

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)0000─2022

发射测量耦合去耦网络校准规范

Calibration Specification for Coupling Decoupling Networks

of Emission Measurement

（报批稿）

2022-××-××发布 2022-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

发射测量耦合去耦网络

校准规范

Calibration Specification for Coupling Decoupling Networks of Emission Measurement

**JJF(电子)0000**─**2022**

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：广州赛宝计量中心检测服务有限公司

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：

陈 彦（工业和信息化部电子第五研究所）

阚 飞（工业和信息化部电子第五研究所）

赵 敏（工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

张 成（广州赛宝计量中心检测服务有限公司）

田进点（广州赛宝计量中心检测服务有限公司）

黄仙健（广州赛宝计量中心检测服务有限公司）

目 录

[引 言 II](#_Toc66434881)

[1 范围 1](#_Toc66434882)

[2 引用文件 1](#_Toc66434883)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc66434884)

[3.1 发射测量耦合去耦网络（CDNE） 1](#_Toc66434885)

[3.2 参考接地平面（RGP） 1](#_Toc66434886)

[3.3 阻抗测量适配器（IMA） 1](#_Toc66434887)

[3.4 阻抗变换适配器（ICA） 1](#_Toc66434887)

[3.5 受试设备（EUT） 2](#_Toc66434887)

[3.6 辅助设备（AE） 2](#_Toc66434887)

[4 概述 2](#_Toc66434888)

[5 计量特性 2](#_Toc66434889)

[5.1 共模阻抗 2](#_Toc66434887)

[5.2 共模阻抗相角 2](#_Toc66434887)

[5.3 差模阻抗 2](#_Toc66434887)

[5.4 电压分压系数 2](#_Toc66434887)

[5.5 去耦衰减 2](#_Toc66434887)

[6 校准条件 3](#_Toc66434891)

[6.1 环境条件 3](#_Toc66434892)

[6.2 测量标准及其它设备 3](#_Toc66434893)

[7 校准项目和校准方法 4](#_Toc66434894)

[7.1 校准项目 4](#_Toc66434895)

[7.2 校准方法 4](#_Toc66434896)

[8 校准结果表达 8](#_Toc66434897)

[9 复校时间间隔 9](#_Toc66434898)

[附录A 原始记录格式 10](#_Toc66434899)

[附录B 校准证书内页格式 13](#_Toc66434900)

[附录C 测量不确定度评定示例 16](#_Toc66434901)

[附录D CDNE的相关信息 26](#_Toc66434902)

[附录E CDNE校准套件的相关信息 30](#_Toc66434903)

# 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。

本规范参考GB/T 6113.102《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-2部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 传导骚扰测量的耦合装置》及CISPR 16-1-2:2017《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-2部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 传导骚扰测量的耦合装置》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。

发射测量耦合去耦网络校准规范

# 1 范围

本规范适用于30MHz~300MHz频率范围发射测量耦合去耦网络(CDNE)的校准。

# 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 6113.102/CISPR 16-1-2:2017 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范第1-2部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 传导骚扰测量的耦合装置(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 1-2: Radio disturbance immunity measuring apparatus—Coupling devices for conducted disturbance measurements)。

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 发射测量耦合去耦网络（CDNE）coupling decoupling networks for emission measurement

用于测量30MHz~300MHz频率范围发射的耦合去耦网络。

[GB/T 6113.102-2018，3.1.10]。

注：有关CDNE的详细信息参见附录D。

3.2 参考接地平面（RGP）reference ground plane

电位用作公共参考地电位且与EUT及周边物体之间具有确定寄生电容的平的导电接地平面。

[GB/T 6113.102-2018，3.1.14]。

注：传导发射测量需要参考接地平面，其作为非对称和不对称骚扰电压测量的参考地。

3.3 阻抗测量适配器（IMA）impedance measurement adaptor

[GB/T 6113.102-2018，3.1.12]。

搭接到参考接地平面尺寸为0.1m×0.1m的垂直金属平面，其包括与网络分析仪及CDNE相连的端口。

3.4 阻抗变换适配器（ICA）impedance conversion adaptor

搭接到参考接地平面尺寸为0.1m×0.1m的垂直金属平面，内置100Ω阻抗，其包括与网络分析仪及CDNE相连的端口。

3.5 受试设备（EUT）equipment under test

接受电磁兼容（EMC）符合性试验的设备（装置、器具和系统）。

[GB/T 6113.102-2018，3.1.11]。

3.6 辅助设备（AE）associated equipment

不属于受试系统但被用来辅助EUT运行的设备。

[GB/T 6113.102-2018，3.1.2]。

# 4 概述

发射测量耦合去耦网络（CDNE）是将EUT产生的不对称骚扰电压通过线缆传导并耦合到测量接收机，同时对线缆上其它影响量进行去耦并起到稳定阻抗的作用。CDNE的外层结构是一个金属壳体，底面接地。EUT端口和AE端口为4mm母香蕉插头，中心位于RGP上方处，接收机测量端口一般为BNC型，位于壳体的正上方。附录D给出了CDNE的结构原理、元件参数及共模阻抗校准时CDNE与IMA的连接布置。GB/T 6113.201-2018的第九章节中明确规定了当辐射发射主要通过连接电缆产生时，在30MHz~300MHz频率范围可使用CDNE来测量不对称骚扰电压，简称CDNE法。

# 5 计量特性

5.1 共模阻抗

标称值：150 Ω（频率范围30MHz~300MHz），允许范围（130～160）Ω。

5.2 共模阻抗相角

标称值：0°（频率范围30MHz~300MHz），最大允许误差：± 25°。

5.3 差模阻抗

标称值：100 Ω（频率范围30MHz~300MHz），最大允许误差：± 20 Ω。

5.4 电压分压系数

标称值：20dB（频率范围30MHz~300MHz），最大允许误差：± 1.5dB。

5.5 去耦衰减

允许范围：>30dB（频率范围30MHz~300MHz）。

# 6 校准条件

# 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5)℃。

6.1.2 环境相对湿度：20%~80%。

6.1.3 供电电源：电压(220±11)V，频率(50±1)Hz。

6.1.4 其他：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

## 6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 网络分析仪和配套校准件

频率范围：30MHz~300MHz；

输出电平：-20dBm～5dBm；

动态范围：≥80dB；

具备电长度补偿功能。

6.2.2 CDNE校准套件

CDNE校准套件包含的主要部件及典型技术指标要求如下(频率范围30MHz～300MHz)：

1. 阻抗测量适配器(IMA)，技术指标的典型值：50Ω同轴端口(N型母头)转4mm香蕉母头，两端连接头之间的直通阻抗为0Ω。
2. 阻抗变换适配器(ICA)，技术指标的典型值：50Ω同轴端口(N型母头)转4mm香蕉母头，两端连接头之间的直通阻抗为100Ω；一对阻抗变换器(ICA)直通 (背对背)连接时的插入损耗标称值为9.5dB，最大允许误差± 0.5dB。
3. 差模阻抗测量巴伦，技术指标的典型值：
4. 不平衡端口阻抗：标称值50Ω，最大允许误差± 5%，驻波比＜1.25；
5. 平衡端口阻抗：标称值100Ω ，最大允许误差± 5%，驻波比＜1.25；
6. 插入损耗：一对差模阻抗测量巴伦直通 (背对背)连接时的插入损耗标称值为16.2dB，平坦度的最大允许误差＜1.0dB。

注：所有部件包含差模阻抗测量巴伦、阻抗测量适配器、阻抗变换适配器及配套校准连接器等，图片及注释说明详见附录E。

6.2.3 同轴衰减器

频率范围：30MHz～300MHz；

衰减值：10dB；

最大允许误差：±0.5dB；

电压驻波比：≤1.2。

6.2.4 游标卡尺

测量范围：（0～150）mm；

最大允许误差：±0.1 mm。

6.2.5 参考接地平面（RGP）

RGP为金属接地平板，其各边尺寸应至少比CDNE和整套校准系统在平面上的几何投影尺寸大0.2m,且其表面应与CDNE底面具有良好的电搭接。

# 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准项目

校准项目见表1。

表1 校准项目表

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 项目名称 |
| 1 | 共模阻抗 |
| 2 | 共模阻抗相角 |
| 3 | 差模阻抗 |
| 4 | 电压分压系数 |
| 5 | 去耦衰减 |

## 7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校准CDNE的外观结构和端口完整无损坏,其外壳底面与参考接地平面搭接良好。检查结果记录于附录A表A.1中。

7.2.2 共模阻抗*Z*CM和共模阻抗相角*θ*

7.2.2.1 校准布置如图1：

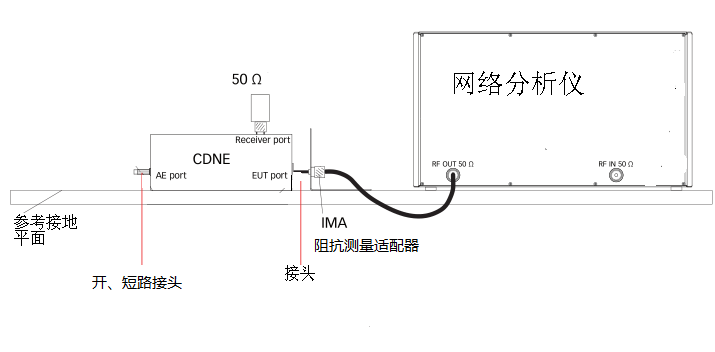


图1 共模阻抗和相角校准布置图

7.2.2.2 网络分析仪设置为*S*11，频率范围30MHz～300MHz，中频带宽100Hz，网络分析仪连接同轴线缆，先用网络分析仪配套校准件在同轴线缆末端进行单端口的开路、短路、匹配校准。

7.2.2.3 网络分析仪通过同轴线缆连接到阻抗测量适配器（IMA）的同轴端口（N型母头），IMA的另一端口（4mm香蕉母头）经连接器接CDNE的EUT端。用游标卡尺测量同轴线缆端面（7.2.2.2中已校准并连接到IMA同轴端口的一端）至CDNE的EUT端面的长度*l*。阻抗测量适配器（IMA）和连接器引入的影响量使用网络分析仪的电长度补偿功能进行补偿，不同类型的网络分析仪分别需要输入补偿长度*l*或电长度延迟时间*t*完成补偿。设置的电长度延迟时间由公式(1)得到：

*t* = (1)

*t* —延迟时间，单位为秒。

*l* —需要修正的电气长度，单位为米。

*v* —为电磁波在传输介质中的相速度（对于同轴线缆来讲，主要取决于同轴线缆中心导体和外导体之间的介电常数），由公式(2)得到：

*v* *=* (2)

*ε*—为传输介质的介电常数，对于同轴线缆来说通常近似取2。

*c* —为电磁波在真空中的传输速度，约等于m/s。

7.2.2.4 重新检查IMA和CDNE连接是否良好，IMA和CDNE的底面接地面应与参考接地平面（RGP）紧密搭接、充分接触，CDNE的接收机端口（receiver port）接50Ω同轴负载。网络分析仪选择阻抗复数测量模式*R+jX，*分别在AE端开路和短路状态下测量共模阻抗的复数*Z*CM*=R+jX*，*R*为实部，*X*为虚部，共模阻抗模值的计算如公式(3)，单位为Ω：

|*Z*CM|= (3)

7.2.2.5 参照附录A中的表A.2，记录相应频率点共模阻抗的复数。

7.2.2.6 网络分析仪切换到相角（phase）测量模式, 分别在AE端开路和短路状态下读出共模阻抗相角*θ*并记录在表A.2。共模阻抗相角*θ*也可以由共模阻抗的实部*R*和虚部*X*参照反正弦原理换算得到，计算如公式(4)：

*θ* = arcsin()÷2π×360º (4)

7.2.3 差模阻抗*Z*DM

7.2.3.1校准布置如图2：

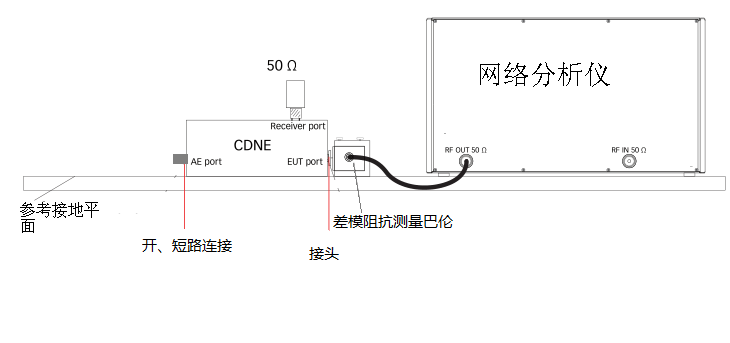


图2 差模阻抗校准布置图

7.2.3.2 网络分析仪设置为*S*11，频率范围30MHz～300MHz，中频带宽100Hz，端口虚拟阻抗设置成100Ω。

7.2.3.3网络分析仪连接差模阻抗测量巴伦,分别用CDNE校准套件中差模阻抗测量巴伦配套的开路、短路、匹配校准件(CDNE校准套件中的1mm校准件)对差模阻抗测量巴伦进行单端口校准。

7.2.3.4 差模阻抗测量巴伦经校准套件中的配套连接器连接到CDNE的EUT端，CDNE放置在参考接地平面上并搭接良好，接收机端口（receiver port）接50Ω同轴负载，分别在AE端开路和短路状态下测量差模阻抗的复数，差模阻抗模值|*Z*DM|参照7.2.2.4中公式(3)算出。

7.2.3.5 参照附录A中的表A.3，记录相应频率点差模阻抗的复数。

7.2.4 电压分压系数

7.2.4.1校准布置如图3：

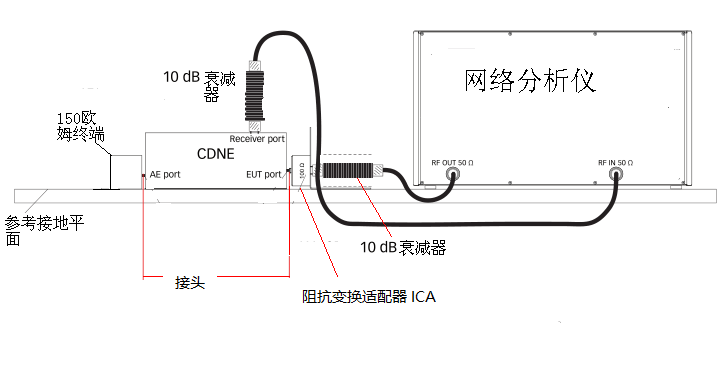


图3 电压分压系数校准布置图

7.2.4.2 网络分析仪设置为*S*21，频率范围30MHz～300MHz，中频带宽100Hz。

7.2.4.3 网络分析仪两端口分别连接同轴线缆和10dB衰减器,先直通连接进行归一化校准，消除衰减器和同轴线缆插入损耗引入的影响。

7.2.4.4断开直通连接，网络分析仪输出端通过同轴线缆和衰减器与阻抗变换适配器（ICA）连接，并接到CDNE的EUT端；网络分析仪的接收端通过同轴线缆和衰减器与CDNE的接收机端口（receiver port）连接；CDNE的AE端连接150Ω终端。从网络分析仪直接读出*S*21的指示值即为电压分压系数值，单位为dB。

7.2.4.5 参照附录A中的表A.4，记录相应频率点的电压分压系数值。

7.2.5 去耦衰减

7.2.5.1校准布置如图4：

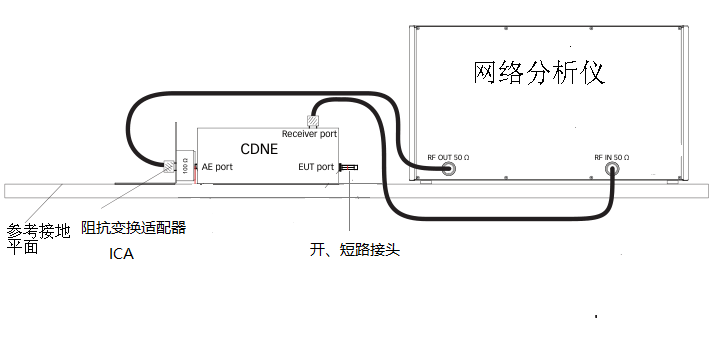


图4 去耦衰减校准布置图

7.2.5.2 网络分析仪设置为*S*21，频率范围30MHz～300MHz，中频带宽100Hz。

7.2.5.3 网络分析仪两端口分别连接同轴线缆,先直通连接进行归一化校准，消除同轴线缆插入损耗引入的影响。

7.2.5.4断开直通连接，网络分析仪输出端通过同轴线缆与阻抗变换适配器（ICA）连接，并接到CDNE的AE端；网络分析仪的接收端通过同轴线缆与CDNE的接收机端口（receiver port）连接；分别在EUT端口开路和短路状态下测量AE端口与接收机端口（receiver port）之间的插入损耗值，去耦衰减由插入损耗减去7.2.4中的电压分压系数得到。

7.2.5.5 参照附录A中的表A.5，记录相应频率点的插入损耗值，并计算得出去耦衰减。

# 8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。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、本身质量等诸多因素决定的。因此，申请校准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 共模阻抗*Z*CM和共模阻抗相角*θ*

表A.2 共模阻抗*Z*CM和共模阻抗相角*θ*(AE端开路和短路分别记录)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | | 共模阻抗*Z*CM（复数） | | 共模阻抗相角*θ* | 不确定度(*k*=2) | |
| MHz | Ω | (°) | *R*(Ω) | *X*(Ω) | (°) | Ω | (°) |
| 30 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 50 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 80 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 100 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 130 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 150 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 180 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 200 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 230 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 250 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 280 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |
| 300 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |

A.3 差模阻抗*Z*DM

表A.3 差模阻抗(AE端开路和短路分别记录)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | 差模阻抗（复数） | | 差模阻抗（模值） | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | Ω | *R*(Ω) | *X*(Ω) | Ω | Ω |
| 30 | 100 |  |  |  |  |
| 50 | 100 |  |  |  |  |
| 80 | 100 |  |  |  |  |
| 100 | 100 |  |  |  |  |
| 130 | 100 |  |  |  |  |
| 150 | 100 |  |  |  |  |
| 180 | 100 |  |  |  |  |
| 200 | 100 |  |  |  |  |
| 230 | 100 |  |  |  |  |
| 250 | 100 |  |  |  |  |
| 280 | 100 |  |  |  |  |
| 300 | 100 |  |  |  |  |

A.4 电压分压系数

表A.4 电压分压系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | 电压分压系数 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB | dB | dB |
| 30 | 20 |  |  |
| 50 | 20 |  |  |
| 80 | 20 |  |  |
| 100 | 20 |  |  |
| 130 | 20 |  |  |
| 150 | 20 |  |  |
| 180 | 20 |  |  |

表A.4 电压分压系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | 电压分压系数 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB | dB | dB |
| 200 | 20 |  |  |
| 230 | 20 |  |  |
| 250 | 20 |  |  |
| 280 | 20 |  |  |
| 300 | 20 |  |  |

A.5 去耦衰减

表A.5 去耦衰减(EUT端开路和短路分别记录)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 插入损耗 | 去耦衰减 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB | dB | dB |
| 30 |  |  |  |
| 50 |  |  |  |
| 80 |  |  |  |
| 100 |  |  |  |
| 130 |  |  |  |
| 150 |  |  |  |
| 180 |  |  |  |
| 200 |  |  |  |
| 230 |  |  |  |
| 250 |  |  |  |
| 280 |  |  |  |
| 300 |  |  |  |

# 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 共模阻抗*Z*CM和共模阻抗相角*θ*

表B.2 共模阻抗*Z*CM和共模阻抗相角*θ*(AE端开路和短路分别给出)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | | 标准值 | | 误差 | | 不确定度(*k*=2) | |
| MHz | Ω | (°) | |*Z*CM|(Ω) | *θ* (°) | Ω | (°) | Ω | (°) |
| 30 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 50 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 80 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 100 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 130 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 150 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 180 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 200 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 230 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 250 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 280 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| 300 | 150 | 0 |  |  |  |  |  |  |

B.3 差模阻抗*Z*DM

表B.3 差模阻抗(AE端开路和短路分别给出)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | 标准值（模值） | 误差 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | Ω | |*Z*DM|Ω | Ω | Ω |
| 30 | 100 |  |  |  |
| 50 | 100 |  |  |  |
| 80 | 100 |  |  |  |
| 100 | 100 |  |  |  |
| 130 | 100 |  |  |  |
| 150 | 100 |  |  |  |
| 180 | 100 |  |  |  |
| 200 | 100 |  |  |  |
| 230 | 100 |  |  |  |
| 250 | 100 |  |  |  |
| 280 | 100 |  |  |  |
| 300 | 100 |  |  |  |

B.4 电压分压系数

表B.4 电压分压系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | 标准值 | 误差 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB | dB | dB | dB |
| 30 | 20 |  |  |  |
| 50 | 20 |  |  |  |
| 80 | 20 |  |  |  |
| 100 | 20 |  |  |  |
| 130 | 20 |  |  |  |
| 150 | 20 |  |  |  |
| 180 | 20 |  |  |  |

表B.4 电压分压系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 标称值 | 标准值 | 误差 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB | dB | dB | dB |
| 200 | 20 |  |  |  |
| 230 | 20 |  |  |  |
| 250 | 20 |  |  |  |
| 280 | 20 |  |  |  |
| 300 | 20 |  |  |  |

B.5 去耦衰减

表B.5 去耦衰减(EUT端开路和短路分别给出)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 去耦衰减 | 误差 | 不确定度(*k*=2) |
| MHz | dB | dB | dB |
| 30 |  |  |  |
| 50 |  |  |  |
| 80 |  |  |  |
| 100 |  |  |  |
| 130 |  |  |  |
| 150 |  |  |  |
| 180 |  |  |  |
| 200 |  |  |  |
| 230 |  |  |  |
| 250 |  |  |  |
| 280 |  |  |  |
| 300 |  |  |  |

# 附录C

测量不确定度评定示例

C.1 共模阻抗和共模阻抗相角测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

共模阻抗的测量模型为：

*y*=IM (C.1)

式中：

*y*——被测共模阻抗模值，单位为Ω；

IM——网络分析仪阻抗测量值，单位为Ω。

C.1.2 不确定度来源

不确定度来源有：

1）网络分析仪阻抗测量最大允许误差引入的相对标准不确定度*u*1；

2）阻抗测量适配器引入的相对标准不确定度*u*2；

3）50Ω同轴负载引入的相对标准不确定度*u*3；

4）测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4；

5）电长度延迟时间补偿不完善引入的相对标准不确定度*u*5；

6）测量重复性引入的相对标准不确定度*u*6。

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1网络分析仪阻抗测量最大允许误差引入的相对标准不确定度*u*1

按B类评定，网络分析仪阻抗测量的最大允许误差为±5%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*1=5%/=2.9%

C.1.3.2阻抗测量适配器引入的相对标准不确定度*u*2

按B类评定，阻抗测量适配器实现了同轴和非同轴的转换，由于寄生参数的影响会对阻抗测量结果产生影响。实验数据得出影响量为±1.5%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*2=1.5%/=0.87%

C.1.3.3 50Ω同轴负载引入的相对标准不确定度*u*3

按B类评定,共模阻抗测量时需要在CDNE的接收机端口（receiver port）接50Ω同轴负载。实验数据得到失配误差为±0.5%，假设为反正弦分布，*k*=，则不确定度分量为

*u*3=0.5%/=0.35%

C.1.3.4测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4

按B类评定，实验数据得到测量布置不理想（端口连接和地搭接接触不良等）引入的影响量为±1.5%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*4=1.5%/=0.87%

C.1.3.5电长度延迟时间补偿不完善引入的相对标准不确定度*u*5

按B类评定，实验数据得到电长度延迟时间补偿不完善（长度*l*测量误差和传输介质介电常数差误等）引入的影响量为±1.5%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*5=1.5%/=0.87%

C.1.3.6测量重复性引入的相对标准不确定度*u*6

利用网络分析仪在重复性条件下对CDNE共模阻抗进行十次测量，300MHz频率点共模阻抗的模值测量结果见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/Ω | 136.8 | 137.5 | 137.6 | 136.8 | 137.6 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/Ω | 137.7 | 136.8 | 137.8 | 138.3 | 137.5 |
| 平均值 | 137.44Ω | | 标准差*s* | 0.497Ω | |

测量重复性引入的不确定度分量*u*6=0.497Ω/137.44Ω=0.4%。

C.1.4 合成标准不确定度

C.1.4.1 主要不确定度汇总表，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(%) | *k*i | *u*i(%) |
| 网络分析仪阻抗测量最大允许误差引入的相对标准不确定度*u*1 | 5 |  | 2.9 |
| 阻抗测量适配器引入的相对标准不确定度*u*2 | 1.5 |  | 0.87 |
| 50Ω同轴负载引入的相对标准不确定度*u*3 | 0.5 |  | 0.35 |
| 测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4 | 1.5 |  | 0.87 |
| 电长度延迟时间补偿不完善引入的相对标准不确定度*u*5 | 1.5 |  | 0.87 |
| 测量重复性引入的相对标准不确定度*u*6 | 0.4 | / | 0.40 |

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==3.3%

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*=*k*=6.6%，*k*=2。

C.1.6 共模阻抗相角的由共模阻抗公式换算得出，不确定度可参照以上方法评定。

C.2 差模阻抗测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

差模阻抗的测量模型为：

*y*=IM (C.2)

式中：

*y*——被测差模阻抗模值，单位为Ω；

IM——网络分析仪阻抗测量值，单位为Ω。

C.2.2 不确定度来源

不确定度来源有：

1）网络分析仪阻抗测量最大允许误差引入的相对标准不确定度*u*1；

2）差模阻抗测量巴伦自校准不完善引入的相对标准不确定度*u*2；

3）50Ω同轴负载引入的相对标准不确定度*u*3；

4）测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4；

5）测量重复性引入的相对标准不确定度*u*5。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1网络分析仪阻抗测量最大允许误差引入的相对标准不确定度*u*1

按B类评定，网络分析仪阻抗测量的最大允许误差为±5%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*1=5%/=2.9%

C.2.3.2差模阻抗测量巴伦自校准不完善引入的相对标准不确定度*u*2

按B类评定，差模阻抗测量巴伦在进行自校准时，由于CDNE校准套件中配套校准件的不理想会引入自校准误差。实验数据得出影响量为±1.5%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*2=1.5%/=0.87%

C.2.3.3 50Ω同轴负载引入的相对标准不确定度*u*3

按B类评定,共模阻抗测量时需要在CDNE的接收机端口（recevier port）接50Ω同轴负载。实验数据得到失配误差为±0.5%，假设为反正弦分布，*k*=，则不确定度分量为

*u*3=0.5%/=0.35%

C.2.3.4测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4

按B类评定，实验数据得到测量布置不理想（端口连接和地搭接接触不良等）引入的影响量为±1%，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*4=1%/=0.58%

C.2.3.5测量重复性引入的相对标准不确定度*u*6

利用网络分析仪在重复性条件下对CDNE差模阻抗进行十次测量，300MHz频率点差模阻抗的模值测量结果见表C.3。

表C.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/Ω | 98.6 | 97.6 | 97.7 | 98.2 | 98.5 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/Ω | 97.7 | 97.6 | 98.6 | 97.3 | 97.2 |
| 平均值 | 97.9Ω | | 标准差*s* | 0.53Ω | |

测量重复性引入的不确定度分量*u*5=0.53Ω/97.9Ω=0.54%。

C.2.4 合成标准不确定度

C.2.4.1 主要不确定度汇总表，见表C.4。

表C.4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(%) | *k*i | *u*i(%) |
| 网络分析仪阻抗测量最大允许误差引入的相对标准不确定度*u*1 | 5 |  | 2.9 |
| 差模阻抗测量巴伦自校准不完善引入的相对标准不确定度*u*2 | 1.5 |  | 0.87 |
| 50Ω同轴负载引入的相对标准不确定度*u*3 | 0.5 |  | 0.35 |
| 测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4 | 1.0 |  | 0.58 |
| 测量重复性引入的相对标准不确定度*u*5 | 0.54 | / | 0.54 |

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==3.2%

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*=6.4%，*k*=2。

C.3 电压分压系数测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

电压分压系数的测量模型为：

*y*=TM (C.3)

式中：

*y*——被测电压分压系数值，单位为dB；

TM——网络分析仪传输幅度测量值，取正值单位为dB。

C.3.2 不确定度来源

不确定度来源有：

1）网络分析仪传输幅度测量最大允许误差引入的标准不确定度*u*1；

2）阻抗变换适配器（ICA）引入的标准不确定度*u*2；

3）端口失配误差引入的标准不确定度*u*3；

4）测量布置不理想引入的标准不确定度*u*4；

5）测量重复性引入的标准不确定度*u*5。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1网络分析仪传输幅度测量最大允许误差引入的标准不确定度*u*1

按B类评定，网络分析仪传输幅度测量最大允许误差为±0.1dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*1=0.1dB/=0.06dB

C.3.3.2阻抗变换适配器（ICA）引入的标准不确定度*u*2

按B类评定，阻抗变换适配器实现了同轴和非同轴的转换，由于寄生参数和自身插入损耗准确度的影响会对电压分压系数测量结果产生影响。实验数据得出影响量为±0.3dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*2=0.3dB/=0.18dB

C.3.3.3 端口失配误差引入的标准不确定度*u*3

按B类评定,电压分压系数测量时各个端口之间的连接会引入失配误差。实验数据得到失配误差为±0. 2dB，假设为反正弦分布，*k*=，则不确定度分量为

*u*3=0. 2dB/=0. 14dB

C.3.3.4测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4

按B类评定，实验数据得到测量布置不理想（端口连接和地搭接接触不良等）引入的影响量为±0. 2dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*4=0. 2dB /=0.12 dB

C.3.3.5测量重复性引入的相对标准不确定度*u*5

利用网络分析仪在重复性条件下对CDNE电压分压系数进行十次测量，300MHz频率点电压分压系数测量结果见表C.5。

表C.5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/dB | 19.6 | 19.7 | 19.8 | 19.5 | 19.4 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/dB | 19.4 | 19.6 | 19.5 | 19.8 | 19.4 |
| 平均值 | 19.57 dB | | 标准差*s* | 0.16 dB | |

测量重复性引入的不确定度分量*u*5=0.16 dB。

C.3.4 合成标准不确定度

C.3.4.1 主要不确定度汇总表，见表C.6。

表C.6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(dB) | *k*i | *u*i(dB) |
| 网络分析仪传输幅度测量最大允许误差引入的标准不确定度*u*1 | 0.1 |  | 0.06 |
| 阻抗变换适配器（ICA）引入的标准不确定度*u*2 | 0.3 |  | 0.18 |
| 端口失配误差引入的标准不确定度*u*3 | 0.2 |  | 0.14 |
| 测量布置不理想引入的标准不确定度*u*4 | 0.2 |  | 0.12 |
| 测量重复性引入的标准不确定度*u*5 | 0.16 | / | 0.16 |

C.3.4.2 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==0.31 dB

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为：

*U*=*k*=0.62 dB，*k*=2。

C.4 去耦衰减测量结果不确定度评定

C.4.1 测量模型

去耦衰减的测量模型为：

*y*=TM - *a* (C.4)

式中：

*y*——被测去耦衰减值，单位为dB；

TM——网络分析仪传输幅度测量值，取正值单位为dB;

*a*——电压分压系数的测量结果，单位为dB。

C.4.2 不确定度来源

不确定度来源有：

1）网络分析仪传输幅度测量最大允许误差引入的标准不确定度*u*1；

2）阻抗变换适配器（ICA）引入的标准不确定度*u*2；

3）端口失配误差引入的标准不确定度*u*3；

4）测量布置不理想引入的标准不确定度*u*4；

5）电压分压系数测量不准引入的标准不确定度*u*5；

6）测量重复性引入的标准不确定度*u*6。

C.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1网络分析仪传输幅度测量最大允许误差引入的标准不确定度*u*1

按B类评定，网络分析仪传输幅度测量最大允许误差为±0.1dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*1=0.1dB/=0.06dB

C.4.3.2阻抗变换适配器（ICA）引入的标准不确定度*u*2

按B类评定，阻抗变换适配器实现了同轴和非同轴的转换，由于寄生参数和自身插入损耗准确度的影响会对去耦衰减测量结果产生影响。实验数据得出影响量为±0.3dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*2=0.3dB/=0.18dB

C.4.3.3 端口失配误差引入的标准不确定度*u*3

按B类评定,电压分压系数测量时各个端口之间的连接会引入失配误差。实验数据得到失配误差为±0. 2dB，假设为反正弦分布，*k*=，则不确定度分量为

*u*3=0. 2dB/=0. 14dB

C.4.3.4测量布置不理想引入的相对标准不确定度*u*4

按B类评定，实验数据得到测量布置不理想（端口连接和地搭接接触不良等）引入的影响量为±0. 2dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*4=0. 2dB /=0.12 dB

C.4.3.5电压分压系数测量不准引入的标准不确定度*u*5

按B类评定，由C.3得到电压分压系数测量的不确定度为±0. 62dB，假设为均匀分布，取*k*=，则不确定度分量为

*u*4=0. 62dB/=0.36 dB

C.4.3.6测量重复性引入的相对标准不确定度*u*5

利用网络分析仪在重复性条件下对CDNE去耦衰减进行十次测量，300MHz频率点去耦衰减测量结果见表C.7。

表C.7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量结果/dB | 50.6 | 50.8 | 50.2 | 51.1 | 50.7 |
| 测量序号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果/dB | 50.2 | 51.2 | 50.5 | 50.6 | 50.3 |
| 平均值 | 50.62 dB | | 标准差*s* | 0.35dB | |

测量重复性引入的不确定度分量*u*6=0.35 dB。

C.4.4 合成标准不确定度

C.4.4.1 主要不确定度汇总表，见表C.8。

表C.8

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源(*u*i) | *a*i(dB) | *k*i | *u*i(dB) |
| 网络分析仪传输幅度测量最大允许误差引入的标准不确定度*u*1 | 0.1 |  | 0.06 |
| 阻抗变换适配器（ICA）引入的标准不确定度*u*2 | 0.3 |  | 0.18 |
| 端口失配误差引入的标准不确定度*u*3 | 0.2 |  | 0.14 |
| 测量布置不理想引入的标准不确定度*u*4 | 0.2 |  | 0.12 |
| 电压分压系数测量不准引入的标准不确定度*u*5 | 0.62 |  | 0.36 |
| 测量重复性引入的标准不确定度*u*6 | 0.35 | / | 0.35 |

C.4.4.2 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==0.57 dB

C.4.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为：

*U*=*k*=1.2dB，*k*=2。

C.5 CDNE测量结果扩展不确定度汇总，见表C.9。

表C.9

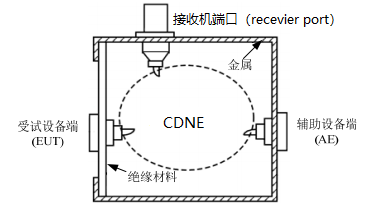
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准项目 | 扩展不确定度 | 包含因子 |
| 共模阻抗 | *U*=6.6% | *k*=2 |
| 差模阻抗 | *U*=6.4% | *k*=2 |
| 电压分压系数 | *U*=0.62dB | *k*=2 |
| 去耦衰减 | *U*=1.2dB | *k*=2 |

# 附录D

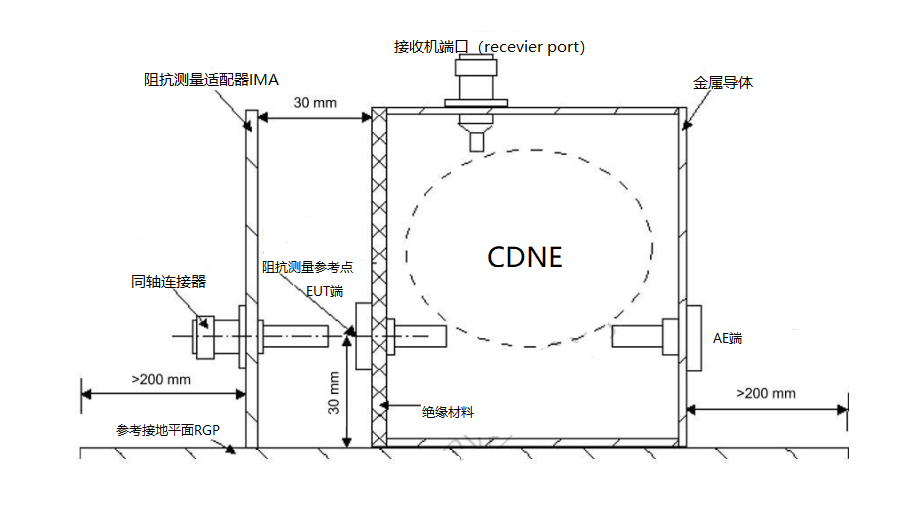
CDNE的相关信息

D.1 CDNE的外观结构及校准布置

CDNE的使用和校准都应放置在RGP上，其外壳和RGP要有良好的电搭接，不对称电压骚扰电压的测量以RGP作为基准。外观结构和校准共模阻抗时CDNE与IMA的连接布置分别见图D.1、图D.2。



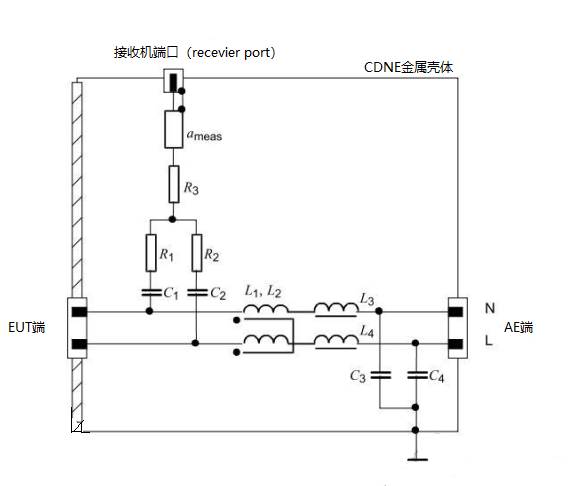
图D.1 外观结构



图D.2 CDNE与IMA的校准连接

D.2 常见CDNE的内部构造及元件参数

适用于电源线的CDNE见图D.3、图D.4；适用于屏蔽线缆的CDNE见图D.5。



图D.3 内部衰减*a*meas最小为6dB的CDNE-M2

说明：

*C*1、*C*2、*C*3、*C*4=1nF；

*L*1、*L*2 >10uH；

*L*3、*L*4 >5uH；

*R*1、*R*2 =50Ω；

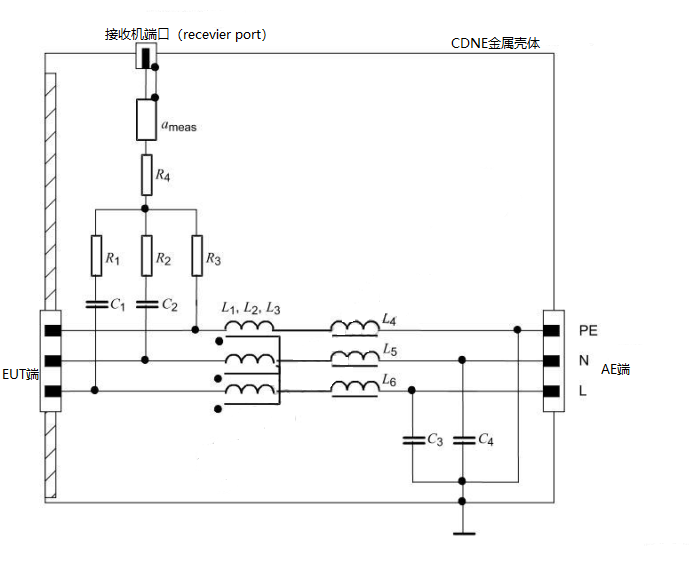
*R*3 =75Ω；

*a*meas ≥ 6dB；

N—中线；

L—相线。

其原理是通过电容*C*1、*C*2、*R*1、*R*2、*R*3构成的电路将被测设备（EUT）产生的不对称传导骚扰信号耦合至CDNE的测量端口，利用接收机进行不对称骚扰电压测量，同时由于共模扼流圈*L*1和*L*2的作用，可以阻止传导骚扰信号流入辅助电源端口(AE端)。线圈*L*3、*L*4和电容*C*3、*C*4构成一个低通滤波器，阻止AE端产生的谐波信号流入CDNE的测量端口导致骚扰电压的测量不准。



图D.4 内部衰减*a*meas最小为6dB的CDNE-M3

说明：

*C*1、*C*2、*C*3、*C*4=1nF；

*L*1、*L*2 、*L*3 > 10uH；

*L*4、*L*5 、*L*6 > 5uH；

*R*1、*R*2、*R*3=50Ω；

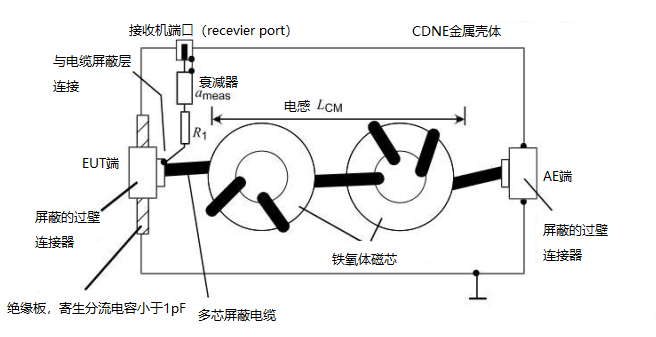
*R*4=83.3Ω；

*a*meas ≥ 6dB；

PE—保护地；

N—中线；

L—相线。



图D.5 内部衰减*a*meas最小为6dB的CDNE-Sx

说明：

*R*1=100Ω；

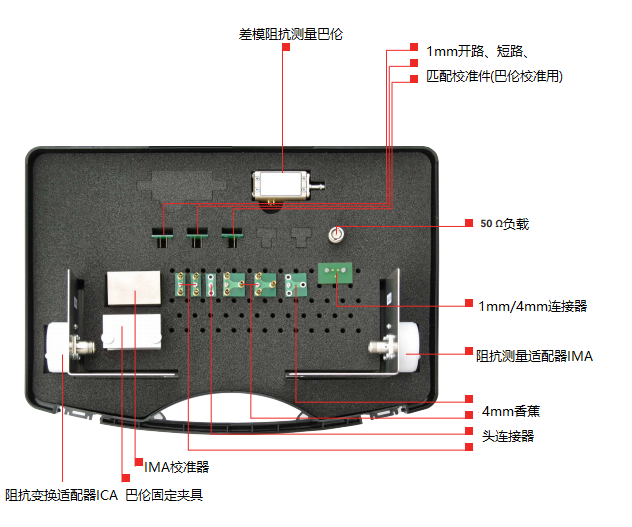
*L*CM > 10uH；

*a*meas ≥ 6dB。

# 附录E

CDNE校准套件的相关信息

典型的CDNE校准套件见图E.1，各部件的使用方法详见7.2校准方法。



图E.1 CDNE校准套件