



中华人民共和国国家标准

GB/T 31723.406—XXXX/IEC 62153-4-6:2017

代替 GB/T 31723.406—2015

金属电缆和其他无源元件试验方法 第4-6部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法

Metallic cables and other passive components test methods—Part 4-6:
Electromagnetic compatibility (EMC)—Surface transfer impedance—Line injection
method

(IEC 62153-4-6:2017, 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	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 物理背景信息	1
5 试验布置	2
5.1 概述	2
5.2 设备	3
5.3 注入部件	3
5.4 内部电路的阻抗	6
6 试验样品的制备	7
6.1 概述	7
6.2 样品长度	8
6.3 屏蔽对称电缆	8
6.4 屏蔽多芯电缆	9
7 测量	9
7.1 概述	9
7.2 测量注意事项	9
7.3 校准	9
7.4 测量程序	10
7.5 试验结果的评估	12
8 试验结果的表示	12
8.1 表示	12
8.2 归一化的屏蔽衰减	13
8.3 温度修正	13
8.4 试验报告	13
9 要求	13
参考文献	14
图 1 完整测量装置	3
图 2 传输型线注入法所用的注入部件装配图—部件列表	4
图 3 注入部件的上部件—部位 1	5
图 4 注入部件的下部件—部位 2	5
图 5 注入部件的阻抗匹配部件—部位 3	6
图 6 适应不同尺寸 CUT 的插件—部位 4	6
图 7 受试电缆 (CUT) 的制备	7

图 8 受试电缆（CUT）连接器的附加屏蔽 8

图 10 校准装置 10

图 11 远端测量试验装置 11

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》的规定起草。

本文件是GB/T 31723《金属通信电缆试验方法》的第4-6部分。GB/T 31723已经发布了以下部分：

- 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4-11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（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。

本文件代替GB/T 31723.406—2015《金属电缆试验方法 第4-6部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法》，与GB/T 31723.406—2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了“内部电路”、“外部电路”和“转移阻抗”的术语和定义（见3.1~3.3，2015年版的4.1和4.2）；
- 更改了物理背景信息（见第4章，2015年版的4.2）；
- 更改了设备（见5.2，2015年版的5.2）；
- 更改了内部电路的阻抗（见5.4，2015年版的5.4.2）；
- 更改了试验样品的制备概述和样品长度（见6.1和6.2，2015年版的4.3和6.1）；
- 更改了公式（见7.3~7.5，2015年版的7.3~7.5）；
- 更改了试验结果的表示（见8.1，2015年版的8.1）；
- 增加了归一化的屏蔽衰减（见8.2）；
- 删除了 $Z_2 < 50\ \Omega$ 时的匹配电路和 $Z_2 > 50\ \Omega$ 时的匹配电路（见2015年版的5.4.3和5.4.4）。

本文件等同采用IEC 62153-4-6:2017《金属电缆和其他无源部件试验方法 第4-6部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 在第2章增加了7.4规范性引用的IEC 62153-4-3；
- 将6.2原文中“ $U_{\text{generator}}/U_{\text{receiver}}$ ”改为“ $U_{\text{gen}}/U_{\text{rec}}$ ”，与公式（6）保持一致。

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/TC 190）归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2015年首次发布为GB/T 31723.406—2015，本次为第一次修订。

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，

GB/T 31723拟由以下部分构成。

- 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；
- 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（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；
- 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。

金属电缆和其他无源元件试验方法

第 4-6 部分：电磁兼容 表面转移阻抗 线注入法

1 范围

本文件描述了通过把确定的电压和电流施加到电缆的屏蔽层并测量感应电压以获得表面转移阻抗的方法，从而确定屏蔽的金属通信电缆的屏蔽效能。

使用常用的高频测量仪器进行测量，频率范围可从几千赫兹到1 GHz或以上。

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 62153-4-3 金属通信电缆试验方法 第4-3部分：电磁兼容（EMC） 表面转移阻抗 三同轴法
[Metallic communication cable test methods—Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) related test method for measuring surface transfer impedance—Triaxial method]

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO和IEC维护的用于标准化的术语数据库网址如下：

——IEC电工学：<https://www.electropedia.org/>；

——ISO在线浏览平台：<https://www.iso.org/obp>。

3.1

内部电路 inner circuit

用下标2表示的、由受试电缆（CUT）的导体和屏蔽层构成的电路。

3.2

外部电路（线注入电路） outer circuit (line injection circuit)

用下标1表示的、由CUT的屏蔽层表面和注入线构成的电路。

3.3

转移阻抗 transfer impedance

Z_T

单位长度上电短CUT的内部电路中感应的纵向电压与外部电路（线注入电路）电流的比值，反之亦然。

4 物理背景信息

屏蔽层的转移阻抗 Z_T 是确定电缆屏蔽效能的重要参数。

大部分电缆的容性耦合是可忽略不计的。但对于单层松编织的屏蔽电缆，容性耦合不能忽略。对于通过屏蔽层上孔的耦合，可用通过电容 C_T 或容性耦合导纳 Y_C 描述。对于一段电短的均匀电缆， K 定义为单位长度上内部电路电流与外部电路（由受试屏蔽层和注入线构成）电压的比值，反之亦然。

当容性耦合不可忽略时，屏蔽效能由等效的转移阻抗 Z_{TE} 表示，见公式（1）和公式（2）。

$$Z_{TE} = \max|Z_F \pm Z_T| \dots\dots\dots (1)$$

$$Z_F = j\omega C_T Z_1 Z_2 = Y_C Z_1 Z_2 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ω ——角频率；
- \pm ——近端测量用+，远端测量用-；
- C_T ——通过电容；
- Y_C ——容性耦合导纳；
- Z_1 ——外部电路（线注入电路）的特性阻抗；
- Z_2 ——内部电路（CUT）的特性阻抗；
- Z_F ——容性耦合阻抗；
- Z_T ——转移阻抗；
- Z_{TE} ——等效的转移阻抗。

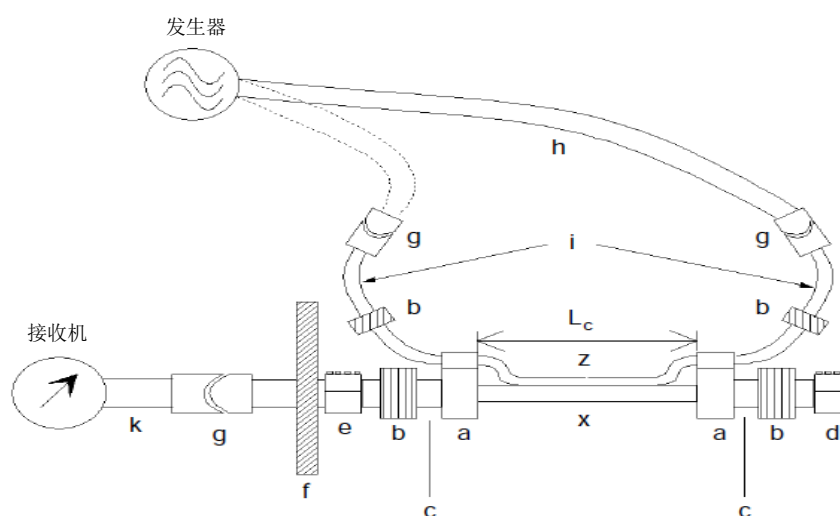
更详细的信息参见IEC 62153-4-1的相应部分。

5 试验布置

5.1 概述

如图1所示，注入电路是用一根或多根平行导线、皱纹铜带或平的铜编织带和CUT外导体所组成的一段传输线构成。注入电路通过注入部件与同轴电缆两端连接。注入线应沿着耦合长度紧贴电缆样品（例如：用有粘性的胶布）。注入电路的特性阻抗应等于发生器的输出阻抗和负载阻抗 R_L ，这可通过选择合适的注入线的导体尺寸和绝缘类型来实现。

与发生器输出阻抗相关的，沿耦合线方向的注入部件的反射系数和注入电路的反射系数应小于0.1，也即，回波损耗宜大于20 dB。



标引序号说明：

- a —— 注入部件；
- b —— 铁氧体；
- c —— 用于附加屏蔽的黄铜/铜管；
- d —— CUT匹配电阻的屏蔽盒；
- e —— 连接CUT和接收机的屏蔽盒；
- f —— 具有屏蔽同轴馈通的屏蔽室的壁面（如果需要）；
- g —— 连接器（SMA, N 等）；
- h —— 从发生器引出的馈线；
- i —— 注入电缆的馈线；
- k —— 与接收机连接的电缆；
- x —— CUT；
- z —— 注入线；
- L_c —— 耦合长度。

图1 完整测量装置

5.2 设备

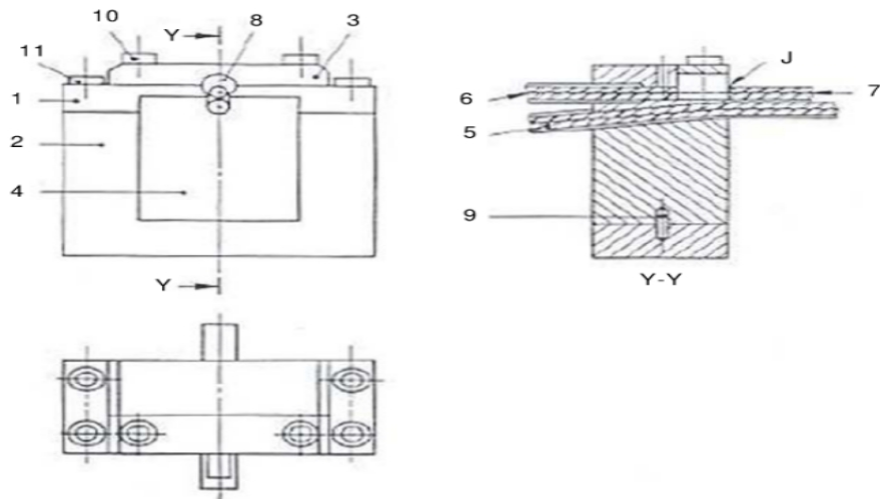
测量设备包括：

- a) 矢量网络分析仪或以下两种设备的组合：
 - 信号发生器：具有与线注入电路相同的特性阻抗，若转移阻抗较低，必要时需使用功率放大器；
 - 接收机：具有经校准的步进衰减器。若转移阻抗较低，需使用低噪声放大器进行补偿。
- b) 上升时间小于 350 ps 的时域反射计（TDR），或具有将回波损耗测量转化为时域状态的矢量网络分析仪（至少 3 GHz）。

5.3 注入部件

调节注入部件结构，使同轴馈电电缆和端接电缆中的对称TEM波与沿平行线的不对称场得到最佳匹配，并在反复使用时保持良好的机械强度。图2～图6给出了可行的注入部件的细节。不连续性的精细调整可用改变泡沫衬垫（图2部位8）的办法来进行。

或者，能用搭于CUT上的小型连接器（焊接型）来做注入部件，或用更简便的方法即把具有合适特性阻抗的小同轴电缆的外导体捆在剥掉护套的CUT上。在试验区域，同轴电缆的内导体用2根或4根平行线、皱纹铜带或扁平铜带编织来延续。注入部件不连续性的微调能通过把接点和注入线与试验区的CUT护套靠得更紧的办法来实现。



数量	部件	部位	备注、材料
4	公制螺钉 M3×M10	11	—
2	公制螺钉 M3×M6	10	—
1	销钉 $\Phi 2\times 8$ (mm)	9	—
1	泡沫介质	8	ϵ_r 接近1
1	注入线	7	—
1	50 Ω 同轴电缆	6	阻抗按要求
1	被测电缆 (CUT)	5	—
1	CUT插入衬垫	4a	黄铜
1	阻抗匹配部件	3	黄铜
1	下部件	2	黄铜
1	上部件	1	黄铜
—	试验注入部件（需2个）	—	—

图2 传输型线注入法所用的注入部件装配图—部件列表

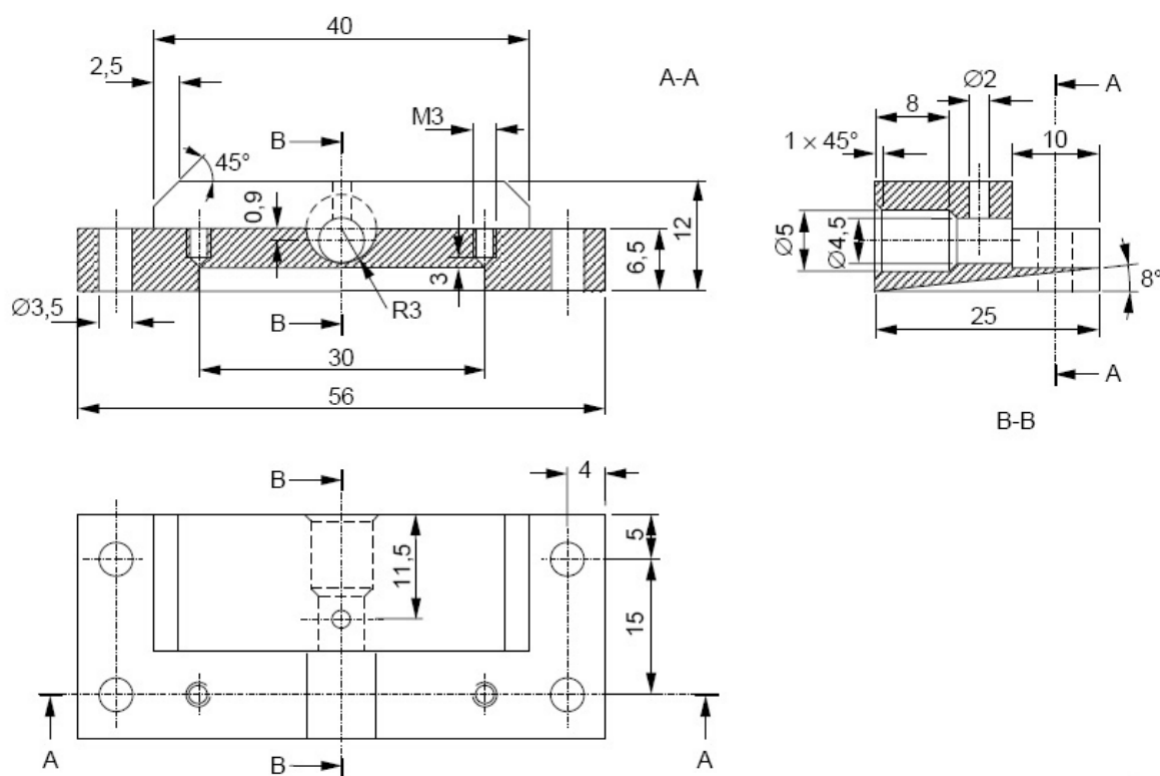


图3 注入部件的上部件一部位 1

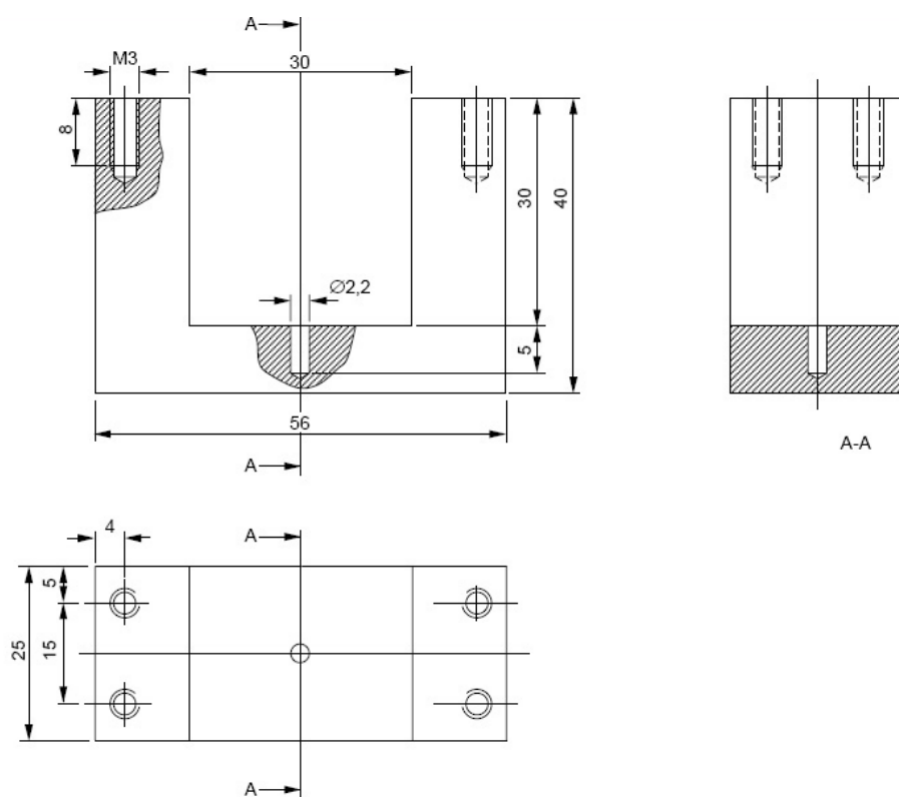


图4 注入部件的下部件一部位 2

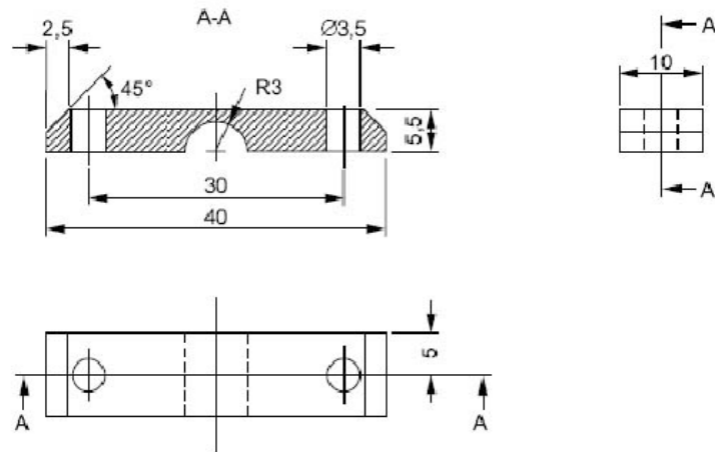


图5 注入部件的阻抗匹配部件一部位 3

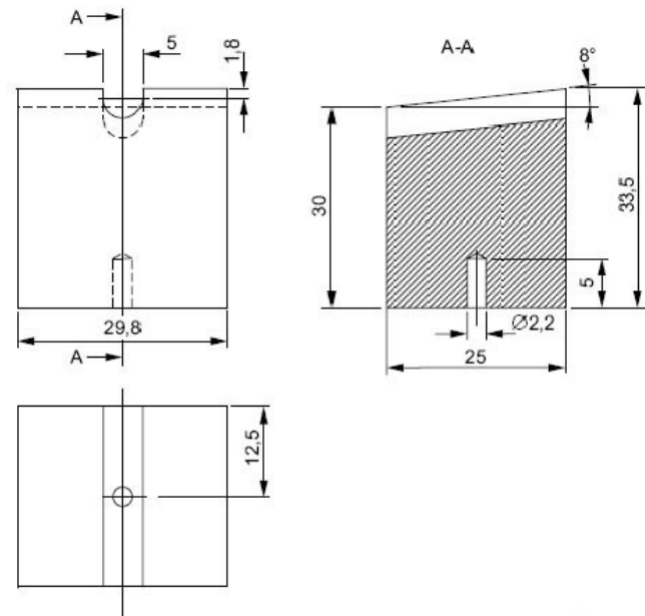


图6 适应不同尺寸 CUT 的插件一部位 4

5.4 内部电路的阻抗

无需将接收机的阻抗与内部电路（CUT）的阻抗相匹配。然而，负载电阻 R_L 应等于准备好的电缆样品（内部电路）的（准）同轴线的特性阻抗（见6.2）。

如果内部电路（同轴或准同轴）的阻抗 Z_0 未知，则可用时域反射计或公式（3）确定。

网络分析仪应在连接器端口进行阻抗测量的校准。将待测样品一端与网络分析仪连接。试验频率宜至少为10 MHz, 应为样品长度为 $\lambda/8$ 对应的近似频率， λ 为波长。

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c}{8 \times L_{\text{sample}} \times \sqrt{\epsilon_{r1}}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

f_{test} —— 试验频率，单位为赫兹（Hz）；

c ——光速， 3×10^8 m/s；
 L_{sample} ——样品长度，单位为米（m）；
 ϵ_{r1} ——线注入电路的相对介电常数。

在远端将样品短路。测量短路阻抗 Z_{short} 。

在与短路处的相同位置将样品开路。测量开路阻抗 Z_{open} 。

Z_2 定义为公式（4）：

$$Z_2 = \sqrt{Z_{\text{short}} \times Z_{\text{open}}} \dots\dots\dots (4)$$

6 试验样品的制备

6.1 概述

当频率上限到1 GHz时，两个注入部件间推荐的试样长度为0.5 m(同时见6.2)。对于5.3中所述的注入部件，试验段长度以外的CUT（被测电缆）应用黄铜或铜管进行屏蔽（见图7的 h_1 和 h_2 ）。屏蔽管应采用焊接或压接的方式在E点处与电缆屏蔽S接触。如果采用焊接方式，应注意防止电缆绝缘过热。较好方法是选择管子的直径，从而使剥去外护套的CUT能插入管内，并用标准的压接工具固定。这种方法的优点是管子的紧密安置，可防止在CUT的试验段附近电缆编织S发生松散现象。另一种方法是用楔子来接触不可焊接的铝箔或编织电缆。

CUT的一端准备合适的射频连接器[例如N型（IEC 61169-16），SMA型（IEC 60169-15）]以连接到接收机。另一端使用屏蔽良好的电阻器进行匹配，其值等于CUT（同轴或准同轴系统，见6.4）的特性阻抗。对于较大的电缆，推荐使用多个电阻并联。应进行所有连接，且对于结果接触电阻可忽略。对于具有标准特性阻抗值（即50 Ω 或75 Ω ）的同轴射频电缆，推荐在CUT的两端安装合适的射频连接器（N、SMA）并使用标准的屏蔽良好的同轴终端。

负载电阻和与接收机电缆的连接线安装在屏蔽盒中（见图8）。对于试验布置的电气质量，应使用TDR对完整的CUT和注入电路进行测试。为防止机械损伤，在管子和CUT的试验部分之间的接点上应避免弯曲力。

为减少电磁能对自由端产生的不必要的耦合， l_1 和 l_2 的和不应超过CUT试验部分的长度（图7）。

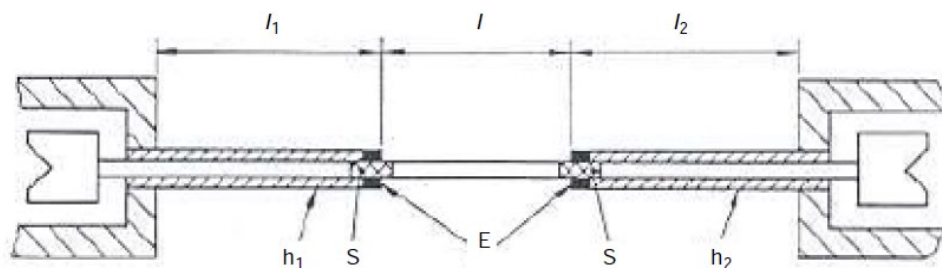


图7 受试电缆(CUT)的制备

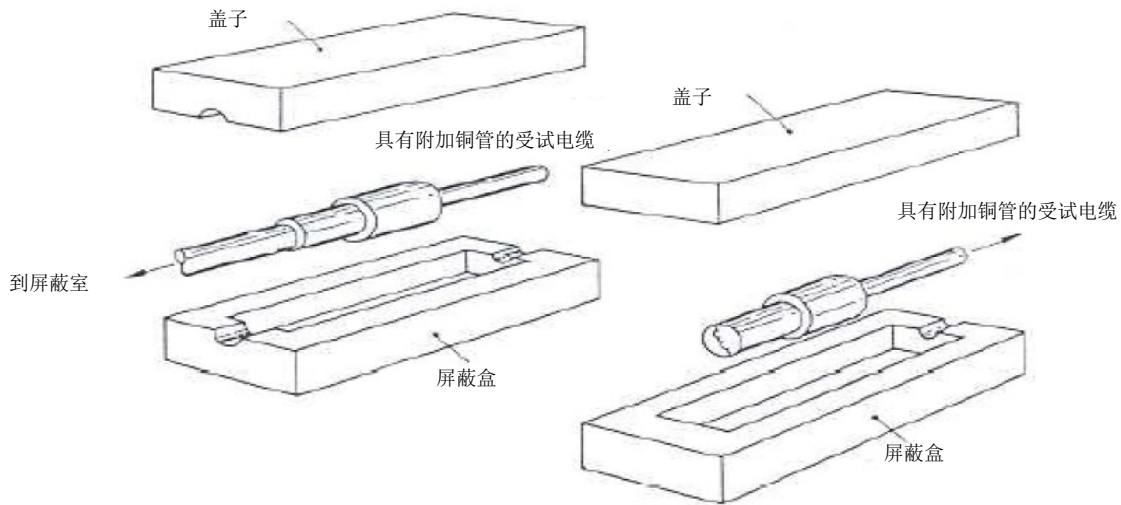


图8 受试电缆（CUT）连接器的附加屏蔽

6.2 样品长度

耦合长度与被测的最高频率有关。如无其他规定，最小耦合长度应为0.5 m，但不小于0.3 m。耦合长度和最高试验频率由式(5)计算：

$$L_{c,max} \leq \frac{c}{\pi \times f_{max} \times |\sqrt{\epsilon_{r2}} \pm \sqrt{\epsilon_{r1}}|} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- ϵ_{r1} —— 注入电路的相对介电常数；
- ϵ_{r2} —— CUT的相对介电常数；
- \pm —— 近端测量用+，远端测量用-；
- c —— 光速， 3×10^8 m/s；
- f_{max} —— 最高测量频率，单位为赫兹（Hz）；
- $L_{c,max}$ —— 最大耦合长度，单位为米（m）。

试验电路的理想条件如下：

- a) 线注入电路的特性阻抗等于发生器的输出阻抗和负载阻抗 R_L ；
- b) 线注入电路的特性阻抗不随耦合长度的变化而变化（反射系数小于0.1）；
- c) 每个注入部件的反射系数均小于0.1，即回波损耗宜大于20 dB；
- d) 准备的电缆样品的准同轴线的特性阻抗等于负载阻抗 R_L ；
- e) 内部电路和外部电路具有相同的传播速度。

对于试验布置中不匹配的部分，使用规定的耦合长度可测的最高频率通常将小于计算值。在这种情况下，最高频率在图表中曲线的线性变化可能会有6 dB的偏差，曲线中x轴以频率的对数表示，Y轴以电压比值（ U_{gen}/U_{rec} ）的对数表示。

6.3 屏蔽对称电缆

屏蔽对称电缆视为一个准同轴系统，见图9。因此，所有绞合线对的所有导体应在其两端分别连接在一起。所有屏蔽部分包括对绞线或四绞线的独立屏蔽层，应在两端都连接在一起。在整个周围都应保证屏蔽。

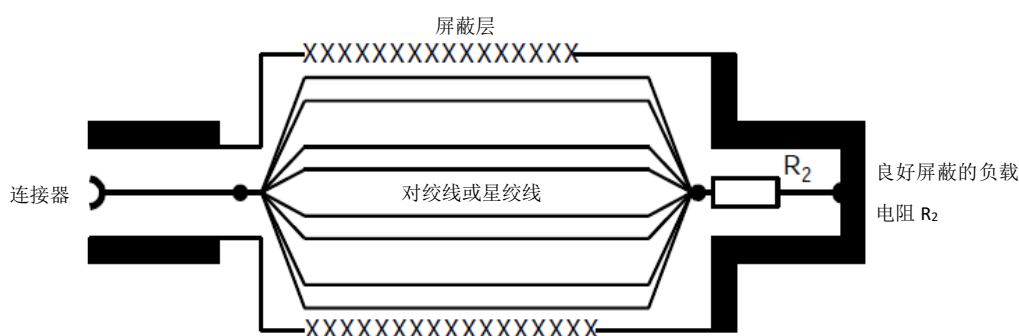


图9 对称电缆样品的制备

6.4 屏蔽多芯电缆

屏蔽多芯电缆样品制备与屏蔽对称电缆样品制备相同。

7 测量

7.1 概述

应按图1组装试验布置。

7.2 测量注意事项

7.2.1 外部电路电流的减小

当使用常规同轴设备进行远端测量时，接收机通常应接地。在低频段，当阻性影响超过感性影响，或在千赫兹的高频段部分产生谐振时，部分注入电流不会通过CUT的屏蔽层返回，而是直接流向大地。如果屏蔽层的电流不直接通过测试部分，这将会降低灵敏度，甚至导致测量误差。此问题可做如下解决：

- 避免在低频段进行远端测量（主要是指千赫兹频段）；
- 在注入线的同轴馈线处使用（铁氧体磁环或吸收器组成的）共模扼流圈（在千赫兹高端和更高的频段）；
- 如果发生器和接收机不在同一机架内时，其主电源上应使用隔离变压器，或给注入线的同轴馈线处加个隔离变压器（这种措施对从最低频段开始的测量非常有效，但要注意避免纵向谐振）。

7.2.2 非受控电流

要特别注意在低频段不通过同轴馈路返回的接地电流。这种电流是流经非试验部分的设备，特别是接收机机架。所以，当测量高屏蔽衰减时，将不能得到所需的灵敏度。此时最好使用7.2.1中的隔离变压器的方法。另一种可能是避免在较低频率（主要是kHz范围）进行远端测量。

7.2.3 电缆屏蔽圆周方向不均匀性

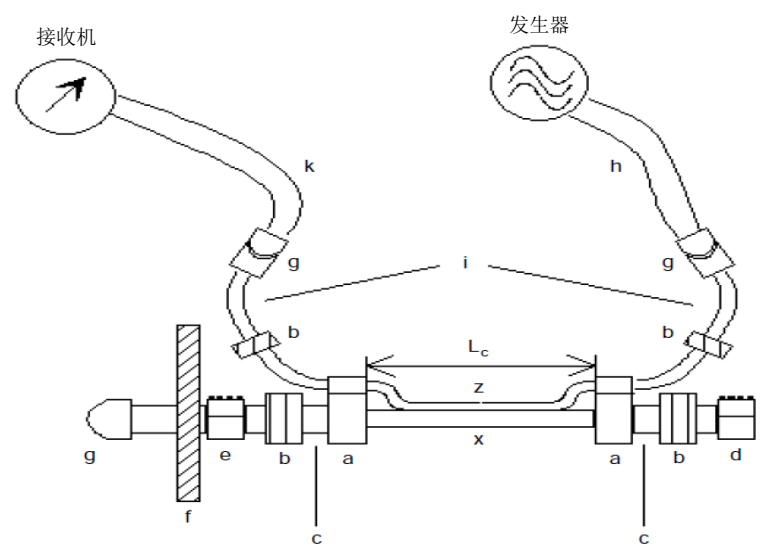
由于注入线不覆盖整个电缆屏蔽四周，因此对于不均匀的电缆屏蔽（如屏蔽层包含纵向线条），测试结果与注入线位置有关。为了充分覆盖圆周，应在每次相隔90°的方向上至少测量4次。当电缆直径大于10 mm时，可进行更多次测量。

7.3 校准

应在相关电缆规范中规定的转移阻抗的频率范围内，使用对数频率扫描法测量包括连接线在内的注入回路的衰减（见图10）。需保存校准数据，以便可以对测量结果进行修正。

$$a_{\text{cal}} = 10 \lg \left| \frac{P_1}{P_2} \right| = -20 \lg |S_{21}| = 20 \lg \left| \frac{U_{\text{gen,cal}}}{U_{\text{rec,cal}}} \right| \dots\dots\dots (6)$$

- 式中：
- P_1 ——校准程序中馈入注入电路的功率；
 - P_2 ——校准程序中接收机的功率；
 - S_{21} ——散射参数 S_{21} ，校准程序中的正向传输系数；
 - $U_{\text{gen,cal}}$ ——校准时发生器的输出电压；
 - $U_{\text{rec,cal}}$ ——校准时接收机的输入电压。



- 标引序号说明：
- a ——注入部件；
 - b ——铁氧体；
 - c ——用于附加屏蔽的黄铜/铜管；
 - d ——CUT匹配电阻的屏蔽盒；
 - e ——连接CUT和接收机的屏蔽盒；
 - f ——有屏蔽同轴馈通的屏蔽室的墙面；
 - g ——连接器（SMA, N 等）；
 - h ——从发生器引出的馈线；
 - i ——注入电缆的馈线；
 - k ——与接收机连接的电缆；
 - x —— CUT；
 - z ——注入线；
 - L_c ——耦合长度。

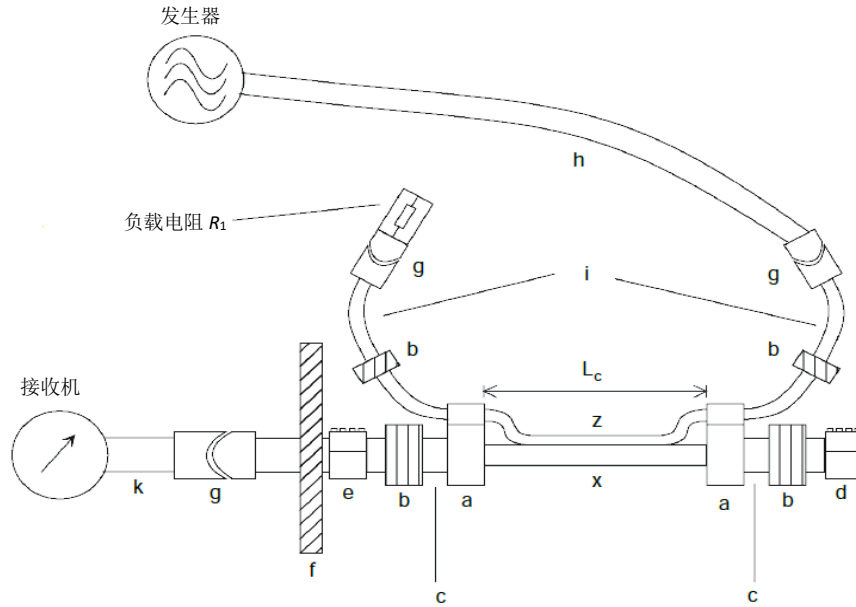
图10 校准装置

7.4 测量程序

在确定转移阻抗的三同轴测量法（IEC 62153-4-3）中,通过对外部电路近端进行短路来实现通过电容的短路。在线注入电路中,转移阻抗 Z 和容性耦合阻抗 Z_c 在线缆上共同作用产生等效的转移阻抗 Z_{TE} 。因此,应进行远端测量和近端测量（见图11）。

衰减应在整个频段内优先采用对数频率扫描进行测量,测量频点应与校准频点相同。

考虑到电缆屏蔽圆周方向的不均匀性,应在每次相隔 90° 的方向上至少进行4次测量（见7.2.3）。



标引序号说明:

- a ——注入部件;
- b ——铁氧体;
- c ——用于附加屏蔽的黄铜/铜管;
- d ——CUT匹配电阻的屏蔽盒;
- e ——连接CUT和接收机的屏蔽盒;
- f ——有屏蔽同轴馈通的屏蔽室的墙面;
- g ——连接器（SMA, N 等）;
- h ——从发生器引出的馈线;
- i ——注入电缆的馈线;
- k ——与接收机连接的电缆;
- x ——CUT;
- z ——注入线;
- L_c ——耦合长度。

图11 远端测量试验装置

$$a_{\text{meas}_f}^n = 10 \lg \left| \frac{P_{1f}^n}{P_{2f}^n} \right| = -20 \lg |S_{21f}^n| = 20 \lg \left| \frac{U_{\text{gen, meas}_f^n}}{U_{\text{rec, meas}_f^n}} \right| \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- P_{1f}^n ——近端 (n) 和远端 (f) 测量时馈入注入电路的功率;
- P_{2f}^n ——近端 (n) 和远端 (f) 测量时接收机的功率;

S_{21f} ——近端（n）和远端（f）测量时的散射参数 S_{21} ，正向传输系数；

$U_{\text{gen, meas}_f}$ ——近端（n）或远端（f）测量时发生器的输出电压；

$U_{\text{rec, meas}_f}$ ——近端（n）或远端（f）测量时接收机的输入电压。

7.5 试验结果的评估

定义见公式（8）和公式（9）：

$$Z_{\text{TE}} = \max(Z_{\text{TE}_n}, Z_{\text{TE}_f}) \dots\dots\dots (8)$$

$$Z_{\text{TE}_f} = \frac{1}{L_c} \frac{(R_1 + Z_G)(R_2 + Z_R)}{2\sqrt{Z_G Z_R}} 10^{-\frac{A_{T_n}}{20}} \dots\dots\dots (9)$$

若 $Z_G = Z_R = R_1 = Z_0$ ，则得到公式（10）和公式（11）：

$$Z_{\text{TE}_f} = \frac{1}{L_c} (R_2 + Z_0) 10^{-\frac{A_{T_n}}{20}} \dots\dots\dots (10)$$

$$A_{T_n} = a_{\text{meas}_f} - a_{\text{cal}} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

Z_{TE_f} ——近端（n）或远端（f）测量的等效转移阻抗；

a_{meas_f} ——近端（n）或远端（f）测量的衰减，单位为分贝（dB）；

a_{cal} ——校准程序中测得的衰减，单位为分贝（dB）；

L_c ——耦合长度，单位为米（m）；

R_1 ——注入电路的负载电阻（50 Ω ），单位为欧姆（ Ω ）；

R_2 ——内部电路（CUT的同轴或准同轴电路）的负载电阻；

Z_{TE} ——等效的转移阻抗；

Z_G ——发生器的阻抗；

Z_R ——接收机的阻抗；

Z_0 ——使用具有与发生器和接收机相同阻抗的系统（例如矢量网络分析仪）时的系统阻抗。

8 试验结果的表示

8.1 表示

等效转移阻抗的值在规定频率下用单位长度的 Z_{TE} 表示，频率应在相关电缆规范中规定。

初级电路和次级电路中的失配和结构变化产生差的回波损耗，这可能会导致测量的转移阻抗在较高频率时与实际转移阻抗的单调性能产生偏差或振荡。在这种情况下，在100 MHz以下测量的转移阻抗可以通过转移阻抗的双对数表示中的直线进行外推。直线应与10 MHz~100 MHz频率范围的曲线具有相同的增量。外推可有效至试验布置的截止频率。截止频率由公式（12）计算：

$$f_c = \frac{c}{\pi \cdot L_c \cdot |\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}|} = \frac{1}{\pi \cdot L_c \cdot \left| \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right|} = \frac{1}{\pi \cdot |t_1 - t_2|} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$\epsilon_{r1, 2}$ ——外部（1）电路和内部（2）电路的相对介电常数；

c ——光速， 3×10^8 m/s；

$v_{1,2}$ ——外部（1）电路和内部（2）电路的传播速度；

f_c ——截至频率；

L_c ——耦合长度, 单位为米 (m) ;

$t_{1,2}$ ——外部 (1) 电路和内部 (2) 电路中长度为 L 时信号的传播时间。

注: 传播时间可通过TDR技术进行测量。在这种情况下——取决于试验设备——测得的时间可对应于往返传播, 即传播时间的两倍。

8.2 归一化的屏蔽衰减

对于均匀的屏蔽层——即沿电缆长度没有变化的屏蔽层——以及转移阻抗与频率成比例增加的屏蔽层, 转移阻抗可以转换为归一化的屏蔽衰减 (详细信息见IEC 62153-4-0)。归一化条件是外部电路中的阻抗为150 Ω , 内部电路和外部电路之间的速度差为10%, 见公式 (13)。

$$a_{sn}(150 \Omega; 10\%) = 20 \lg \left(\frac{\omega \sqrt{Z_2 Z_s}}{Z_{TE} \cdot 11 \cdot v_2} \right) = 20 \lg \left(\frac{\omega \sqrt{Z_2 Z_s} \cdot \sqrt{\epsilon_{r2}}}{Z_{TE} \cdot 11 \cdot c_0} \right) \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$a_{sn}(150 \Omega; 10\%)$ ——归一化屏蔽衰减, 归一化条件为外部电路阻抗为150 Ω , 内部电路和外部电路的速度差为10%;

Z_s ——外部电路为150 Ω 的归一化阻抗;

Z_2 ——内部电路 (即CUT的同轴或准同轴系统) 的阻抗;

v_2 ——信号在内部电路 (即CUT的同轴或准同轴系统) 中的传播速度;

Z_{TE} ——等效转移阻抗;

c_0 ——光速, 3×10^8 m/s;

ϵ_{r2} ——内部电路 (即CUT的同轴或准同轴系统) 的相对介电常数。

8.3 温度修正

无需进行温度修正。

8.4 试验报告

应记录相关电缆规范规定的频率下的单位长度等效转移阻抗最大值, 该值是在近端或远端至少进行4次测量获得。

9 要求

最大等效转移阻抗的结果应符合相关电缆规范中的规定值。

参 考 文 献

[1]IEC TR 62153-4-0 Metallic communication cable test methods — Part 4-0: Electromagnetic compatibility (EMC)—Relationship between surface transfer impedance and screening attenuation, recommended limits

[2]IEC TS 62153-4-1 Metallic communication cable test methods — Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) — Introduction to electromagnetic screening measurements

[3]IEC 60169-15 Radio-frequency connectors—Part 15: R.F. coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 4.13 mm (0.163 in) with screw coupling—Characteristic impedance 50 ohms (Type SMA)

[4]IEC 61169-16 Radio-frequency connectors—Part 16: Sectional specification—RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 7 mm (0,276 in) with screw coupling—Characteristics impedance 50 ohms (75 ohms) (type N)
