



中华人民共和国国家标准

GB/T 7343—2017/IEC/CISPR 17:2011
代替 GB/T 7343—1987

无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法

Methods of measurement of the suppression characteristics of
passive EMC filtering devices

(IEC/CISPR 17:2011, IDT)

2017-07-31 发布

2018-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

| | |
|---|----|
| 前言 | Ⅲ |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义、缩略语 | 1 |
| 3.1 术语和定义 | 1 |
| 3.2 缩略语 | 3 |
| 4 EMC 滤波器件 | 4 |
| 4.1 EMC 滤波器件的分类 | 4 |
| 4.2 插入损耗 | 5 |
| 4.3 阻抗 | 6 |
| 4.4 S 参数 | 6 |
| 5 插入损耗的测量 | 8 |
| 5.1 概述 | 8 |
| 5.2 测量布置 | 9 |
| 5.3 插入损耗测量方法(程序) | 11 |
| 5.4 校准和验证 | 12 |
| 5.5 插入损耗测量的不确定度评估 | 15 |
| 6 阻抗的测量 | 15 |
| 6.1 概述 | 15 |
| 6.2 直接法 | 15 |
| 6.3 间接法 | 16 |
| 7 S 参数的测量 | 19 |
| 7.1 测量布置和程序 | 19 |
| 7.2 测试布置的校准 | 23 |
| 7.3 测量的不确定度 | 23 |
| 8 测试结果的提交 | 24 |
| 8.1 概述 | 24 |
| 8.2 插入损耗 | 24 |
| 8.3 阻抗 | 24 |
| 8.4 S 参数 | 24 |
| 附录 A (规范性附录) EMC 滤波器件抑制特性测量不确定度的评估 | 25 |
| 附录 B (资料性附录) 插入损耗测量测试箱示例 | 29 |
| 附录 C (资料性附录) 非 50 Ω 系统插入损耗测试方法 | 32 |
| 附录 D (资料性附录) 用于插入损耗测量的缓冲网络 | 34 |
| 附录 E (资料性附录) 关于插入损耗测量的一般性讨论 | 36 |
| 附录 F (资料性附录) 阻抗测量布置 | 39 |

附录 G (资料性附录) CMCC 的 S 参数测量方法 43

附录 H (资料性附录) 无引线 DUT S 参数的测量布置 48

参考文献 50

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 7343—1987《10 kHz~30 MHz 无源无线电干扰滤波器和抑制元件抑制特性的测量方法》。与 GB/T 7343—1987 相比,主要技术内容变化如下:

- 标准名称由“10 kHz~30 MHz 无源无线电干扰滤波器和抑制元件抑制特性的测量方法”改为“无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法”;
- 第 3 章增加了 8 个名词术语和 15 个缩略语;
- 第 4 章增加了 EMC 滤波器件的分类、插入损耗的计算、非对称(共模)模式、对称(差模)模式和不对称模式的详细说明;
- 第 5 章对插入损耗的测量进行一些修改,包括测量的布置、测量的方法(细化了有偏置和无偏置测量的内容),并增加了校准和验证及不确定度的内容;
- 第 6 章增加了阻抗测量的内容,包括直接法和间接法。增加测量的布置和程序、测试布置的校准及测量的不确定度;
- 第 6 章增加了 S 参数的相关内容,包括二端口 S 参数和四端口 S 参数。具体为 S 参数的说明,S 参数的测量(包括测量的布置和程序、测试夹具)、测试布置的校准、测量的不确定度等;
- 增加了规范性附录 A EMC 滤波器件抑制特性的测量不确定度的评估;
- 增加了资料性附录 B 插入损耗测量的测试箱实例;
- 增加了资料性附录 C 非 50 Ω 系统插入损耗的测量方法;
- 增加了资料性附录 D 适用于插入损耗测量的缓冲网络的实现;
- 增加了资料性附录 E 插入损耗测量的一般讨论;
- 增加了资料性附录 F 阻抗测量的测试布置;
- 增加了资料性附录 G 共模扼流圈的 S 参数的测量;
- 增加了资料性附录 H 无引线 DUT S 参数的测量布置;
- CISPR 17:2011 中部分电感和电阻的符号有错误,本标准已加以修正;
- CISPR 17:2011 第 4 章有“EMC 滤波器件的分类(包括表 1)”的悬置段,不符合国标,本标准将该悬置段列为 4.1,其他条顺延;
- CISPR 17:2011 附录 A 中的不确定度的表格布局有问题,合成标准不确定度和扩展不确定度两列均改为通行;
- CISPR 17:2011 附录 A 的表 A.2 中,不确定度计算有错误,本标准已加以修正;
- 在 CISPR 17:2011 附录 E 的式(E.1)的说明中,原文“ $V_2 = V_0/2$ ”有错误,应该为“ $V_{20} = V_0/2$ ”,本标准中已加以修正;
- 表 A.2 阻抗测量的不确定度示例中,阻抗测试设备的值有错误,在与 CISPR 沟通确认之后,已修订为 0.38,相应的标准不确定、合成标准不确定度以及扩展不确定度也作了修改;
- 在附录 H 图 H.1 中增加了“注:变压器的使用是为了实现阻抗变换”,以避免引起歧义。

本标准使用翻译法等同采用 CISPR 17:2011《无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法》。与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容 [IEC 60050 (161): 1990 及 Amd.1—1997 和 Amd.2—1998, IDT]
- GB 14023—2011 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车外接收机的限值 and 测量

GB/T 7343—2017/IEC/CISPR 17:2011

方法(IEC/CISPR 12:2009,IDT)

本标准由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本标准起草单位:上海电器科学研究院、中国电子技术标准化研究所、北京中石伟业科技股份有限公司、夏弗纳电磁兼容(上海)有限公司、常州坚力电子有限公司、上海向日亚电子有限公司、北京光华世通科技有限公司、上海上恒电子有限公司、恩宁安全技术(上海)有限公司、华为技术有限公司。

本标准主要起草人:郑军奇、刘媛、陈俐、吴晓宁、李燕侠、杨志辉、瞿大昕、翁延文、黄勇、刘建新、邱海樑、王刚、李满山、徐强华、万长勇、叶琼瑜、宋江伟、黄雪峰。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 7343—1987。

无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法

1 范围

本标准规定了用于电源线、信号线以及其他线路中的无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法。

本标准规定的方法也适用于将过压保护器件和 EMC 滤波器件组合的器件。

根据器件和测量电路的不同,该测量方法适用于 9 kHz 至数 GHz 的频率范围。

注:本标准中的测量方法适用范围最高可达 40 GHz。

本标准规定了实验室试验(型式试验)及厂方试验的程序。本标准还对有偏置和无偏置两种测试条件下的测试方法做了规定。

有偏置条件下的测量方法是用于确定 EMC 滤波器件的潜在非线性,例如带有磁芯的电感的饱和效应。该测试用于表明滤波器件在特定应用时的可用性(例如变频器能发出高幅度的共模脉冲电流,致使电感发生饱和)。如果能用其他方法确定滤波器件的非线性,则偏置条件下的测量可以忽略(例如已进行了独立的电感饱和测量)。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

IEC 60050(161) 国际电工词汇(IEV) 第 161 章:电磁兼容[International electrotechnical vocabulary (IEV)—Chapter 161: Electromagnetic compatibility]

IEC/CISPR 12:2009 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车外接收机的限值 and 测量方法(Vehicles, boats and internal combustion engines—Radio disturbance characteristics—Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers)

IEC/CISPR 16-1-1 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 1-1:Radio disturbance and immunity measuring apparatus—Measuring apparatus)

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

IEC 60050(161)界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

偏置电流 bias current

流过受试器件(DUT)导体的直流或交流电源工作频率的电流。

3.1.2

偏置电压 bias voltage

存在于受试器件(DUT)规定部分之间的直流或交流电源工作频率的电压。

GB/T 7343—2017/IEC/CISPR 17:2011

3.1.3

受试器件 device under test; DUT

依据本标准拟进行测量、校准和测试的 EMC 滤波器件。

3.1.4

EMC 滤波装置 EMC filtering device

本标准中的一个通用术语,是指任何种类抑制电路,包括单一元件元件或一个复合电路。

3.1.5

滤波器 filter

用于抑制电磁骚扰的由单一元件(例如电感、电容)组成的组合器件。

3.1.6

阻抗 impedance

Z

交流电压 V 与交流电流 I 之比(在频率 f 时),以复数表示为: $Z = V/I$,用以表明针对交流电流的总阻碍作用;作为如二端口器件,如电感、电容、电阻,或者四端口器件,或者如共模扼流圈(CMCC)的一个特性参数。

注:阻抗由电阻 R 和电抗 X 组成,通常用复数形式表示为: $Z = R + jX$;或者可用极坐标表示为: $|Z| \exp(j\theta)$ (绝对值 $|Z|$ 和相位角 θ);用作 EMC 滤波器件的性能参数; Z 的单位用 Ω 表示。

3.1.7

插入损耗 insertion loss

DUT 插入给定传输系统之前和之后插入点后端电压的比值。

注:插入损耗通常用 dB 表示。

3.1.8

测试电路的阻抗 impedances of the test circuit

未连接滤波器时测试电路的终端阻抗。

注:图 4 中所示的插入损耗测量中,规定阻抗 Z_0 、 Z_{11} 、 Z_{12} 及 Z_2 的参考值为 50Ω 。在特殊情况下,为反映特定应用的环境条件,阻抗可为其他值。

3.1.9

接收机 receiver

符合 IEC/CISPR 16-1-1 的规定,带或者不带预选器的诸如可调谐电压表、EMI 接收机、频谱分析仪或基于 FFT 的测量仪这类仪器。

注:详见 5.2.2。

3.1.10

参考阻抗 reference impedance

当测量或评估某点的插入损耗或 S 参数时,线路或端口的阻抗。应将其记录在测试报告中。

注:参考阻抗通常为 50Ω 。

3.1.11

参考电位 reference potential

测量电压时的参考点,测试设备的地和滤波器的地与该点连接在一起。通常由尺寸足够大的金属平板构成。

3.1.12

单一元件 single component

用于 EMC 目的的基础元件,如电容、电感。

3.1.13

S 参数 S-parameter

散射参数。

S_{ij}

散射矩阵中的一个元素,用以表示某一器件的传输和反射系数。

注 1: 作为最常用的情况,每一个 S 参数将入射波与反射波或传输波的复电场强度(或电压)联系在一起。一个典型的 S 参数 S_{ij} 的下标表示该 S 参数相关的输出和输入端口。在给定输入输出参考平面的情况下,S 参数会随着频率的变化而变化。该参数可反映 EMC 滤波器件的性能。

举例: 一个二端口电路的 S 参数定义如下:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

式中:

S_{11} 和 S_{22} ——分别是对应端口端接参考阻抗(如 50 Ω)时电路元件端口 1 或 2 的反射系数;

S_{21} 和 S_{12} ——传输系数,分别表示端口 1 到端口 2 和端口 2 到端口 1 的传输率。 S_{21} 较好反映了对通过该器件信号中噪声抑制情况。

注 2: 评估因 S 参数随频率变化而导致信号波形的变差是很重要的。

3.1.14

测试电路 test circuits

3.1.14.1

不对称(共模)测试电路 asymmetrical (common mode) test circuit

DUT 的所有输入线都接到信号发生器、所有输出线都接到接收机的测试电路。

注: 用于测量滤波器不对称(共模)插入损耗的测试电路见图 5。

3.1.14.2

对称(差模)测试电路 symmetrical (differential mode) test circuit

DUT 的一对输入线接信号发生器,对应的一对输出线接接收机而其他线不做端接的测试电路。

注: 测量滤波器的对称(差模)插入损耗的测试电路示例见图 6;对所有的每两根线的组合都进行测量;地或 PE(保护地)端均不考虑。

3.1.14.3

非对称测试电路 unsymmetrical test circuit

DUT 的一个输入端接信号、对应的输出线接接收机而其他输入输出线接规定阻抗的测试电路。

注: 用于测量滤波器的非对称插入损耗的测试电路示例见图 7;滤波器的每根线都要测量,并且测量该根线时其他线通过 Z_{11} 或 Z_{12} 端接到参考电位。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CMCC:共模扼流圈(Common-mode choke coils)

DUT:待测器件(Device undertest)

EM:电磁(Electromagnetic)

EMC:电磁兼容(Electromagnetic compatibility)

e.m.f.:电动势(Electromotive force)

GND:地(Ground)

HPF:高通滤波器(High-pass filter)

L:相线(Line)

N:中线(Neutral)

GB/T 7343—2017/IEC/CISPR 17:2011

- PE:保护地(Protective earth)
RF:射频(Radio frequency)
SMD:表面贴装器件(Surface mount device)
TRL:直通/反射/接线(Thru/Reflect/Line)
VNA:矢量网络分析仪(Vector network analyzer)
VSWR:电压驻波比(Voltage-standing wave ratio)

4 EMC 滤波器件

4.1 EMC 滤波器件的分类

EMC 滤波器件类型、示例及其被测参数和适用的测量方法如表 1 所示。

表 1 EMC 滤波器件示例











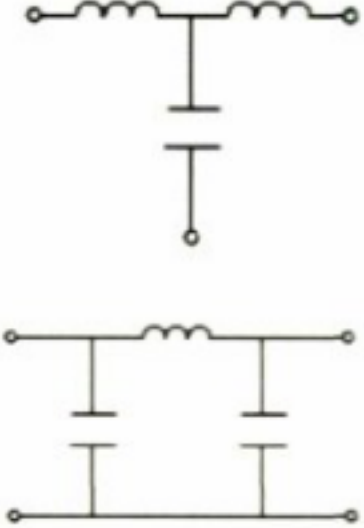

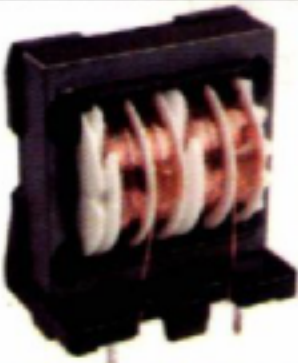
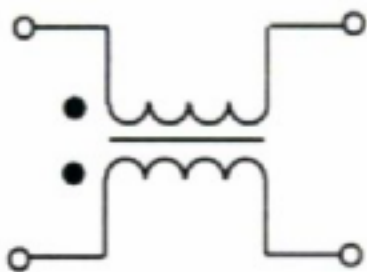

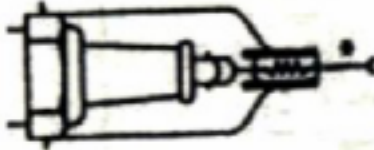
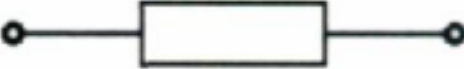
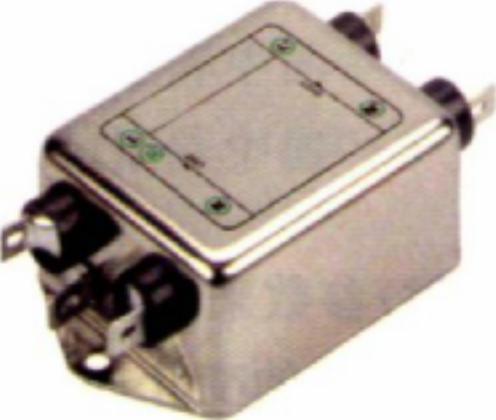
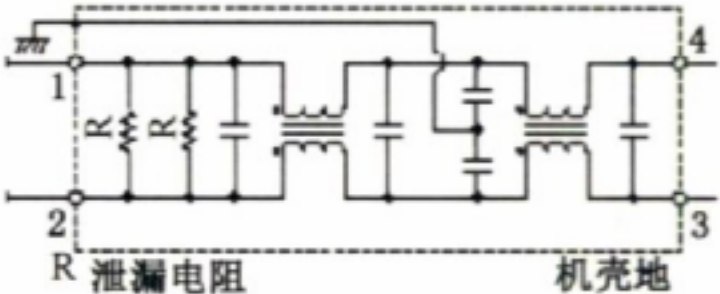
| 滤波器件 的分类 | 示例 | 符号或电路图 | 被测参数及测量方法 | | |
|---------------|---|---|-----------|-------|-------|
| | 外观 | | 插入损耗 | 阻抗 | S 参数 |
| 铁氧体磁环 及吸收钳 |  |  | 第 5 章 | 第 6 章 | 第 7 章 |
| |  | | | | |
| 扼流圈， 电感及磁珠 |  |  | 第 5 章 | 第 6 章 | 第 7 章 |
| |  | | | | |
| 非穿心电容 |  |  | 第 5 章 | — | 第 7 章 |
| |  | | | | |
| 穿心电容 |  |  | 第 5 章 | — | 第 7 章 |
| |  | | | | |

表 1 (续)

| 滤波器件 的分类 | 示例 | 符号或电路图 | 被测参数及测量方法 | | |
|---------------------|---|--|------------------|-------|-------|
| | 外观 | | 插入损耗 | 阻抗 | S 参数 |
| 共模扼流圈 |  |  | 第 7 章 | 第 6 章 | 第 7 章 |
| |  | | | | |
| 电阻 |  |  | GB 14023 附录 E | — | — |
| 滤波器(多相 线*带接地) |  |  | 第 5 章 | — | — |
| * 单线不带中线,多相线带或不带中线。 | | | | | |

4.2 插入损耗

4.2.1 插入损耗计算

标准的测试方法是使用一个校准过的 50 Ω 信号源及一个 50 Ω 接收机。插入损耗由式(1)计算：
$$a_e = 20\lg(V_0/2V_2)$$
 (1)

式中：
 a_e ——插入损耗,单位为分贝(dB)；
 V_0 ——50 Ω 信号发生器的开路电压,单位为伏(V)；
 V_2 ——滤波电路的输出端电压,单位为伏(V)。
插入损耗测量原理及背景资料参见附录 E。

4.2.2 不对称(共模)模式

因为所有输入和输出线路分别并联连接,所以仅需测量一组不对称插入损耗(见 5.2.3)。

4.2.3 对称(差模)模式

应对每一对输入线和对应的输出线进行测量;对每对线测量一组插入损耗数据或曲线。地线或保护地(PE)不需要考虑(见 5.2.4)。

举例：对于三相带中线滤波器(相线端 L1、L2、L3,中线端 N 和 PE),应执行下列测量:L1 对 L2,L1 对 L3,L2 对 L3, L1 对 N,L2 对 N,L3 对 N(共 6 组测量)。
对称模式测量不能应用于单线滤波器或元器件。

4.2.4 非对称模式

应对每一根输入线和对应的输出线进行测量,其他未测线路都要用参考阻抗(通常为 50 Ω)端接至参考电位(见 5.2.5)。

举例:对于三相带中线滤波器(相线端 L1、L2、L3,中线端 N 和 PE),应分别测量:L1(L2、L3 和 N 端接至参考电位)、L2(L1、L3 和 N 端接至参考电位)、L3(L1、L2 和 N 端接至参考电位)和 N(L1、L2 和 L3 端接至参考电位)。

非对称模式测量不能应用于单线滤波器或滤波元器件。

4.3 阻抗

通常会在电路中插入一个有一定阻抗的 EMC 滤波器件来减少无用的电流。其抑制特性可由插入器件和原始电路的阻抗特性来共同决定。

EMC 滤波器件的阻抗及其由此产生的抑制特性会随着频率,偏置条件等的变化而变化。因此,阻抗的测量应该在各种不同的频率下进行。这种频率相关性被用于 EMC 滤波器件的设计。阻抗测量可在 9 kHz~3 GHz 的频率范围内进行。

4.4 S 参数

4.4.1 概述

EMC 滤波器件的 EMC 特性由插入的滤波器件和原电路的 S(散射)参数来决定。

EMC 滤波器件的 S 参数及由此产生的抑制特性随着频率、偏置条件等的变化而变化。因此,S 参数的测量应在不同的频率下进行测量。这种频率相关性被用于 EMC 滤波器件的设计。S 参数的测量可在大约 100 MHz~6 GHz 频率范围内进行。

4.4.2 二端口 S 参数

二端口器件(电感、电容等)的特性可用图 1 所示的测试夹具的二端口 S 参数来评估。三端滤波器(穿心电容及其他三端滤波器)也可用图 2 所示的测试夹具来评估。

二端口器件和夹具的连接有两种可能的配置:串联连接和并联连接。应根据器件的应用来选取相应的配置。对于电感通常选取串联连接,对于电容通常选取并联连接。然而,当电容用于高通滤波(HPF)时,应选用串联连接。

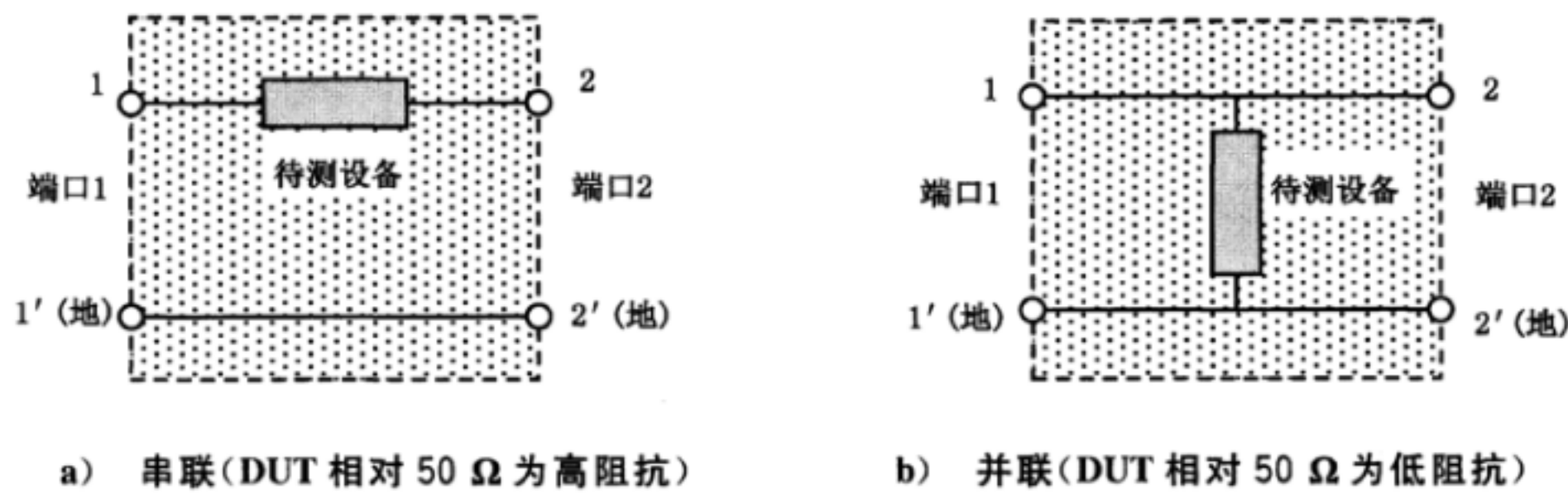


图 1 二端口器件 S 参数的测量布置

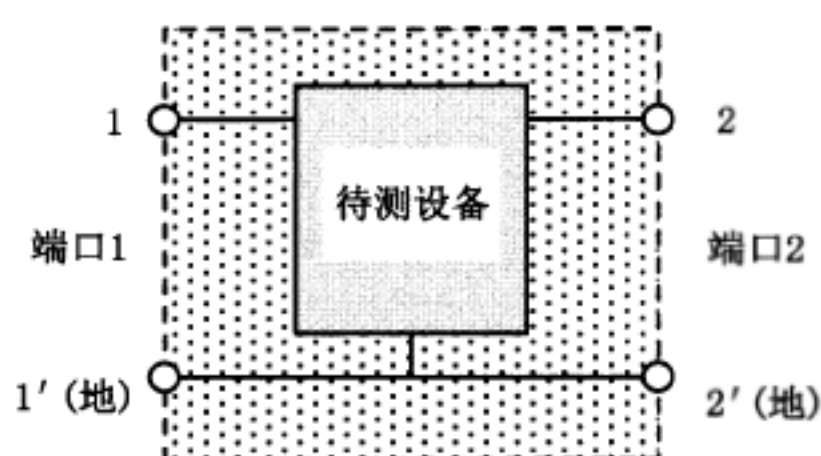


图2 三端口器件 S 参数的测量布置

S 参数测试夹具的阻抗特性应与网络分析仪的端口阻抗(50 Ω)相匹配。

当测试夹具匹配 50 Ω 时,插入损耗 a_e 可由式(2)计算(单位用 dB 表示):

$$a_e = -20 \lg |S_{ij}| \quad \dots\dots\dots (2)$$

反射波损耗 a_r 定义如式(3)所示(单位用 dB 表示):

$$a_r = -20 \lg |S_{ii}| \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(2) 和式(3)中:

a_e ——插入损耗,单位为分贝(dB);

a_r ——反射波损耗,单位为分贝(dB);

S_{ij} ——散射矩阵中的一个元素,用以表示某一器件的传输系数;

S_{ii} ——散射矩阵中的一个元素,用以表示某一器件的反射系数。

4.4.3 四端口 S 参数

四端口器件(如图 3 所示)的特性可用四端口 S 参数来评估,如 CMCC(见附录 G)。

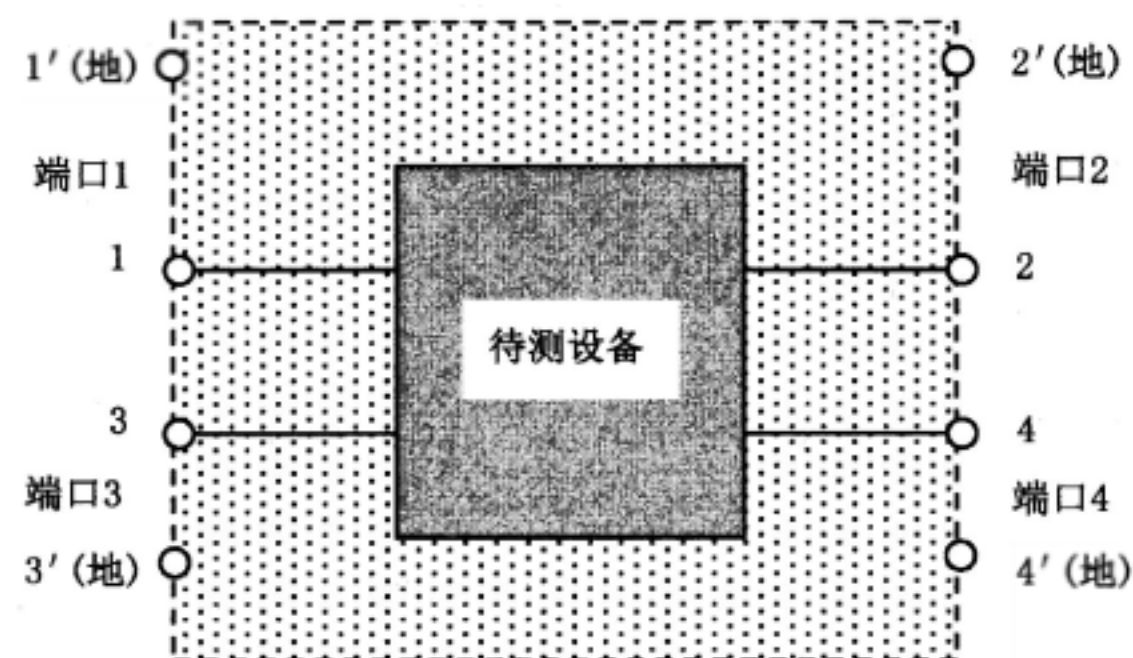


图3 四端口 S 参数的测量布置

利用矢量网络分析仪(VNA)测量可以获得四端口滤波器件的 S 参数 S_{ij} 。然而,源自 S 参数测量的共模/差模的 S 参数对于表征器件的特性会更有用(在下文中称为混合模式 S 参数)^[5]。定义如式(4)所示:

$$S' = \begin{bmatrix} S_{cc} & S_{cd} \\ S_{dc} & S_{dd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{cc11} & S_{cc12} & S_{cd11} & S_{cd12} \\ S_{cc21} & S_{cc22} & S_{cd21} & S_{cd22} \\ S_{dc11} & S_{dc12} & S_{dd11} & S_{dd12} \\ S_{dc21} & S_{dc22} & S_{dd21} & S_{dd22} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_{11} + S_{31} + S_{13} + S_{33} & S_{12} + S_{32} + S_{14} + S_{34} & S_{11} + S_{31} - S_{13} - S_{33} & S_{12} + S_{32} - S_{14} - S_{34} \\ S_{21} + S_{41} + S_{23} - S_{43} & S_{22} + S_{42} + S_{24} + S_{44} & S_{21} + S_{41} - S_{23} - S_{43} & S_{22} + S_{42} - S_{24} - S_{44} \\ S_{11} - S_{31} + S_{13} - S_{33} & S_{12} - S_{32} + S_{14} - S_{34} & S_{11} - S_{31} - S_{13} + S_{33} & S_{12} - S_{32} - S_{14} + S_{34} \\ S_{21} - S_{41} + S_{23} - S_{43} & S_{22} - S_{42} + S_{24} - S_{44} & S_{21} - S_{41} - S_{23} + S_{43} & S_{22} - S_{42} - S_{24} + S_{44} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

上式中的子矩阵表明模式间的转换特性。

式中：

S_{cc} ——共模转换共模的矩阵；

S_{cd} ——差模转换共模的矩阵；

S_{dc} ——共模转换差模的矩阵；

S_{dd} ——差模转换差模的矩阵。

每个子矩阵有 4 个元素。例如，对于子矩阵 S_{cc} ：

S_{cc11} ——输入端的反射系数；

S_{cc12} ——从输出端到输入端的传输系数；

S_{cc21} ——从输入端到输出端的传输系数；

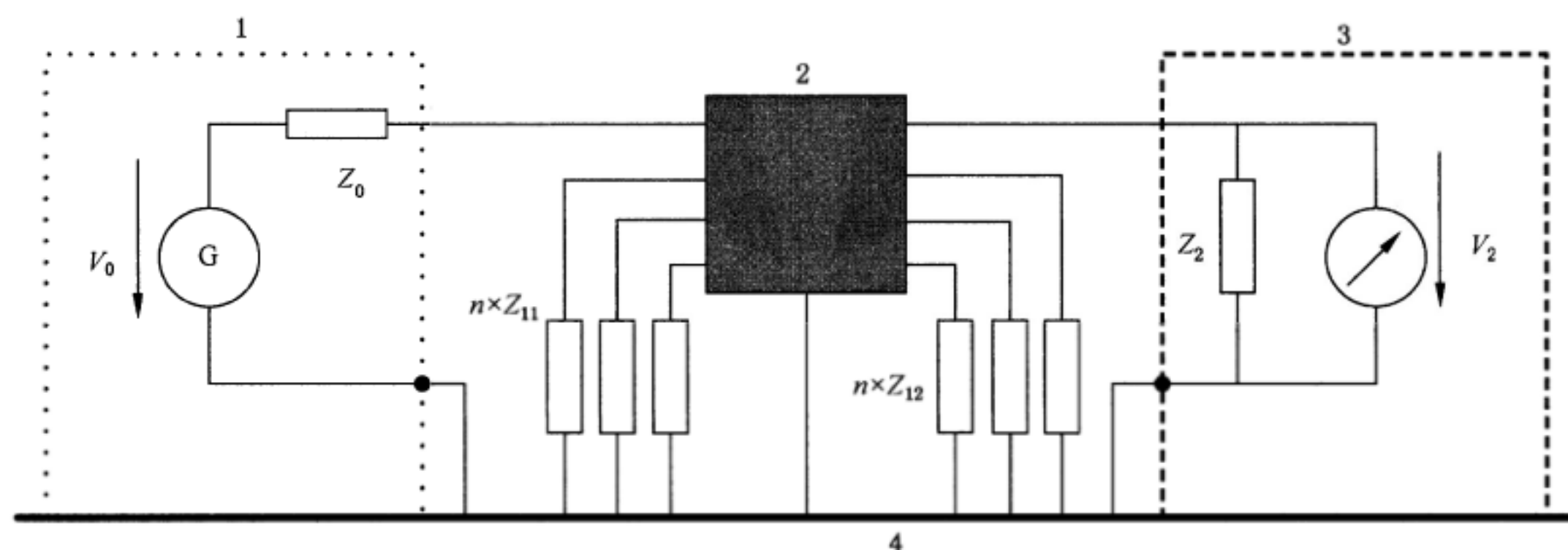
S_{cc22} ——输出端的反射系数。

共模与差模的参考阻抗分别是实际端口参考阻抗的一半和两倍。例如，当原本的 S 参数采用 $50\ \Omega$ 仪器测量时，共模和差模端口的参考阻抗分别为 $25\ \Omega$ 及 $100\ \Omega$ 。

5 插入损耗的测量

5.1 概述

本章介绍了 DUT 插入损耗的测量方法。此外，也可使用 4.4.2 所述的二端口 S 参数的测量方法。图 4 给出了测量布置的一个示例。



说明：

1 ——信号发生器；

2 ——EMC 滤波器件(DUT)；

3 ——测量接收机；

4 ——参考电位(接地平板)；

V_0 ——信号发生器的开路电压；

V_2 ——测量接收机的读数(输出电压)；

Z_0 ——信号发生器的输出阻抗；

Z_{11} ——滤波器输入端一侧(相邻线路)的端接阻抗；

Z_{12} ——滤波器输出端一侧(相邻线路)的端接阻抗；

Z_2 ——测量接收机的输入阻抗。

图 4 插入损耗测量测试电路示例(以 4 线滤波器为例)

5.2 测量布置

5.2.1 概述

EMC 滤波器件插入损耗的测量应在有偏置电流和无偏置电流的两种情况下进行。

5.2.2 测试设备

注：使用合适的扫描信号发生器以及同步调谐的接收机或者网络分析仪可以大大地简化测量程序。插入损耗的特性可以在显示器上观测得到或自动记录。

5.2.2.1 信号发生器

推荐采用正弦波信号发生器。如果其他类型的信号发生器在其所使用的频段内能够输出均匀恒定的频谱,也可以使用之(如噪声信号发生器或者脉冲信号发生器),但此时,所使用的接收机应具有良好的选择性和杂散抑制能力。信号发生器的阻抗应为 $50\ \Omega$ 。

5.2.2.2 接收机

推荐使用有“选择性”的接收机(应至少在第一级放大前有一个谐振电路)。如果测试用信号发生器输出的谐波和非期望的频率成分足够小、且在评估测量不确定度中加以考虑的情况下,也可以使用“无选择性”的接收机。接收机的阻抗应为 $50\ \Omega$ 。

5.2.2.3 偏置电流源

提供偏置电流的源应是浮地的,且有两个与地隔离的端子(见图 9 中的 E 和 F),但这两个端子中的任何一个在适当的时候都能够接地。

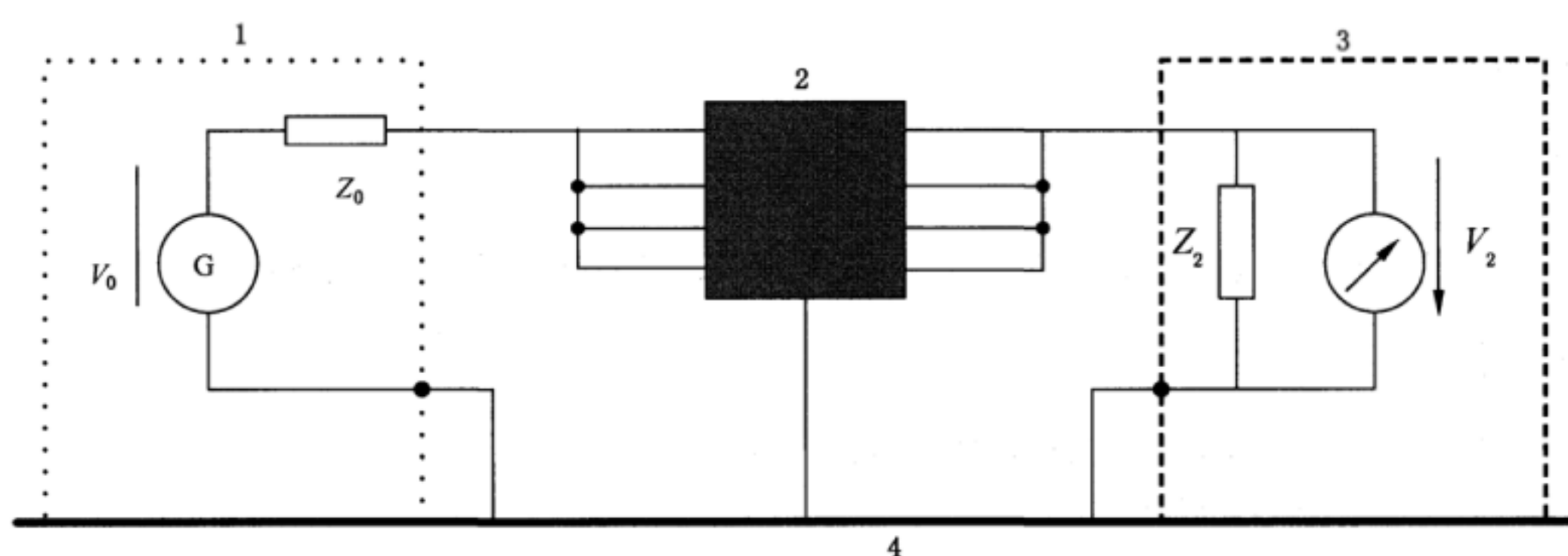
应考虑如何让偏置电流源产生的射频骚扰(例如当用开关模式电源作为偏置源时)不对测量结果产生影响。

5.2.2.4 测试箱

滤波器应放置在屏蔽金属箱内,滤波器的地应正确地连接到金属箱的底部以确保低感接地。测试箱尺寸的大小应能确保 DUT 与箱壁和箱盖之间有合适的距离且留出同轴插口至滤波器端之间的短连接位置。对于通用滤波器,建议平均距离为 5 cm。附录 B 给出了通用滤波器和馈通滤波器测试用的典型测试箱的设计示例。

5.2.3 不对称(共模)测试电路

应将滤波器连接在信号发生器和接收机之间,同时所有的输入线和输出线如图 5 所示分别并联连接。



说明:

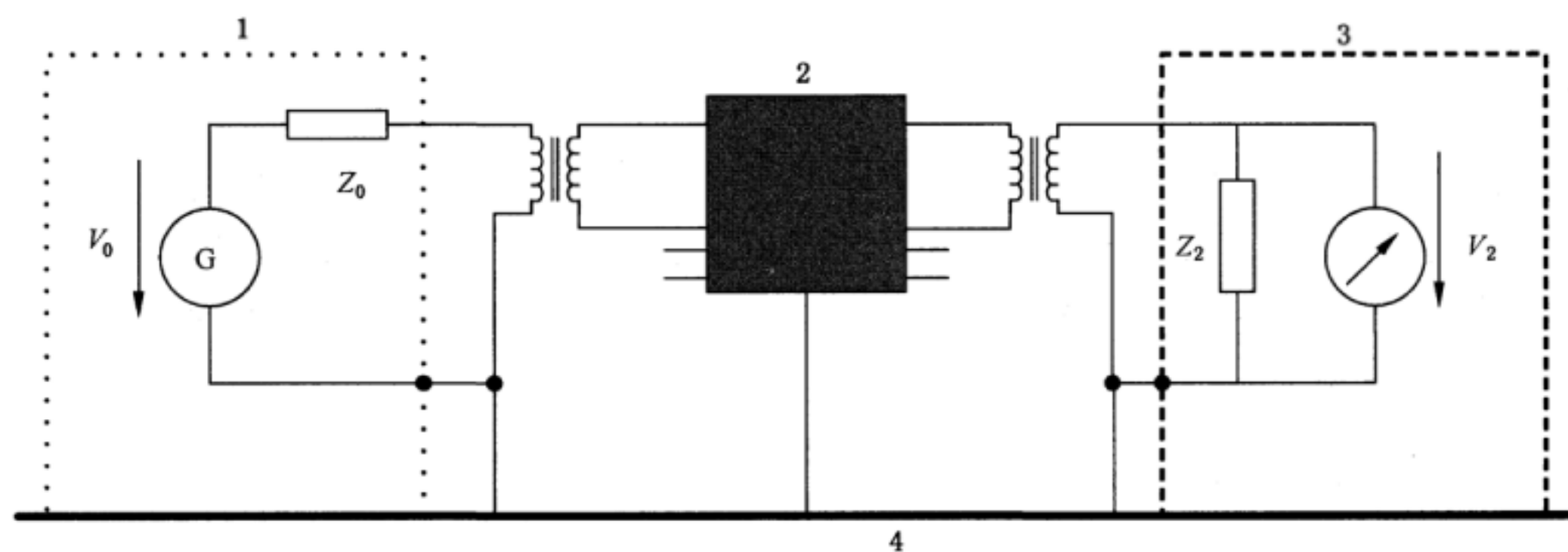
- 1 —— 信号发生器;
- 2 —— EMC 滤波器件(DUT);
- 3 —— 测量接收机;
- 4 —— 参考电位(金属接地平板);
- V_0 —— 信号发生器的开路电压;
- V_2 —— 输出电压;
- Z_0 —— 信号发生器的输出阻抗;
- Z_2 —— 测量接收机的输入阻抗。

图 5 不对称插入损耗测试电路(以 4 线滤波器为例)

5.2.4 对称(差模)测试电路

应通过隔离变压器对每两根输入线及对应的输出线进行测量(见图 6)。所有未使用的线都不端接。变压器的匝数比应为 1:1。如果选择其他的匝数比,应将其记录在测试报告中。

注:使用一个 4 端口 VNA 来代替变压器也许可以避免变压器特性本身所产生的不良影响。



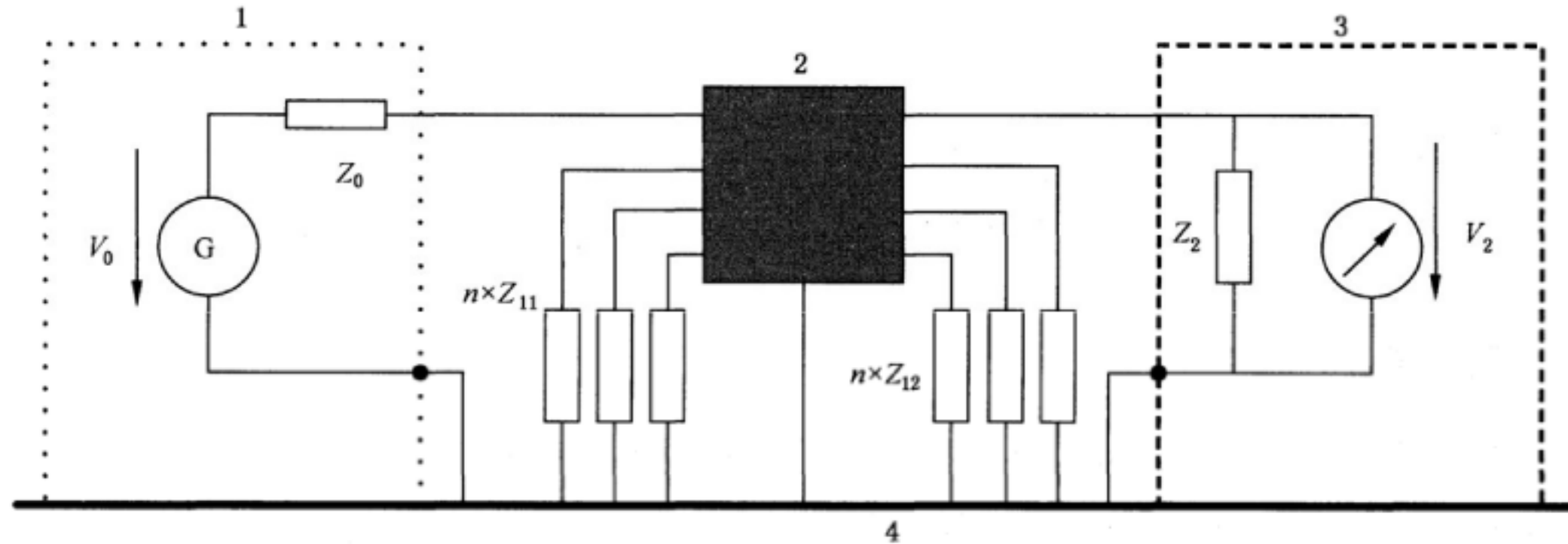
说明:

- 1 —— 信号发生器;
- 2 —— EMC 滤波器件(DUT);
- 3 —— 测量接收机;
- 4 —— 参考电位(金属接地平板);
- V_0 —— 信号发生器的开路电压;
- V_2 —— 输出电压;
- Z_0 —— 信号发生器输出阻抗;
- Z_2 —— 测量接收机的输入阻抗。

图 6 对称插入损耗测量的测试电路(以 4 线滤波器为例)

5.2.5 非对称测试电路

滤波器每个输入线和对应的输出线都应进行测量,测量时所有未使用的线用规定的阻抗(一般为 $50\ \Omega$,见 3.1.8)端接到参考电位,如图 7 所示。



说明:

- 1 —— 信号发生器;
- 2 —— EMC 滤波器件(DUT);
- 3 —— 测量接收机;
- 4 —— 参考电位(金属接地平板);
- V_0 —— 信号发生器的开路电压;
- V_2 —— 输出电压;
- Z_0 —— 信号发生器的输出阻抗;
- Z_{11} —— 滤波器输入端一侧(相邻线路)的端接阻抗;
- Z_{12} —— 滤波器输出端一侧(相邻线路)的端接阻抗;
- Z_2 —— 测量接收机的输入阻抗。

图 7 非对称插入损耗测量的测试电路(以 4 线滤波器为例)

5.3 插入损耗测量方法(程序)

5.3.1 概述

使用下述两种方法:

- a) 无偏置状况下滤波器的测试方法;
- b) 满负荷的直流或交流偏置电流状况下滤波器的测试方法。

这两种方法应用于如下范围的滤波器测量:

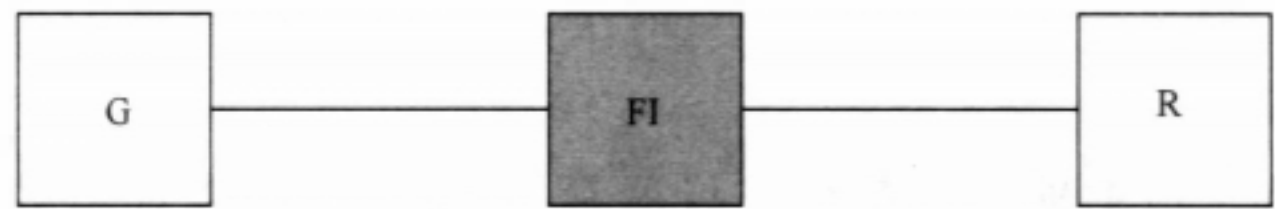
- 无偏置,可应用频率范围 $10\ \text{kHz} \sim 10\ \text{GHz}$;
- 有偏置,偏置电流可达 $100\ \text{A}$,可应用频率范围 $10\ \text{kHz} \sim 100\ \text{MHz}$ 。

本标准仅规定了 $50\ \Omega/50\ \Omega$ 系统的测试方法。这意味着所有测试电路的阻抗 Z_0 、 Z_{11} 、 Z_{12} 和 Z_2 均应为 $50\ \Omega$ (见 3.1.10)。

如有必要,可使用不同的测试方法和非对称的阻抗进行测试。附录 C 给出了一个示例。一般情况下,非 $50\ \Omega$ 阻抗的测试方法用于特殊(专用)场合,且应在特殊设备的标准中加以说明。

5.3.2 无偏置测量法

无偏置测量得到的特性可能会与实际的特性不同,因为在测量过程中的终端阻抗与实际的设备或系统中的终端阻抗有所不同。见图 8。



说明:

G ——信号发生器;

FI ——EMC 滤波器(DUT);

R ——测量接收机。

图 8 无偏置情况下的插入损耗测量的测试电路框图

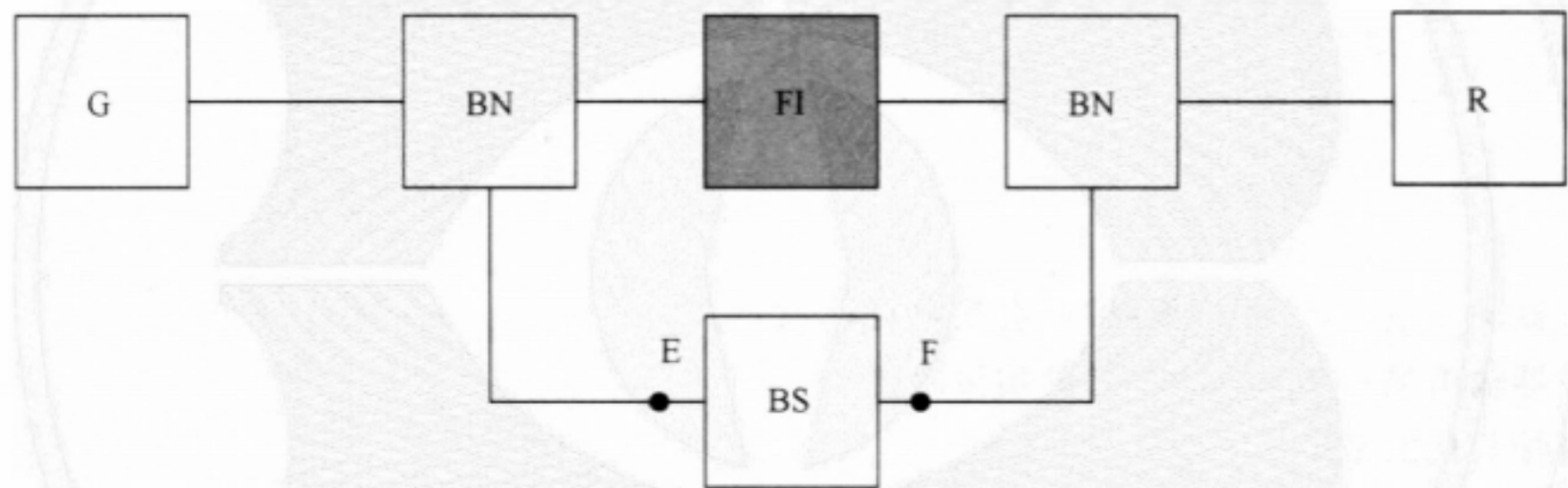
5.3.3 有偏置测量法

为偏置电流源额外增加了缓冲网络,其测试方法同 5.3.2。见图 9。

施加在 DUT 上的偏置电流应为该滤波器件的额定电流。对于通常应用于高脉冲电流(如变频器)中的滤波器件可能有必要根据需要进行选择偏置电流。

偏置电源通过两个缓冲网络连接到测量电路,在测量频率范围内,缓冲电路应在偏置电源和测量电路之间具有足够的去耦。缓冲网络的要求见附录 D。

偏置电源应与测量电路隔离。



说明:

G ——信号发生器;

FI ——EMC 滤波器(DUT);

R ——测量接收机;

BN ——缓冲网络;

BS ——偏置源(电流源)——与参考电位隔离(浮地)。

图 9 有偏置时插入损耗测量的测试电路框图

5.4 校准和验证

5.4.1 概述

所有的测试设备(信号发生器、接收机、线缆、衰减器等)均应进行校准且能溯源到国家校准基准。

应对测插入损耗试布置进行整体评估,以证明其满足相关要求。该测试布置包括用来放置滤波器的屏蔽测试箱、偏置测试用的缓冲网络、手动开关或者自动测量使用的继电器箱等。

由于滤波器不具有 $50\ \Omega$ 的阻抗,所以对阻抗不匹配的 DUT,需要通过必要的验证来确认该测试布置的有效性。

5.4.2 对无偏置时测试布置有效性的确认

无偏置测试布置的有效性应通过对规定阻值(Ω)的测试电路进行一系列的测量来加以确认,如图

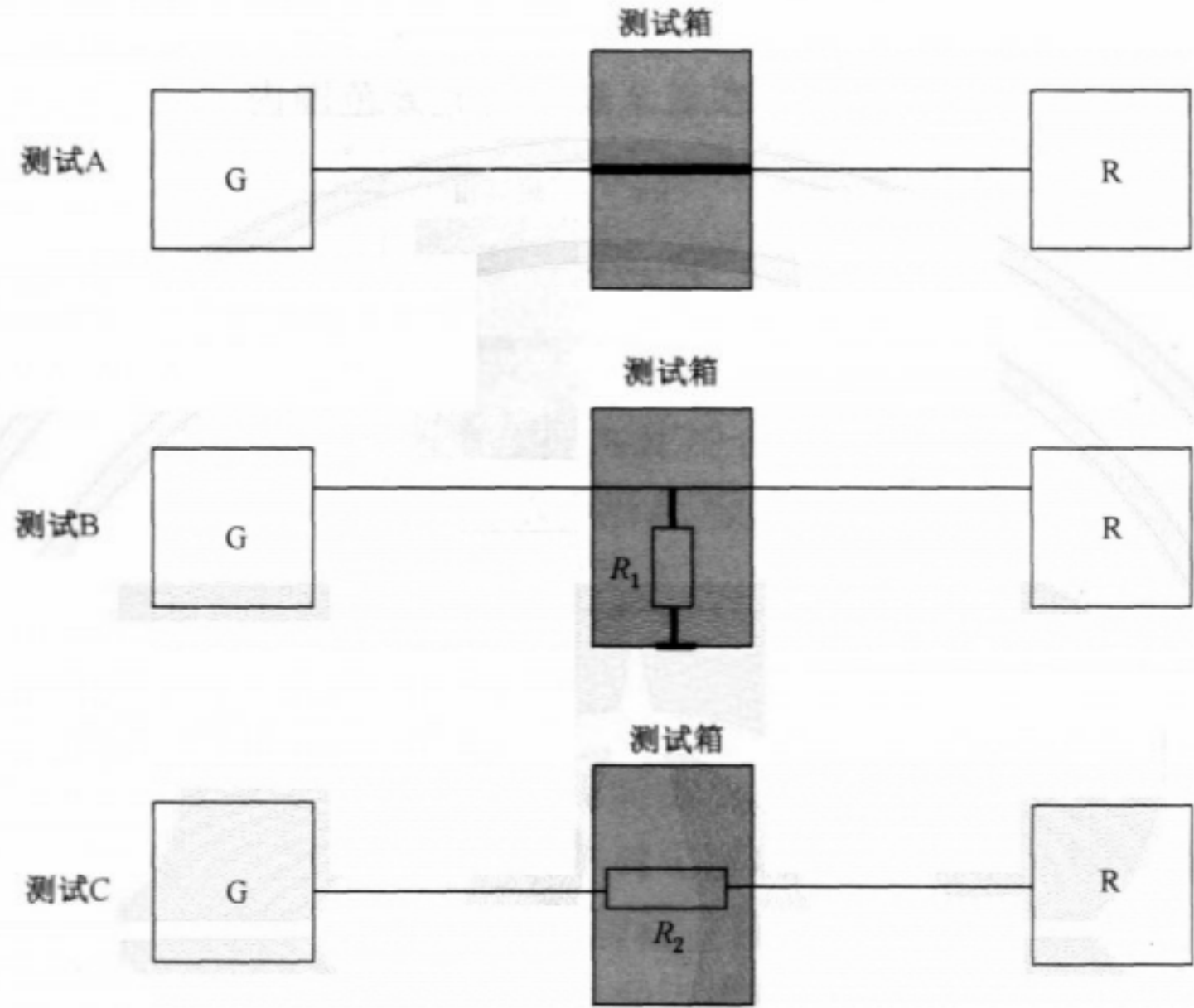
10 所示。

测试 A 的测量结果可以表明：当端接 $50\ \Omega$ 阻抗（测量接收机提供的阻抗）时，射频信号发生器输出电压是否等于开路电压的一半。

测试 B 的测量结果可以表明：射频信号发生器具有向低阻抗 DUT（如高容值滤波器）是否能够提供足够输出电流的能力。

测试 C 的测量结果可以表明：测量接收机是否具有足够的动态范围。

对于上述的每一项测试，测量结果均应在表 2 规定的允差范围内。



说明：
G —— 信号发生器；
R —— 测量接收机。

图 10 验证无偏置情况下测量布置有效性的测试电路框图

表 2 无偏置测试布置的有效性确认的条件和要求值

| 测试 | R Ω | V_2 V | V_2/V_0 dB |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| A | 直通 | $0.5 \times V_0$ | -6 ± 0.5 |
| B | $R_1 = 0.1$ | $0.002 \times V_0$ | -54 ± 1 |
| C | $R_2 = 1 \times 10^5$ | $0.000\ 5 \times V_0$ | -66 ± 1 |

注： R_1 和 R_2 的允差： $\pm 1\%$ 。

测试布置应在确认结果满足表 2 要求的频率范围内使用，此时， V_0 是信号发生器 G 的电动势（单位为 V）； V_2 是测量接收机的终端电压。 R_1 和 R_2 的值可能会随着频率和 DUT 的不同而变化。

5.4.3 对有偏置测试布置有效性的确认

有偏置时的测试布置应通过对规定阻值（ Ω ）测试电路进行一系列的测量来加以确认，如图 11 所示。

测试 A 的结果可以表明：当端接 $50\ \Omega$ 阻抗(测量接收机的阻抗)时，射频信号发生器输出电压是否等于开路电压的一半。

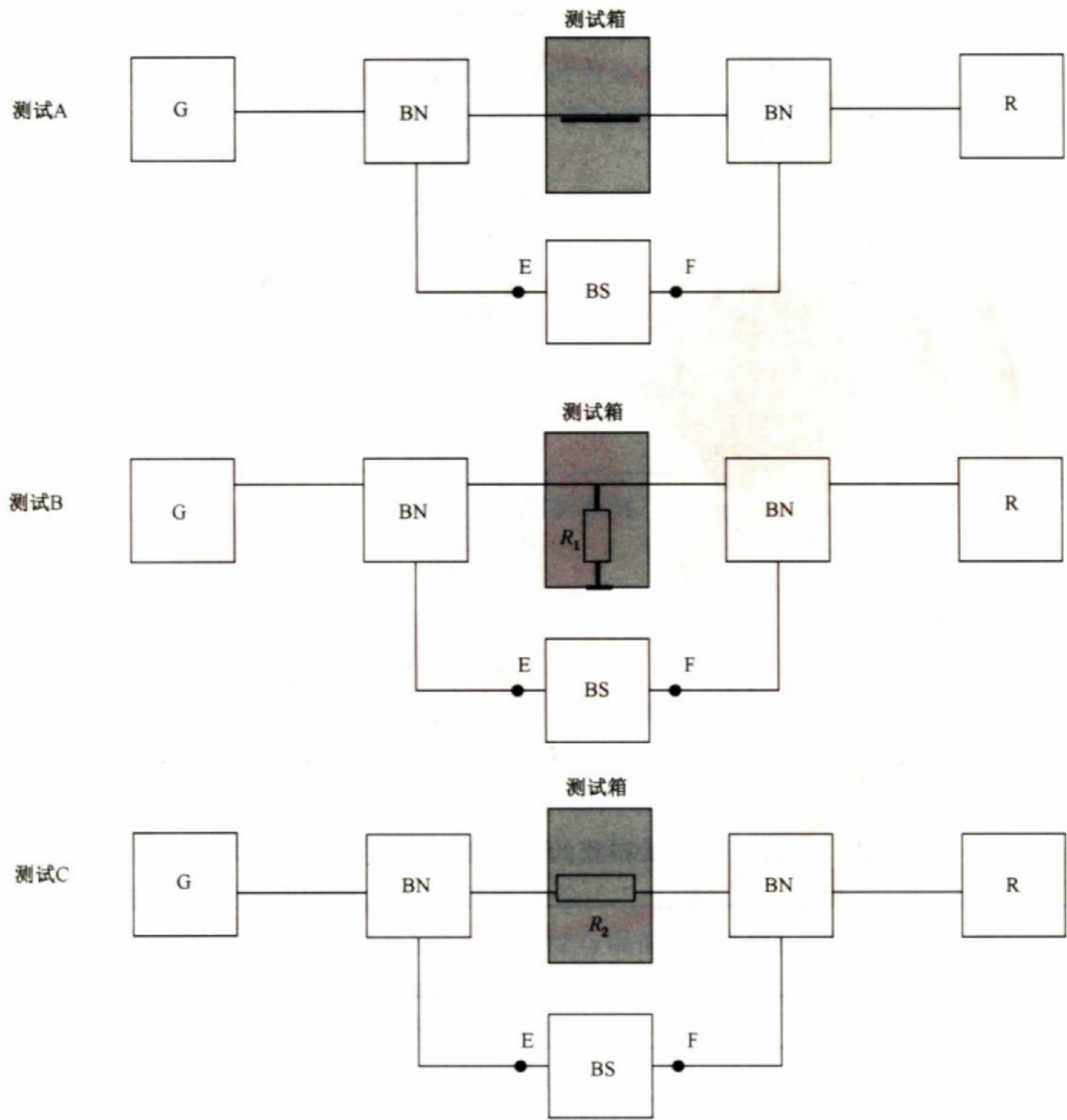
测试 B 的结果可以表明：射频信号发生器可以向低阻抗 DUT(如高容值滤波器)是否能够提供足够的输出电流。

测试 C 的结果可以表明：测量接收机是否具有足够的动态范围。

上述每一项测试应在如下两种条件下进行：

- 图 11 所示的端子 E 和端子 F 不连接(开路)；
- 图 11 所示的端子 E 和端子 F 短路连接。

对于上述的每一项测试，测量结果均应在表 3 规定的允差范围内。



说明：

G —— 信号发生器；

R —— 测量接收机；

BN —— 缓冲网络；

BS —— 偏置源(电流源)——与参考电位隔离；

E —— 端子；

F —— 端子。

图 11 验证有偏置时测量布置有效性的测试电路框图

表 3 有偏置测试布置的有效性确认的条件和目标值

| 测试布置 | | R Ω | V_2 V | V_2/V_0 dB |
|------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| A | 开路 | 直通 | $0.5 \times V_0$ | -6 ± 0.5 |
| | 短路 | | $0.5 \times V_0$ | -6 ± 0.5 |
| B | 开路 | $R_1 = 0.1$ | $0.002 \times V_0$ | -54 ± 1 |
| | 短路 | | $0.002 \times V_0$ | -54 ± 1 |
| C | 开路 | $R_2 = 1 \times 10^5$ | $0.000\ 5 \times V_0$ | -66 ± 1 |
| | 短路 | | $0.000\ 5 \times V_0$ | -66 ± 1 |

注: R_1 和 R_2 的允差: $\pm 1\%$ 。

测试布置应在确认结果满足表 3 的频率范围内使用,表中 V_0 是信号发生器 G 的电动势(单位为 V); V_2 是测量接收机的终端电压(单位为 V)。 R_1 和 R_2 的值可能会随着频率和 DUT 的不同而变化。

5.5 插入损耗测量的不确定度评估

插入损耗测量的不确定度评估应考虑以下因素:

- 测量设备引入的不确定度(如果适用,参见制造商的规格书);
- 包括缓冲网络在内的由测试夹具引起的不确定度(如果适用,可参见制造商的规格书);
- 测量条件变化引入的不确定度(通过重复测量进行评估);
- 有关插入损耗测量不确定度评估的更详细的内容附录 A。

6 阻抗的测量

6.1 概述

DUT 阻抗的测量采用下面两种方法中的一种来进行:

- 直接法:用阻抗测量设备直接进行阻抗测量;
- 间接法:利用矢量网络分析仪获得的 S 参数测量结果来计算该阻抗。

目前的矢量网络分析仪通常具有计算阻抗的功能。

注:间接法通常用于 1 GHz 频率以上的阻抗测量。

6.2 直接法

6.2.1 测量布置和程序

使用阻抗测量设备和测试夹具来测量 DUT 的阻抗。

将 DUT 插入测试夹具中,通过阻抗测量设备扫描测量频率来测量阻抗。在所需的频率范围内记录下阻抗和频率的关系。

应根据 DUT 的结构和测试频率,选择适合的测量设备与测试夹具的组合来进行测量。阻抗测量的示例见附录 F(如带引线的器件,SMD 器件,4 个端子的 CMCC 等)。

应通过缓冲电路将偏置电压或偏置电流施加到 DUT,以避免影响测量电路。如果阻抗测量设备没有内置的缓冲电路,则在测试布置中使用一个缓冲电路。对于后者,应在插入缓冲电路的情况下对测试布置进行确认。

阻抗测量设备和测试夹具应布置在一个不受温度明显变化和外部电磁场影响的环境中,整个测量系统应进行校准(包括测试夹具)。应记录测量时的环境条件和分析仪的设置,如温度、频率范围、输入射频功率、偏置电流或电压等。以下几点应予以考虑:

- 测试系统应有足够的信噪比(≥ 30 dB);
- 除非另有规定,测试应在 DUT 的额定条件下进行;
- 施加偏置电压或偏置电流时,应注意 DUT 不要过载(尤其对铁氧体器件);
- 对使用的测试夹具应选择合适的校准方法(开路/短路校准,开路/短路/负载校准等)。

6.2.2 测试布置的校准

测量系统应可溯源到国家标准基准。

下列因素可能会影响 DUT 的测量结果,如测量仪器、测试夹具和电缆,所以应对测量系统进行校准来降低与这些器件有关的未知阻抗对测量不确定度的影响。

OSL 校准就是校准操作的一个示例,它使用的是一个开路(OPEN)、短路(SHORT)和负载(LOAD)标准终端校准套件。在某些情况下,如果不要高精度度的测量,校准套件可不必使用所有这 3 个标准终端。测量仪器的使用手册中可能有详细的操作说明。

如可行,则可使用标准的 DUT 来提高测量精度。

6.2.3 测量不确定度的评估

评估阻抗测量设备的测量不确定度时,应考虑以下方面:

- 阻抗测量设备引入的不确定度(参见制造商的规格书);
- 测试夹具引起的不确定度(如果适用,参见制造商的规格书);
- 测量条件的变化(通过重复测量进行评估)引入的不确定度。

具体内容详见附录 A。

6.3 间接法

6.3.1 测量布置和程序

6.3.1.1 概述

DUT 的阻抗可以用 S 参数来计算。而 S 参数是通过网络分析仪测量得到的。关于 S 参数测量布置的描述见 7.1。

DUT 的阻抗可以用单端口、二端口或四端口中任一端口的 S 参数来计算。注意测得的 S 参数应只与 DUT 有关,而不应受测试夹具的任何影响。

6.3.1.2 用单端口 S 参数来计算

式(5)用于计算在 S_{11} 端的阻抗 $Z_x(\Omega)$,式中 $Z_0(\Omega)$ 为端口的参考阻抗。见图 12。

$$Z_x = Z_0(1 + S_{11})/(1 - S_{11}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- Z_x —— S_{11} 端的阻抗,单位为欧姆(Ω);
- Z_0 ——端口的参考阻抗,单位为欧姆(Ω);
- S_{11} ——电路元件端口 1 的输入反射系数。

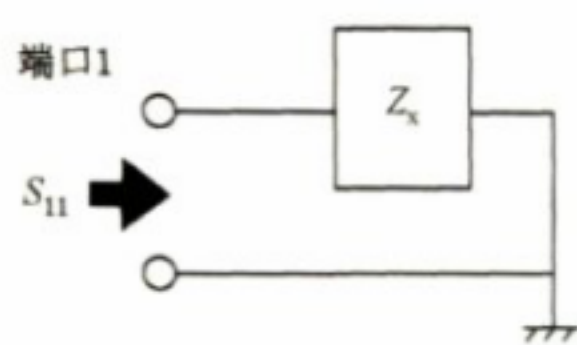
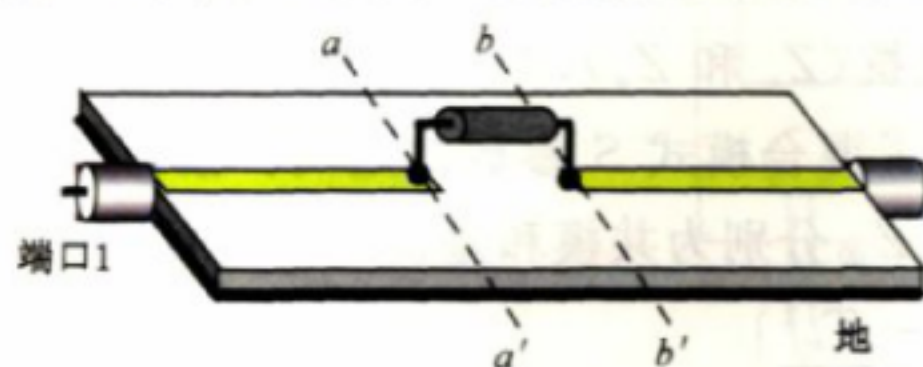


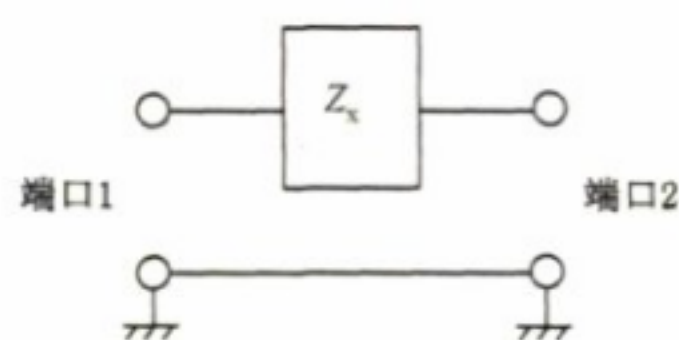
图 12 二端器件的单端口测量

6.3.1.3 用二端口的 S 参数来计算

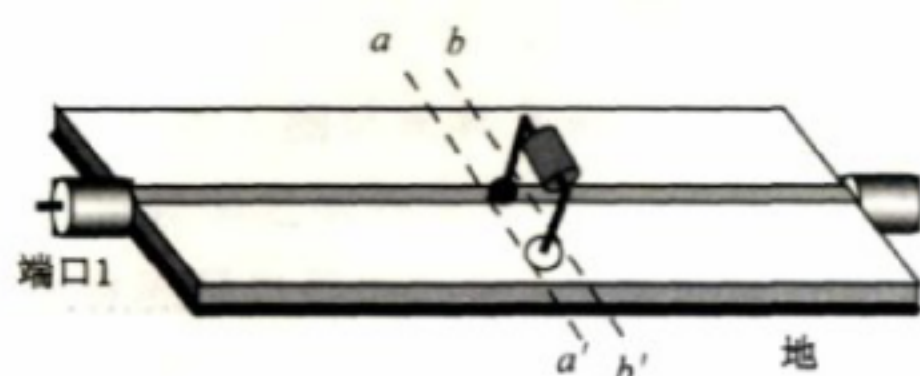
如图 13 和图 14 所示,通过合适的测试夹具,用矢量网络分析仪测量 S 参数来计算 DUT 的阻抗。



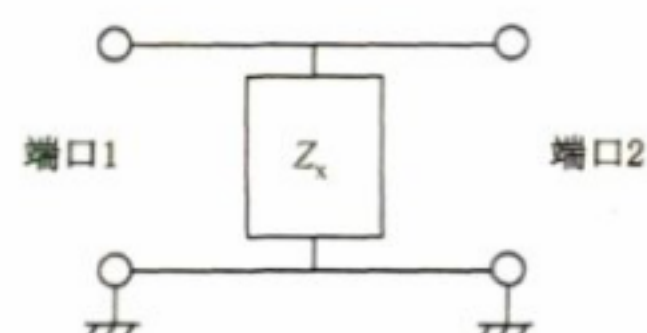
a) 测量布置的示例



b) 等效电路

图 13 评估串联连接器件的阻抗时 S 参数的测量方法

a) 测量布置的示例



b) 等效电路

图 14 评估并联连接器件的阻抗时 S 参数的测量方法

不管是用 TRL 校准还是用线路的电气长度来修正端口 1 和端口 2 之间测得的 S 参数, S 参数都应在 $(a-a')$ 和 $(b-b')$ 两个参考平面之间进行计算。

假设 DUT 是对称性的,平均反射系数和传输系数由式(6)给出:

$$R = (S_{11} + S_{22})/2, T = (S_{12} + S_{21})/2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

R ——平均反射系数;

T ——平均传输系数;

S_{11} ——为电路元件端口 1 的输入反射系数;

S_{22} ——为电路元件端口 2 的输入反射系数。

如果满足条件 $|2T| \gg |(1-T)^2 - R^2|$,则该器件的阻抗 Z_x 按式(7)和式(8)来计算:

对于串联连接,

$$Z_x = Z_0 \frac{(1+R)^2 - T^2}{2T} \quad \dots\dots\dots (7)$$

对于并联连接,

$$Z_x = Z_0 \frac{2T}{(1-R)^2 - T^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式(7)和式(8)中:

Z_x ——阻抗,单位为欧姆(Ω);

Z_0 ——测试夹具的特性阻抗,单位为欧姆(Ω);

R ——平均反射系数;

T ——平均传输系数。

如不满足上述条件,测试夹具对测量结果可能会有影响,式(7)和式(8)可能会产生错误的结果。

本节所述由二端口 S 参数得出的阻抗与 6.3.1.2 规定方法计算的阻抗在高频段可能有一定程度的不同,因为单端口 S 参数可能会受所使用的测试夹具结构的影响。

6.3.1.4 用四端口的 S 参数来计算

如果 DUT 具有良好的对称性,DUT 的共模和差模阻抗(Z_c 和 Z_d),单位为 Ω ,可根据混合模式的 S 参数(S_{cc} 和 S_{dd})使用以下公式来计算。在 4.4.3 中给出了混合模式 S 参数的定义。根据实际测量的 S 参数,按式(9)和式(10)得出阻抗 Z_c 和 Z_d 。注意 Z_{c0} 和 Z_{d0} 分别为共模和差模的参考阻抗。

$$\left. \begin{aligned} Z_c &= Z_{c0} \frac{(1 + R_c)^2 - T_c^2}{2T_c} \\ R_c &= \frac{S_{cc11} + S_{cc22}}{2} \\ T_c &= \frac{S_{cc12} + S_{cc21}}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_d &= Z_{d0} \frac{(1 + R_d)^2 - T_d^2}{2T_d} \\ R_d &= \frac{S_{dd11} + S_{dd22}}{2} \\ T_d &= \frac{S_{dd12} + S_{dd21}}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

式(9)和式(10)中:

Z_c, Z_d ——共模、差模阻抗,单位为欧姆(Ω);

Z_{c0}, Z_{d0} ——共模、差模的参考阻抗,单位为欧姆(Ω);

S_{cc} ——共模转换共模的矩阵;

S_{dd} ——差模转换差模的矩阵。

每个子矩阵有 4 个元素。例如,对于子矩阵 S_{cc} 中:

S_{cc11} ——输入端的反射系数;

S_{cc12} ——从输出端到输入端的传输系数;

S_{cc21} ——从输入端到输出端的传输系数;

S_{cc22} ——输出端的反射系数;

R_c, R_d ——共模、差模平均反射系数;

T_c, T_d ——共模、差模平均传输系数。

6.3.2 测试布置的校准

见 7.2。

6.3.3 测量的不确定度的评估

由 S 参数计算得出的 DUT 阻抗的不确定度可根据与 S 参数测量相关的不确定度来评估。见 7.3。

7 S 参数的测量

7.1 测量布置和程序

7.1.1 概述

通常使用网络分析仪(50 Ω 系统)来测量 DUT 的 S 参数。网络分析仪是一种能直接通过测量入射波、反射波和传输波的幅度和相位差来确定 S 参数的仪器。图 15 示出了二端口 S 参数的测量布置。

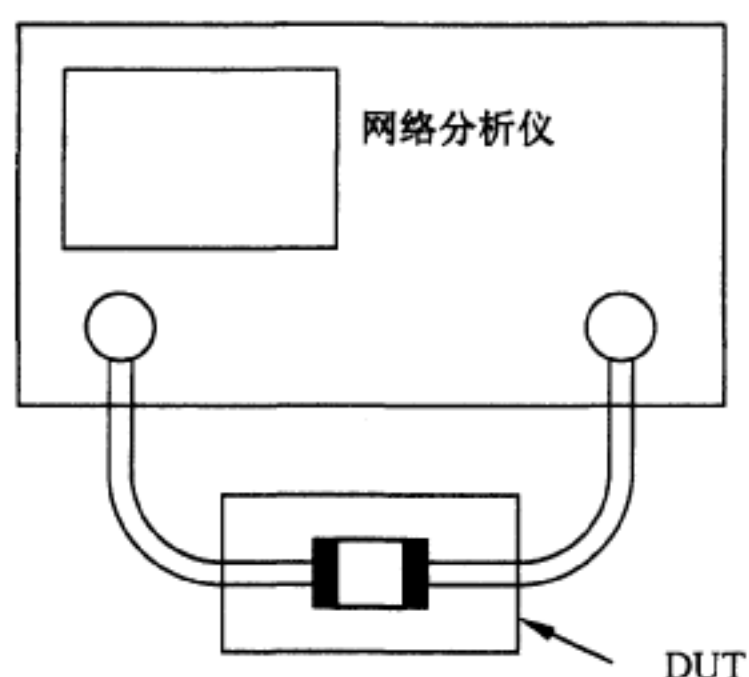


图 15 二端口 S 参数的测量布置

应将 DUT 插入测试夹具并通过网络分析仪扫描测量频率来测量 S 参数。在要求的频率范围内，记录 S 参数与频率之间的关系。

为避免对测量电路的影响，应通过缓冲电路来对 DUT 施加偏置电压或电流。如果网络分析仪没有内置缓冲电路，测试布置可使用商用的偏置电源。对于后者，应在插入缓冲电路的情况下进行校准。

当仅需测量插入损耗 $|S_{21}|$ 时，可用跟踪信号发生器和测量接收机相结合的方式替代上述网络分析仪进行测量（见图 16）。

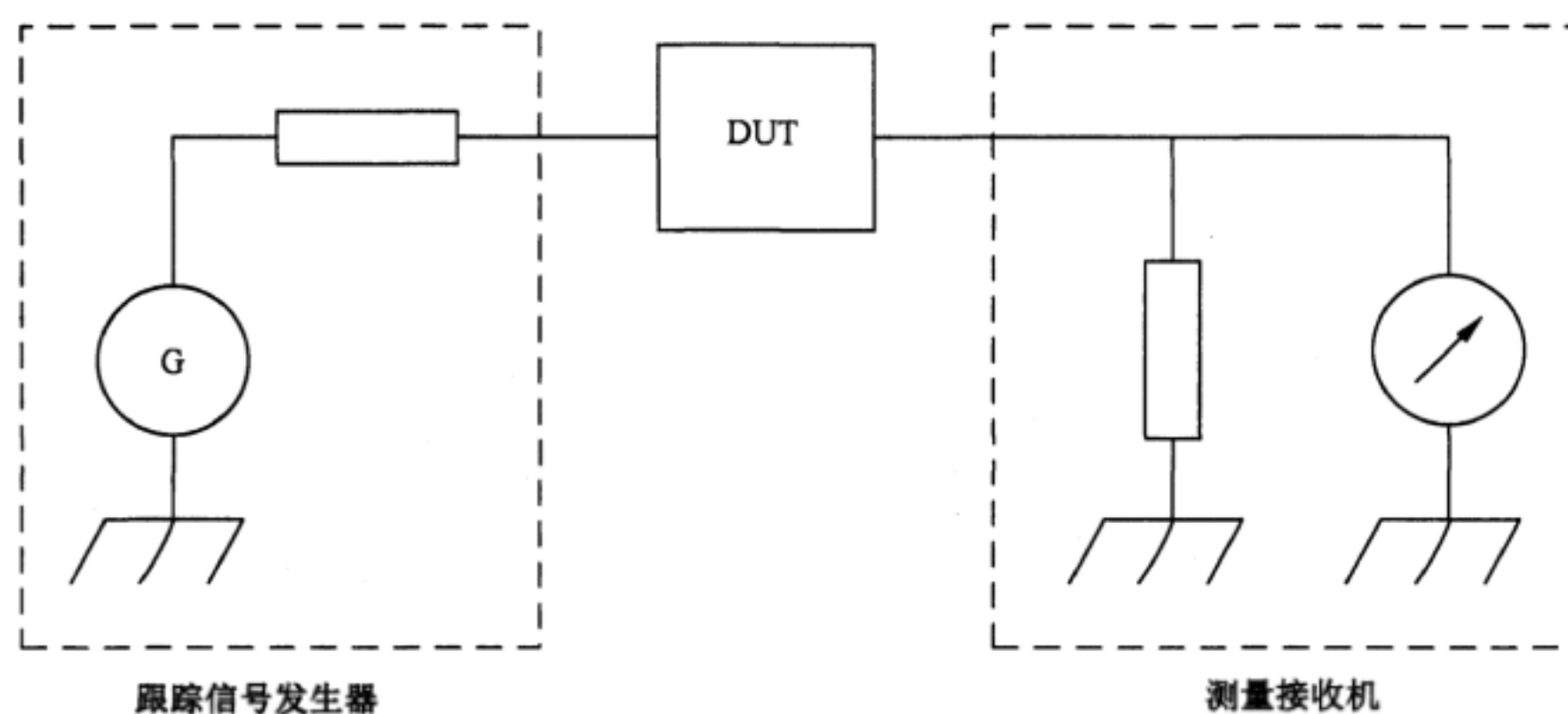


图 16 DUT 插入损耗的可替换测量系统（跟踪信号发生器与测量接收机组成的测量系统）

网络分析仪与测试夹具应布置在一个免于遭受明显温度变化和外部电磁场影响的环境中，应对包括测试夹具的整个测试系统进行校准。应记录测量时的环境条件和网络分析仪的设置，如温度、频率范围、输入射频功率、偏置电流或偏置电压等。

以下举例说明 S 参数测量系统应具备如下特性：

- 应有足够的动态范围来测量 DUT 衰减；
- 应能选择适于测量频率范围内使用的线缆、连接器、适配器等，应按规定扭矩固定连接器；

- 除特别规定外,应在 DUT 的额定条件下进行测试;
- 施加偏置电压或偏置电流时,应保证 DUT 不出现过载(尤其对铁氧体器件)。

7.1.2 S 参数测试夹具

7.1.2.1 概述

通常,DUT 通过线缆连接到网络分析仪。某些种类器件如 SMD 及带引线的器件可能不适合直接连接,此时应使用测试夹具来测量。下图是用于印刷电路板(PCB)的夹具示例,它使用的是平面传输线,如特性阻抗为 $50\ \Omega$ 的微带和共面传输线。连接器连接至 PCB 终端。图 17 为印刷电路板(PCB)的 S 参数测试夹具组件示意图。

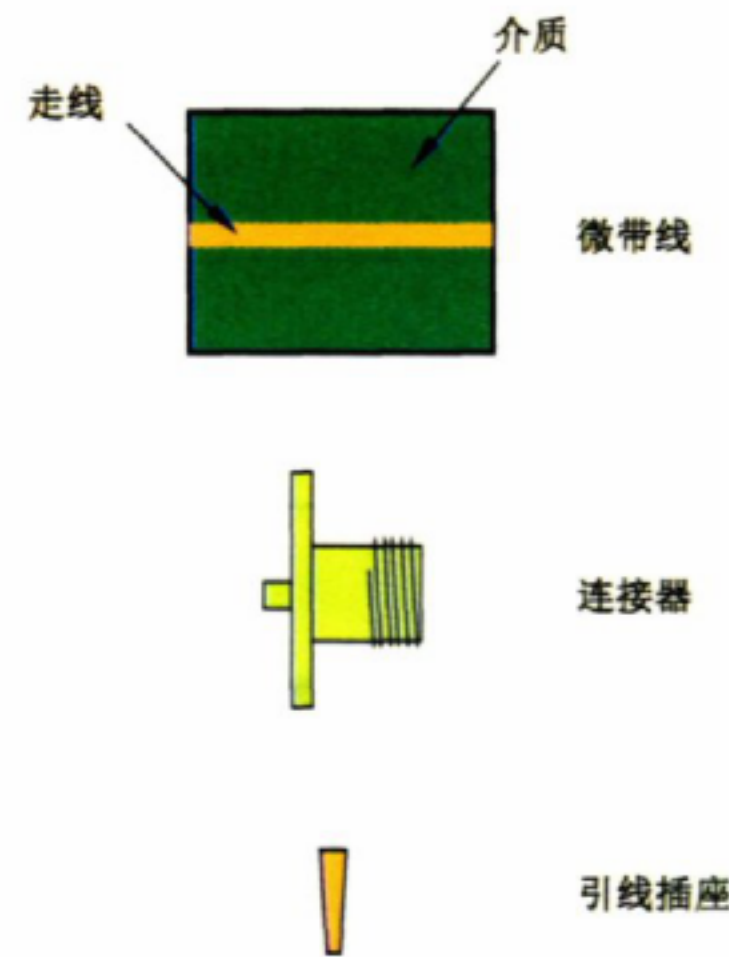


图 17 印刷电路板(PCB)的 S 参数测试夹具组件示意图

7.1.2.2 SMD 适用的测试夹具

7.1.2.2.1 二端器件一串联连接

图 18 为测量二端器件串联连接时 S 参数的测试夹具示意图。适用频率最高达 6 GHz。

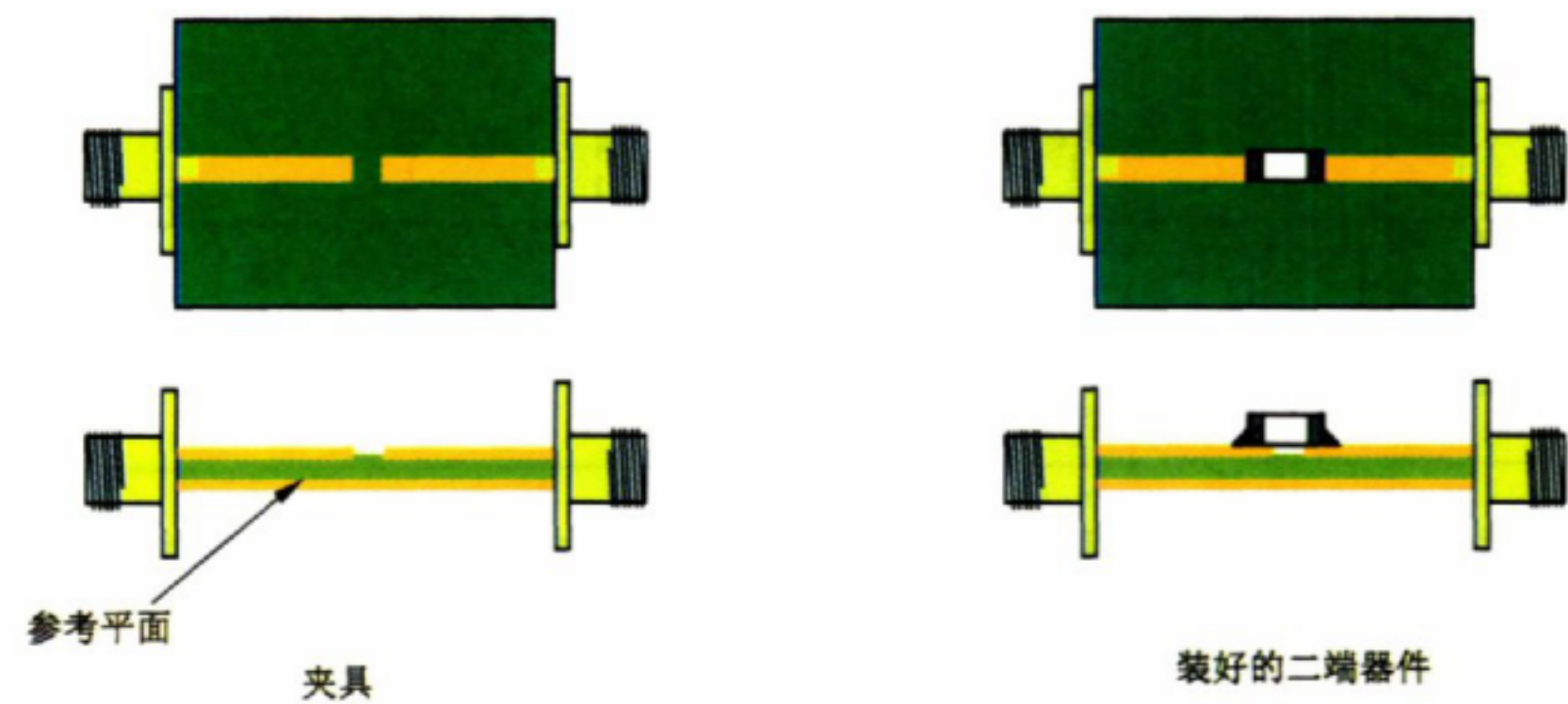


图 18 二端器件的 S 参数测试夹具示意图(串联连接)

7.1.2.2.2 二端器件—并联连接

图 19 为二测量端器件并联连接时 S 参数的测试夹具示意图。适用频率最高达 6 GHz。

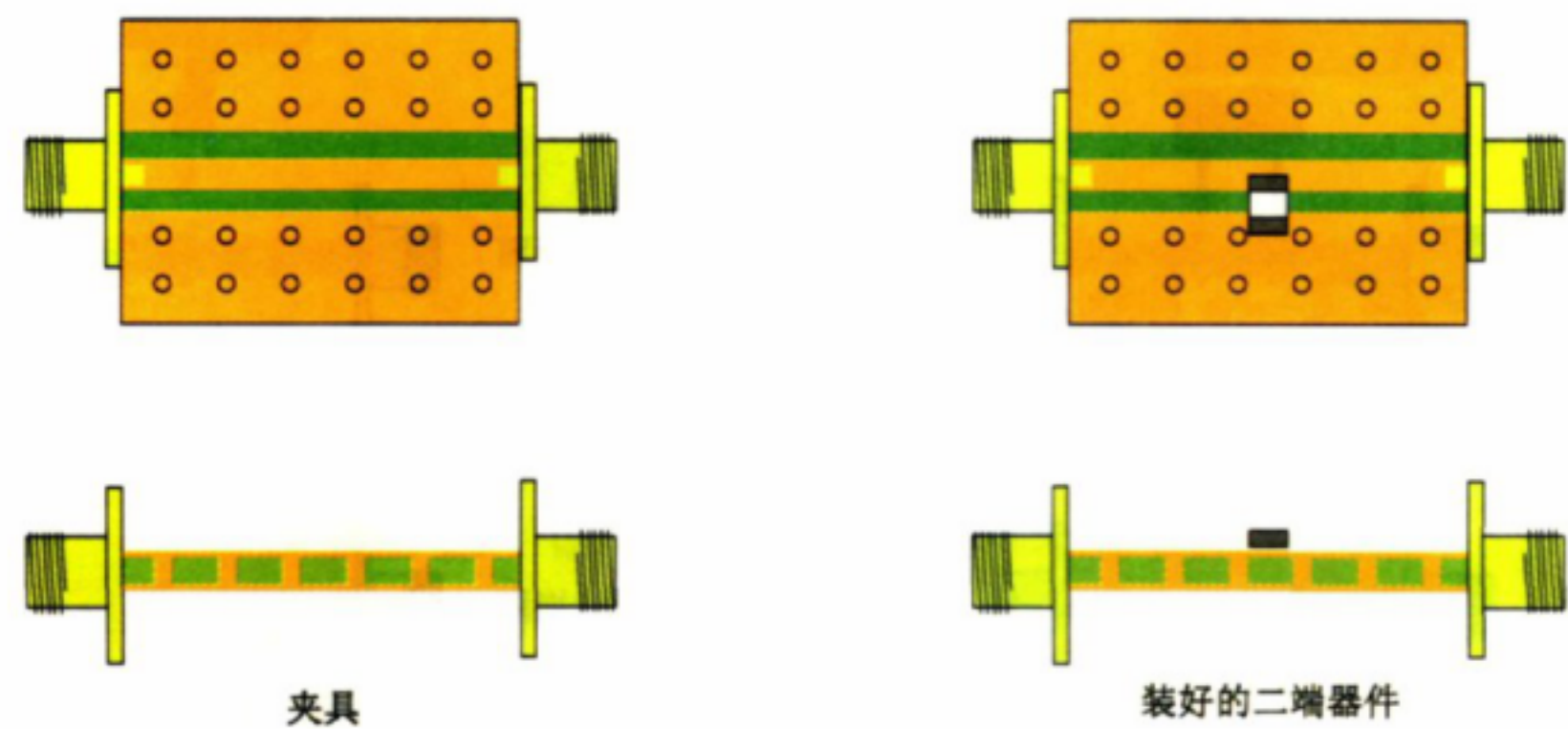


图 19 二端器件 S 参数的测试夹具示意图(并联连接)

7.1.2.2.3 三端滤波器

图 20 为测量三端滤波器 S 参数的测试夹具示意图。最高适用频率达 6 GHz。

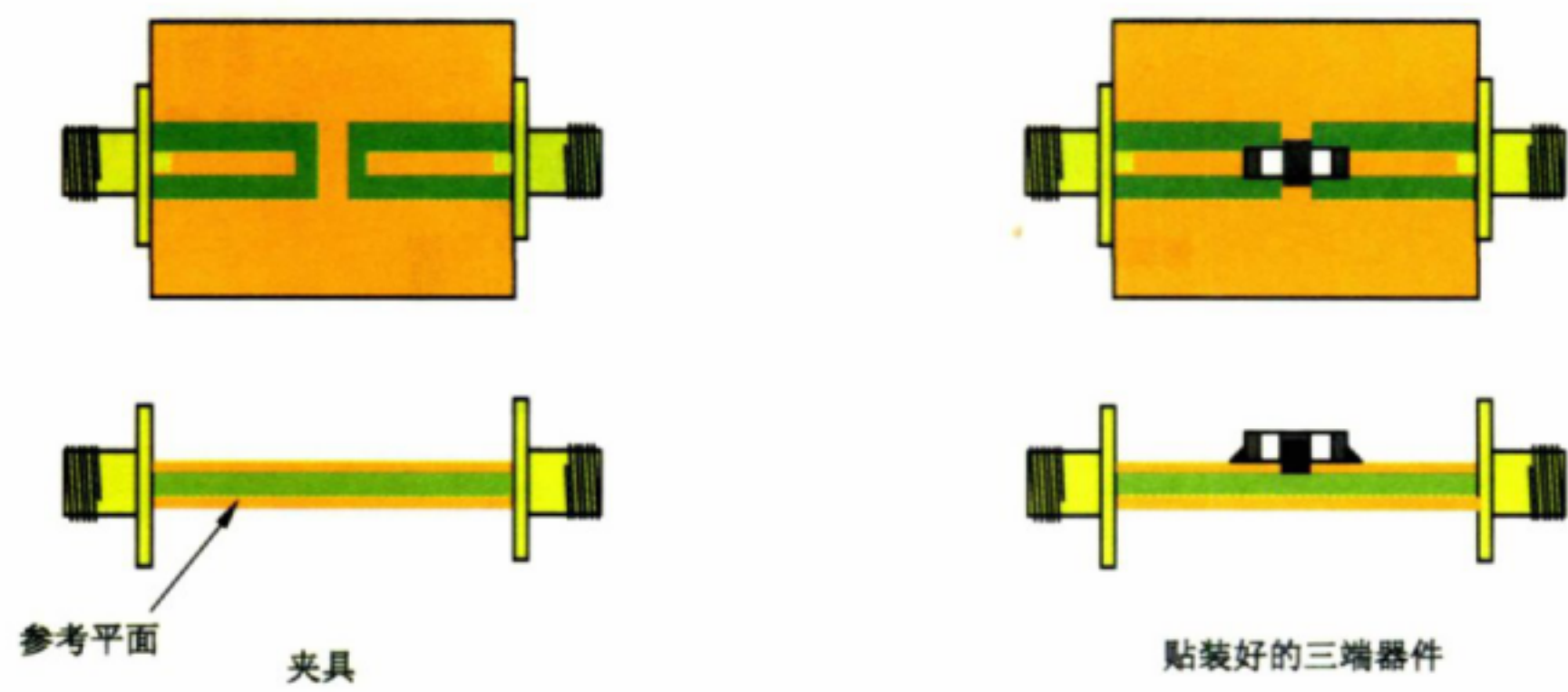


图 20 三端滤波器的 S 参数测试夹具示意图

7.1.2.3 带引脚器件的 S 参数测试夹具

7.1.2.3.1 带引脚的二端器件

图 21 为测量串联连接或并联连接时带引脚二端滤波器件 S 参数的测试夹具示意图。最高适用频率达 1 GHz。

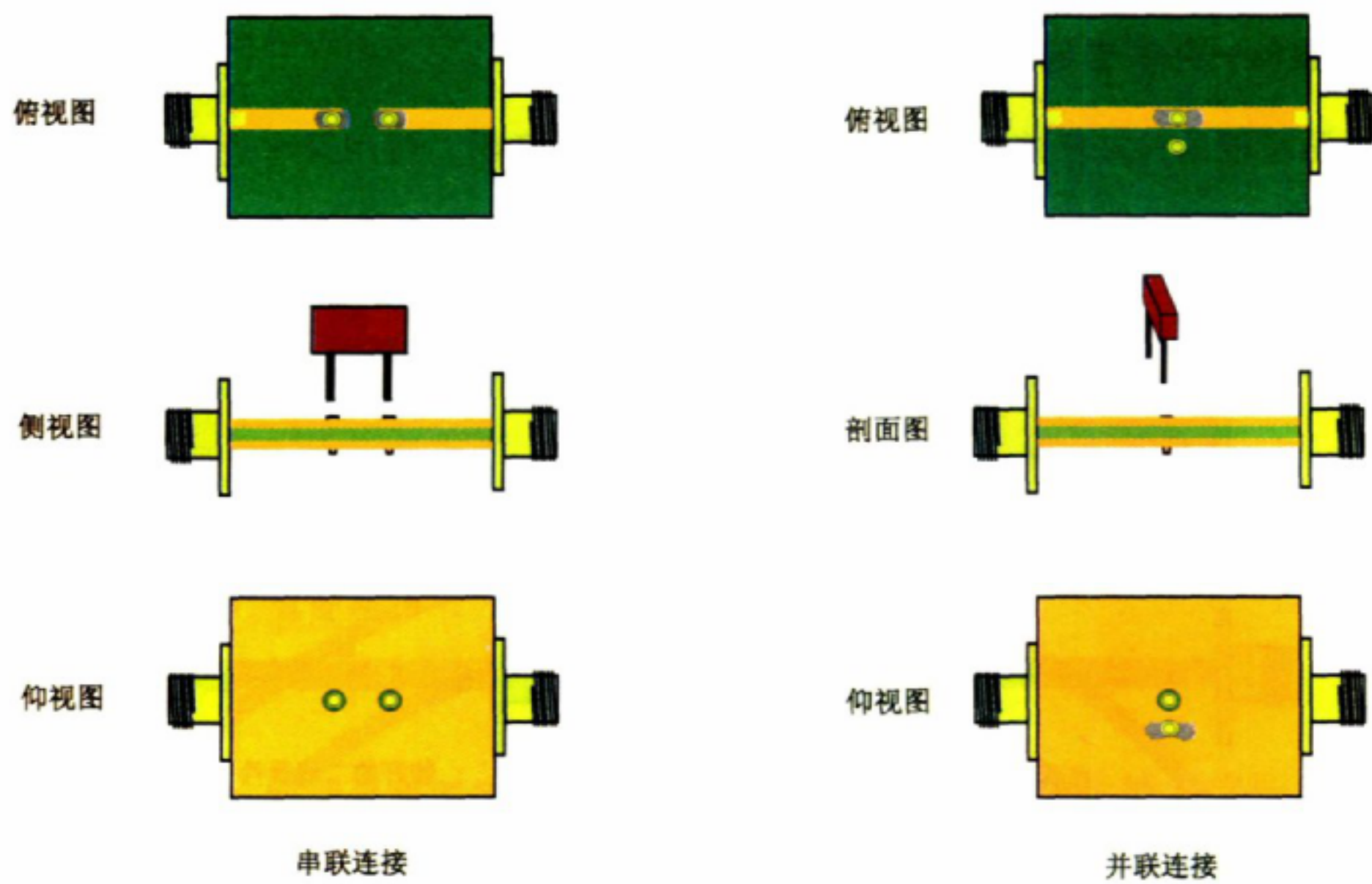


图 21 带引脚二端器件的 S 参数测试夹具示意图

7.1.2.3.2 三端滤波器

图 22 为测量带引脚三端滤波器件 S 参数的测试夹具示意图。最高适用频率达 1 GHz。

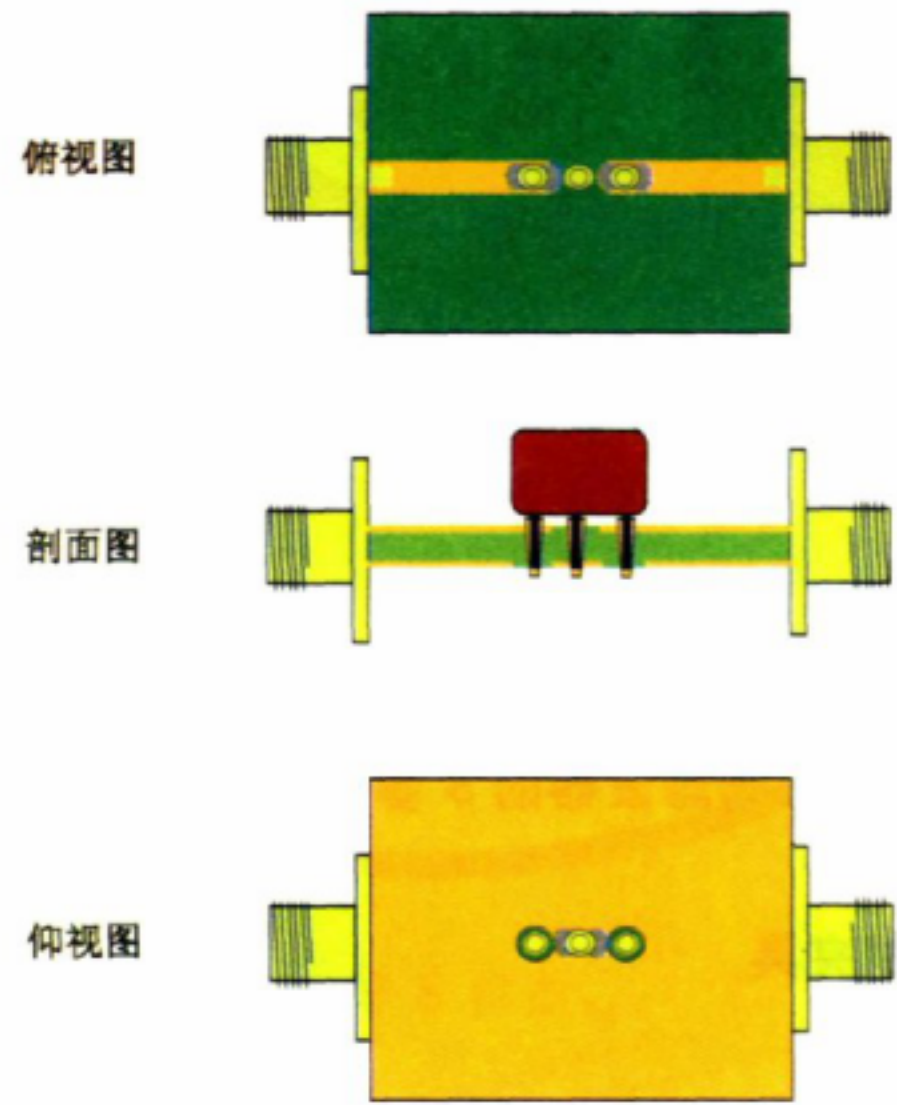


图 22 带引脚三端滤波器的 S 参数测试夹具示意图

7.1.2.4 磁环器件的测试夹具

如图 23 所示,在类似于铁氧体磁芯或铁氧体磁珠的 DUT 测量时,要用导线可以插入 DUT 孔中的测试夹具。见附录 H。

应小心地使用绝缘支撑件,将导线保持在孔的中心。孔中的导线应与地平面平行。



图 23 磁环器件的测试夹具示意图

7.2 测试布置的校准

连接至网络分析仪的线缆和测试夹具会影响测量 S 参数结果,应通过校准以消除这些影响。可采用以下两种方法之一对所有端口进行校准:

- a) SOLT 校准:使用四类校准标准件(短路/开路/负载/直通)。
- b) TRL 校准:使用三类校准标准件(直通/反射/接线^[6])。

上述两种校准程序细则可参考网络分析仪操作手册。

注:如果仅要求插入损耗 $1/|S_{21}|$ 时,使用直通标准件(即直通校准)就可以进行校准。但是,二端口校准是一种可替换的更高精度的校准。

TRL 校准标准件(微带线)示例见图 24。

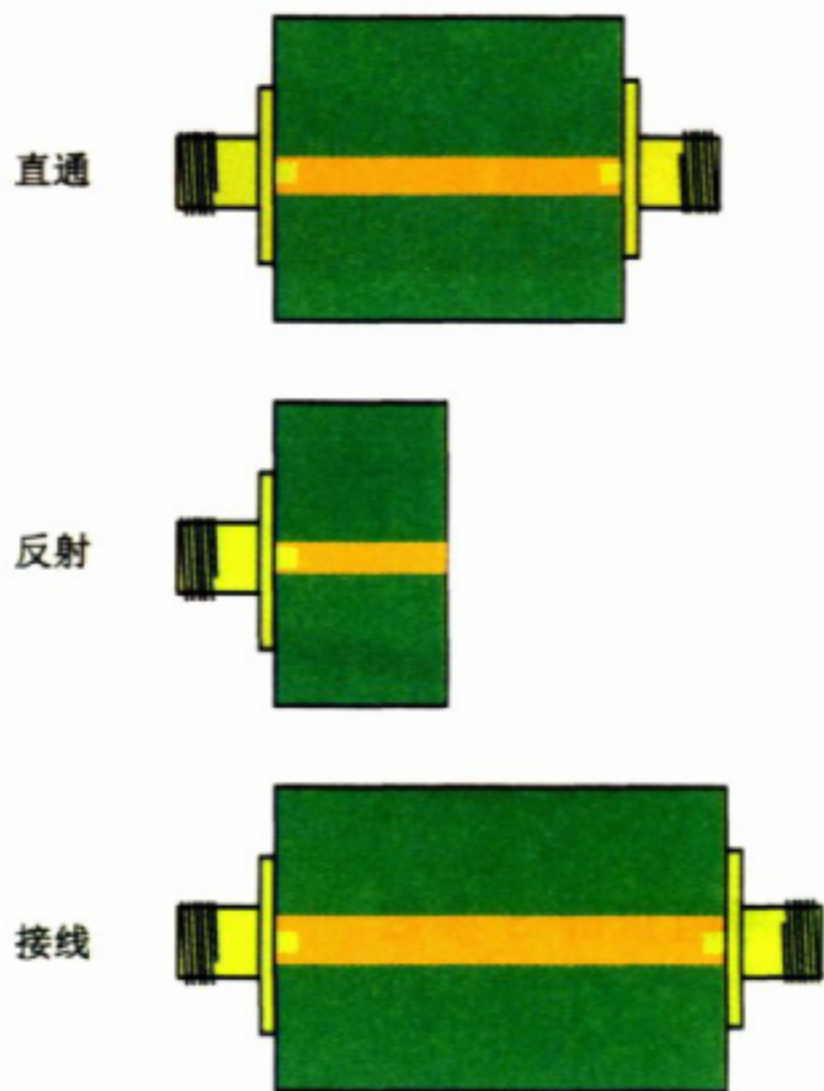


图 24 TRL 校准标准件示例

7.3 测量的不确定度

使用 VNA 进行测量时,评估测量的不确定度应考虑以下因素:

- 与网络分析仪相关的不确定度贡献(参照仪器列示值);
- 与测试夹具相关的不确定度贡献(如可用,参照生产商规格书);

——与测量条件变化相关的不确定度贡献(通过重复测量评估)。
详细说明见附录 A。

8 测试结果的提交

8.1 概述

测试报告应至少包含以下内容:

- a) 测试布置(测量仪器和测试夹具);
- b) 测量条件:RF 输出(电流,电压),偏置电压或偏置电流等;
- c) 环境条件:温度,湿度等;
- d) 所选择的校准/确认方法;
- e) 测量点;
- f) 测量结果(例如,以列表或图表形式在正交、半对数坐标里来表示插入损耗与频率之间的函数关系,用 dB 表示);
- g) 测量的不确定度;
- h) 有关测试电路中 DUT 的连接和安装的描述(使用照片或框图),给出测试箱/夹具和连接导线的形状和尺寸(如有需要);
- i) DUT 的详尽描述(如订单号、序列号、技术数据、电路图);
- j) 测试日期和时间;
- k) 测试人员的姓名和职位;
- l) 测试所依据的技术标准和/或规范;
- m) 按照 8.2~8.4 规定测量得到的参数:插入损耗,阻抗和 S 参数。

8.2 插入损耗

测试报告应包含以下数据:

- 测试电路的阻抗;
- 测试电路最大可测量的插入损耗。

8.3 阻抗

当用间接法时,测试报告应包含端口的参考阻抗。在用直接法时此阻抗无需写入报告。

8.4 S 参数

测试报告应包括端口分配及其参考阻抗等 S 参数。

附录 A (规范性附录)

EMC 滤波器件抑制特性测量不确定度的评估

A.1 评估程序

A.1.1 概述

首先考虑被测量 Y (插入损耗、阻抗或 S 参数) 与相关输入量 x_i 之间的关系。这种关系应该包含每一个对测量结果引入不确定度影响较大的量, 包括修正和修正因子。

然后, 确定 x_i , 即基于一系列观察的统计分析或其他方式得到的输入量 x_i 的估计值。

A.1.2 标准不确定度: $u(x_i)$

A.1.2.1 概述

为列出每一个会影响整体测量不确定度的影响量, 需确定影响量 x_i 及其类型, 如通过统计评估 (A 类) 或其他方法 (B 类)。在制造商的数据或校准数据可用的情况下, 应使用 B 类; A 类方法仅限于制造商的数据或校准数据得不到的情况 (如特殊的测试适配器或测试夹具)。

A.1.2.2 A 类 (统计方法)

A 类评估方法可以是基于任何有效的数据处理的统计方法。

仪表读数的统计描述是由统计方法得出的。标准不确定度 $u(x_i)$ 是 n 次测量的平均值的标准偏差, 如式 (A.1) 所示:

$$u(x_i) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{..... (A.1)}$$

式中:

$u(x_i)$ ——读数的平均值;

σ ——标准偏差;

n ——读数的次数。

A.1.2.3 B 类 (其他方法)

B 类评估方法要求识别所有相关的不确定因素并评估其量值大小。进而选择合适的概率分布函数, 以便“归一化”每个影响因素至标准偏差。

B 类方法基于所有能得到的相关信息, 包括:

- a) 历史测量数据;
- b) 制造商的规格书;
- c) 校准证书/报告或其他报告中的数据;
- d) 基于经验的评估值;
- e) 其他数据。

A.1.3 合成标准不确定度: $u_c(y)$

所有归一化的不确定度分量的标准偏差即标准不确定度 $u(x_i)$, 组合起来成为合成标准不确定度,

如式(A.2)所示:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i [c_i u(x_i)]^2}$$

.....(A.2)

- 式中:
- $u_c(y)$ ——合成标准不确定度;
 - c_i ——灵敏度系数,表征评估值 y 如何随输入评估值 x_i 值的变化而变化;
 - $u(x_i)$ ——标准不确定度。

A.1.4 扩展不确定度:U

包含因子 k 用于扩展合成标准不确定度以表示置信水平区间(例如, $k=2$ 表示约 95% 的置信水平)。
扩展不确定度由式(A.3)获得:

$$U = k u_c(y)$$

.....(A.3)

- 式中:
- U ——扩展合成标准不确定度;
 - k ——包含因子;
 - $u_c(y)$ ——合成标准不确定因素。

A.2 不确定度报告

测试报告中测量不确定度是用扩展不确定度的陈述和一个带有置信水平的 k 因子来正确表述表示,例如:测量结果为 $(y \pm U)$ dB 或 Ω , $k=2$ (95% 置信水平)。
注意,任何的测量不确定度分析都是基于一组假设上的。应对这些假设进行规定并记录在案。如果实际的测量方案偏离了这些假设,原有不确定度的评估是无效的,应针对这些偏差来重新计算。

A.3 插入损耗——测量不确定度计算的示例

按 5.3 中规定的测量方法进行插入损耗测量的不确定度分析见表 A.1;这是应用参考文献[4]的一个示例。其假定执行的是 B 类方法分析,识别所有相关的影响因素并对其量值进行估算。在测量大量的滤波器(例如在批量生产)情况下,测量不确定度分析也可用 A 类方法。无论怎样,测量的可重复性的均值是基于 A 类分析确定,此时,被测量(即滤波器的插入损耗)是通过一系列重复测量来获得的。

表 A.1 插入损耗测量的不确定度示例

| 不确定度的来源 | 输入评估值 dB | 概率密度分布 | 包含因子 | 灵敏度系数 | 标准不确定度 dB |
|---|-------------|--------|-------|-------|--------------|
| 信号发生器(G) ^a | 0.2 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.12 |
| 测量接收机 ^a | 0.2 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.12 |
| 测试布置的确认 ^b | 0.5 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.29 |
| 可重复性 | 0.1 | 正态 | 1 | 1 | 0.1 |
| 注 1: 合成标准不确定度 (u_c): 0.35。 | | | | | |
| 注 2: 扩展不确定度 (U): 0.70 (当 $k=2$ 时)。 | | | | | |
| ^a 如果使用网络分析仪,对测量设备(信号发生器+接收器)可能只有一个值,该测量不确定度的值主要由测量设备的稳定性来确定。 | | | | | |
| ^b 测试布置(电缆,测试箱等)的测量不确定度是由 5.4.2 或 5.4.3 的确认程序得到的。 | | | | | |

在以下假设条件成立时,共模模式、无偏置条件测量时的滤波器插入损耗的扩展不确定度为 0.70 dB。

- a) 测量时关注的频率范围为 10 kHz~1 GHz。
- b) 按照图 8 进行测量布置。
- c) 测量程序严格执行 5.3。
- d) 在测量插入损耗之前,按照 5.4.2 对测试布置进行确认。试验配置通过以下验证测量证实:使用标准衰减器在所要求频率范围内的测量,插入损耗在一个恒定值的±0.5 dB 误差范围内。此外,插入损耗测量的不确定度分析应考虑以下注意事项:
 - 1) 测试系统(即信号发生器和测量接收器)可以包含在一台仪器内。
 - 2) 由于环境中的辐射骚扰会显著影响测试结果,所以应采取措施,尽量减小由外部骚扰引起的误差,使其在可接受的范围内。必要时可使用屏蔽测试箱或完全屏蔽测试布置。骚扰引起的背景噪声应至少比被测信号低 6 dB。
 - 3) 推荐使用隔离衰减器(在布置中插入信号发生器的输出和测量接收机的输入之间)来减少电压驻波比和谐振对测试结果的影响。如果用矢量网络分析仪进行二端口校准,就不必使用隔离衰减器。
 - 4) 应分别使用图 8 和图 9(取决于是无偏置测试还是有偏置测试)所示的测量电路来评估不确定度。
 - 5) 连接器、电缆和测试箱的失配影响包含在 5.4.2 和 5.4.3 确认测量中。

A.4 阻抗——测量不确定度的计算示例

表 A.2 中的不确定度分析是按 6.2 中规定的阻抗测量方法的不确定度评估示例。

表 A.2 阻抗测量的不确定度示例

| 不确定度的来源 | 输入评估值 % | 概率密度分布 | 包含因子 | 灵敏度系数 | 标准不确定度 % |
|-------------------------------------|------------|--------|-------|-------|-------------|
| 阻抗测量设备 | 0.38 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.21 |
| 测试夹具 | 0.5 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.29 |
| 可重复性 | 0.29 | 正态 | 1 | 1 | 0.29 |
| 注 1: 合成标准不确定度(u_c):0.46。 | | | | | |
| 注 2: 扩展不确定度(U):0.92(当 $k=2$ 时)。 | | | | | |

在以下假设条件时,在 100 MHz 无偏置时的阻抗测量的扩展不确定度 0.92%:

- a) 按照 6.2 和附录 F 进行测量;
- b) DUT 是 SMD 型的电感,100 MHz 时其典型参数是, $|Z| = 1\text{ k}\Omega$;
- c) 用于阻抗测量的设备已完成开路/短路/负载校准;
- d) 测试布置(测试夹具)分别经开路(测试端口不接地)和短路(用与 DUT 尺寸相同的短路片)两种连接得到确认。

A.5 S 参数——测量不确定度计算的示例

表 A.3 中的不确定度分析是在 100 MHz 时,无偏置测量的情况下, S_{21} 和 S_{12} 的测定方法的不确定

度评估示例,表 A.4 是 S_{11} 和 S_{22} 测量不确定度的一个示例。

表 A.3 $|S_{21}|$ 和 $|S_{12}|$ 的测量不确定度(示例)

| 不确定度的来源 | 输入评估值 dB | 概率密度分布 | 包含因子 | 灵敏度系数 | 标准不确定度 dB |
|---|-------------|--------|-------|-------|--------------|
| 网络分析仪 | 0.026 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.015 |
| 测试布置(校准) | 0.498 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.288 |
| 可重复性 | 0.078 | 正态 | 1 | 1 | 0.078 |
| 注 1: 合成标准不确定度(u_c):0.30。 注 2: 扩展不确定度(U):0.60(当 $k=2$ 时)。 | | | | | |

表 A.4 $|S_{11}|$ 和 $|S_{22}|$ 的测量不确定度(示例)

| 不确定度的来源 | 输入评估值 dB | 概率密度分布 | 包含因子 | 灵敏度系数 | 标准不确定度 dB |
|--|-------------|--------|-------|-------|--------------|
| 网络分析仪 | 0.014 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.008 |
| 测试布置(校准) | 0.027 | 矩形 | 1.732 | 1 | 0.016 |
| 可重复性 | 0.010 | 正态 | 1 | 1 | 0.010 |
| 注 1: 合成标准不确定度(u_c):0.021。 注 2: 扩展不确定度(U):0.04(当 $k=2$ 时)。 | | | | | |

在以下假设条件成立时, S_{21} 和 S_{12} , S_{11} 和 S_{22} 测量的扩展不确定度分别为 0.60 dB 和 0.04 dB。

- a) 按照 7.1 进行测量;
- b) DUT 是 SMD 型电感, 在 100 MHz 时其典型参数为 $20 \lg |S_{21}| = -20 \text{ dB}$ 和 $20 \lg |S_{11}| = -0.94 \text{ dB}$;
- c) 网络分析仪已进行 TRL 校准。其源电平为 0 dBm, 中频带宽为 100 Hz;
- d) 测试夹具组成如图 18 所示。

注: 对于高插入损耗的器件, 传输系数 S_{21} 和 S_{12} 的不确定度可能会由于网络分析仪的串扰误差而显著增加。

附录 B

(资料性附录)

插入损耗测量测试箱示例

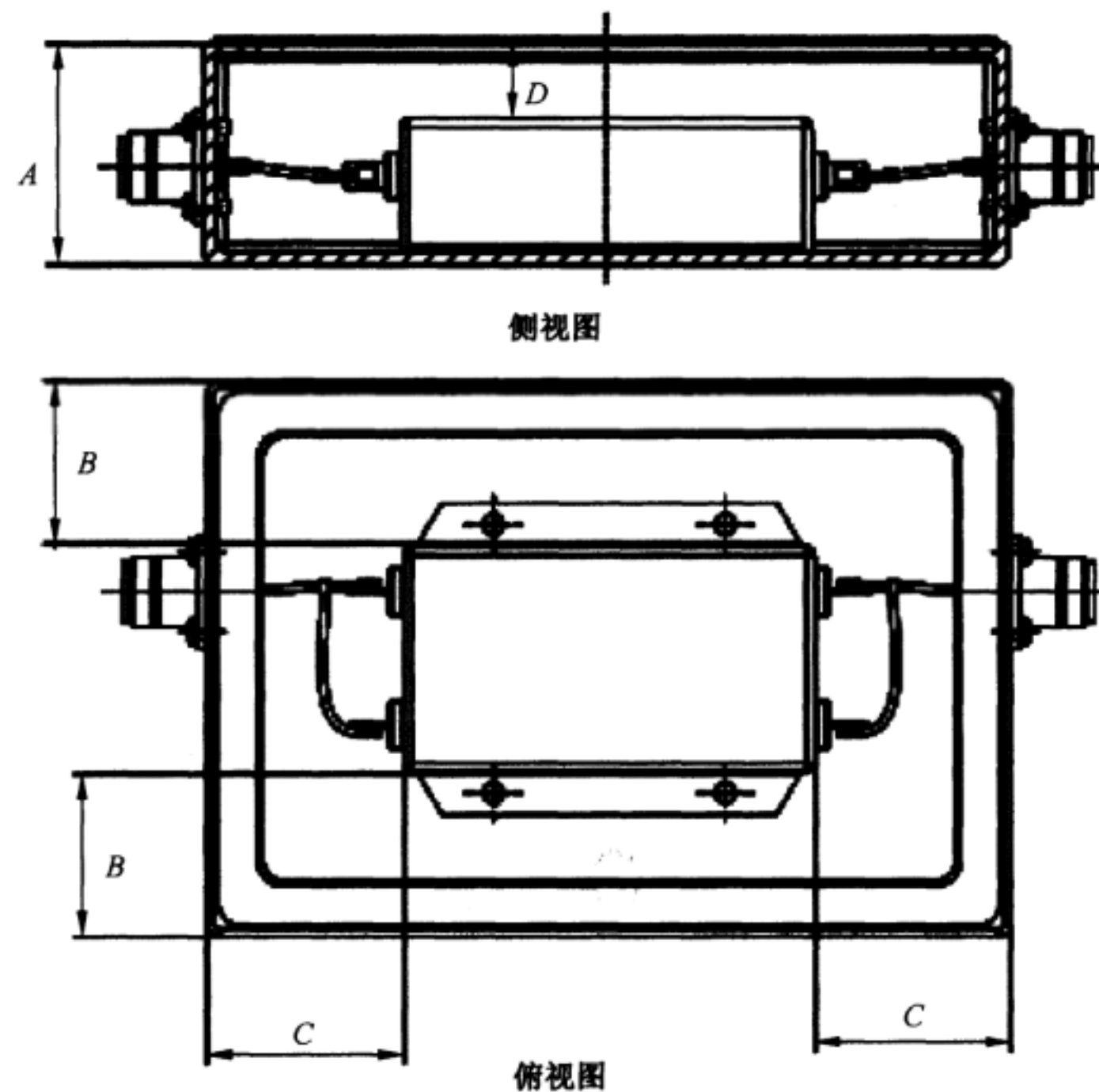
B.1 设施和设备滤波器

B.1.1 概述

DUT 应安装在合适的测试箱中。除非用户、制造商和测试机构的特定应用对测试布置另有规定，否则测试箱应符合下述要求。

B.1.2 测试箱的结构

参阅图 B.1 和图 B.2,对输入端和输出端没有屏蔽层和同轴端口的干扰抑制元件和滤波器,应将其放置在测试箱中进行测量,测试箱的尺寸(例如长度 l ,高度 h 和宽度 w)取决于 DUT。用非磁性金属做成的测试箱要有一个金属盖。用于测量法兰(式)安装的穿心电容和滤波器的测试箱应有带安装电容器和滤波器孔口的间隔分区。测试箱各部件的电接触应可靠,各个部件应用焊接或连续缝焊的方式连接;盖子和壳体通过弹簧触点或螺栓连接,应特别注意,当测量穿心电容和同轴滤波器件时,确保盖子和法兰沿边长完全接触良好。同轴端口安装在两个箱壁上。



注: A 是测试箱的整体高度。尺寸 B、C 和 D 的推荐值见 B.1.3。

图 B.1 通用滤波器测试箱的典型设计

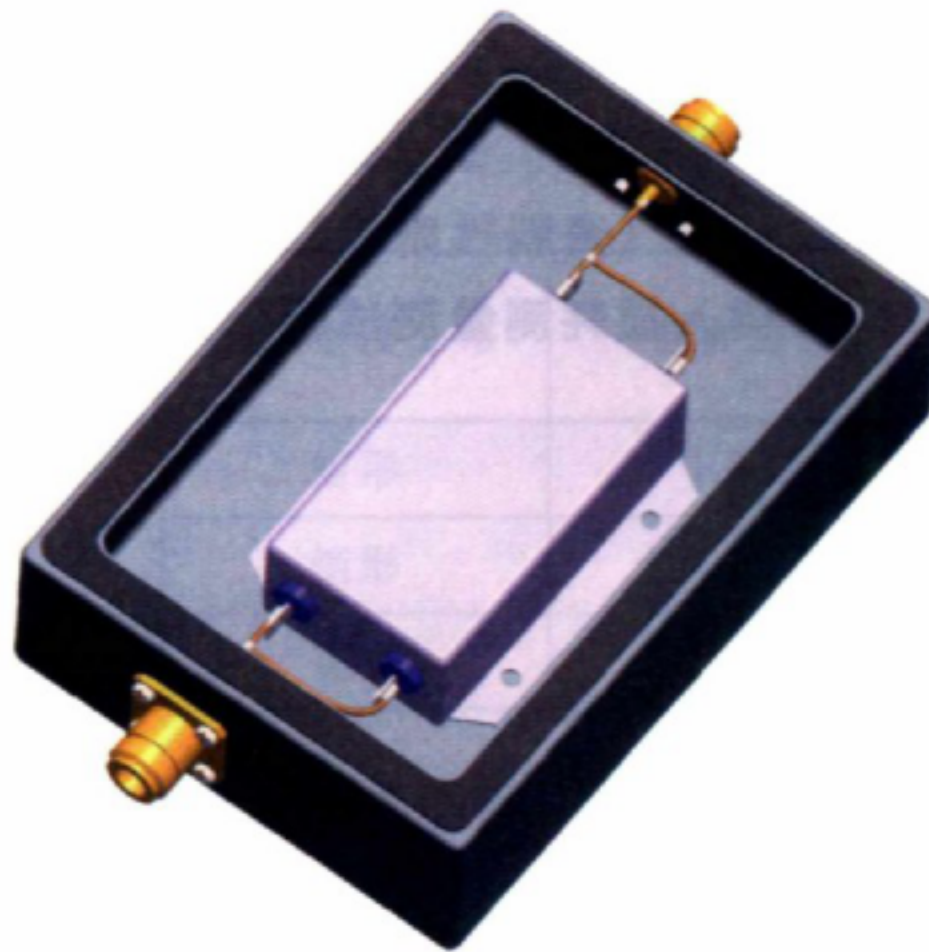


图 B.2 通用滤波器典型测试箱的 3D 视图

B.1.3 EMC 滤波器件在测试箱里的安装

DUT 安装时模拟正常使用的情况,例如用螺栓将其安装在箱子底部或如果是馈通滤波器要紧紧地安装在测试箱的内屏蔽壁上。连接线应尽可能短,以避免因耦合、寄生电感和寄生电容产生的误差。

选择尺寸比 DUT 的尺寸略大一点的测试箱,推荐值为 $B=5\text{ cm}$, $C=5\text{ cm}$, $D=5\text{ cm}$ (见图 B.1)。

B.2 穿心元件

法兰(式)安装的穿心电容和馈通滤波器分别按照图 B.3 和图 B.4 进行安装。

如果接地线是一个引脚,该引脚应按照制造商的规定长度并且以直线的方式安装。其他类型的端子按实际使用状态用尽可能短的线连接到金属壁上。

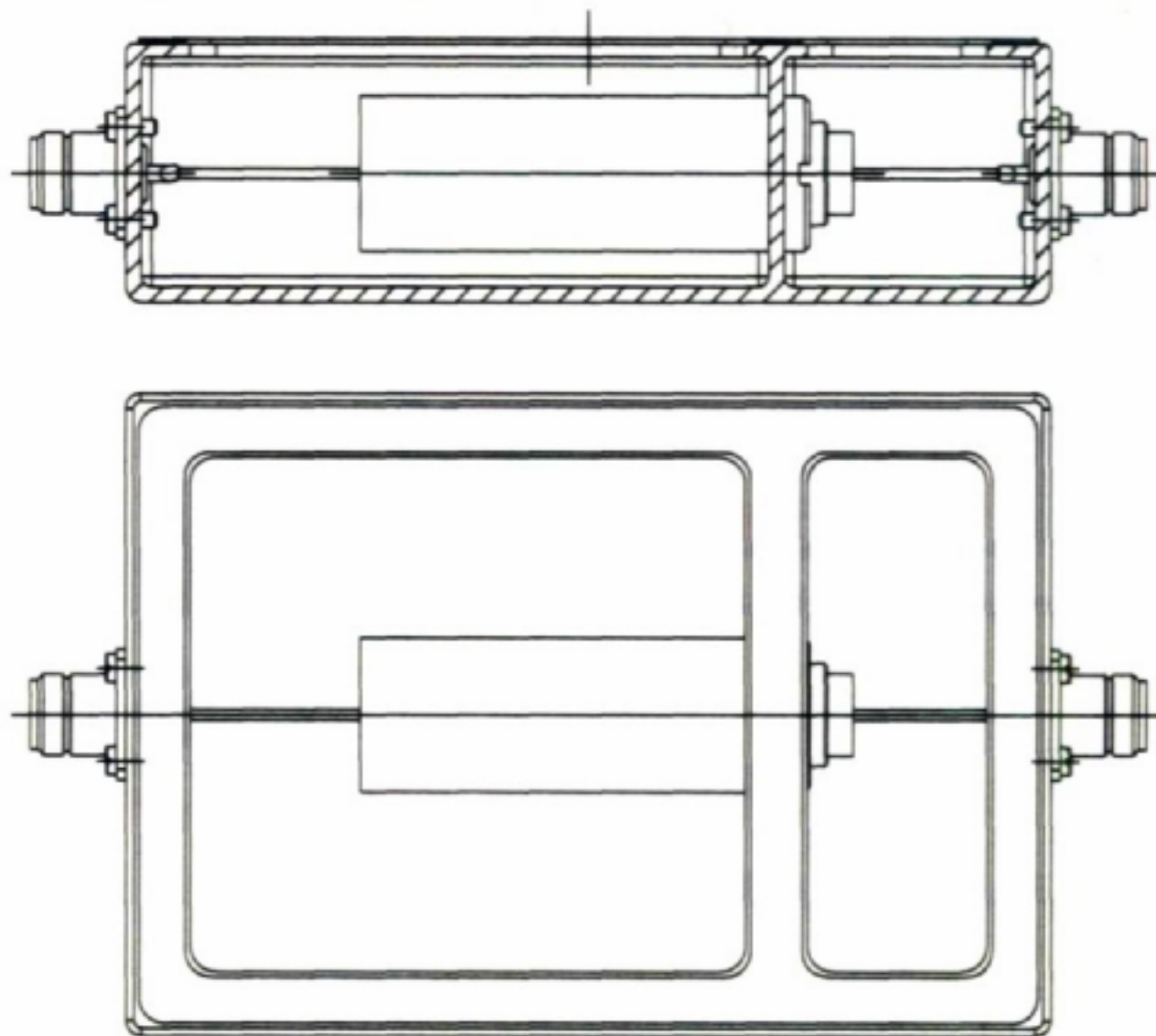


图 B.3 穿心元件测试箱的典型设计

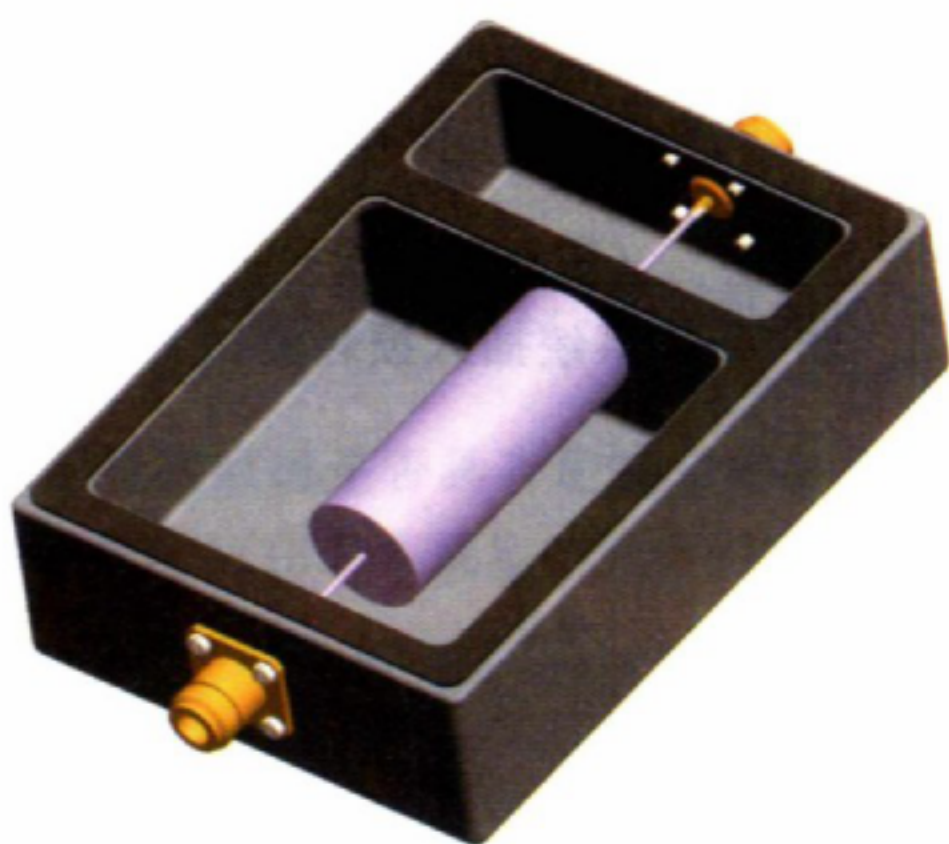


图 B.4 穿心元件典型测试箱的 3D 视图

B.3 单一元件

B.3.1 电容器

电容器的两个引线应按照制造商的要求进行安装(如安装在 PCB 上)。如果元件有连接线,应注意连接线的长度:除非另有规定,裸导线长度是 6 mm;有绝缘层的导线是 50 mm。

B.3.2 电感器

电感器的安装和连接与 B.1 中规定的滤波器的安装相似。应注意测试箱中各金属部件与电感器之间的距离要足够大,以避免磁耦合。应按照制造商的要求(例如安装在 PCB 上)来连接电感器与测试箱的各端子。连接线应直,并尽可能短。

B.3.3 用于抑制车辆点火系统干扰的干扰抑制电阻器、电缆和其他器件

安装、连接和测量操作应符合 IEC/CISPR 12:2009 中的要求。

附录 C

(资料性附录)

非 50 Ω 系统插入损耗测试方法C.1 0.1 Ω /100 Ω 系统

C.1.1 概述

0.1 Ω /100 Ω 系统适用于电源滤波器的插入损耗测量。

该方法替代 50 Ω /50 Ω (75 Ω /75 Ω) 系统,规定滤波器在 0.1 Ω /100 Ω (或 100 Ω /0.1 Ω) 系统下进行插入损耗的测量。在 1 kHz~300 kHz 的频率范围内,需要两个宽带变压器(对应信号源、接收机 50 Ω 系统为 22:1 和 1.4:1)。见图 C.1。

注:对于某些滤波器,例如高磁导率铁氧体,0.1 Ω /1 M Ω 系统提供最严酷情况下的插入损耗测量方法。

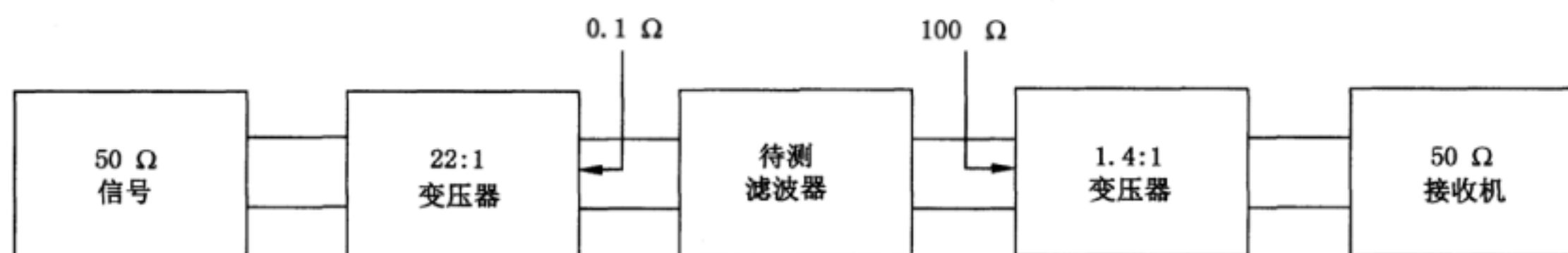


图 C.1 测试电路

C.1.2 测试原理

该测量方法目的是评定实际使用中接口阻抗未知情况下,滤波器的性能:

- a) 在规定阻带内具备良好和可合理预计的插入损耗特性;
- b) 在通带内,不产生不可接受的振铃。

该方法考虑了边界条件,用统计数据(源和负载)的实证分析获得的阻抗来表示实际电路。

由不匹配滤波器的理论分析,可能会出现以下 3 种特殊的问题:

- 1) 两种不同的机理引起的通带和过渡带振铃:
 - i) 端口谐振(滤波器与信号发生器和/或与镜像参数终端一致的负载阻抗产生的谐振)。幸运的是,在实际电路中,因为等效电路的 Q 值较低,这种谐振是高阻尼的,(共模模式引起的除外,但该谐振很容易消除)。
 - ii) 明显的振铃由滤波器固有谐振引起。仅当与滤波器特性阻抗相比一个接口阻抗很高,另一个接口阻抗很低时,会产生临界本征谐振。这时,滤波器本身的高 Q 值占主导地位,该机理可使插入增益(负的插入损耗)高达 30 dB。这种现象出现在 0.1 Ω /100 Ω (和反向)测量系统中,可通过适当的滤波器设计来消除。

注:任何有效的 0 Ω 或 $\infty\Omega$ 终端组合都会产生固有谐振。

- 2) 阻带低端部分性能不佳。一般情况下,低通滤波器,如电源滤波器,阻抗失配的影响在阻带低端是最严重的。0.1 Ω /100 Ω (或 100 Ω /0.1 Ω) 系统方法能够鉴别结果严重偏离于 50 Ω 系统测量得到的预期性能的滤波器。因此,不得不提到多部分组成的滤波器,它们不仅在严重失配情况下比简单滤波器好,而且更小更经济(详见参考文献[7])。
- 3) 测量方法本身引起的问题。测试均采用图 C.1 所示电路。

此外,用可互换或可逆的变压器进行测试。变压器是宽频(铁氧体)的覆盖 1 kHz~300 kHz 的频率范围。在 75 Ω 系统中,变压器变比是 27 : 1 和 1.15 : 1。

应注意:当使用具备足够灵敏度的设备时,无需使用变压器,仅使用提供所需电阻端接的测试电路即可。

高品质滤波器在 1 kHz~100 kHz 的频率范围内,任何频率点上的最大插入增益应小于 10 dB。在整个阻带频率范围内,插入损耗偏离规定值不应超过 10 dB。

附录 D

(资料性附录)

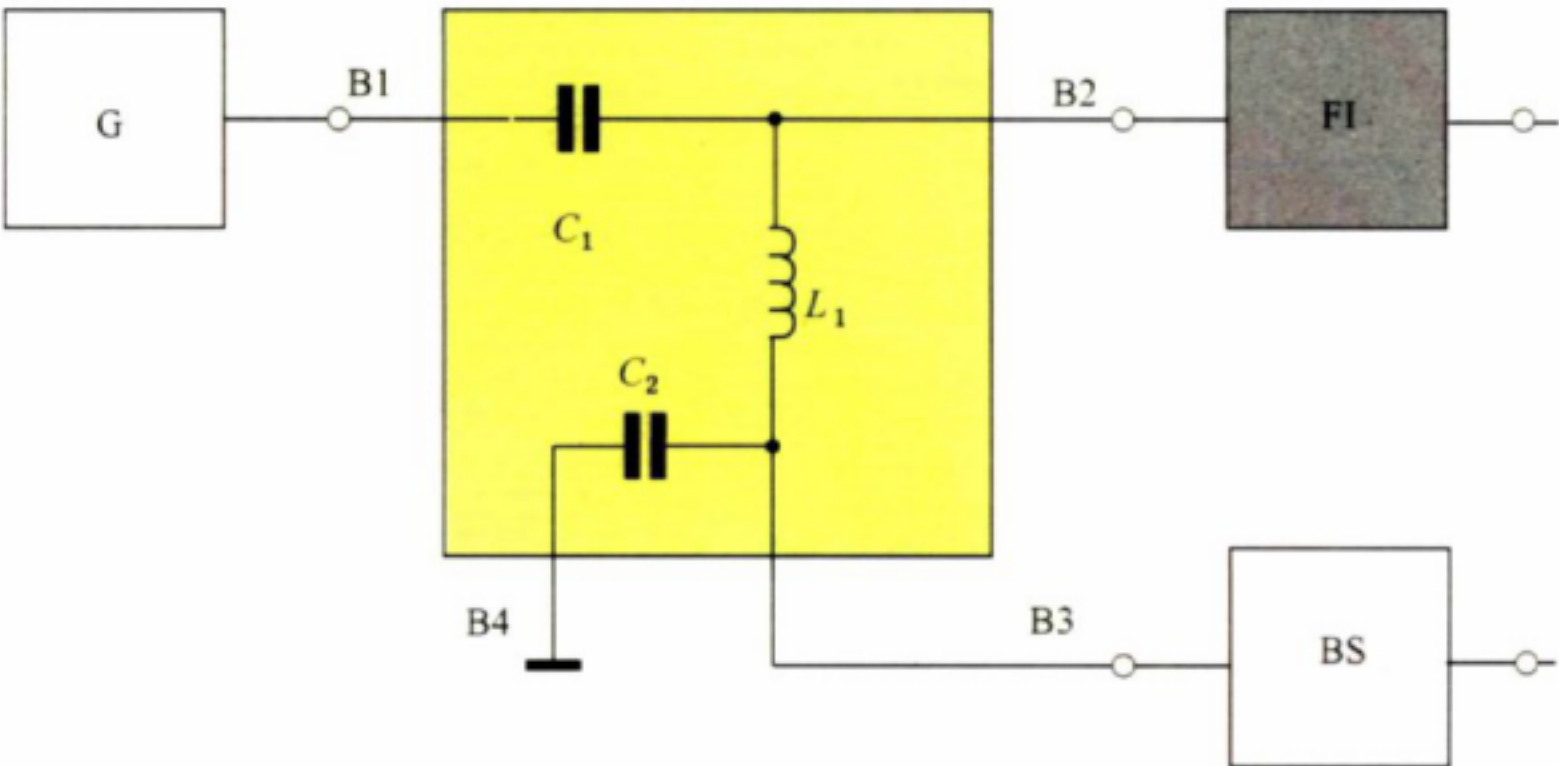
用于插入损耗测量的缓冲网络

D.1 概述

缓冲网络用于偏置情况下的测量,形成偏置电流源与测量布置(信号源、接收机和被测器件)之间的去耦网络。

D.2 典型的缓冲网络电路

图 D.1 是典型的缓冲网络的电路图。



说明:

- G —— 信号发生器;
- FI —— EMC 滤波器(DUT);
- BS —— 偏置电流源;
- L_1 —— 去耦电感;
- C_1 —— 射频信号耦合电容;
- C_2 —— 偏置电流去耦电容;
- B1 —— 信号发生器或接收机连接端口;
- B2 —— DUT 连接端口;
- B3 —— 偏置电流源连接端口;
- B4 —— 参考电位连接端口。

图 D.1 偏置测试缓冲网络连接示例

电容 C_1 应将射频信号耦合至测量电路,并应在射频信号源和偏置电路之间形成去耦。 C_1 在相关频率范围内相对于射频信号源阻抗和被测器件阻抗应具有低阻抗,必须考虑,从端口 B2 看,这个阻抗要足够低。电感 L_1 应在偏置电流源和射频测量电路之间形成去耦。 L_1 在相关测量频率范围内相对于射频信号源阻抗和被测器件阻抗应具有高阻抗,必须考虑,从端口 B2 看,这个阻抗要足够高。在最大偏置电流施加于被测器件时,电感不应饱和。

C_2 与 L_1 用于防止射频信号对偏置电流源产生影响。相对于偏置电流源射频阻抗, C_2 在测量频率范围内为低射频阻抗特性。如可能,应选用穿心电容。

C_1 、 C_2 和 L_1 元器件的自谐振频率应在测量频率范围外,并应按照射频布局原则进行连接。

在测量有偏置 DUT 的衰减前,先通过一个不加电流(无偏置 DUT)的预测试来确定在所测频段内,测量结果不会因缓冲网络和偏置电流源的存在而受到影响。

D.3 缓冲网络示例(0.1 MHz ~ 30 MHz)

表 D.1 为 0.1 MHz~30 MHz 频段内推荐的缓冲网络。

表 D.1 缓冲网络电路器件规格

| 元件 | 类型 | 数值 |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| C_1 | 低电感电容器 | 100 nF |
| C_2 | 穿心电容或低电感电容器 | 1 μ F |
| L | 扼流圈 | 10 mH |
| 注: 0.1 MHz~30 MHz 频段内的缓冲网络。 | | |

L 和 C 的值仅作为参考值。对于一些特定的 DUT 或抑制元件的测量有可能会涉及电路相关参数的变化和调整(例如在测量极高插入损耗滤波器时),以防止对测量结果产生任何影响。

附录 E
(资料性附录)
关于插入损耗测量的一般性讨论

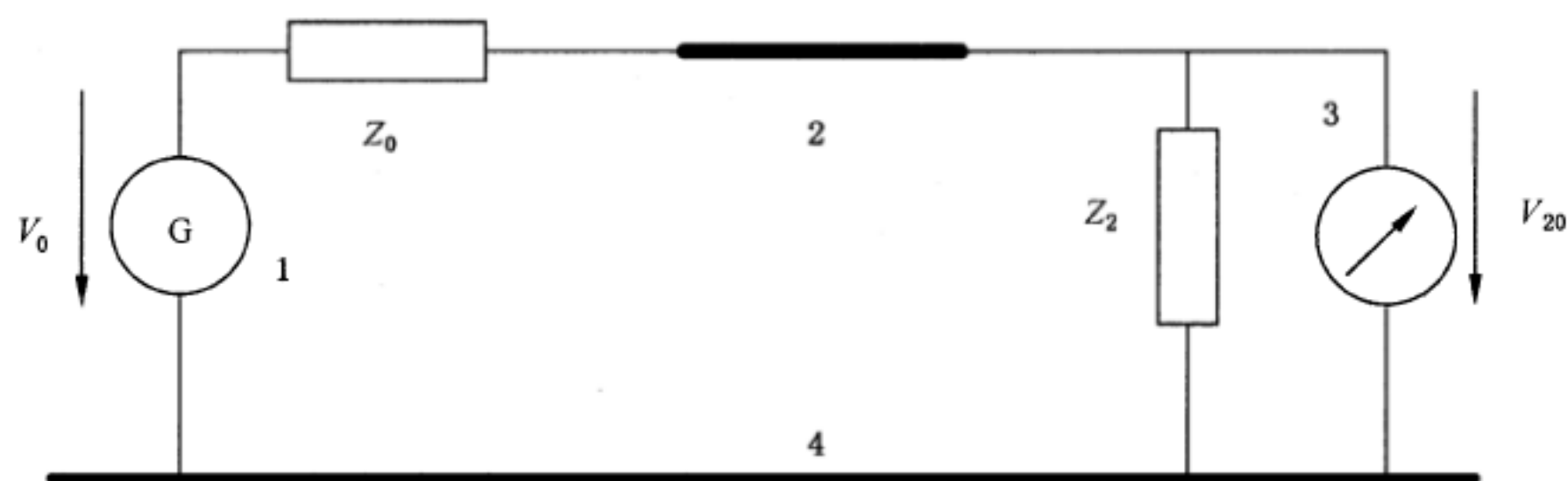
E.1 插入损耗测量原理

E.1.1 概述

插入损耗测量是一种确定滤波器或抑制电路对射频骚扰抑制能力的标准化测量方法。

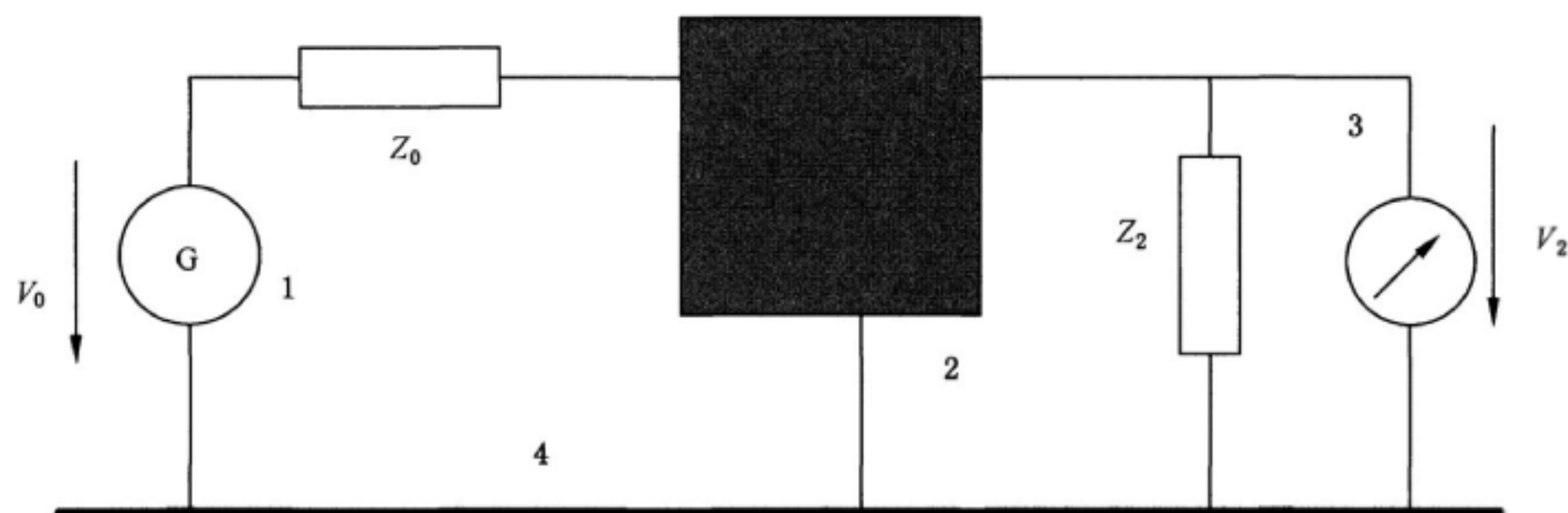
首先进行参考测量：将信号发生器与测量接收机直通连接，从跨接在测量接收机两端的终端阻抗 Z_2 上测得电压值 V_{20} （见图 E.1）。

然后将 DUT 接入到测试电路（见图 E.2）中，再次对测量接收机终端阻抗 Z_2 上的电压进行测量，得到电压值 V_2 。



- 说明：
- 1 —— 信号发生器；
 - 2 —— 短路连接；
 - 3 —— 测量接收机；
 - 4 —— 参考地（金属接地平板）；
 - V_0 —— 信号发生器开路电压；
 - V_{20} —— 输出电压；
 - Z_0 —— 信号发生器输出阻抗；
 - Z_2 —— 接收机输入阻抗。

图 E.1 插入损耗测量电路图—参考测量（用短路连接代替 DUT）



说明:

- 1 ——信号发生器;
- 2 ——待测器件(DUT);
- 3 ——测量接收机;
- 4 ——参考地(金属接地平板);
- V_0 ——信号发生器开路电压;
- V_2 ——输出电压;
- Z_0 ——信号发生器输出阻抗;
- Z_2 ——接收机输入阻抗。

图 E.2 插入损耗测量电路图—测量 DUT

E.1.2 定义

插入损耗可由式(E.1)计算得到:

$$a_e = 20\lg(V_{20}/V_2) = 20\lg(V_0/2V_2) \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

当输入阻抗与输出阻抗相等且 $Z_0 = Z_2 = 50 \Omega$ 时,即 $V_{20} = V_0/2$ 。

式中:

- a_e ——插入损耗,单位为分贝(dB);
- V_0 ——信号发生器开路电压,单位为伏(V);
- V_{20} ——参考测量时输出电压,单位为伏(V);
- V_2 ——接入 DUT 时输出电压,单位为伏(V);
- Z_0 ——信号发生器输出阻抗,单位为欧姆(Ω);
- Z_2 ——接收机输入阻抗,单位为欧姆(Ω)。

E.2 插入损耗测量

E.2.1 原先的测试方法

按上一版标准,插入损耗测量是这样来实现的:首先按图 E.1 所示的测试电路测得参考电压,然后按图 E.2 所示将被测滤波器接入测试电路进行测量,可以采用全频段扫描方式也可以采用有选择的点频方式。两种测量方式都需要按式(E.1)将测量结果转换成插入损耗(值)。

E.2.2 简化的测量方法

通常采用现代的高精度信号发生器和接收机,只需在测量电路接入被测滤波器的情况下进行一次测量,即可获得终端阻抗 Z_2 上的电压值 V_2 。如果通过评估能确定:信号发生器输出信号的电压值 V_0 恒定,且在低阻抗特性的被测滤波器(例如,滤波器中有高容量的电容存在等)接入后其电压值仍能

保持不变,则插入损耗测量中的第一步参考测量可省略。

如果信号发生器输出电平足够稳定,即参考电压值总是 $V_0/2$,则可将其作为常量代入式(E.1)。这样即可实现全自动测量,既省时又经济,这也是工厂预测试采用的方法。

附录 F
(资料性附录)
阻抗测量布置

F.1 概述

本附录给出了使用阻抗测量设备对滤波器进行阻抗测量的一个示例。

F.2 测量布置示例

F.2.1 带引线的二端器件

测量采用四端阻抗测量设备。图 F.1 和图 F.2 分别示出了适用于带引线器件的阻抗测量布置和四端测试夹具示意图。该装置适用的最高测量频率可达 100 MHz 左右。

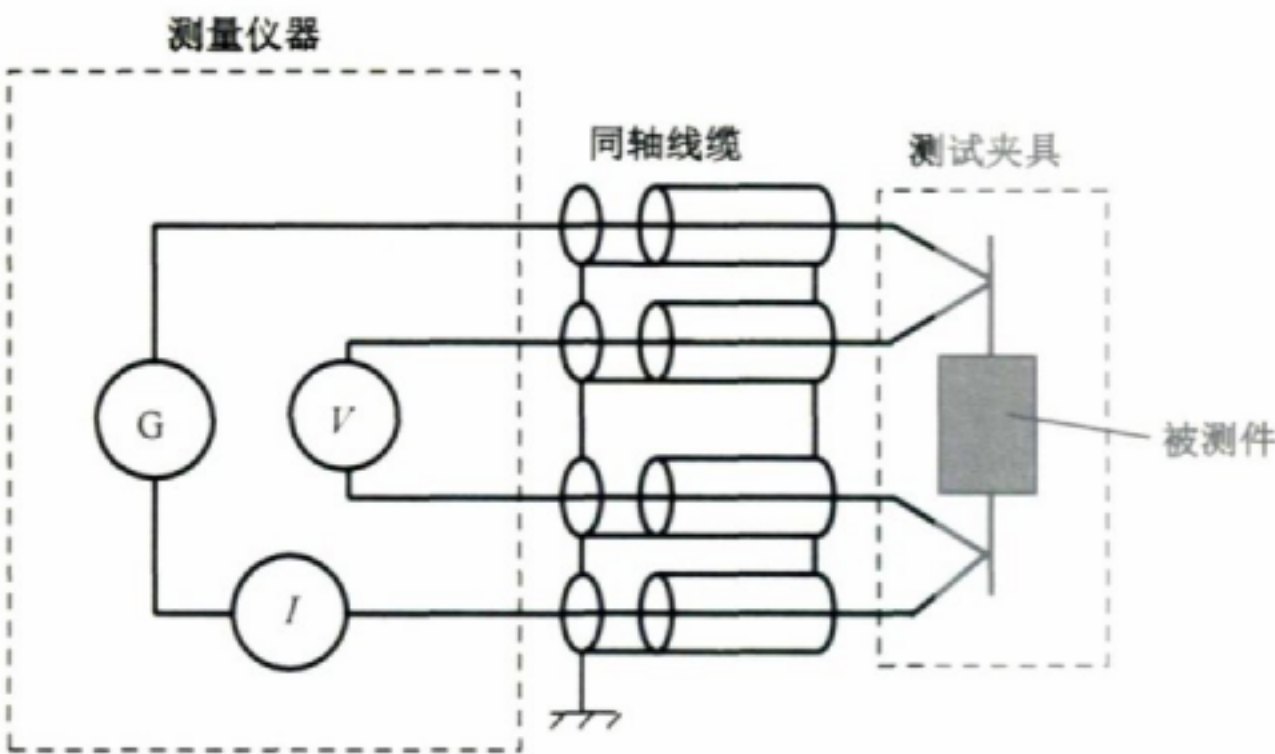
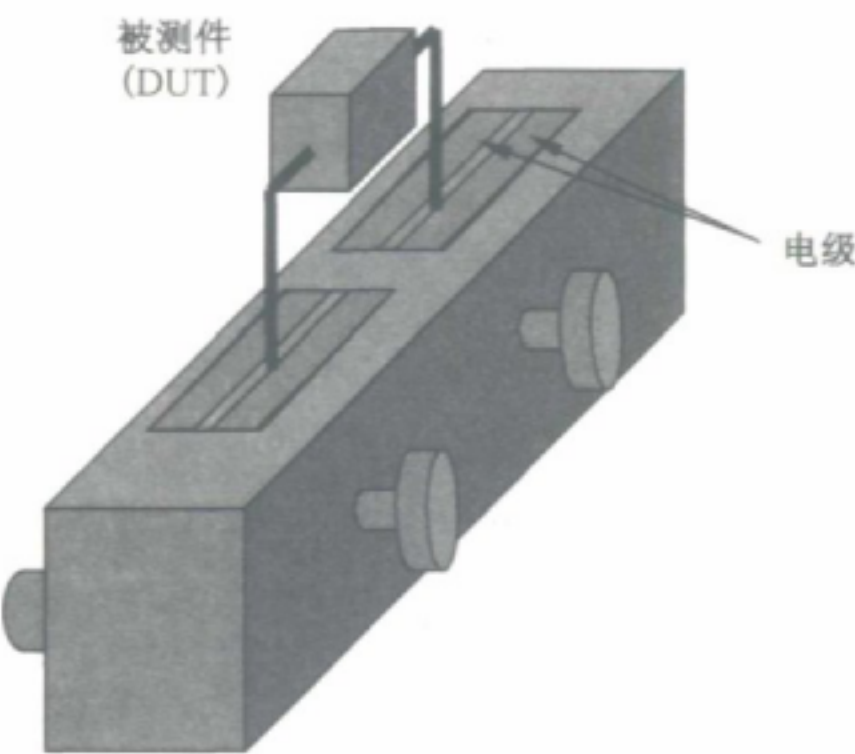


图 F.1 带引线器件(DUT)的阻抗测量布置示意图



注：适用于体积较大的带引线 DUT、最高的测量频率可达至 100 MHz 左右。DUT 被固定于电极板上，其间距可通过螺母调节。电极与后面板上的连接器通过导线连接。

图 F.2 用于带引线滤波器件(DUT)阻抗测量的四端测试夹具

F.2.2 表面贴装器件(SMD)

F.2.2.1 测量布置

图 F.3 示出了适用于 SMD 阻抗测量的一种测量仪器。

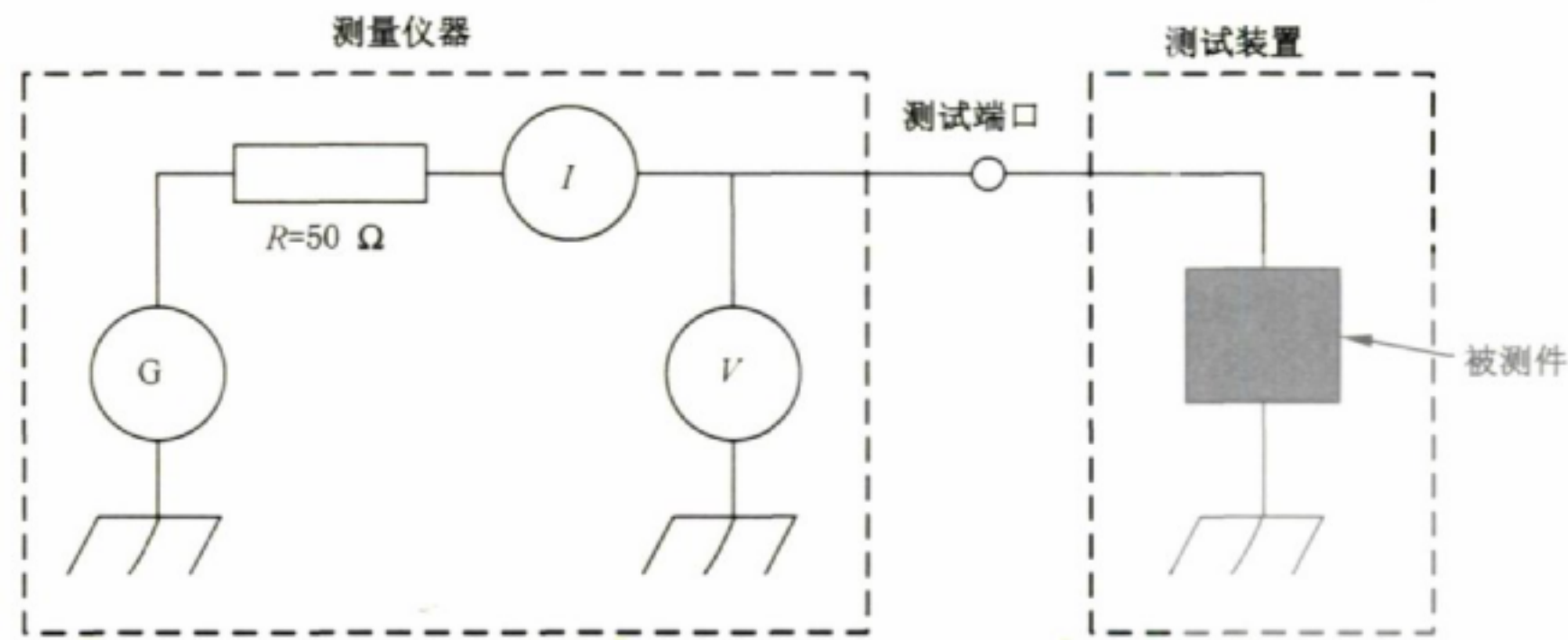


图 F.3 SMD 阻抗测量布置示意图

F.2.2.2 钳形测试夹具的结构

图 F.4 示出了适用于二端滤波器件阻抗测量的一种钳形测试夹具。该结构适用的最高测量频率可达 2 GHz 左右。

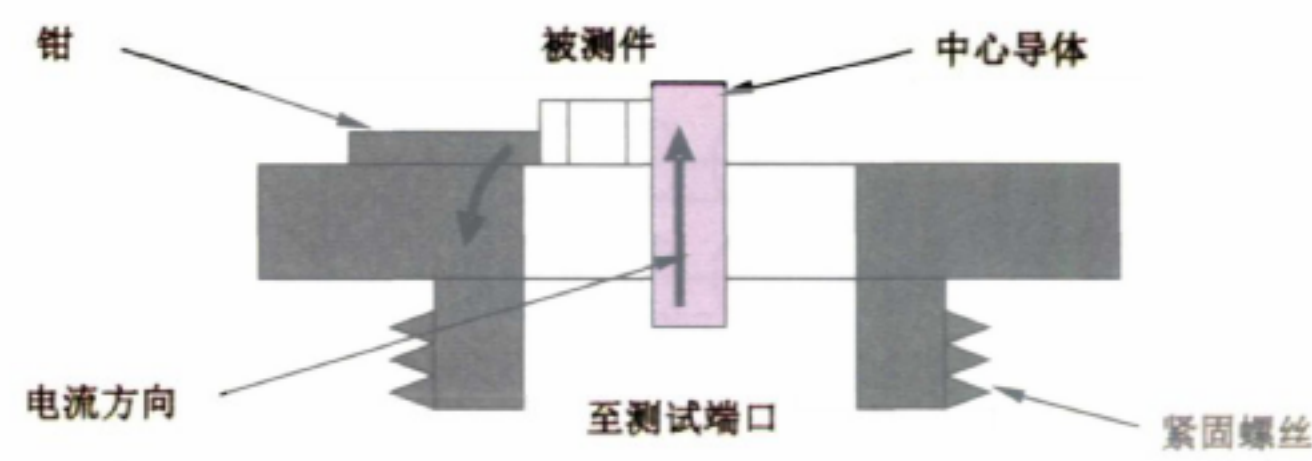


图 F.4 钳形测试夹具构造示意图

F.2.2.3 同轴测试夹具

图 F.5 给出了适用于二端滤波器阻抗测量的同轴测试装置(夹具)。该结构适用的最高测量频率可达 3 GHz 左右。

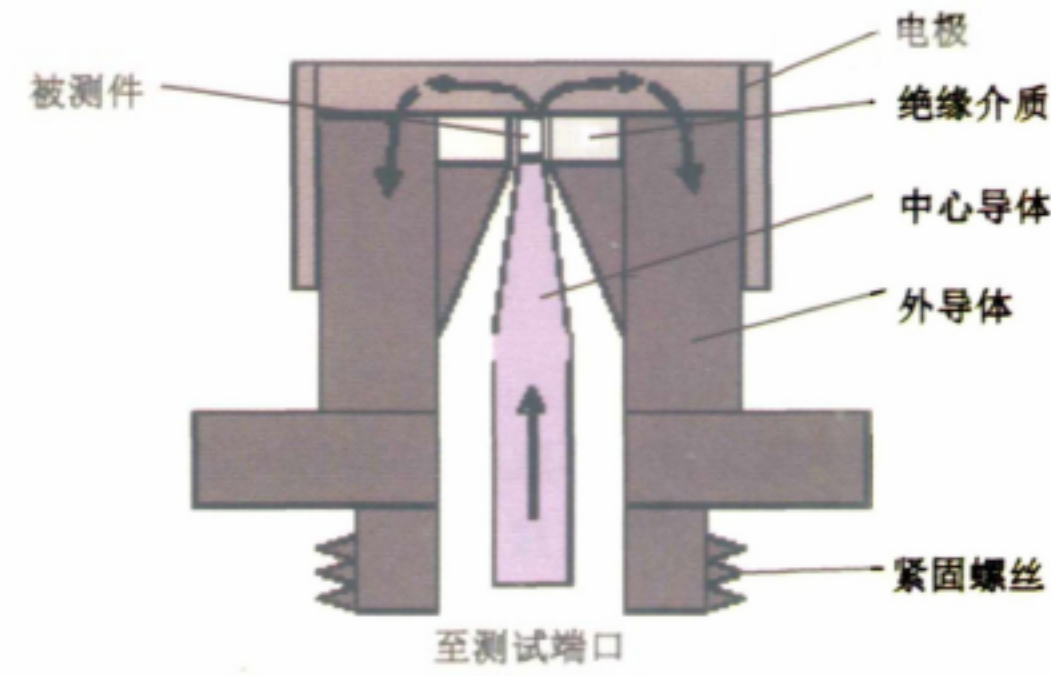


图 F.5 适用于 SMD 的同轴测试夹具

F.2.2.4 按压型测试夹具

图 F.6 示出适用于二端滤波器阻抗测量的按压型测试夹具。该结构适用的最高测量频率可达 3 GHz 左右。

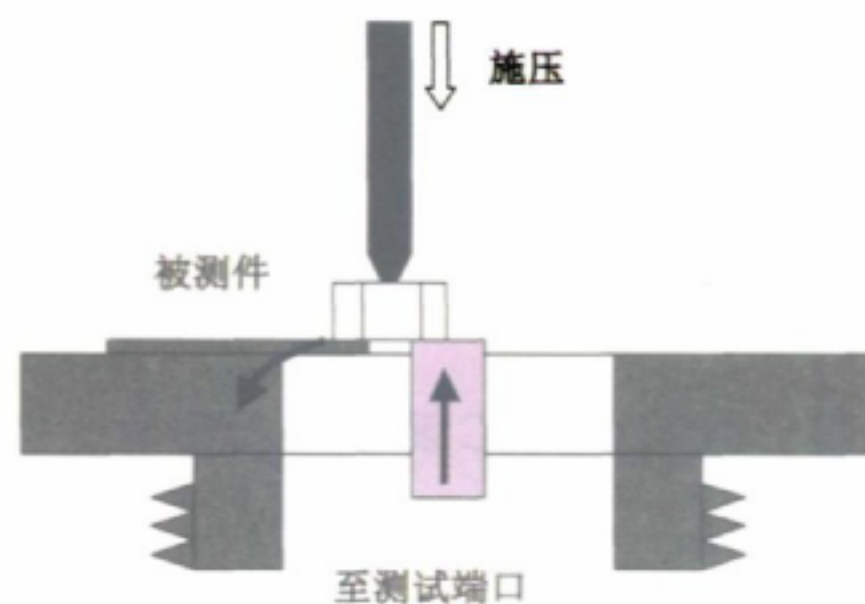


图 F.6 适用于 SMD 的按压型测试夹具

F.2.3 共模扼流圈(CMCC)

F.2.3.1 定义

对于四端 CMCC 来说,按图 F.7 a)和 b)所示连接后测得的阻抗分别称之为共模阻抗(Z_c)和差模阻抗(Z_d)。

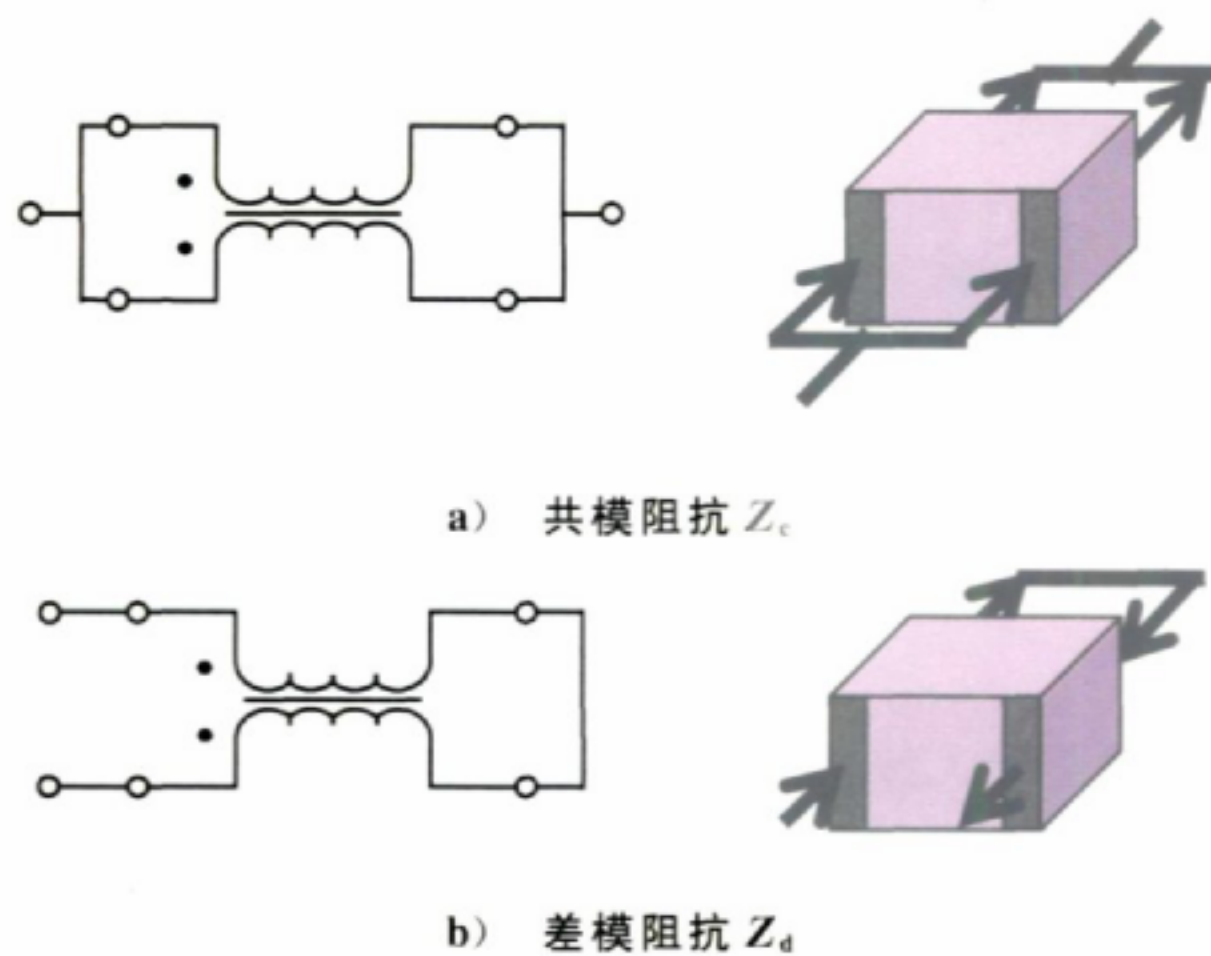


图 F.7 CMCC 阻抗测量连接示意图

F.2.3.2 测量仪器和测试夹具

阻抗测量设备用于 CMCC 每一模式下二个连接端子之间的阻抗测量。图 F.8 示出了适用于 SMD 测试的一种测量布置。该结构适用的最高测量频率可达 3 GHz 左右。

如果需要测量带引线的 DUT,可参考图 F.2 选择类似的测试夹具。

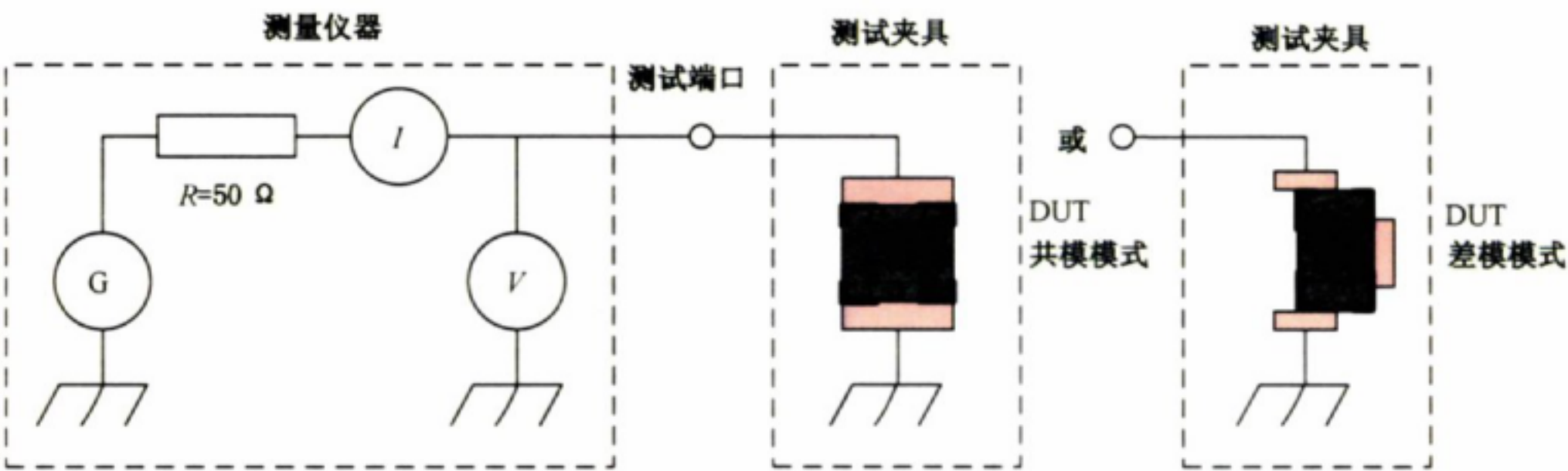
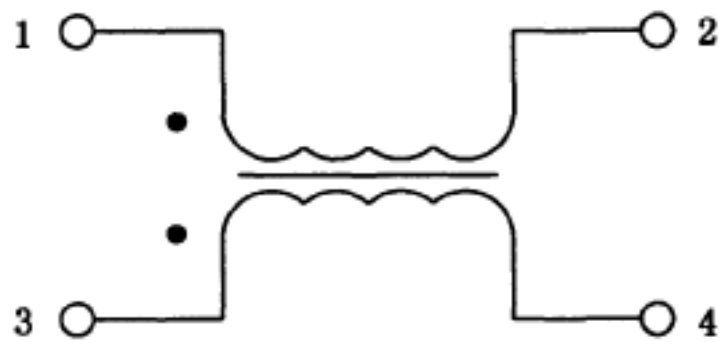


图 F.8 SMD CMCC 测试夹具和测量布置

附录 G
(资料性附录)
CMCC 的 S 参数测量方法

G.1 概述

图 G.1 为共模扼流圈(CMCC)电路原理图。共模和差模特性可以直接测量(见 G.2 和 G.3),也可用四端口 S 参数(见 G.4)来实现间接测量。



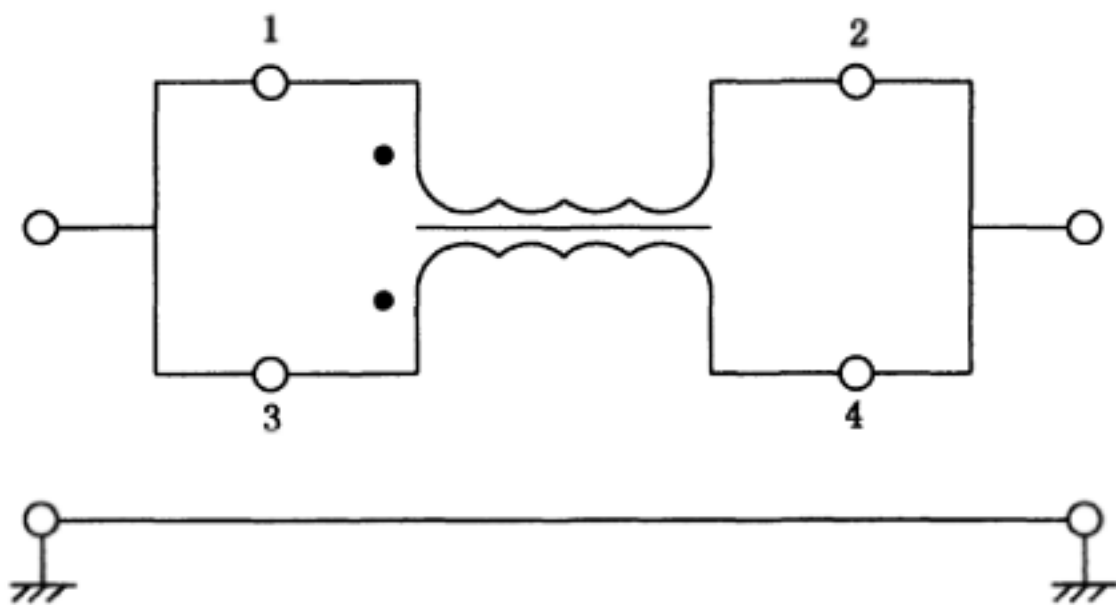
说明：
1、3——输入端口；
2、4——输出端口。

图 G.1 共模扼流圈电路原理图

G.2 共模特性参数的测量布置

G.2.1 概述

将 CMCC 输入与输出端分别连接,连接以形成二端口器件,如图 G.2 所示。



说明：
1、3——输入端口；
2、4——输出端口。

图 G.2 CMCC 共模特性参数测量布置

G.2.2 SMD 测试夹具

图 G.3 为 SMD 测试夹具的一个示例。

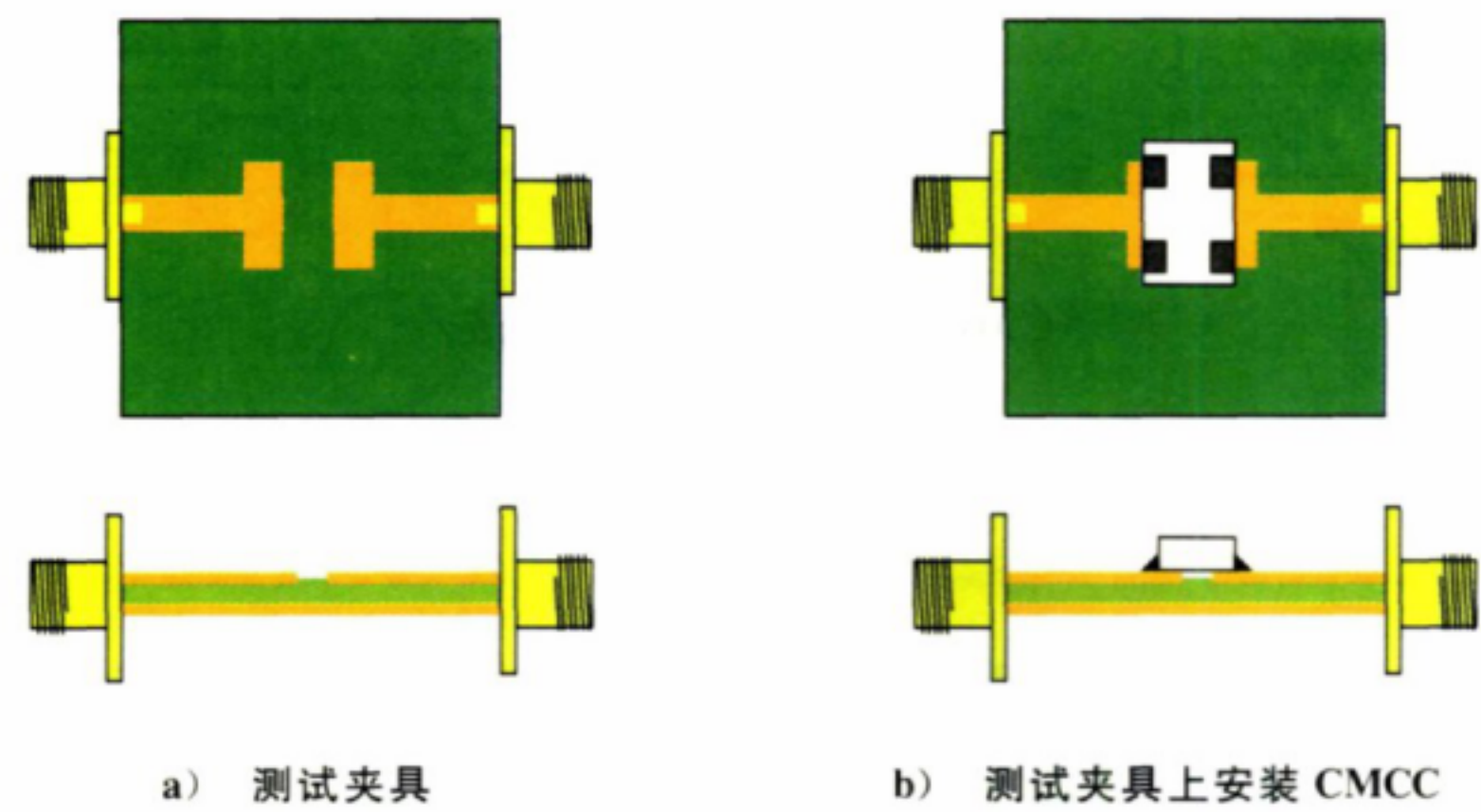


图 G.3 用于 SMD 的测试夹具示例示意图

G.2.3 带引线器件用的测试夹具

图 G.4 为带引线测试夹具的一个示例。

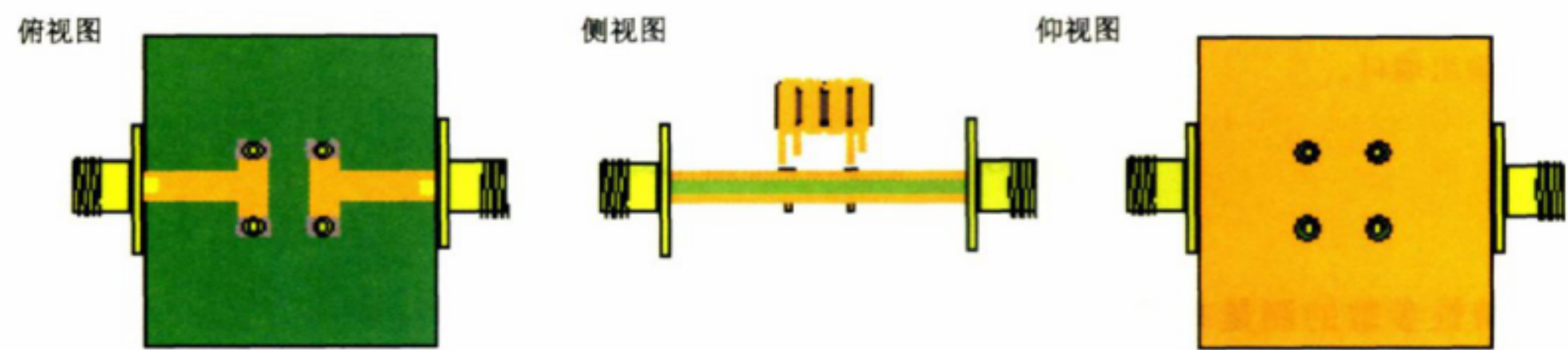
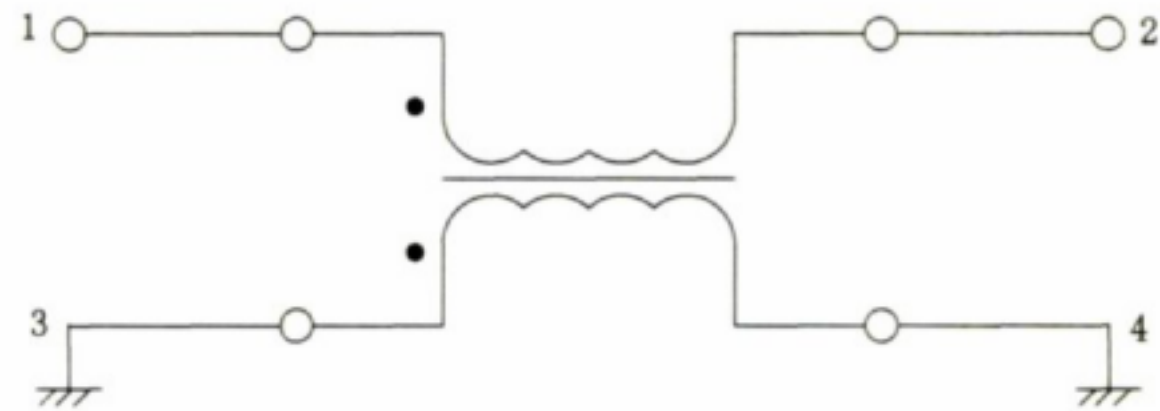


图 G.4 带引线器件用的测试夹具示例示意图

G.3 差模模式特性参数的测量布置

G.3.1 概述

CMCC 的一个输入与输出端分别接地，以形成一个二端口器件，如图 G.5 所示。

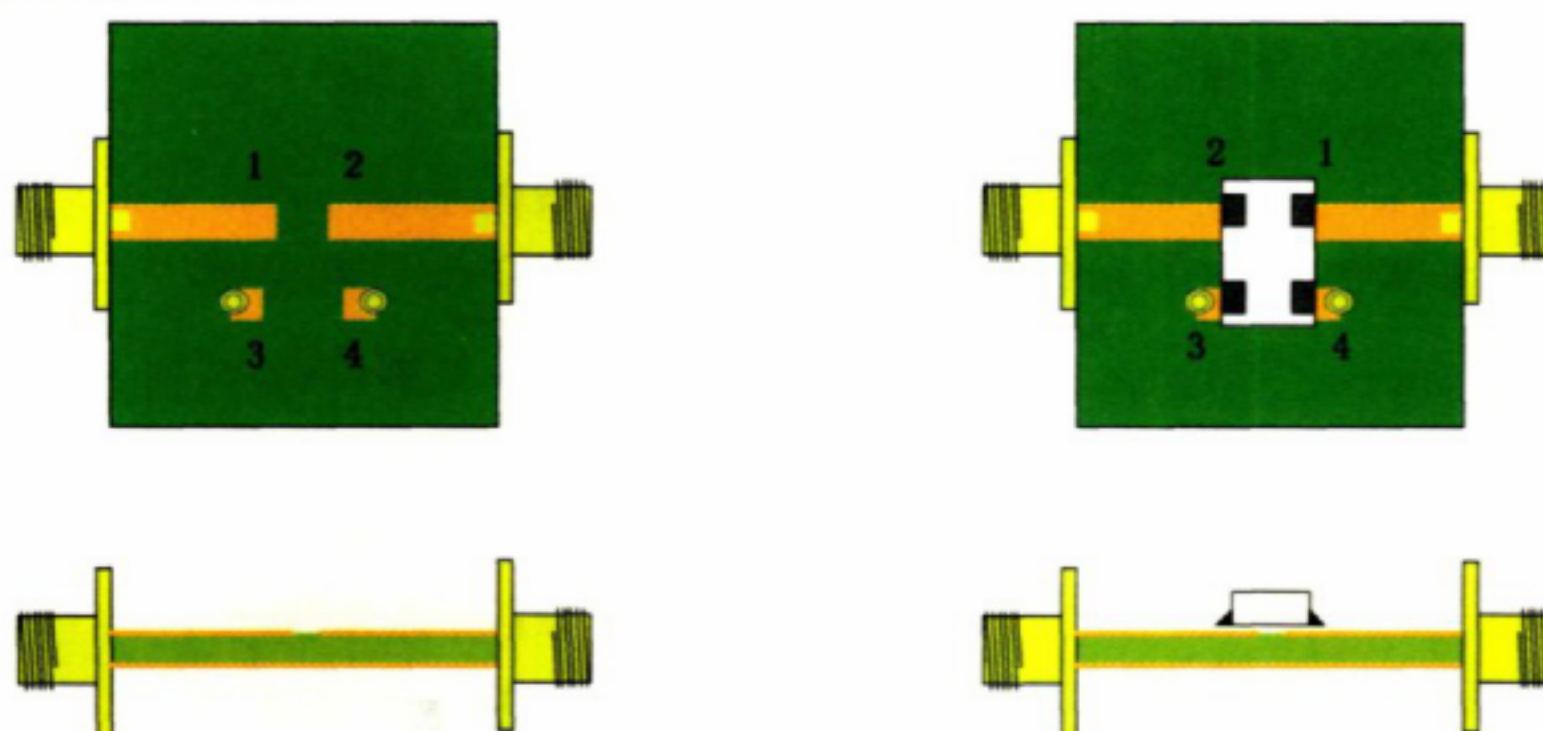


说明：
1、3——输入端口；
2、4——输出端口。

图 G.5 差模特性参数测量布置

G.3.2 SMD 测试夹具

图 G.6 是一测试夹具示例。



说明：

1、2——与测量端口中心走线相连的表贴焊盘；

3、4——与地相连的表贴焊盘。

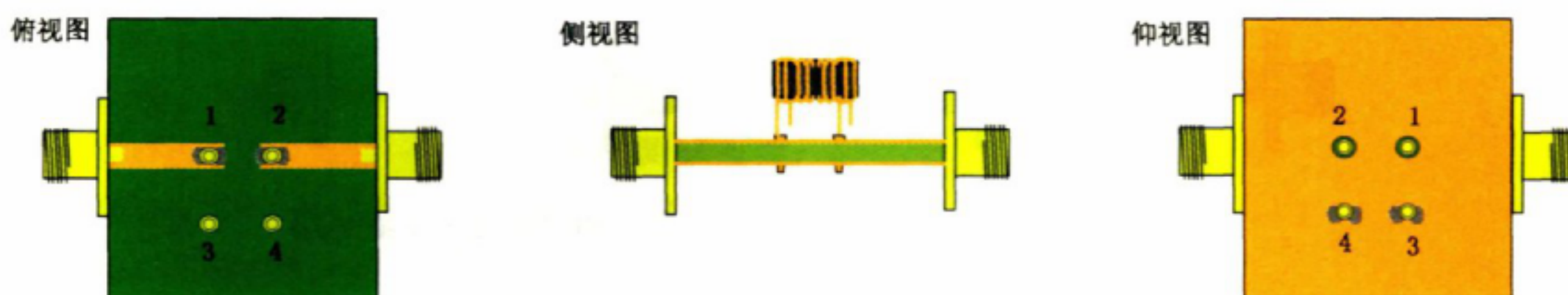
a) 测试夹具

b) 测试夹具上安装 CMCC

图 G.6 SMD 测试夹具

G.3.3 带引线器件的测试夹具

图 G.7 是一测试夹具示例。



说明:

1、2——与测量端口中心走线相连的引线插孔；

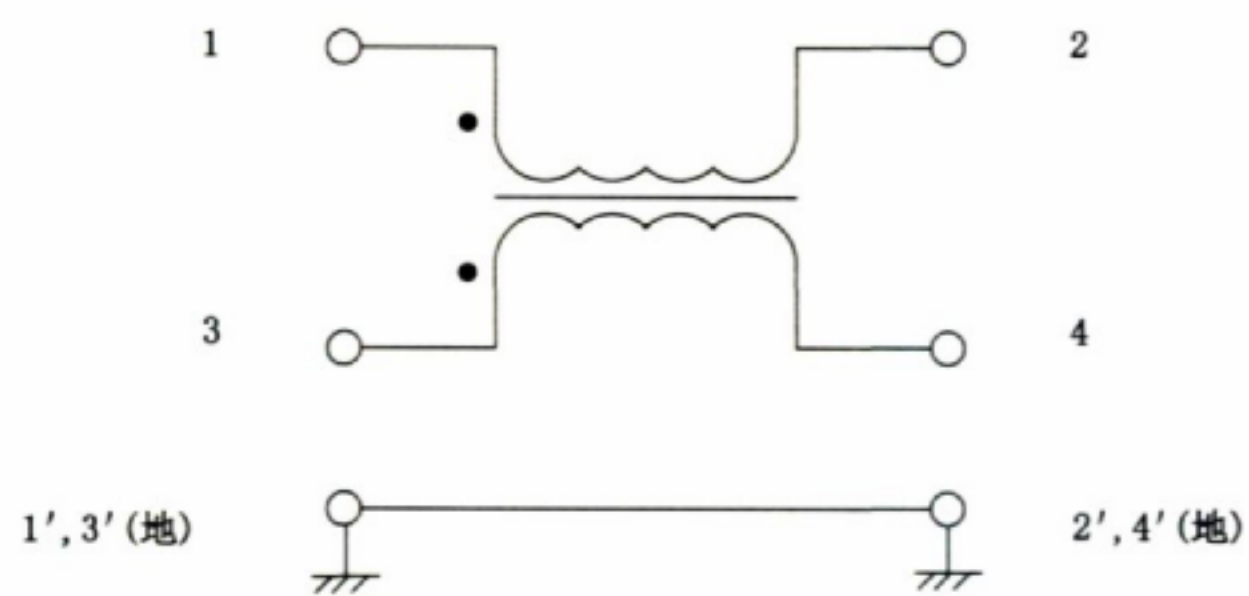
3、4——与地相连的引线插孔。

图 G.7 带引线器件的测试夹具

G.4 四端口 S 参数的测量

G.4.1 概述

由于 CMCC 有 4 个端子,其特性可以采用四端口 S 参数来进行评估,见图 G.8。



说明：
1、3——输入端口；
2、4——输出端口。

图 G.8 四端口 S 参数测量布置

G.4.2 SMD 的测试夹具

图 G.9 为一测试夹具示例。

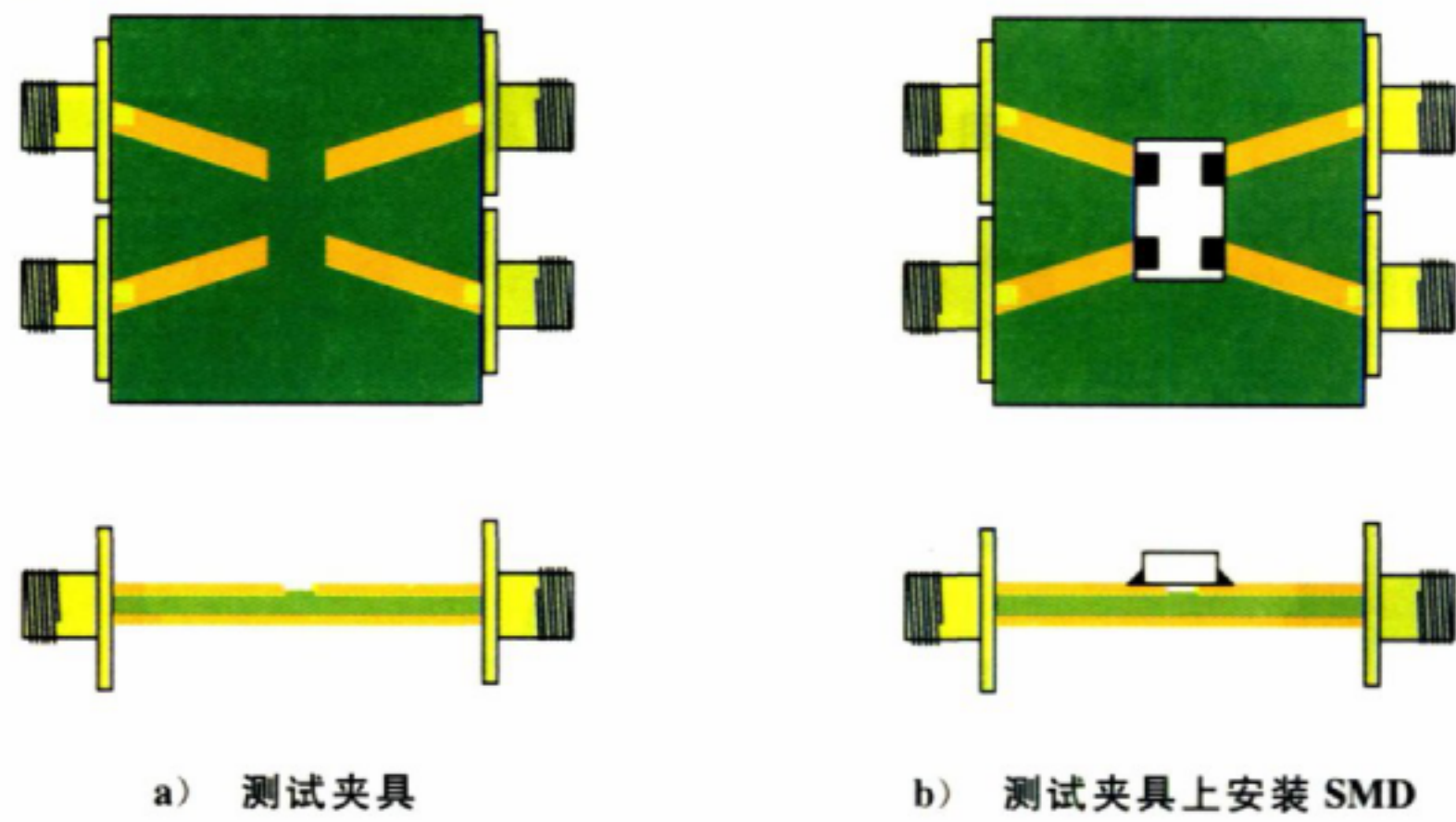


图 G.9 四端口 SMD 的 S 参数测试夹具

G.4.3 带引线器件的测试夹具

图 G.10 是一测试夹具示例。

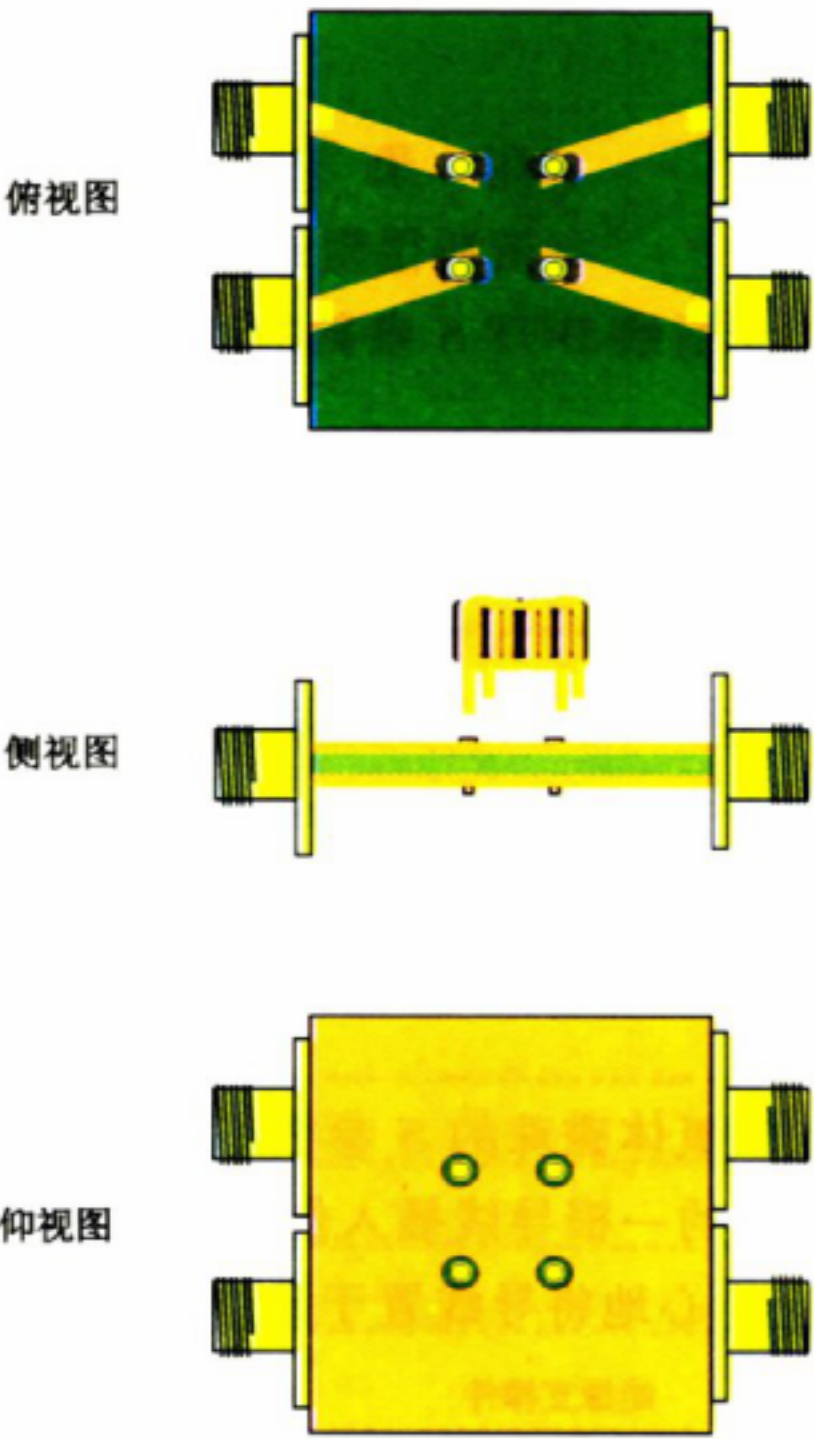


图 G.10 四端口带引线器件 S 参数的测试夹具

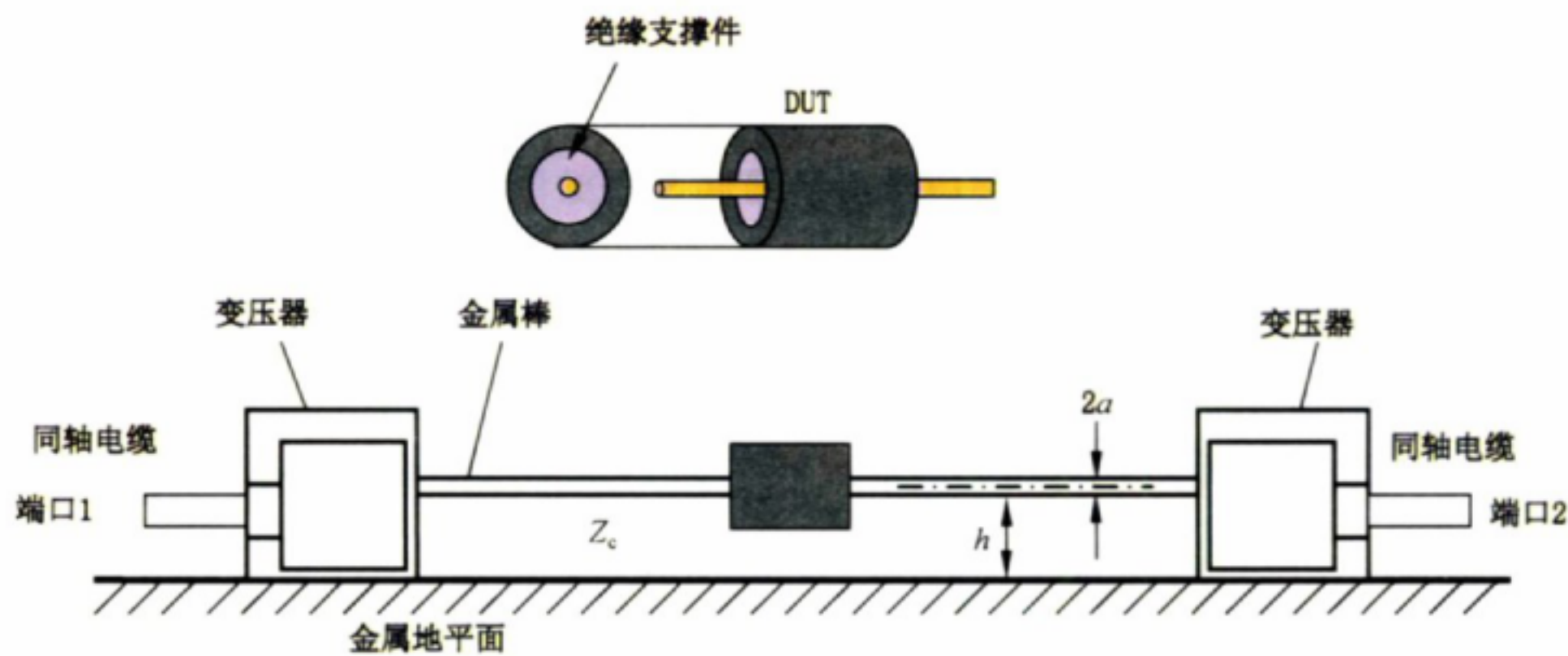
附 录 H
(资料性附录)
无引线 DUT S 参数的测量布置

H.1 概述

本附录中介绍的测量方法适用于无引线 DUT。如用于抑制电缆中共模电流的铁氧体磁芯、铁氧体磁珠。

H.2 测量方法

无引线 DUT 诸如铁氧体磁芯、铁氧体磁珠的 S 参数,通常借助带有测试夹具的矢量网络分析仪来测量(如图 H.1 所示)。将接地平板上的一根导线插入使用绝缘支撑件的 DUT 的孔中。垫片应采用低介电常数材料,如泡沫聚苯乙烯。应小心地将导线置于孔中央,且与地平面平行放置。



注：变压器的使用是为了实现阻抗变换。

图 H.1 无引线 DUT S 参数的测量示意图

传输线的特性抗阻 Z_c 定义如式(H.1)所示：

$$Z_c = 60 \cosh^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) \quad \dots\dots\dots (H.1)$$

式中：

- Z_c ——特性抗阻,单位为欧姆(Ω)；
- h ——金属棒的高度,单位为毫米(mm)；
- a ——金属棒的半径,单位为毫米(mm)。

推荐 $Z_c = 270 \Omega$ 。见参考文献[8]及 CISPR 16-3:2010 中 4.9.2.1。

H.3 校准

为消除变压器对参数的影响,应进行校准。在此夹具中,应使用 TRL 校准^[6]。如图 H.2 所示,在 TRL 校准中,需要两支不同长度的金属棒以进行直通测量和接线测量。

注：为核对测试夹具测量插入损耗的极限值，变压器之间的参数 S_{21} 应在图 H.2 中的反射位置处测量。

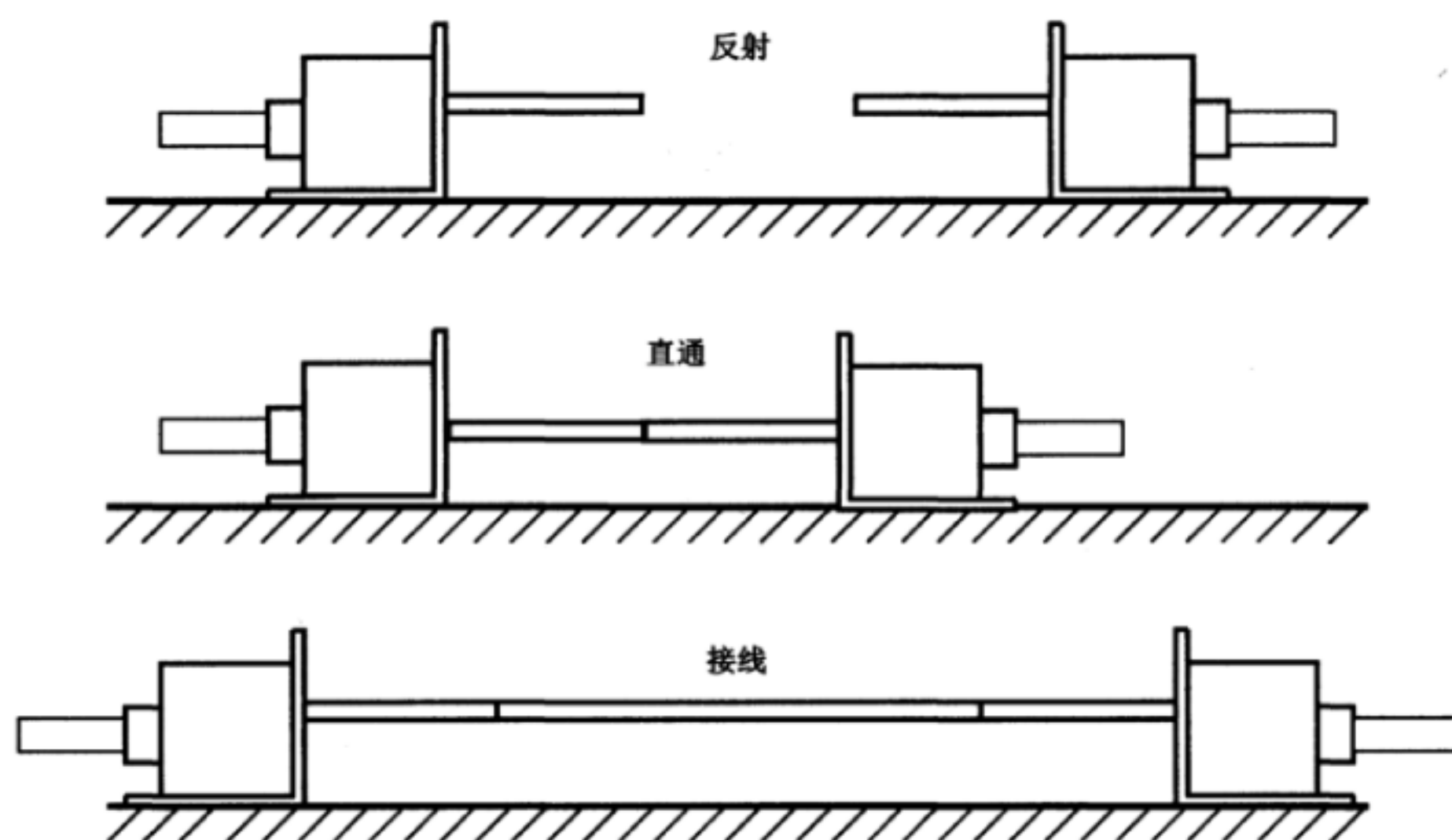


图 H.2 TRL 校准程度

参 考 文 献

- [1] CISPR 12:2007 Vehicles, boats and internal combustion engines—Radio disturbance characteristics—Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers
- [2] CISPR 16-3:2010 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 3: CISPR technical reports
- [3] CISPR/TR 16-4-1 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling—Uncertainties in standardized EMC tests
- [4] ISO/IEC Guide 98-3 Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [5] BOCKELMAN, D.E. and EISENSTADT, W.R., Combined Differential and Common—Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, July 1995, vol.43, No.7, p.1530-1539.
- [6] ENGEN, G. F. and HOER, C. A. Thru-Reflect-Line: An Improved Techniques for Calibrating the Dual Six-Port Automatic Network Analyzer, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, December 1979, vol.MTT-27, No.12, p.987-993.
- [7] SCHLICKE, H.M., Assuredly Effective Filters, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, August 1976, vol.EMC-18, No.3, p.106-110.
- [8] URABE, J., FUJII, K. et al., A method for measuring the characteristics of an EMI suppression ferrite core, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, November 2006, vol.48, No.4, p.774-780.
-



GB/T 7343-2017

版权专有 侵权必究

*

书号:155066 • 1-55868

定价: 63.00 元