



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31723.404—XXXX/IEC 62153-4-4:2015

## 金属通信电缆试验方法 第4-4部分：电磁兼容 3GHz 及以上频率屏蔽衰减 as 试验方法 三同轴法

Metallic communication cable test methods—Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC)—Test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz—Triaxial method

(IEC 62153-4-4:2015, IDT)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号及理论背景 .....	1
4.1 电气符号 .....	1
4.2 理论背景 .....	2
4.3 屏蔽衰减 .....	2
4.4 耦合长度的影响以及屏蔽衰减和表面转移阻抗 $Z_T$ 的关系 .....	2
5 测量方法原理 .....	4
6 测量 .....	5
6.1 设备 .....	5
6.2 被试电缆 .....	6
6.3 程序 .....	6
6.4 结果的表示 .....	7
7 要求 .....	7
附录 A (规范性) 内回路阻抗的测量 .....	8
附录 B (资料性) 自制阻抗匹配适配器的示例 .....	9
附录 C (资料性) 连接点的反射损失 .....	10
参考文献 .....	11
图 1 单层编织电缆 $U_2/U_1$ 与 $\log(f)$ 的关系 .....	3
图 2 单层编织电缆 $U_2/U_1$ 与线性标度 $(f)$ 的关系以及屏蔽衰减 $a_s$ 与线性标度 $(f)$ 的关系 .....	4
图 3 实测单层编织电缆最大包络曲线形成的屏蔽衰减 $a_s$ 与实测耦合电压比 $U_2/U_1$ 的关系 .....	4
图 4 三同轴测量装置 .....	5
图 5 接到网络分析仪的三同轴测量装置 .....	5
图 6 (对称和多导体电缆) 试样制备 .....	6
图 B.1 对数频率标度下, $50\ \Omega$ 至 $5\ \Omega$ 阻抗匹配适配器的衰减和回波损耗 .....	9
图 B.2 线性频率标度下, $50\ \Omega$ 至 $5\ \Omega$ 阻抗匹配适配器的衰减和回波损耗 .....	9
图 C.1 带负载发生器的等效电路 .....	10

# 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本文件是GB/T 31723《金属通信电缆试验方法》的第4-4部分。GB/T 31723已经发布了以下部分：

- 第4-5部分：电磁兼容 耦合或屏蔽衰减 吸收钳法；
- 第4-6部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法；
- 第4-11部分：电磁兼容 跳线、同轴电缆组件、连接器电缆的耦合衰减或屏蔽衰减 吸收钳法；
- 第4-12部分：电磁兼容 连接硬件的耦合衰减或屏蔽衰减 吸收钳法；
- 第4-13部分：电磁兼容 链路和信道(实验室条件)的耦合衰减 吸收钳法；
- 第4-14部分：电磁兼容 电缆组件(现场条件)的耦合衰减 吸收钳法。

本文件等同采用IEC 62153-4-4:2015《金属通信电缆试验方法 第4-4部分：电磁兼容(EMC) 3GHz及其以上频率屏蔽衰减as试验方法 三同轴法》。

文本件做了下列编辑性改动：

- 增加了“术语与定义”一章；
- 更正了公式(8)和公式(9)中的符号下标格式，将“ $P_{2\max}$ ”更正为“ $P_{2,\max}$ ”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国电子设备用高频电缆及连接器标准化技术委员会(SAC/TC190)归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、上海电缆研究所有限公司。

本标准主要起草人：XXX。

## 引 言

为规范金属通信电缆、跳线、同轴电缆组件的电磁兼容测量，以及为金属通信电缆、跳线、同轴电缆组件的制造商和检测机构提供不同的电磁兼容测量方法，GB/T 31723规定了金属通信电缆电磁兼容测量的定义、限值和不同测量方法的试验程序和试验要求，拟由18个部分构成。

——第4-0部分：电磁兼容 表面转移阻抗和屏蔽衰减之间的关系 推荐限值。目的在于规定金属通信电缆表面转移阻抗和屏蔽衰减之间的关系和推荐限值；

——第4-1部分：电磁兼容 屏蔽测量的介绍；

——第4-2部分：电磁兼容 屏蔽和耦合衰减 注入钳方法；

——第4-3部分：电磁兼容 表面转移阻抗 三同轴法；

——第4-4部分：电磁兼容 3GHz及其以上频率屏蔽衰减as试验方法 三同轴法；

——第4-5部分：电磁兼容 耦合或屏蔽衰减 吸收钳法；

——第4-6部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法；

——第4-7部分：电磁兼容 转移阻抗、屏蔽或耦合衰减 管中管法；

——第4-8部分：电磁兼容 容性耦合导纳；

——第4-9部分：电磁兼容 屏蔽平衡电缆的耦合衰减 三同轴法；

——第4-10部分：电磁兼容 馈通和电磁衬垫的转移阻抗和屏蔽衰减 双同轴测试方法；

——第4-11部分：电磁兼容 跳线、同轴电缆组件、接连接器电缆的耦合衰减或屏蔽衰减 吸收钳法；

——第4-12部分：电磁兼容 连接硬件的耦合衰减或屏蔽衰减 吸收钳法；

——第4-13部分：电磁兼容 链路和信道的耦合衰减（实验室条件）吸收钳法；

——第4-14部分：电磁兼容 电缆组件的耦合衰减（场条件）吸收钳法；

——第4-15部分：电磁兼容 使用三轴单元测量转移阻抗和屏蔽衰减或耦合衰减的试验方法；

——第4-16部分：电磁兼容 使用三轴布置将转移阻抗的测量频率范围扩展到更高频率和将屏蔽衰减测量的频率范围扩展到更低频率；

——第4-17部分：电磁兼容 减小因子。



# 金属通信电缆试验方法 第4-4部分：电磁兼容 3GHz及以上频率 屏蔽衰减 $a_s$ 试验方法 三同轴法

## 1 范围

文本件规定了金属通信电缆屏蔽层屏蔽衰减 $a_s$ 试验方法。由于同心外管的原因，测量与圆周的不规则性及外部电磁场无关。

从低频到约4 GHz时外回路内确定的横向波极限频率，采用常规仪器即使测试超屏蔽电缆，也能够适用宽广的动态范围和频率范围。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 62153-4-1 金属通信电缆试验方法 第4-1部分：电磁兼容性（EMC） 电磁屏蔽测量简介  
[Metallic communication cable test methods—Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC)  
—Introduction to electromagnetic screening measurements]

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 符号及理论背景

### 4.1 电气符号

$Z_1$	—— 一次系统（被试电缆）特性阻抗
$Z_2$	—— 二次系统特性阻抗
$Z_s$	—— 典型电缆安装环境的特征阻抗归一化值（150 $\Omega$ ）。与试验装置外回路的阻抗 $Z_2$ 无关
$R$	—— 接收器输入阻抗
$Z_T$	—— 被试电缆转移阻抗， $\Omega/m$
$Z_F = Z_1 \times Z_2 \times j\omega \times C_T$	—— 被试电缆容性耦合阻抗， $\Omega/m$
$f$	—— 频率，Hz
$C_T$	—— 单位长度外导体穿透电容，F/m
$\epsilon_{r1}$	—— 被试电缆相对介电常数
$\epsilon_{r2}$	—— 二次系统相对介电常数
$\epsilon_{r2,n}$	—— 电缆环境的相对介电常数归一化值
$l$	—— 有效耦合长度
$\lambda_0$	—— 真空波长
$c_0$	—— 真空速度

$\alpha_s$	—— 可与吸收钳法测量结果相比较的屏蔽衰减
$P_1$	—— 一次系统的馈送功率
$P_2$	—— 二次系统中接收器输入阻抗为 $R$ 时的实测接收功率
$P_r$	—— 电缆环境中的辐射功率，可与吸收钳测量法中的 $P_{2,n}+P_{2,f}$ 相比较
$S_{11}$	—— 设备的散射参数 $S_{11}$ （复数）。其中两个端口的初级侧是 DUT，次级侧是测量管
$S_{21}$	—— 设备的散射参数 $S_{11}$ （复数）。其中两个端口的初级侧是 DUT，次级侧是测量管

另有：

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= 2\pi(\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}})l/\lambda_0 \\ \varphi_2 &= 2\pi(\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}})l/\lambda_0 \\ \varphi_3 &= \varphi_2 - \varphi_1 = 4\pi\sqrt{\varepsilon_{r2}}l/\lambda_0\end{aligned}$$

## 4.2 理论背景

屏蔽层的电磁耦合以及部分波叠加将导致远端电压  $U_2$  的变化，且表面传递阻抗  $Z_T$ 、容性耦合阻抗  $Z_F$ （传播到远端和近端）和近端的总反射波，将导致部分波叠加。

为准确计算，如果从二次系统到一次系统的反馈可忽略，则远端电压  $U_1$  和  $U_2$  的比值，由下式得出：

$$\left| \frac{U_2}{U_1} \right| \approx \left| \underbrace{\frac{Z_T - Z_F}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}} \times [1 - e^{-j\varphi_1}]}_A + \underbrace{\frac{Z_T + Z_F}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}} \times [1 - e^{-j\varphi_2}]}_B \right| \times \underbrace{\left| \frac{1}{\omega \cdot Z_1} \right|}_C \times \underbrace{\left| \frac{c_0}{2 + (\frac{Z_2}{R} - 1) \times (1 - e^{-j\varphi_3})} \right|}_D \dots\dots\dots (1)$$

示例：形式上为  $|A+B| \times C \times D$ ，其中  $A \times C$  是远端串扰， $B \times C$  是反射的近端串扰， $D$  是失配因数。

$D$  的总波动范围为：

- 若  $1 < Z_2/R < 1.25$ ，则小于 2 dB；
- 若  $Z_2/R = 1.4$ ，则等于 3 dB；
- 若  $Z_2/R > 3$ ，则不小于 10 dB。

—— 如果  $\varphi_{1,2} = (2N + 1) \times \pi$ ，且  $N$  是一个整数，则得出  $A \times C$  和  $B \times C$  最大值。

只要  $Z_2$  大于接收器的输入阻抗，测试电压比不取决于三轴试验装置的外管直径或外回路的特性阻抗  $Z_2$ 。

IEC 62153-4-1 中有更详细的描述。

## 4.3 屏蔽衰减

馈送功率  $P_1$  与周期最大辐射功率  $P_{r, \max}$  的对数之比，称为屏蔽衰减  $\alpha_s$ 。 $P_{r, \max}$  可能是因外回路中电压  $U_2$  的峰值而引起。

$$\alpha_s = -10 \times \log_{10} \left( Env \left| \frac{P_{r, \max}}{P_1} \right| \right) \dots\dots\dots (2)$$

辐射功率  $P_r$  与输入阻抗  $R$  上的实测接收功率  $P_2$  的关系为：

$$\frac{P_r}{P_2} = \frac{P_{r, \max}}{P_{2, \max}} = \frac{R}{2 \times Z_S} \dots\dots\dots (3)$$

在高频且被试电缆的较长时，可得出：

$$\sqrt{\left| \frac{P_{2, \max}}{P_1} \right|} \approx \frac{c_0}{\omega \sqrt{Z_1 \times R}} \times \left| \frac{Z_T - Z_F}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}} + \frac{Z_T + Z_F}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}} \right| \dots\dots\dots (4)$$

## 4.4 耦合长度的影响以及屏蔽衰减和表面转移阻抗 $Z_T$ 的关系



被试电缆的有效耦合长度与电波长的关系，对于屏蔽衰减的特性曲线（见图1和图2）很重要。在短电长度耦合长度的频率范围内，实测衰减随着长度的增加而下降，因此有必要确定相关长度。

对于较长的电长度，最大包络曲线生成的屏蔽衰减对耦合电压比的关系，对于以6 dB/oct（倍频程）增长的转移阻抗，是不变的。因此，屏蔽衰减仅定义在高频下。

耦合长度电长度短的条件是：

$$\lambda_0/l > 10 \times \sqrt{\varepsilon_{r1}} \quad \text{或} \quad f < \frac{c_0}{10 \times l \times \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (5)$$

耦合长度电长度长的条件则为：

$$\lambda_0/l \leq 2 \times |\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}| \quad \text{或} \quad f > \frac{c_0}{2 \times l \times |\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}|} \quad (6)$$

式中：

$l$  —— 有效耦合长度，m（在图3中约为2m）；

$\lambda_0$  —— 自由空间波长，m；

$\varepsilon_{r1}$  —— 产生的电缆介质相对介电常数；

$\varepsilon_{r2}$  —— 产生的二次系统介质相对介电常数；

$f$  —— 频率，Hz。

对于电长度短的耦合长度，实测电压比与转移阻抗 $Z_T$ 的关系式为：

$$Z_T \times l \approx Z_1 \times \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \quad (7)$$

此外，在高频时，如果 $Z_F$ 忽略不计，则可计算出 $Z_T$ ：

$$Z_T \approx \left| \frac{\omega \times \sqrt{Z_1 \times R \times |\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}|}}{2 \times c_0 \times \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \times \sqrt{\frac{P_{2,max}}{P_1}} \right| \quad (8)$$

所以：

$$\sqrt{\frac{P_{2,max}}{P_1}} \approx \left| \frac{Z_T \times 2 \times c_0 \times \sqrt{\varepsilon_{r1}}}{\omega \times \sqrt{Z_1 \times R \times |\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}|}} \right| \quad (9)$$

本方面内容，IEC 62153-4-1中有更详细的描述。

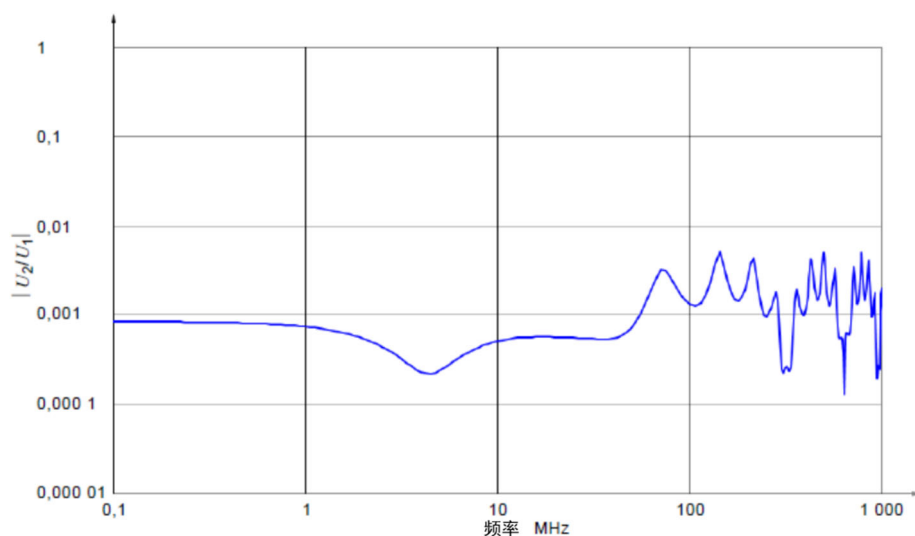


图1 单层编织电缆  $U_2/U_1$  与  $\log(f)$  的关系

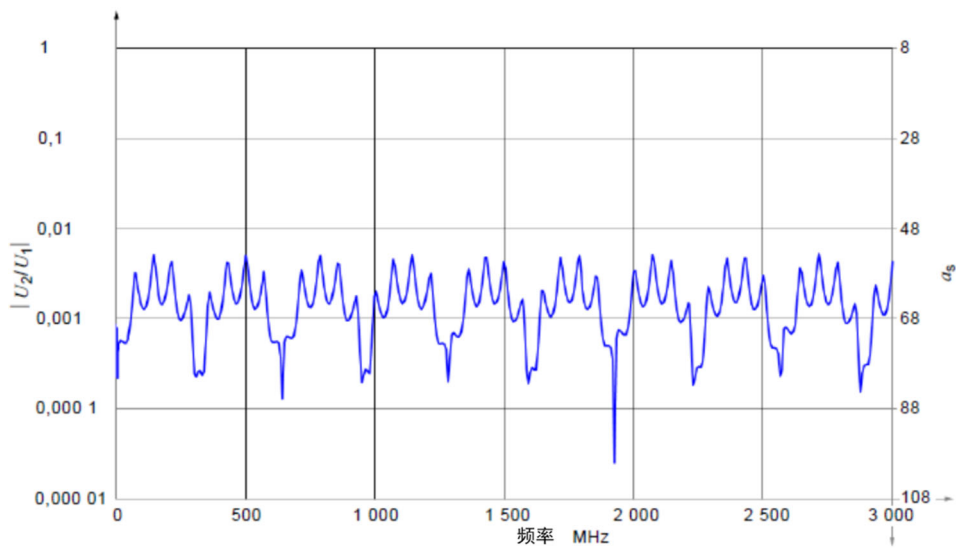


图2 单层编织电缆  $U_2/U_1$  与线性标度 ( $f$ ) 的关系以及屏蔽衰减  $a_s$  与线性标度 ( $f$ ) 的关系

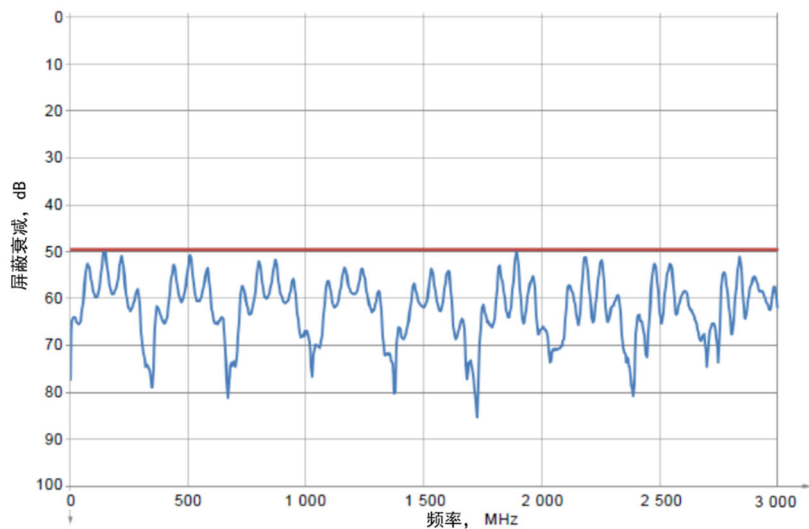


图3 实测单层编织电缆最大包络曲线形成的屏蔽衰减  $a_s$  与实测耦合电压比  $U_2/U_1$  的关系

## 5 测量方法原理

骚扰系统即一次系统为被试匹配电缆。被骚扰系统即二次系统则包括被试电缆外导体（对多层屏蔽电缆，则是最外层）和使被试电缆处于轴心位置的无缝金属管（见图4和图5）。

二次系统远端的电压峰值必须进行测量。将二次系统近端短路。对于此项测量，匹配接收器不是必须的。远端的预期电压峰值与接收器的输入阻抗无关，条件是后者低于二次系统的特性阻抗。但低失配是有利的，例如可以为多种尺寸的同轴电缆选择多种管径。

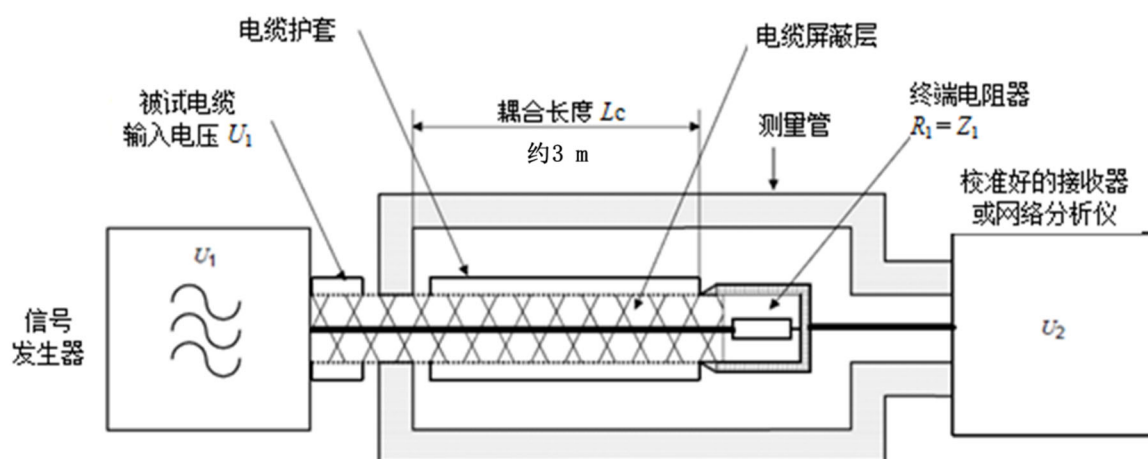


图4 三同轴测量装置

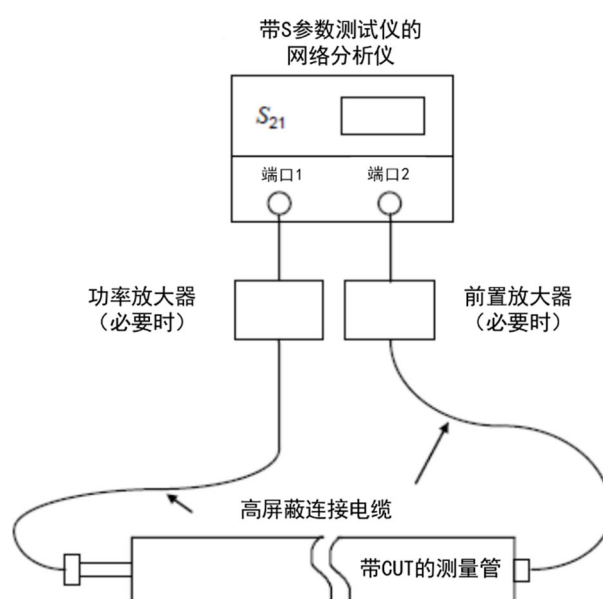


图5 接到网络分析仪的三同轴测量装置

## 6 测量

### 6.1 设备

测量装置见图4和图5，它包括：

- 三同轴装置。具有足够的长度，在能够绘出包络曲线的窄频带可产生波的叠加；
- 通常（低介电常数的电解质）2 m 长的耦合长度，较适宜测定低于 200 MHz 及 200 MHz 以上频率范围的屏蔽衰减（见 4.4）。圆筒形的电缆屏蔽层既构成了被激励同轴系统的外导体，也构成了外系统的内导体。外系统的外导体是一段内径约 50 mm 的测量管，它与电缆馈电侧

上的屏蔽体相短路。测量管内径与屏蔽层外径之比，必须足以确保特性阻抗大于接收器的输入电阻。外回路的相对介电常数值，应近似为 1，不管电缆护套是否密闭；

- 使用矢量网络分析仪来测量四极（两个端口）的所有散射参数。在发生器和 DUT 具有相同阻抗的情况下，可以使用独立的发生器和接收器；
- 如需测量极高屏蔽衰减，使用具有高灵敏度的功率放大器。

## 6.2 被试电缆

### 6.2.1 同轴电缆

在远端，将电缆试样端接一个屏蔽很好的、阻值等于特性阻抗标称值的电阻器。确定标称特性阻抗的详细信息参见附录A。可以使用多个并联的电阻来完成端接。终端电阻器、屏蔽罩及电缆屏蔽层之间应小心连接，以使在判读结果时，接触电阻可忽略。在制备箔屏蔽层时应特别注意避免箔破裂，它可能造成试验结果误差。

被试电缆在外管中的位置应尽可能接近同心，以获得均匀的波传播。为了实现对中，可以使用由介电常数小于1.10的材料（例如聚苯乙烯泡沫塑料）制成的间隔件。

在馈电侧，将电缆屏蔽层接到外管的短路盘，应注意保持低的接触电阻且不影响测量结果。

### 6.2.2 对称和多导体电缆

屏蔽的对称和多导体电缆，视为准同轴系统，除以下满足以下要求外，还适用6.2.1的要求。因此，所有绞线对的导体其末端应连接在一起。所有屏蔽层，也包括单独屏蔽的绞线对或四线组的屏蔽层，其两端均应连接在一起。这些屏蔽层连接起来时，应覆盖整个圆周（见图6）。

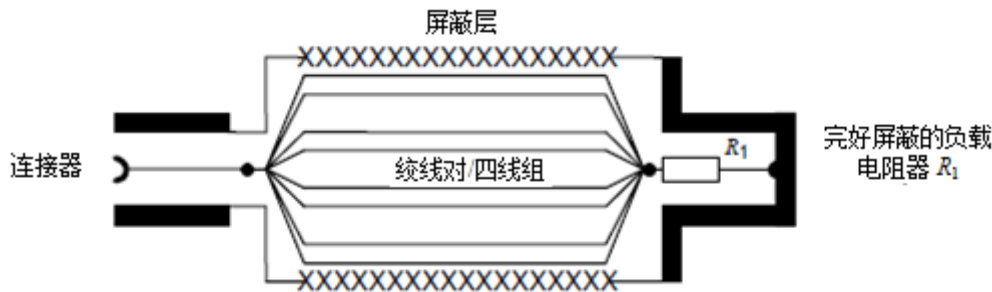


图6 （对称和多导体电缆）试样制备

### 6.2.3 阻抗匹配

如果未知，则可以使用最大上升时间为200 ps的TDR或使用附录A中所述的方法来测量（准）同轴系统的标称特性阻抗。不建议使用阻抗匹配适配器来匹配发生器的阻抗和（准）同轴系统的阻抗，因为它会减小试验装置的动态范围，仅在不超过100 MHz时才相匹配（回波损耗），自制适配器对于60 Ω、75 Ω等阻抗是必需的（见附录B）。可以在发生器的输出端接一个衰减器，以避免反射波损害发生器。试验结果应考虑衰减器的衰减。

## 6.3 程序

DUT应连接到矢量网络分析仪的端口1，测量管应连接到矢量网络分析仪的端口2（见图5）。

测量（复数）散射参数 $S_{21}$ 。必须考虑由发生器和DUT之间的不匹配引起的反射损耗<sup>1)</sup>（见附录C）。为此，原则上应测量DUT的（复数）散射参数 $S_{11}$ 。但是，由于DUT的“较差”的负载电阻，该测量容易出错。因此， $S_{11}$ 按照6.4进行计算。

仅以屏蔽衰减图的峰值来确定包络曲线。

#### 6.4 结果的表示

可与吸收钳法的测量结果相比的屏蔽衰减 $a_s$ ，应采用归一化值 $Z_s=150\ \Omega$ <sup>2)</sup>进行计算。

$$a_s = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \times \log_{10} \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \times \frac{2 \times Z_s}{R} \right| =$$

$$Env \left\{ -20 \times \log_{10} |S_{21}| + 10 \times \log_{10} |1 - r^2| + 10 \times \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_1} \right| \right\} - a_{att} \dots\dots\dots (10)$$

$$r = S_{11} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $a_s$  —— 与  $150\ \Omega$  辐射阻抗相关的屏蔽衰减，dB；
- $a_{att}$  —— 衰减器或阻抗匹配适配器的衰减（已在系统中使用，且并未在网络分析仪的校准过程中去除）；
- $Env$  —— 记录为实测值最小包络曲线的衰减值，dB；
- $r$  —— 发生器阻抗与被测电缆标称特性阻抗之间的反射系数；
- $S_{21}$  —— 设备的散射参数 $S_{21}$ （复数），其中两个端口的初级侧是DUT，次级侧是测量管；
- $Z_1$  —— 被试电缆的标称特性阻抗（见 5.2.3）， $\Omega$ 。
- $Z_0$  —— 发生器的输出阻抗，即网络分析仪的系统阻抗， $\Omega$ 。

当频率低于电长度长的耦合长度的极限（频率）时，该测量将类似于表面转移阻抗的测量。

#### 7 要求

最低屏蔽衰减的测量结果，应符合相关电缆规范的规定值。

如果对工作功率电平受限定的电缆规定了辐射功率极限值，则功率电平与辐射功率极限值之差，不应大于系统用电缆的屏蔽衰减。

1) 反射损耗不应与回波损耗或失配损耗混淆。

2)  $Z_s$ 是典型电缆安装环境的特性阻抗的归一化值。它与试验装置外回路的阻抗无关。

附录 A  
(规范性)  
内回路阻抗的测量

若内回路阻抗 $Z_1$ 未知，则可通过最大上升时间为200 ps的TDR或通过（矢量）网络分析仪（VNA）采用如下方法来测定。

先在连接器界面的基准面将网络分析仪进行阻抗测量校准，然后将制备好的试样的一端接到校准好的网络分析仪。试验频率应为试样长度为 $1/8\lambda$ （ $\lambda$ 为波长）时的近似频率。

$$f_{test} \approx \frac{c}{8 \times L_{sample} \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中：

- $f_{test}$  —— 试验频率；
- $c$  —— 光速， $3 \times 10^8$  m/s；
- $L_{sample}$  —— 试样长度。

将试样在远端短路。测量阻抗 $Z_{短路}$ 。  
将试样在短路的同一点断路。测量阻抗 $Z_{断路}$ 。  
 $Z_1$ 按如下公式计算：

$$Z_1 = \sqrt{Z_{短路} \times Z_{断路}} \dots\dots\dots (A. 2)$$

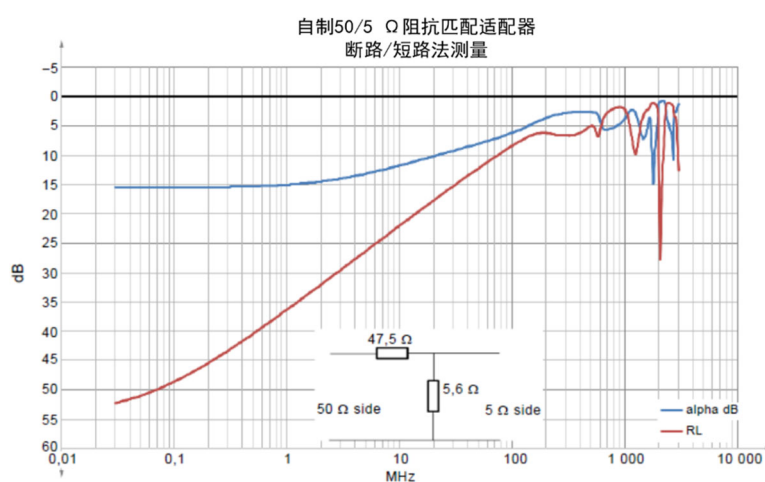
## 附录 B

(资料性)

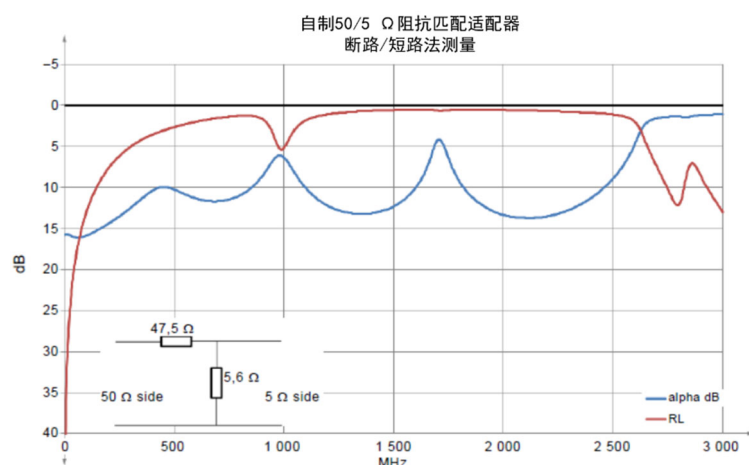
## 自制阻抗匹配适配器的示例

图B.1和B.2展示了50  $\Omega$ 至5  $\Omega$ 阻抗匹配适配器的衰减和回波损耗。当测量具有单独屏蔽层的多芯电缆或测量用于电动车辆的高压电缆时，DUT阻抗通常为5  $\Omega$ 。

衰减和回波损耗由断路/短路法测得。匹配的适配器最高只能在10 MHz下工作。



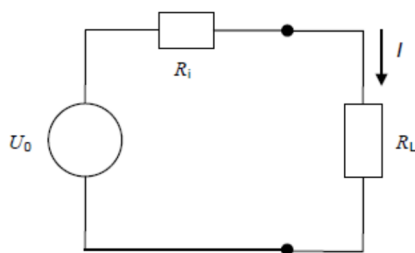
图B. 1 对数频率标度下，50  $\Omega$ 至5  $\Omega$ 阻抗匹配适配器的衰减和回波损耗



图B. 2 线性频率标度下，50  $\Omega$ 至5  $\Omega$ 阻抗匹配适配器的衰减和回波损耗

附 录 C  
(资料性)  
连接点的反射损失

与匹配的情况相比,由于不匹配,具有内部电阻 $R_i$ 的电源馈入具有不同电阻 $R_L$ 的负载会产生功率损耗。如果电源通过特性阻抗为 $Z_1 = R_i$ 的传输线连接到连接点,而负载通过特性阻抗 $Z_2 = R_L$ 的传输线连接到结,则等效电路如下:



图C.1 带负载发生器的等效电路

负载电阻 $R_L$ 中的功率由下式给出:

$$P = I^2 R_L = \left( \frac{U_0}{R_i + R_L} \right)^2 R_L = U_0^2 \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (\text{C. 1})$$

在阻抗匹配 ( $R_L = R_i$ ) 的情况下,将馈入最大功率 $P_0$ :

$$P_0 = U_0^2 \frac{R_i}{4R_i^2} = \frac{1}{4} U_0^2 \frac{1}{R_i} \quad (\text{C. 2})$$

公式C.1和公式C.2的比值描述了损耗:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{U_0^2 R_L}{(R_i + R_L)^2} \frac{4R_i}{U_0^2} = \frac{4R_i R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (\text{C. 3})$$

公式C.4的辅助计算描述了反射系数 $r$ :

$$1 - r^2 = 1 - \left( \frac{R_L - R_i}{R_L + R_i} \right)^2 = \frac{(R_L + R_i)^2}{(R_L + R_i)^2} - \frac{(R_L - R_i)^2}{(R_L + R_i)^2} = \frac{R_L^2 + 2R_L R_i + R_i^2 - R_L^2 + 2R_L R_i - R_i^2}{(R_L + R_i)^2} = \frac{4R_L R_i}{(R_L + R_i)^2} \quad (\text{C. 4})$$

带入公式C.4, 功率比 (公式C.3) 变为:

$$\frac{P}{P_0} = 1 - r^2 \quad (\text{C. 5})$$

因此,以dB为单位的幅度为 (详见IEC/TR 62152:2009中公式A.12):

$$\Gamma_s = -10 \log_{10} |1 - r^2| \quad (\text{C. 6})$$



参 考 文 献

- [1] IEC TR 62152:2009 Transmission properties of cascaded two-ports or quadripols-  
Background of terms and definitions
-