%	1	0.86%

C.2.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_A^2} = 0.86\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U_{rel} = k u_c = 1.72\%$, $k=2$ 。

C.3 电压压降测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

用数字电压表测量汽车电子瞬态传导发射测试系统电压压降的测量模型为：

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (\text{C.3})$$

式中：

V_1 ——试验电源输出电压值，

V_2 ——负载模拟器两端电压值。

C.3.2 不确定度来源

不确定度来源主要有：数字电压表测量误差、数字电压表测量分辨力、测量重复性引入的不确定度分量等。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 数字电压表测量误差引入的不确定度分量 u_1

数字电压表测量 2V 时，最大允许误差为 $\pm 0.0005\text{V}$ ，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_1 = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \text{V} = 2.9 \times 10^{-4} \text{V}$ 。

C.3.3.2 数字电压表分辨力引入的不确定度分量 u_2

数字电压表分辨力为 0.001V，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则不确定度分量 $u_2 = \frac{\delta}{2\sqrt{3}} = \frac{0.001\text{V}}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-4} \text{V}$ 。

C.3.3.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_A

在重复条件下对汽车电子瞬态传导发射测试系统电压压降进行 10 次重复性测量，结果如下表 (V)：

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	0.47	0.52	0.43	0.56	0.48
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	0.47	0.44	0.55	0.57	0.46
平均值 \bar{x}_n	0.495		标准差 s	0.051	

则测量重复性引入的不确定度分量： $u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x}_n)^2}{(n-1)}} = 0.051\text{V}$ 。

C.3.4 合成标准不确定度

C.3.4.1 主要不确定度汇总表

不确定度来源(u_i)	a_i	k_i	u_i
数字电压表测量误差, u_1	$5 \times 10^{-4} \text{V}$	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-4} \text{V}$
数字电压表测量分辨率, u_2	$5 \times 10^{-4} \text{V}$	$\sqrt{3}$	$2.9 \times 10^{-4} \text{V}$
测量重复性, u_A	0.051V	1	0.051V

C.2.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_A^2} = 0.051 \text{V}$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U = k u_c = 0.10 \text{V}$, $k=2$ 。