

表面转移阻抗——三同轴方法

朱荣华 李谦若

(中国电子科技集团公司第二十三研究所)

[摘要] IEC 62153-4-3:2002 电磁兼容 (EMC) ——表面转移阻抗 (三同轴测量方法) 及 EN 50289-1-6:2002 转移阻抗 (三同轴测量方法) 可同时适用于同轴电缆和类同轴屏蔽对称电缆的表面转移阻抗的测量。本文对该标准测试方法的具体实践进行了介绍。

[关键词] 表面转移阻抗、三同轴、测量方法。

Surface transfer impedance — triaxial measurement

Abstract: IEC 62153-4-3 Electro Magnetic Compatibility (EMC)—Surface transfer impedance—Triaxial method and EN 50289-1-6:2002 Transfer impedance — Triaxial method are both suitable to the surface transfer impedance measurement of a coaxial cable or a symmetrical cable. This document describes the application of the triaxial method.

Key words: surface transfer impedance, triaxial, measurement

0. 前言

目前, 对于屏蔽对称电缆和屏蔽多芯等类似于同轴电缆的表面转移阻抗测量国内还未有标准, IEC 62153-4-3: 2002 电磁兼容——表面转移阻抗 (三同轴测量方法) 及 EN 50289-1-6: 2002 转移阻抗 (三同轴测量方法) 是一种既可以测量同轴电缆又可以测量类同轴的屏蔽对称和屏蔽多芯电缆的转移阻抗试验方法。IEC 62153-4-3: 2002 有测试方法 A (匹配-短路法) 和测试方法 B (短路-短路法) 两种, 其中测试方法 A 与 EN 50289-1-6: 2002 测量方法完全相同。本文介绍的是 IEC 62153-4-3: 2002 测试方法 A 的内容。该方法在 100MHz 频率以下测量无须在屏蔽室内进行, 且测量较为方便。

1. 转移阻抗 Z_T 的定义

一个短电气长度的纵向均衡屏蔽的转移阻抗 Z_T 定义为单位长度上由被测的屏蔽及测量夹具形成的, 在匹配外电路上感应的纵向电压 U_2 和馈入内电路的电流 I_1 之比。反之亦然。即:

$$Z_T \cdot L_c = \frac{U_2}{I_1} \quad (1)$$

式中: L_c 为耦合长度, 即测试夹具内的电缆长度。

本试验方法通过在电缆屏蔽上加载已知的电流或电压, 然后测量感应电压来测定表面转移阻抗从而达到测量屏蔽电缆的屏蔽效率的目的。本试验方法仅用于测量转移阻抗的幅值分量, 若要测量电抗分量 (电容耦合阻抗), 可采用 IEC61196-1 条款 12.3 描述的方法。

三同轴测量方法适应频率范围 30MHz 以下、样品长度 1m 以及频率范围 100MHz 以下、样品长度 0.3m。如最高测试频率为 f_{\max} , 则允许的最大耦合长度 $L_{c,\max}$ 为:

$$L_{c,max} \leq \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{\epsilon_{r1}} \cdot f_{max}} \tag{2}$$

式中：

$L_{c,max}$ 为最大耦合长度，(m)；

f_{max} 为最高测试频率，(Hz)；

ϵ_{r1} 为电缆相对介电常数的计算结果。

2. 转移阻抗的测试方法

本测试方法通过测量在三同轴装置中的电缆来测定电缆的转移阻抗。试样电缆的屏蔽和内导体组成内电路，电缆屏蔽和同轴测试夹具组成外电路，且内电路即电缆终端是匹配的，外电路的近端即电缆屏蔽的近端是短路的，远端连接到接收机。

2.1 电缆试样准备及其测试装置

测试样品的长度不能超过耦合长度的 50%，同轴电缆试样的准备如图 1 所示。

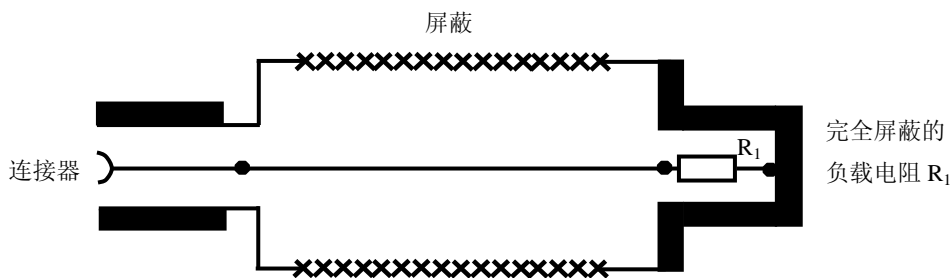


图 1 同轴电缆试样的准备

同轴电缆的一端与一个屏蔽良好的电阻 R_1 连接，其阻值等于试样的特性阻抗 Z_1 。另一端通过一个连接器与信号发生器连接。所有连接器及连接点必须连接可靠。

屏蔽对称电缆和屏蔽多芯电缆试样的准备类似于同轴电缆，即将所有线对导体两端互相连接在一起，所有屏蔽包括单独屏蔽的线对都连接在一起，构成准同轴系统，如图 2 所示。

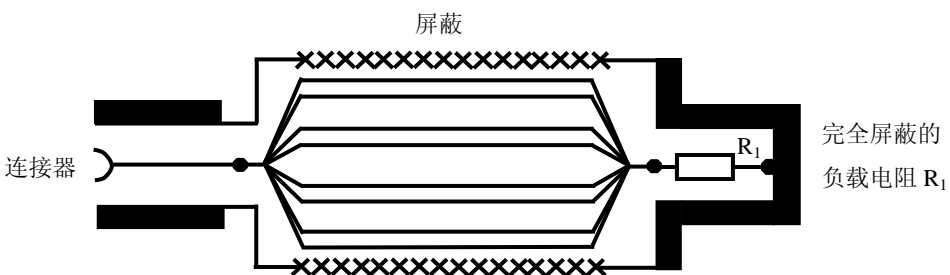


图 2 对称电缆试样的准备

准同轴系统的一端连接屏蔽良好的电阻 R_1 ，其阻值等于准同轴试样的特性阻抗 Z_1 。另一端通过一个连接器与信号发生器连接。所有连接器及连接点必须连接可靠。

测试装置是一个三同轴的测试管，试样必须适合于测试装置，电缆屏蔽形成了内电路的外导体和外电路的内导体。外电路的外导体是一没有铁磁性的金属（如黄铜或纯铜）良导体管，在电缆馈入端测试管与屏蔽之间短路，如图 3 所示。

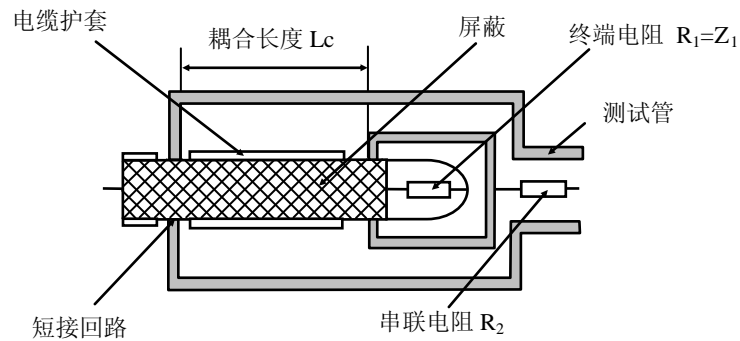


图 3 测试管的连接

对于 55mm 内径的管子和大约 5mm 直径的电缆，串联电阻 R_2 的值为 150Ω。其他尺寸的管子和电缆， R_2 的值根据下式计算：

$$R_2 \approx 1.4 \times 60 \ln \frac{d_o}{d_c} - 50 \quad (3)$$

式中：

d_o 为管子内径；

d_c 为电缆屏蔽外径。

实际的三同轴装置见图 4。



图 4 三同轴装置实物图

测量设备可以是一台网络分析仪，或是独立的信号发生器和选频测试接收机。测量极低的转移阻抗时需使用低噪声放大器来放大接收的信号。如电缆的特性阻抗与信号发生器不一致时，还需要在两者之间采用阻抗匹配器。

2.2 测试系统的连接

当采用网络分析仪测试时，测试系统连接如图 5 所示。

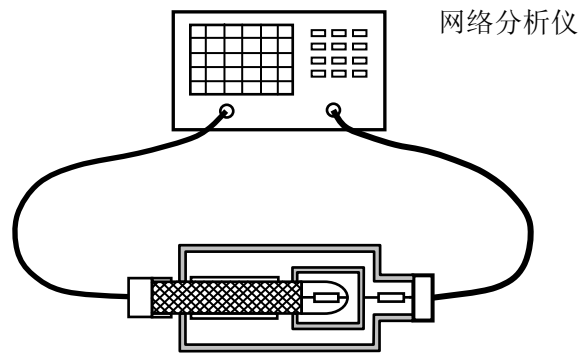


图 5 采用网络分析仪的测试系统连接示意图

2.3 内系统特性阻抗

如果内电路的特性阻抗 Z_1 不知道，可以使用矢量网络分析仪或阻抗分析仪等来测定。将准备好的试样一端接到网络分析仪，此网络分析仪已在接口参考面连接器上完成阻抗测量的校准。测试频率 f_{test} 必须是使试样长度约为 $1/8\lambda$ 。此处 λ 为波长。

$$f_t \approx \frac{c}{8L_s \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (4)$$

式中：

f_t 为测试频率；

c 为光速， $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ；

L_s 为样品长度。试样的远端短路，测得阻抗 Z_{short} ，然后试样在原短路的同一点开路，测得阻抗 Z_{open} 。 Z_1 按下式(5)计算：

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} Z_{\text{open}}} \quad (5)$$

R_1 是取接近 Z_1 标准值的电阻，误差在 10% 以内。

2.4 阻抗匹配电路

如果内电路的特性阻抗和信号发生器之间反射系数 > 0.2 ，必须使用阻抗匹配器。这可以用带有一个串联电阻 R_s 和一个并联电阻 R_p 来实现（商用的适配器可用来进行一些典型阻抗的组合，如 $50/75\Omega$ ）。

如果内电路的特性阻抗 Z_1 和 R_1 都小于 50Ω ，则 R_s 、 R_p 分别为：

$$R_s = 50 \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (6)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (7)$$

阻抗匹配电路的连接如图 6 所示。

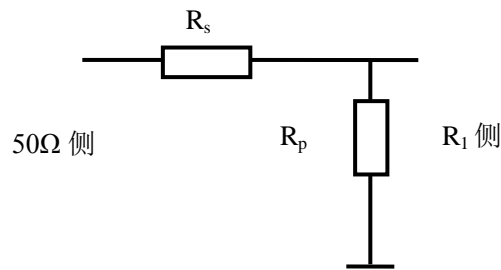


图 6 Z_1 、 $R_1 < 50\Omega$ 时的阻抗匹配电路连接示意图

电路的电压增益 k_m ：

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 + R_p + R_1 R_s} \quad (8)$$

如果内系统的特性阻抗 Z_1 和 R_1 都大于 50Ω ，则 R_s 、 R_p 分别为：

$$R_s = R_1 \sqrt{1 - \frac{50}{R_1}} \quad (9)$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_1}}} \quad (10)$$

阻抗匹配电路的连接如图 7 所示。

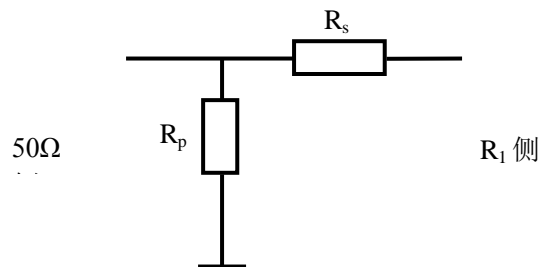


图 7 Z_1 、 $R_1 > 50\Omega$ 时的阻抗匹配电路连接示意图

电路的电压增益 k_m ：

$$k_m = \frac{R_1}{R_s + R_1} \quad (11)$$

2.5 测量步骤

如图 5 所示，将电缆试样连接到网络分析仪的输出或信号发生器，外电路（外管）连接到网络分析仪的输入或测试接收机。

首先测量连接电缆（引线）在整个转移阻抗规定的频段内对数频率扫描的合成损耗 α_{cal} ，并作为校准数据存贮下来，以便对测量结果进行修正。

$$\alpha_{cal} = 20 \lg \left| \frac{U_{F,cal}}{U_{R,ca1}} \right| \quad (12)$$

式中：

$U_{F,cal}$ 为校准过程期间的馈入电压；

$U_{R,cal}$ 为校准过程期间接收机上接收到的电压。

然后测量转移阻抗规定的整个频段对数频率扫描的衰减 α_{meas} ，频率点同校准程序中的一样。

$$\alpha_{meas} = 20 \lg \left| \frac{U_{F,meas}}{U_{R,meas}} \right| \quad (13)$$

式中：

$U_{F,meas}$ 为测试过程期间的馈入电压；

$U_{R,meas}$ 为测试过程期间接收机上接收到的电压。

根据定义即(1)式：

$$Z_T L_c = \frac{U_2}{I_1}$$

式中 U_2 为外电路中接受到的电压， I_1 为内电路中的电流。当接收机的特性阻抗为 50Ω 时，由图 3 可得下式：

$$U_R = \frac{50}{50 + R_2} U_2 \quad (14)$$

式中 U_R 为接收机上接收到的电压， R_2 为串联电阻。由式(14)可得：

$$U_2 = \frac{50 + R_2}{50} U_R \quad (15)$$

$$I_1 = \frac{U_i}{R_1} = \frac{k_m U_{F,meas}}{R_1} \quad (16)$$

由于 $Z_T L_c \ll R_1$ ，则

$$Z_T L_c = \frac{U_2}{I_1} = \frac{R_1 (50 + R_2)}{50 k_m} \cdot \frac{U_R}{U_{F,meas}} \quad (17)$$

$$Z_T = \frac{R_1 (50 + R_2)}{50 k_m L_c} 10^{\left\{ \frac{\alpha_{meas} - \alpha_{cal}}{20} \right\}} \quad (18)$$

上式中：

U_i 为内系统中的电压；

Z_T 为转移阻抗；

α_{meas} 为测试过程中测得的衰减；

α_{cal} 为校准过程中测得的合成衰减；

L_c 为耦合长度；

R_1 为内系统中的端接电阻；

R_2 为外系统中的串联电阻；

k_m 为匹配电路的电压增益。

3. 自动测试及图形输出

从 2.5 节看出，转移阻抗需将网络分析仪或测试接收机测得的接收信号经数学计算而获得最

终结果。如果想要转移阻抗与频率的关系曲线，则需要测量频段内的很多转移阻抗值，因此人工是无法实现的，必须进行自动测试。因此，我们利用测量仪器的 GBIP 接口，并采用计算机控制来实现自动测试，达到测量转移阻抗并绘制图形的目的。

4. 测试实例

系统建立后我们对四种同轴电缆产品进行了测试，包括 SUJ-50-3（双层镀银铜扁线密编外导体）、SYV-50-3（单层铜丝密编外导体）、SYWV-50-5（铝箔加镀锡铜丝稀编外导体）和 SYV-50-3（镀银铜丝双层密编外导体）等四种样品在 1MHz~100MHz 频率范围进行了测试，其的转移阻抗结果分别如下图 9~图 12 所示。

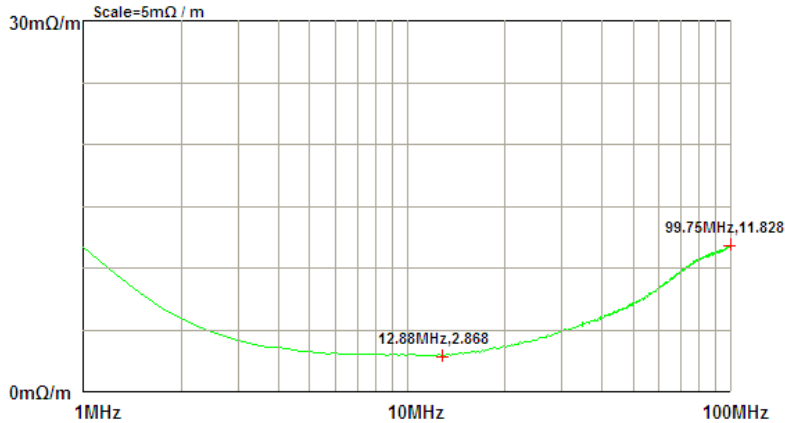


图 9 SUJ-50-3（双层镀银铜扁线密编外导体）转移阻抗曲线

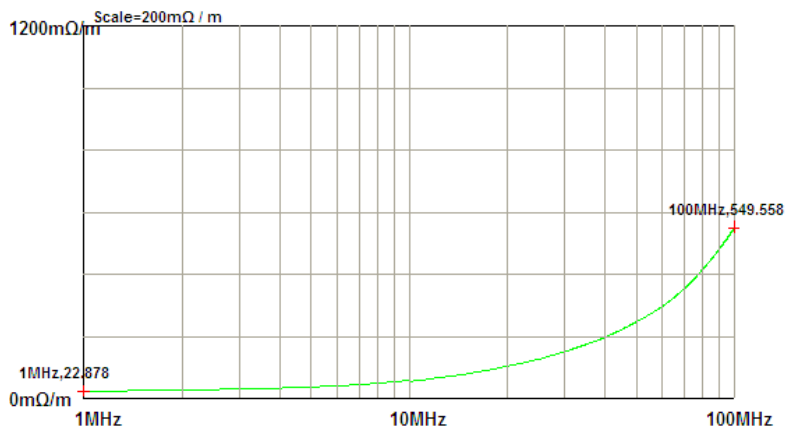


图 10 SYV-50-3（单层铜丝密编外导体）转移阻抗曲线

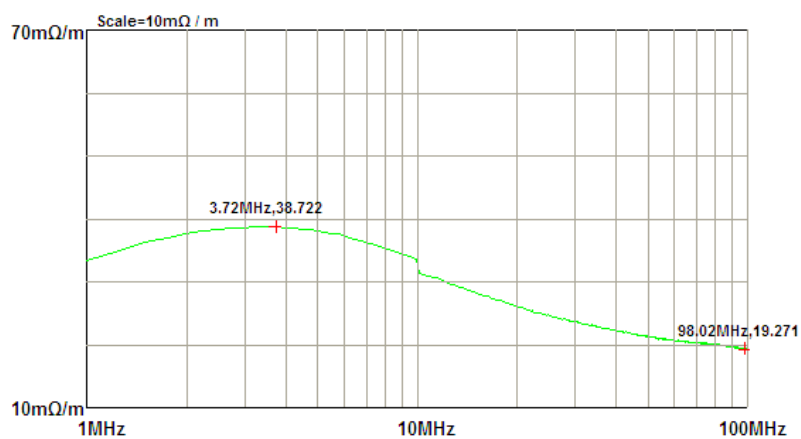


图 11 SYWV-50-5 (铝箔加镀锡铜丝稀编外导体) 转移阻抗曲线

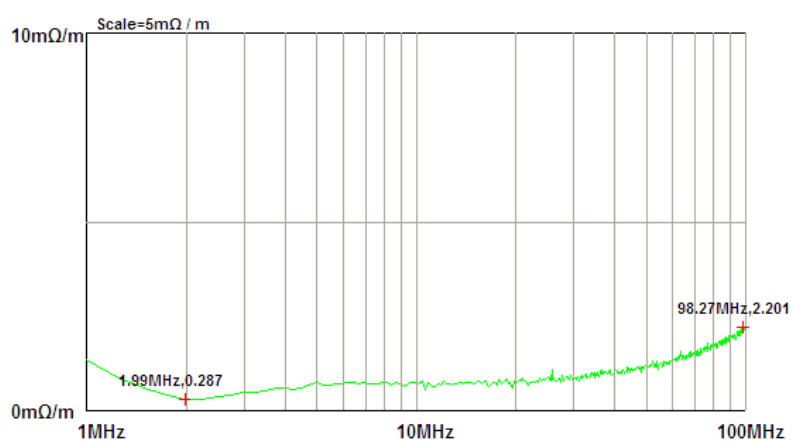


图 12 SYV-50-3 (镀银铜丝双层密编外导体) 转移阻抗曲线

参考文献:

1. EN 50289-1-6 2002 转移阻抗: 三同轴法
2. IEC 62153-4-3 2002 金属通信电缆测试方法 (表面转移阻抗——三同轴方法)