

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) XXXX─XXXX

谐振腔法电容器等效串联电阻

测试系统校准规范

Calibration Specification of the Test System with resonant coaxial-line for Effective Series Resistance of Capacitors

（报批稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部**发 布

谐振腔法电容器等效串联电阻测试系统校准规范

Calibration Specification for the Test System with resonant coaxial-line for Effective Series Resistance of Capacitors

**JJF(电子)XXXX**─**XXXX**

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子技术标准化研究院

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：

裴 静（中国电子技术标准化研究院）

王宇航（中国电子技术标准化研究院）

赵 飞（中国电子技术标准化研究院）

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………………………………………………………………………………………………………….1

5 计量特性……………………………………………………………………………………………………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 外观、附件及功能性检查………………………………………………………………………………3

7.2短路谐振频率校准………………………………………………………………………………… 3

7.3 短路品质因数校准……………………………………………………………………………………… 4

7.4 开路谐振频率校准……………………………………………………………………………………… 4

7.5 开路品质因数校准……………………………………………………………………………………… 5

7.6 同轴谐振腔特征阻抗校准………………………………………………………………………………… 5

8 校准结果表达………………………………………………………………………………………………5

9 复校时间间隔………………………………………………………………………………………………6

附录A 原始记录格式………………………………………………………………………………………7

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…………………………………………………………………………13

引言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

谐振腔法电容器等效串联电阻测试系统校准规范

1范围

本规范适用于谐振频率范围在120 MHz~2.1 GHz的新制造、新购置和使用中的谐振腔法电容器等效串联电阻（ESR）测试系统的校准，其他频率范围的相同原理的测试系统也适用于本规范。

2引用文件

EIA Standard RS-483 多层陶瓷电容器的高频等效串联电阻（ESR）及电容测试方法(Standard Method of Test for Effective Series Resistance (ESR) and Capacitance Multilayer Ceramic Capacitors at High Frequencies.)

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 谐振频率 Resonance Frequency，单位：赫兹。

当谐振电路外部输入电压的正弦频率达到某一特定频率时，谐振电路的感抗与容抗相等即为谐振，该特定频率即为谐振频率。根据谐振频率，通过公式（1）可计算出电容值。

……………………………………… (1)

式中：

*f*0——谐振频率，Hz；

*L*——电感，H；

*C*——电容，F。

3.2 品质因数 Q Factor，无量纲量。

在谐振频率下，当信号振幅不随时间变化时，系统储存能量与一个周期内消耗的能量的比值为品质因数。

4 概述

ESR是微波陶瓷电容器十分关键的性能指标。理想电容器在信号通过时没有任何能量损失，在实际应用中，由于多层陶瓷电容器的内电极和陶瓷介质都存在损耗，在交流信号通过时会产生发热，因此也会有能量损失，在外部的表现上好像电容内部又串联了一个电阻。通常一个电容器可以等效成一个LCR串联电路，该串联电路的ESR值会导致电容自发热等问题，影响电容性能。国内外相关单位普遍采用谐振腔法测量高Q电容的ESR值，该方法使用谐振腔法电容器ESR测试系统进行射频/微波高Q值电容器ESR的测试。

基于同轴谐振腔法的电容器ESR测试系统包括网络分析仪、同轴谐振腔、电缆等，见图1。其中同轴谐振腔的长度决定了ESR值的测试频率。通过测试加载被测电容器前后同轴谐振腔谐振频率和品质因数的变化情况，通过计算得到ESR。

|  |
| --- |
| **计算机**  测量计算软件  **网络分析仪**  LAN  接头  同轴谐振腔  短路端  开路端 |
| 图1 测试系统框图 |

5 计量特性

5.1 短路谐振频率

标称值范围：120MHz~1900MHz，最大允许误差：±0.1%。

5.2 短路品质因数

标称值范围：900~3000，最大允许误差：±10%。

5.3 开路谐振频率

标称值范围：250MHz~2100MHz，最大允许误差：±0.1%。

5.4 开路品质因数

标称值范围：1700~4200，最大允许误差：±10%。

5.5 同轴谐振腔特征阻抗

标称值范围：75.75Ω，最大允许误差：±10%。

6 校准条件

6.1环境条件

6.1.1 环境温度：23℃±2℃；

6.1.2 相对湿度：20%~80%；

6.1.3 电源要求：(220±11)V、(50±1)Hz；

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动；

6.1.5 保证校准过程中对静电有严格的防护措施，以免损害校准用设备。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 频率计

频率测量范围：10 MHz~3 GHz，最大允许误差：±2×10-6；

6.2.2 功分器

频率范围：1 MHz~3 GHz，插入损耗：（4~8.5）dB，幅度平衡度：≤0.2 dB。

6.2.3 外径千分尺

量程：(0~25) mm，最大允许误差：±0.005 mm。

6.2.4 三点内径千分尺

量程：(25~50) mm，最大允许误差：±0.005 mm。

7 校准项目和校准方法

7.1外观、附件及功能性检查

被检仪器外观应完好，无影响正常工作的机械损伤，各附件应齐全。

面板或铭牌上应有名称、型号、国别厂家、出厂编号等，各按键、开关应有保证正确使用的标志。将检查结果记录在附录A的表格A.1中。

通电后被检仪器应能正常工作，各种指示和显示应正确。将检查结果记录在附录A的表格A.1中。

7.2 短路谐振频率校准

7.2.1 校准设备的连接

校准设备的连接方式如图2所示，频率计和被校测试系统的网络分析仪、谐振腔通过功分器的三个端口相连接。

|  |
| --- |
| 网络分析仪  短路端  转接头  开路端  同轴谐振腔  输出  功分器  输入  输出  频率计 |
| 图2 谐振腔法ESR测试系统校准连接示意图 |

7.2.2 校准步骤

7.2.2.1 在对测试系统进行校准之前，先对测试系统中的网络分析仪进行自校准。

7.2.2.2将谐振腔（图3）的银制活塞与中心导体短路，在网络分析仪上找到谐振腔的第一谐振峰（λ/4），此时网络分析仪上标出的第一谐振峰（λ/4）的中心频率即为第一谐振峰（λ/4）的短路谐振频率*f*sc指示值，将其记录在附录A的表格A.2中的相应位置。

7.2.2.3将网络分析仪的中心频率（center）设为短路谐振频率指示值，频带宽度（span）设为1Hz，此时频率计上显示的即为第一谐振峰（λ/4）的短路谐振频率*f*sc实测值，将实测值记录在附录A的表格A.2中的相应位置。

7.2.2.4用同样的方法得到其余谐振模式的短路谐振频率指示值和实测值，记录在附录A的表格A.2中。

|  |
| --- |
| C:\Users\user\AppData\Local\Temp\1648109793(1).png |
| 图3 谐振腔剖面结构图 |

7.3 短路品质因数校准

7.3.1

|  |
| --- |
|  |
| 图4 品质因数Q值示意图 |

谐振腔品质因数由如图4所示的谐振峰中心谐振频率的3dB带宽*f*BW与中心频率*f*，通过公式（2）计算得到。

……………………………………… (2)

式中：*Q*—谐振腔品质因数，无单位；

*f —*谐振峰中心谐振频率，Hz；

*f*BW*—*谐振峰中心谐振频率的3dB带宽，Hz。

7.3.2 校准步骤

7.3.2.1用7.2.3所述的方法测得第一谐振峰（λ/4）短路谐振频率后，在网络分析仪上调出3dB带宽，此时在网络分析仪上可读出相应的*Q*值，即为第一谐振峰（λ/4）短路品质因数*Q*sc的指示值，将其记录在附录A的表格A.3中的相应位置。

7.3.2.2在网络分析仪上标出图4所示*f*BW1，将网络分析仪的中心频率（center）设为*f*BW1，频带宽度（span）设为1Hz，此时频率计上显示的即为第一谐振峰（λ/4）的*f*BW1实测值，将该值记录在附录A的表格A.3中的相应位置。

7.3.2.3用同样的方法得到*f*BW2实测值，记录在附录A的表格A.3中的相应位置。

7.3.2.4结合表格A.2中相应的*f*sc，通过公式（2）计算出第一谐振峰（λ/4）短路品质因数*Q*sc的实测值。

7.3.2.5以此类推可得到其余模式谐振峰短路品质因数*Q*sc的指示值和实测值，记录在表A.3中。

7.4 开路谐振频率校准

校准设备的连接方式不变，如图2所示。将谐振腔内部的银制活塞与中心导体分离，如图3所示，即为开路方式。在网络分析仪上找到谐振腔各个模式下的谐振峰（λ/2、λ……），按照与7.2.3相同的步骤校准，并将开路谐振频率*f*oc的指示值和测量值记录在附录A的表格A.4中。

7.5 开路品质因数校准

保持谐振腔处于开路方式，按照与7.3.2相同的步骤校准，得到各个模式谐振峰开路品质因数*Q*oc的指示值和实测值，记录在附录A的表格A.5中。

7.6 同轴谐振腔特征阻抗校准

7.6.1 同轴谐振腔的拆解

如被校系统中的同轴谐振腔的侧面是可开合结构，则打开盖板即可供内径千分尺和外径千分尺进行校准操作；如被校系统中的同轴谐振腔侧面不可开合，则需要从短路端拆解开，再进行校准操作。一般地，谐振腔特征阻抗校准只在首次校准中开展，后续校准可不做此项校准。

7.6.2 校准步骤

7.6.2.1用外径千分尺测量谐振腔内导体的外径尺寸，连续测量3次，将3次的测量值及其平均值分别记录在附录A的表格A.6中的相应位置。

7.6.2.2用内径千分尺测量谐振腔外导体的内径尺寸，连续测量3次，将3次的测量值及其平均值分别记录在附录A的表格A.6中的相应位置。

7.6.2.3用公式3计算谐振腔的特性阻抗，并将其记录在附录A的表格A.6中的相应位置。

……………………………………… (3)

式中：*Z*0—谐振腔的特性阻抗，Ω；

*d*1 *—*谐振腔的内导体的外径，mm；

*d*2 *—*谐振腔的外导体的内径，mm。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

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。

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，一般推荐为1年。

附录A 原始记录格式

附录B 校准证书内页格式

附录C 不确定度评定示例

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

附录A

原始记录格式

A.1　外观、附件及功能性检查

表A.1外观及附件检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 功能性检查 |  |

A.2　短路谐振频率*f*sc

表A.2　短路谐振频率*f*sc

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 短路谐振频率*f*sc/GHz | | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 指示值 | 实测值 |
| λ/4 |  |  |  |
| 3λ/4 |  |  |  |
| 5λ/4 |  |  |  |
| 7λ/4 |  |  |  |
| 9λ/4 |  |  |  |
| 11λ/4 |  |  |  |
| 13λ/4 |  |  |  |
| 15λ/4 |  |  |  |

A.3　短路品质因数（*Q*sc值）

表A.3　短路品质因数（*Q*sc值）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 指示值 | 3dB带宽*f*BW/ GHz | | | 实测值 | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| *f*BW1 | *f*BW2 | *f*BW |
| λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 3λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 5λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 7λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 9λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 11λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 13λ/4 |  |  |  |  |  |  |
| 15λ/4 |  |  |  |  |  |  |

A.4　开路谐振频率*f*oc

表A.4　开路谐振频率*f*oc

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 开路谐振频率*f*oc/GHz | | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 指示值 | 实测值 |
| λ/2 |  |  |  |
| λ |  |  |  |
| 3λ/2 |  |  |  |
| 2λ |  |  |  |
| 5λ/2 |  |  |  |
| 3λ |  |  |  |
| 7λ/2 |  |  |  |
| 4λ |  |  |  |

A.5　开路品质因数（*Q*oc值）

表A.5　开路品质因数（*Q*oc值）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 指示值 | 3dB带宽*f*BW/ GHz | | | 实测值 | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| *f*BW1 | *f*BW2 | *f*BW |
| λ/2 |  |  |  |  |  |  |
| λ |  |  |  |  |  |  |
| 3λ/2 |  |  |  |  |  |  |
| 2λ |  |  |  |  |  |  |
| 5λ/2 |  |  |  |  |  |  |
| 3λ |  |  |  |  |  |  |
| 7λ/2 |  |  |  |  |  |  |
| 4λ |  |  |  |  |  |  |

A.6　谐振腔特征阻抗（*Z*0值）

表A.6　谐振腔特征阻抗（*Z*0值）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 特征阻抗  标称值/Ω | 内导体外径  测量值/mm | 内导体外径实测值/mm | 外导体内径  测量值/mm | 外导体内径实测值/mm | 特征阻抗  校准值/Ω | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 75.75 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |
|  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

附录B

校准证书内页格式

B.1　外观、附件及功能性检查

表B.1外观及附件检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 功能性检查 |  |

B.2　短路谐振频率*f*sc

表B.2　短路谐振频率*f*sc

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 短路谐振频率*f*sc/GHz | | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 指示值 | 实测值 |
| λ/4 |  |  |  |
| 3λ/4 |  |  |  |
| 5λ/4 |  |  |  |
| 7λ/4 |  |  |  |
| 9λ/4 |  |  |  |
| 11λ/4 |  |  |  |
| 13λ/4 |  |  |  |
| 15λ/4 |  |  |  |

B.3　短路品质因数（*Q*sc值）

表B.3　短路品质因数（*Q*sc值）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 短路品质因数*Q*sc | | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 指示值 | 实测值 |
| λ/4 |  |  |  |
| 3λ/4 |  |  |  |
| 5λ/4 |  |  |  |
| 7λ/4 |  |  |  |
| 9λ/4 |  |  |  |
| 11λ/4 |  |  |  |
| 13λ/4 |  |  |  |
| 15λ/4 |  |  |  |

B.4　开路谐振频率*f*oc

表B.4　开路谐振频率*f*oc

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 开路谐振频率*f*oc/GHz | | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 指示值 | 实测值 |
| λ/2 |  |  |  |
| λ |  |  |  |
| 3λ/2 |  |  |  |
| 2λ |  |  |  |
| 5λ/2 |  |  |  |
| 3λ |  |  |  |
| 7λ/2 |  |  |  |
| 4λ |  |  |  |

B.5　开路品质因数（*Q*oc值）

表B.5　开路品质因数（*Q*oc值）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 谐振模式 | 开路品质因数*Q*oc | | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) |
| 指示值 | 实测值 |
| λ/2 |  |  |  |
| λ |  |  |  |
| 3λ/2 |  |  |  |
| 2λ |  |  |  |
| 5λ/2 |  |  |  |
| 3λ |  |  |  |
| 7λ/2 |  |  |  |
| 4λ |  |  |  |

B.6　谐振腔特征阻抗（*Z*0值）

表A.6　谐振腔特征阻抗（*Z*0值）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值/Ω | 实测值/Ω | 测量不确定度*U*rel (*k*=2) | |
| 75.75 |  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

附录C

测量不确定度评定示例

**C.1** 短路谐振频率校准结果的不确定度的评定

以第五谐振峰，谐振模式9λ/4的校准为例。

C1.1 测量模型

通过功分器将频率计接入短路模式下的测试系统，用直接测量法测得测试系统谐振峰的谐振频率，记录频率计的读数，按照（C.1）可以得出被校测试系统的短路谐振频率：

*f=f*m………………………………………………… (C.1)

式中：*f*—测试系统谐振峰的谐振频率，GHz；

*f*m—频率计测得的频率，GHz。

C.1.2 不确定度来源

1. 频率计测量频率的准确度引入的不确定度分量；
2. 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频率计测量频率的准确度引入的不确定度分量

用B类标准不确定度评定。频率计测量频率的准确度为2×10-6，远远优于测量重复性带来的不确定度，因此该项不确定度分量对校准结果的不确定度的贡献可以忽略不计。

C.1.3.2测量重复性引入的不确定度分量

按A类评定，进行独立重复测量10次，重复性测试数据见下表：

7.6 kHz。

单位：GHz

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |  |  |
| 1.160245 | 1.160256 | 1.160248 | 1.160265 | 1.160258 | 1.160255 | 1.160265 | 1.160254 | 1.160242 | 1.160253 | 1.160254 | 7.6×10-6 |

C.1.4 合成标准不确定度

根据上述计算，合成标准不确定度为：*u*c=7.6 kHz

C.1.5 扩展不确定度

取=2，则扩展不确定度=17 kHz，相对扩展不确定度为*U*rel=1.4×10-5。

**C.2** 短路品质因数校准结果的不确定度的评定

以第五谐振峰，谐振模式9λ/4的校准为例。

C2.1 测量模型

根据公式



式中：*Q*—谐振腔品质因数，无单位；

*f —*谐振峰中心谐振频率，Hz；

*f*BW*—*谐振峰中心谐振频率的3dB带宽，Hz。

C.2.2 不确定度来源

1. 频率*f*的测量不准确引入的标准不确定度分量；
2. 谐振峰频率3dB带宽测量不准确的影响；
3. 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频率*f*的测量不准确引入的不确定度分量

用B类标准不确定度评定。谐振频率的测量不确定度主要由频率测量准确度和频率测量重复性决定。经C.1中的计算可知，谐振频率的测量不确定度约为0.0014%，其对Q值的影响为0.002%，概率分布为均匀分布，则*k*=，故其不确定度分量=0.0011%。

C.2.3.2谐振峰频率3dB带宽测量不准确的影响引入的标准不确定度分量

用B类标准不确定度评定。

首先估算出*f*BW，对于第五谐振峰，谐振模式9λ/4，*f*0≈1.1602 GHz，*Q*≈2500，则*f*BW≈0.464 MHz，*f*BW/2≈0.232 MHz。

将谐振曲线近似为开口向下的抛物线，其数学公式为：x2=-2py，若二分之一3dB带宽为0.232 MHz，x=±0.232 MHz，y=-3dB，得到-2p=0.0179413，则该公式为：x2=0.0179413y。

根据网络分析仪的技术指标，当谐振频率点传输系数模值在-50 dB左右时，其测量准确度为0.06 dB，则，y1=3.06 dB，x1=0.2343 MHz；y2=2.94 dB，x2=0.2297 MHz。即，*f*BW=0.2343×2—0.2297×2=0.0092 MHz，半宽区间为±0.0049 MHz。

概率分布为均匀分布，则*k*=，故其不确定度分量=0.61%。

C.2.3.3测量重复性引入的不确定度分量。

按A类评定，进行独立重复测量10次，重复性测试数据见下表：

15.40，*u*relA=0.6%

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |  |  |
| 2589 | 2577 | 2565 | 2548 | 2579 | 2558 | 2569 | 2583 | 2599 | 2562 | 2562 | 15.40 |

C.2.4 合成标准不确定度

以上各不确定度分量独立不相关，根据下面公式，则合成标准不确定度为：

≈0.9%

C.2.5 扩展不确定度

取=2，则扩展不确定度=1.8%。

**C.3** 谐振腔特征阻抗校准结果的不确定度的评定

C3.1 测量模型

根据谐振腔特性阻抗计算公式



式中：*Z*0—谐振腔的特性阻抗，Ω；

*d*1 *—*谐振腔的内导体的外径，mm；

*d*2 *—*谐振腔的外导体的内径，mm。

可以得到谐振腔特性阻抗测量不确定度计算公式：



C.3.2 不确定度来源

1. 谐振腔的内导体的外径测量不准确引入的不确定度分量；
2. 谐振腔的外导体的内径测量不准确引入的不确定度分量。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1谐振腔的内导体的外径测量不准确引入的不确定度分量

谐振腔的内导体的外径测量误差来源包括：外径千分尺的标准值的不确定度和测量重复性等因素。

1. 外径千分尺的标准值的不确定度，根据上级溯源机构给出的校准结果，其测量不确定度为1.2 μm (*k*=2)；
2. 测量重复性按A类方法评定，进行独立重复测量10次，重复性测试数据见下表：

（单位：mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |  |  |
| 7.938 | 7.937 | 7.938 | 7.936 | 7.938 | 7.936 | 7.938 | 7.937 | 7.936 | 7.938 | 7.9372 | 0.0009 |

0.0009 mm

根据不确定度传播率，得到合成标准不确定度为：0.0015 mm，即谐振腔的内导体的外径测量不准确引入的不确定度分量为0.0030 mm。

C.3.3.2谐振腔的外导体的内径测量不准确引入的不确定度分量

谐振腔的外导体的内径测量误差来源包括：内径千分尺的标准值的不确定度和测量重复性等因素。

1. 内径千分尺的标准值的不确定度，根据上级溯源机构给出的校准结果，其测量不确定度为1.3 μm (*k*=2)；
2. 测量重复性按A类方法评定，进行独立重复测量10次，重复性测试数据见下表：

单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *x*5 | *x*6 | *x*7 | *x*8 | *x*9 | *x*10 |  |  |
| 28.094 | 28.096 | 28.096 | 28.095 | 28.098 | 28.094 | 28.097 | 28.093 | 28.092 | 28.091 | 28.0946 | 0.0022 |

0.0022 mm

根据不确定度传播率，得到合成标准不确定度为：0.0029 mm，即谐振腔的内导体的外径测量不准确引入的不确定度分量为0.0058 mm。

C.3.4 合成标准不确定度

根据C.3.1中给出的不确定度计算公式，得到合成标准不确定度*u*c为：



C.3.5 扩展不确定度

取*k*=2，则扩展不确定度=0.020 Ω。