



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1494—2014

---

## 网络线缆分析仪 校准规范

Calibration Specification for Network Cable Analyzers

2014-11-17 发布

2015-02-17 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 网络线缆分析仪

## 校准规范

Calibration Specification for  
Network Cable Analyzers

JJF 1494—2014

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：工业和信息化部通信计量中心

上海电缆研究所

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

李胜海（工业和信息化部电子第五研究所）

王 勇（工业和信息化部电子第五研究所）

詹志强（上海市计量测试技术研究院）

**参加起草人：**

杨桥新（工业和信息化部电子第五研究所）

许 伟（工业和信息化部通信计量中心）

涂建坤（上海电缆研究所）



## 目 录

引言	( II )
1 范围	( 1 )
2 引用文件	( 1 )
3 术语和计量单位	( 1 )
3.1 传播时延	( 1 )
3.2 近端串扰	( 1 )
3.3 等效远端串扰	( 1 )
4 概述	( 1 )
5 计量特性	( 1 )
5.1 直流环路电阻	( 1 )
5.2 传播时延	( 2 )
5.3 插入损耗	( 2 )
5.4 近端串扰	( 2 )
5.5 等效远端串扰	( 2 )
5.6 回波损耗	( 2 )
5.7 长度	( 2 )
6 校准条件	( 2 )
6.1 环境条件	( 2 )
6.2 测量标准及其他设备	( 2 )
7 校准项目和校准方法	( 4 )
7.1 外观及工作正常性检查	( 4 )
7.2 直流环路电阻	( 4 )
7.3 传播时延	( 5 )
7.4 插入损耗	( 5 )
7.5 近端串扰	( 5 )
7.6 等效远端串扰	( 6 )
7.7 长度	( 8 )
7.8 回波损耗	( 8 )
8 校准结果的表达	( 9 )
9 复校时间间隔	( 9 )
附录 A 校准记录表格	( 10 )
附录 B 直流环路电阻校准的测量不确定度评定	( 18 )
附录 C 回波损耗辅助件和 RJ45 校准件	( 21 )
附录 D 阻抗转换器	( 22 )
附录 E ELFEXT 模拟器	( 23 )

## 引 言

本校准规范的编制依据为 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》。

本校准规范主要技术依据有以下国际标准：

IEC 61156-1《数字电信用对绞或星绞多芯对称电缆，第一部分：总规范》（Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications—Part 1: Generic specification）；

IEC 61935-1《平衡和同轴信息技术布线测试规范，第一部分：在 ISO/IEC 11801 及相关标准的规定安装的平衡布线》（Specification for the testing of balanced and coaxial information technology cabling—Part 1: Installed balanced cabling as specified in ISO/IEC 11801 and related standards）；

ANSI/TIA/EIA-568《商业楼宇电信布线标准：平衡双绞线电信布线和连接硬件标准》（Commercial Building Telecommunications Cabling Standard: Balanced Twisted—Pair Telecommunications Cabling and components Standard）；

IEEE Std 802.3—2008《本地网和城域网两系统之间的通信信息交换的指标要求》（Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements）。

本规范为首次发布。

## 网络线缆分析仪校准规范

### 1 范围

本规范适用于测试 5、5E、6 类等双绞线的网络线缆分析仪的校准。测试超 6 类、7 类双绞线的网络线缆分析仪可参照使用。

### 2 引用文件

TIA—1152 平衡双绞线布线的现场测试仪器和测量的要求 (Requirements for Field Test Instruments and Measurements for Balanced Twisted—Pair Cabling)

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 传播时延 propagation delay

在电缆组件的基准面之间, 传播横向电磁 (TEM) 波的频率范围内, 每个频率的相位时延, 单位为纳秒 (ns)。

#### 3.2 近端串扰 near-end cross-talk, NEXT

一条链路中, 处于线缆一侧的某发送线对, 对于同侧的其他相邻 (接收) 线对通过电磁感应所造成的信号耦合, 单位为分贝 (dB)。

#### 3.3 等效远端串扰 equal level far and crosstalk, ELFEXT

一条链路中, 处于线缆一侧的某发送线对, 对于另外一侧的其他相邻 (接收) 线对通过电磁感应所造成的信号耦合, 即远端串扰。

等效远端串扰是指某对线对上接收的远端串扰与该线对传输信号衰减差, 单位为分贝 (dB)。

### 4 概述

网络线缆分析仪由测试主机和远端两部分构成。线缆分析仪的主机产生信号, 并接收远端发送回来的信号进行数据分析处理; 远端对主机进行响应并发回信号。

网络线缆分析仪用于测试局域网物理层参数、网络布线质量, 应用于网络先期布线安装或解决后续故障、维护网络, 是对布线系统进行认证测试、确定其各项连通及传输性能指标达到国家或者国际标准的要求而使用的必备分析仪器。

网络线缆分析仪主要采用数字测试技术和时域反射技术来实现快速测试。

### 5 计量特性

#### 5.1 直流环路电阻

测量范围: (0~50)  $\Omega$ ; 最大允许误差:  $\pm(1\% \text{ 读数} + 1 \Omega)$ 。

## 5.2 传播时延

测量范围：(0~500) ns；最大允许误差： $\pm(4\% \text{读数} + 5 \text{ ns})$ （在 10 MHz）。

## 5.3 插入损耗

频率范围：1 MHz~250 MHz；

测量范围：(0~40) dB；

最大允许误差： $\pm 1.2 \text{ dB}$  在 100 MHz，  
 $\pm 1.9 \text{ dB}$  在 250 MHz。

## 5.4 近端串扰

频率范围：1 MHz~250 MHz；

测量范围：(20~70) dB；

最大允许误差： $\pm 1.8 \text{ dB}$  在 100 MHz，  
 $\pm 2.8 \text{ dB}$  在 250 MHz。

## 5.5 等效远端串扰

频率范围：1 MHz~250 MHz；

测量范围：(10~60) dB；

最大允许误差： $\pm 1.8 \text{ dB}$  在 100 MHz，  
 $\pm 3.1 \text{ dB}$  在 250 MHz。

## 5.6 回波损耗

测量范围：(8~26) dB；

最大允许误差： $\pm 2.8 \text{ dB}$  在 100 MHz，  
 $\pm 2.5 \text{ dB}$  在 250 MHz。

## 5.7 长度

测量范围：(0~100) m；最大允许误差： $\pm(4\% \text{读数} + 1 \text{ m})$ 。

注：以上技术指标不是用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(23 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ；

6.1.2 相对湿度：20%~80%；

6.1.3 供电电压： $(220 \pm 22) \text{ V}$ 、 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ ；

6.1.4 周围无影响正常工作的电磁干扰和机械振动。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 网络分析仪

频率范围：(1~250) MHz；

群时延的最大允许误差： $\pm(1\% \text{读数} + 1 \text{ ns})$ （在 10 MHz）；

幅度测量的动态范围：(0~70) dB；

最大允许误差： $\pm 0.35 \text{ dB}$ 。

#### 6.2.2 阻抗转换器的校准件

开路器：四组线对都开路；

短路器：四组线对都短接；

负载：四组线对分别焊接 100  $\Omega$  精密电阻 [直流电阻： $\pm 0.1\%$ ；交流阻抗： $\pm 1\%$  在 (1~250) MHz。此数据来源于引言中所列的国际标准。]

短跳线：一段长度尽量短（必须小于 0.1 m）的 6 类跳线。

制作示意图见附录 C。

#### 6.2.3 回波损耗辅助件

频率范围：(1~250) MHz；

回波损耗的标称值：8 dB, 14 dB, 20.1 dB, 26.5 dB；

最大允许误差： $\pm 0.8$  dB；

重复性： $\pm 0.05$  dB。

制作示意图见附录 C。

#### 6.2.4 同轴步进衰减器

频率范围：(1~250) MHz；特性阻抗：50  $\Omega$ ；

衰减范围：(0~70) dB, 10 dB 步进；

最大允许误差： $\pm(0.01$  设定值 $+0.3$  dB)；

重复性： $\pm 0.03$  dB。

#### 6.2.5 直流电阻箱

范围：(0~100)  $\Omega$ ；

最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

#### 6.2.6 直流电阻表

四线法测量范围：(0~100)  $\Omega$ ；

最大允许误差： $\pm 0.05\%$ 。

#### 6.2.7 稳定线缆

双绞线线缆两头需制作 RJ45 接头。

在水平 50 N 拉力下，长度要求为：20 m, 40 m, 60 m, 80 m, 100 m 各一条；

长度最大允许误差： $\pm 0.1$  m；

传播时延的重复性优于  $\pm 0.2$  ns（在 10 MHz）。

#### 6.2.8 辅助线缆

近端串扰范围覆盖：(20~70) dB；

回波损耗范围覆盖：(8~26) dB；

等效远端串扰范围覆盖：(20~110) dB；

短期稳定性： $\pm 0.1$  dB/1 h。

#### 6.2.9 50 $\Omega$ 负载

频率范围：(1~250) MHz；

特性阻抗：50  $\Omega$ ；

回波损耗：大于 20 dB。

### 6.2.10 平衡/不平衡转换器

频率范围：(1~250) MHz；

特性阻抗：初级为非平衡 50  $\Omega$ 、次级为平衡 100  $\Omega$ ；

插入损耗的最大值：3 dB；

次级回波损耗：大于 20 dB。

采用平衡/不平衡转换器制作阻抗转换器的示意图参照附录 D。

### 6.2.11 等效远端串扰模拟器 (ELFEXT 模拟器)

ELFEXT 范围：(10~60) dB；

短期稳定性： $\pm 0.1$  dB/1 h。

ELFEXT 模拟器的制作可参照附录 E。

注：以上是针对 50  $\Omega$  特性阻抗的标准而言，75  $\Omega$  特性阻抗的标准件和辅助件的制作，可参照 50  $\Omega$  特性阻抗的制作。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 外观及工作正常性检查

7.1.1 被校仪器应有说明书和配套附件，应无影响电气性能的机械损伤，其开关、按键、接口等应可靠，旋钮应牢固且调节正常。被校仪器通电开机后，应能自动完成自检。

7.1.2 进行后续校准时，被校仪器及校准用设备应按规定时间（一般为 30 min）预热。

7.1.3 在使用网络分析仪测试之前，使用 50  $\Omega$  校准件对其进行双端口校准。

### 7.2 直流环路电阻

#### 7.2.1 网络线缆分析仪主机能单独工作

a) 使用一端有 RJ45 插头的双绞线（长度要求不得大于 0.1 m，越短越好），另一端选取一组线对，例如 3-6 线对，如图 1 所示连接到直流电阻箱。

注：网络线缆分析仪的八条测试线分为四组线对工作，分别是：1-2、3-6、4-5、7-8 线对。



图 1 网络线缆分析仪主机校准 3-6 线对直流环路电阻

b) 网络线缆分析仪置于手动直流环路电阻测量功能，根据附录 A 中表 A.1 中的标准值，从小到大调节直流电阻箱的标准值  $R_0$ ，依次读取网络线缆分析仪的指示值  $R$ 。

c) 改用其他线对连接直流电阻箱，重复 a) 和 b)。

#### 7.2.2 网络线缆分析仪主机必须和远端共同工作

a) 用直流电阻表采用四线法标定一条稳定线缆各线对的直流电阻标准值  $R_0$ 。

b) 按图 2 连接网络线缆分析仪和稳定线缆。

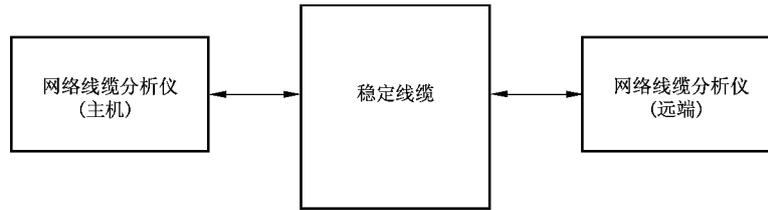


图 2 网络线缆分析仪主机和远端同时测量

- c) 网络线缆分析仪使用直流环路电阻测量功能，读取指示值  $R$ 。
- d) 改用不同直流电阻值的稳定线缆，重复上述测量。

### 7.3 传播时延

7.3.1 按图 3 所示，通过两个阻抗转换器连接网络分析仪，并用短跳线连接两个阻抗转换器，进行直通校准群时延。

7.3.2 按图 3 所示，通过两个阻抗转换器连接网络分析仪和稳定线缆的 3-6 线对。用网络分析仪测量稳定线缆，读取 10 MHz 频率点处的传播时延值  $T_0$ 。

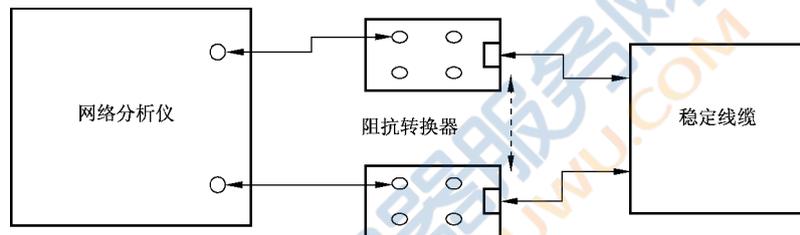


图 3 用网络分析仪标定稳定线缆的两端

7.3.3 按图 2 连接网络线缆分析仪和稳定线缆。

7.3.4 操作网络线缆分析仪，测量稳定双绞线的传播时延，读取 3-6 线对的传播时延值  $T$ 。

7.3.5 根据附录 A 中表 A.2 中的标准值，使用不同长度的稳定线缆重复进行上述测量，记录其相应数据。

### 7.4 插入损耗

7.4.1 按图 3 所示，通过两个阻抗转换器连接网络分析仪，并用短跳线连接两个阻抗转换器，进行直通校准幅度。

7.4.2 按图 3 所示，通过两个阻抗转换器连接网络分析仪和 100 m 的稳定线缆的 3-6 线对。用网络分析仪测量稳定线缆，读取要测频率点处的插入损耗值  $A_0$ 。

7.4.3 用网络线缆分析仪按图 2 所示，测量 100 m 的稳定线缆，读取各线对在要测频率点处的插入损耗值  $A$ 。

7.4.4 重复 6.4.2，用网络分析仪测量并读取其他线对和频率点处的插入损耗值  $A$ 。

### 7.5 近端串扰

7.5.1 网络线缆分析仪主机能单独工作

- a) 仪器连接如图 4 所示。

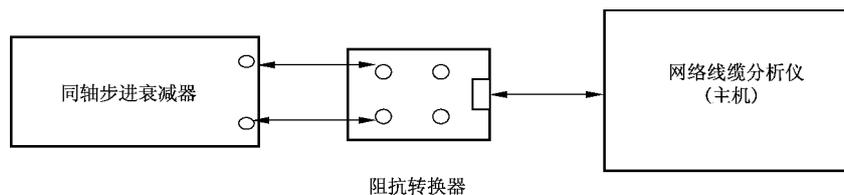


图4 网络线缆分析仪主机校准两组线对之间的近端串扰

b) 用网络线缆分析仪按图4所示, 选取相应的串扰线对, 通过阻抗转换器连接到同轴步进衰减器 (阻抗转换器未用的端口接  $50\ \Omega$  负载), 先置衰减器为  $0\ \text{dB}$ , 读取网络线缆分析仪在要求的频率点处的近端串扰值  $N_1$ ; 改变同轴步进衰减器的衰减值读取网络线缆分析仪在此频率点处的新近端串扰值  $N_2$ , 按公式 (1) 进行计算得到在该频率点的近端串扰值  $N$ 。

$$N = N_2 - N_1 \quad (1)$$

式中:

$N$  ——近端串扰测量值,  $\text{dB}$ ;

$N_1$  ——衰减器为  $0\ \text{dB}$  时近端串扰测量值,  $\text{dB}$ ;

$N_2$  ——衰减器置一定衰减值后近端串扰测量值,  $\text{dB}$ 。

c) 使用网络分析仪标定同轴步进衰减器上述频率点处前后变化的实际衰减差值, 作为标准值  $N_0$ 。

d) 选取不同线对组合重复 b), 改变同轴步进衰减器的衰减量, 记录相应数据。

#### 7.5.2 网络线缆分析仪主机必须和远端共同工作

a) 按图5所示, 通过一个阻抗转换器连接网络分析仪和阻抗转换器的短路器, 进行直通校准幅度。

b) 按图5所示, 通过一个阻抗转换器连接网络分析仪和辅助线缆同一端的 1-2 线对和 3-6 线对, 辅助线缆另一端接阻抗转换器, 两个阻抗转换器未用的端口都接  $50\ \Omega$  负载。用网络分析仪测量辅助线缆, 读取要测频率点处的两组线对之间的衰减值  $N_0$ 。

c) 按图2连接网络线缆分析仪和 b) 中的辅助线缆。

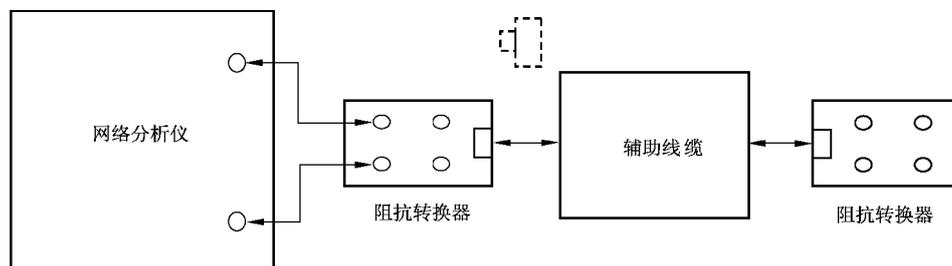


图5 用网络分析仪标定辅助线缆两组线对之间的近端串扰

d) 网络线缆分析仪使用近端串扰测量功能, 读取对应频率点处上述线对之间的近端串扰值  $N$ 。

e) 改用不同近端串扰值的辅助线缆, 重复上述测量。

#### 7.6 等效远端串扰

7.6.1 按图6所示, 通过两个阻抗转换器连接网络分析仪, 并用短跳线连接两个阻抗

转换器，进行直通校准幅度。

7.6.2 用网络分析仪按图 6 所示，通过阻抗转换器连接（阻抗转换器未用的端口接  $50\ \Omega$  负载）ELFEXT 模拟器或辅助线缆，读取被串扰 1-2 线对在要测频率点处的插入损耗值  $A_0$ 。

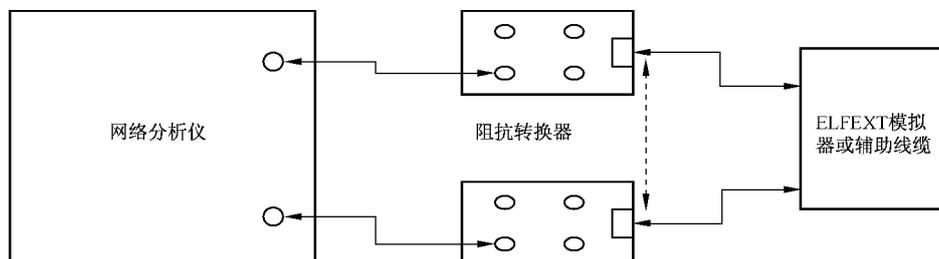


图 6 用网络分析仪标定模拟器或辅助线缆一组线对的插入损耗

7.6.3 用网络分析仪按图 7 所示，通过阻抗转换器连接（阻抗转换器未用的端口接  $50\ \Omega$  负载）ELFEXT 模拟器或辅助线缆，读取要测频率点处 3-6 线对到 1-2 线对之间的远端串扰值  $F_0$ 。

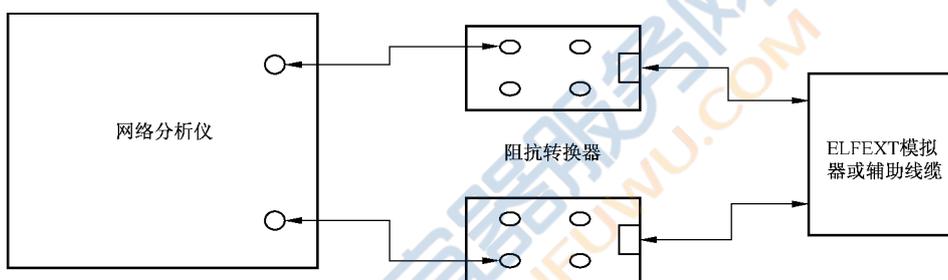


图 7 用网络分析仪标定模拟器或辅助线缆两组线对之间的远端串扰

7.6.4 按公式 (2) 进行计算得到在该频率点处 3-6 线对到 1-2 线对之间的等效远端串扰值  $E_0$ 。

$$E_0 = F_0 - A_0 \quad (2)$$

式中：

$E_0$ ——等效远端串扰值，dB；

$F_0$ ——远端串扰测量值，dB；

$A_0$ ——被串扰线对在待测频率点的插入损耗值，dB。

7.6.5 用网络线缆分析仪如图 8 所示，测量 ELFEXT 模拟器或辅助线缆，读取被测两组线对之间在指定频率点处的等效远端串扰值  $E$ 。



图 8 网络线缆分析仪主机和远端同时测量

7.6.6 使用不同串扰值的 ELFEXT 模拟器或辅助线缆重复进行上述测量，记录相应数据。

### 7.7 长度

7.7.1 用网络线缆分析仪如图 2 所示连接已标定长度的稳定线缆，在网络线缆分析仪“设置”输入被测稳定线缆的标称传播速率 NVP 值，使用长度测量功能，读取其物理长度值  $L$ 。

7.7.2 使用不同长度的稳定线缆重复上述测量，记录相应数据。

### 7.8 回波损耗

#### 7.8.1 网络线缆分析仪主机能单独工作

a) 如图 9 所示，连接阻抗转换器到网络分析仪的一端口，然后用阻抗转换器的校准件进行单端校准。

b) 如图 9 所示，用网络分析仪对回波损耗辅助件在需测频率点的回波损耗值进行标定，记作  $R_L$ 。

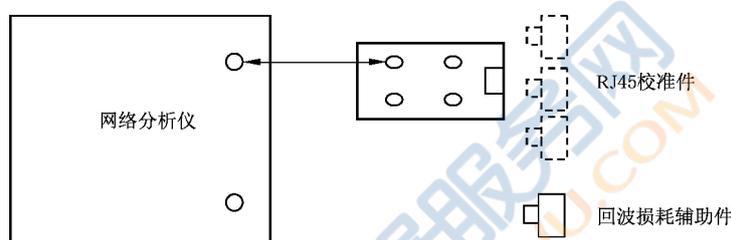


图 9 用网络分析仪标定回波损耗值

c) 如图 10 所示，用被校网络线缆分析仪测量回波损耗辅助件的回波损耗，读取要测频率点处的回波损耗值  $R$ 。

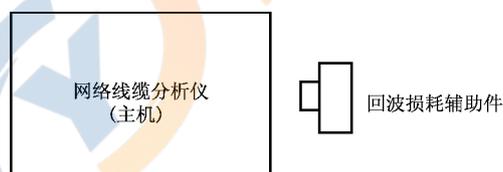


图 10 回波损耗校准原理框图

d) 更换不同量值的回波损耗辅助件，重复以上测量，记录相应数据。

#### 7.8.2 网络线缆分析仪主机必须和远端共同工作

a) 如图 9 所示，连接阻抗转换器到网络分析仪的一端口，然后用阻抗转换器的校准件进行单端校准。

b) 如图 11 所示，用网络分析仪对另一端连接了网络线缆分析仪远端的辅助线缆在需测频率点的回波损耗值进行标定，记作  $R_L$ 。

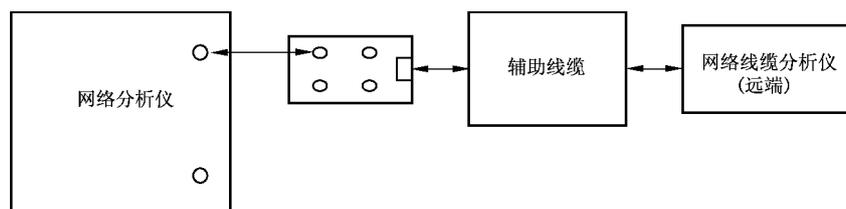


图 11 用网络分析仪标定回波损耗值

c) 如图 12 所示, 连接网络线缆分析仪和辅助线缆。使用网络线缆分析仪的回波损耗测量功能, 读取各线对在相应频率点处的值  $R$ 。



图 12 网络线缆分析仪主机和远端同时测量

d) 改用不同回波损耗值的辅助线缆, 重复上述测量。

## 8 校准结果的表达

校准后, 出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息:

- 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和应用有关时, 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

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的, 因此, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。推荐为 1 年。

## 附录 A

## 校准记录表格

表 A.1 直流环路电阻校准

线对 (序号)	标准值 $R_0$ $\Omega$	指示值 $R$ $\Omega$
1, 2	5	
	10	
	15	
	20	
	50	
3, 6	5	
	10	
	15	
	20	
	50	
4, 5	5	
	10	
	15	
	20	
	50	
7, 8	5	
	10	
	15	
	20	
	50	

表 A.2 传播时延校准

线缆 (编号)	标准值 $T_0$ ns	指示值 $T$ ns
1		
2		
3		

表 A.2 (续)

线缆 (编号)	标准值 $T_0$ ns	指示值 $T$ ns
4		
5		

表 A.3 插入损耗校准

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $A_0$ dB	指示值 $A$ dB
1, 2			
3, 6			
4, 5			
7, 8			

表 A.4 近端串扰校准

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $N_0$ dB	指示值 $N$ dB
1, 2—3, 6			

表 A.4 (续)

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $N_0$ dB	指示值 $N$ dB	
1, 2—4, 5				
1, 2—7, 8				
3, 6—4, 5				

表 A.4 (续)

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $N_0$ dB	指示值 $N$ dB
3, 6—7, 8			
4, 5—7, 8			

表 A.5 等效远端串扰校准

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $E_0$ dB	指示值 $E$ dB
1, 2—3, 6			
1, 2—4, 5			

表 A.5 (续)

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $E_0$ dB	指示值 $E$ dB
1, 2—7, 8			
3, 6—1, 2			
3, 6—4, 5			
3, 6—7, 8			
4, 5—1, 2			
4, 5—3, 6			
4, 5—7, 8			
7, 8—1, 2			
7, 8—3, 6			

表 A.5 (续)

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $E_0$ dB	指示值 $E$ dB
7, 8—4, 5			

表 A.6 长度校准

线缆 (编号)	标准值 $L_0$ m	指示值 $L$ m
1		
2		
3		
4		
5		

表 A.7 回波损耗校准

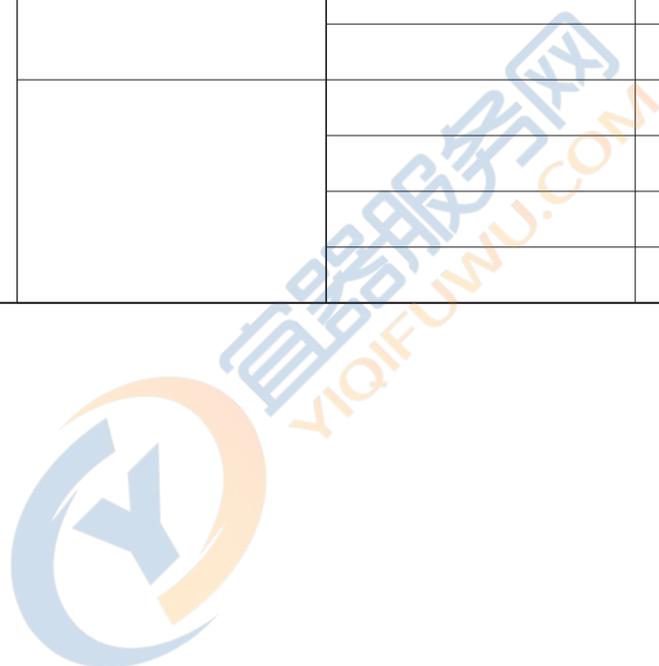
线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $R_L$ dB	指示值 $R$ dB
1, 2			

表 A.7 (续)

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $R_L$ dB	指示值 $R$ dB	
3, 6				
4, 5				

表 A.7 (续)

线对 (序号)	频率 MHz	标准值 $R_L$ dB	指示值 $R$ dB	
7, 8				



## 附录 B

## 直流环路电阻校准的测量不确定度评定

校准方法：根据 7.2.1，用直流电阻箱作为标准，直接连接到被校网络线缆分析仪，对其直流环路电阻进行校准。

## B.1 测量模型

$$R = R_0$$

式中：

$R$  ——被校网络线缆分析仪的直流环路电阻测量值；

$R_0$  ——直流电阻箱的阻值。

## B.2 不确定度来源分析

- a) 作为标准的直流电阻箱的不准引入的分量，用  $u(R_0)$  表示；
- b) 短连接线及接触电阻引入的分量，用  $u(r)$  表示；
- c) 被校网络线缆分析仪的分辨力引入的分量，用  $u(\text{res})$  表示；
- d) 系统不稳定引入的分量，用  $u_A$  表示。

## B.3 计算各分量标准不确定度

B.3.1 直流电阻箱的不准引入的标准不确定度分量  $u(R_0)$ 。

由直流电阻箱最大允许误差： $\pm 0.2\%$ ，按照均匀分布，自由度 $\infty$ ，B类，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u(R_0) = 0.2\% / \sqrt{3} = 0.115\%$$

根据校准规范附表中推荐的校准点，转换为绝对值表示：

$$\text{相对于最小值 } 5 \Omega: u(R) = 5 \Omega \times 0.115\% = 0.0058 \Omega;$$

$$\text{相对于最大值 } 50 \Omega: u(R) = 50 \Omega \times 0.115\% = 0.058 \Omega。$$

B.3.2 校准中连接直流电阻箱和网络线缆分析仪的短连接线及接触电阻引入的标准不确定度分量  $u(r)$ 。

由标准直流电阻表测量短连接线的电阻不超过  $0.04 \Omega$ ，按照均匀分布，自由度 $\infty$ ，B类，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u(r) = 0.04 \Omega / \sqrt{3} = 0.023 \Omega$$

B.3.3 被校网络线缆分析仪分辨力引入的标准不确定度分量  $u(\text{res})$ 。

由于网络线缆分析仪的分辨力为  $0.1 \Omega$ ，按照均匀分布，自由度 $\infty$ ，B类，故其标准不确定度为：

$$u(\text{res}) = 0.1 \Omega / 2\sqrt{3} = 0.029 \Omega$$

B.3.4 系统不稳定引入的标准不确定度分量  $u_A$ 。

系统不稳定引入的分量用 10 次测量的实验标准差评估，分别考查较小值  $5 \Omega$  和较大值  $50 \Omega$  的重复性。

直流电阻值为  $5 \Omega$  时的系统不稳定引入的标准不确定度，如表 B.1 所示：

表 B.1 直流电阻值为 5 Ω 时的系统不稳定引入的标准不确定度

序号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
测量值	5.0	4.6	4.7	4.9	5.1	5.2	5.3	5.0	5.1	4.9
平均值 $\bar{x}=4.98$										
$u_A=s/\sqrt{10}=0.068$										

直流电阻值为 50 Ω 时的系统不稳定引入的标准不确定度，如表 B.2 所示：

表 B.2 直流电阻值为 50 Ω 时的系统不稳定引入的标准不确定度

序号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
测量值	49.6	49.8	49.9	50.1	50.0	50.2	50.2	50.3	49.6	50.1
平均值 $\bar{x}=49.98$										
$u_A=s/\sqrt{10}=0.079$										

被校网络线缆分析仪分辨力引入的不确定度分量和系统不稳定引入的不确定度分量，取其大者用于合成标准不确定度。

B.3.5 标准不确定度一览表（见表 B.3）。

B.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u^2(R_0) + u^2(r) + u_A^2}$$

$$5 \Omega: u_c = 0.072 \Omega; 50 \Omega: u_c = 0.10 \Omega$$

B.5 有效自由度

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{u^4(R_0)}{\nu(R_0)} + \frac{u^4(r)}{\nu(r)} + \frac{u_A^4}{\nu_A}}$$

$$5 \Omega: \nu_{\text{eff}} = 11; 50 \Omega: \nu_{\text{eff}} = 23$$

B.6 扩展不确定度

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c$$

$$5 \Omega: U = 0.14 \Omega; 50 \Omega: U = 0.20 \Omega$$

用相对值表示为：

$$U_{\text{rel}} = U/R$$

表 B.3 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \partial f / \partial X_i$	$u(Y) =  c_i  u(X_i)$	自由度
$u(R_0)$	标准器的最大允差	$0.2\% / \sqrt{3}$	1	0.115%	$\infty$
$u(r)$	短连接线引入	$0.04 \Omega / \sqrt{3} (5 \Omega)$	1	0.462%	$\infty$
		$0.04 \Omega / \sqrt{3} (50 \Omega)$		0.046 2%	

表 B.3 (续)

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \partial f / \partial X_i$	$u(Y) =  c_i  u(X_i)$	自由度
$u_A$	系统不稳定引入	0.068 $\Omega$ (5 $\Omega$ )	1	1.36%	9
		0.079 $\Omega$ (50 $\Omega$ )		0.158%	
注：直流环阻 4.98 $\Omega$ ， $U=0.14 \Omega$ ， $k=2$ 或 $U_{rel}=2.8\%$ ， $k=2$ 直流环阻 49.98 $\Omega$ ， $U=0.20 \Omega$ ， $k=2$ 或 $U_{rel}=0.40\%$ ， $k=2$					



## 附录 C

## 回波损耗辅助件和 RJ45 校准件

根据 IEEE Std 802.3—2008《IEEE 信息技术标准》标准中规定的以太网接口的物理特性，并要求测试负载为满足  $100\ \Omega$  ( $1 \pm 0.2\%$ ) 的电阻器，且在频率  $\leq 100\ \text{MHz}$  时，串联感抗  $\leq 20\ \text{nH}$ 、并联容抗  $\leq 2\ \text{pF}$ 。我们选用频率范围达到  $250\ \text{MHz}$ 、最大允许误差优于  $\pm 0.1\%$  的不同阻值的贴片电阻，用这些贴片电阻制作传递负载，如图 C.1 所示，作为校准用的标准件。

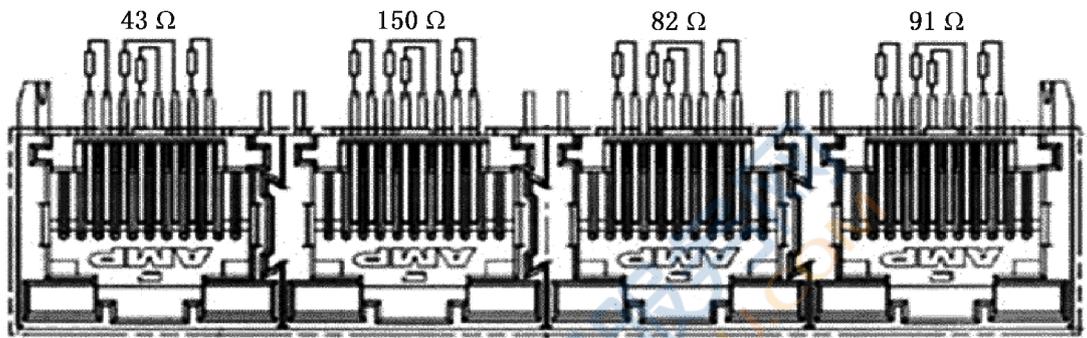


图 C.1 回波损耗辅助件

采用直接短接、 $100\ \Omega$  负载和空置制作 RJ45 型的校准件，如图 C.2 所示。

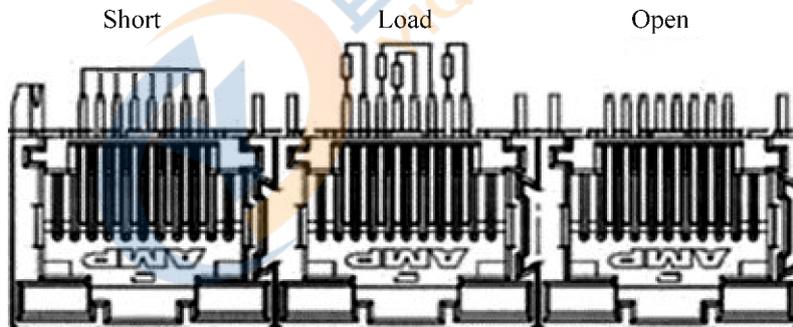


图 C.2 回波损耗校准件

## 附录 D

## 阻抗转换器

网络线缆分析仪因为测试对象——传输线缆双绞线的特点，决定了线缆分析仪参数和接口的特殊性。网络线缆分析仪的接口为 RJ45 型模块，它有八路信号，特性阻抗为  $100\ \Omega$ ，不是  $50\ \Omega$  和  $75\ \Omega$ 。为了解决阻抗匹配问题，我们使用平衡和非平衡转换器制作了阻抗转换器，可以将  $100\ \Omega$  特性阻抗的 RJ45 模块的网络线信号转换到  $50\ \Omega$  特性阻抗的 BNC 型接口上，达到可任意选择需要的线对进行测试。

阻抗转换器如图 D.1 所示，图中的接口分别是 4 个 BNC 型阴头接口和 1 个 RJ45 模块。RJ45 模块的内部分成四组线对接到相应的 BNC 型接口上。

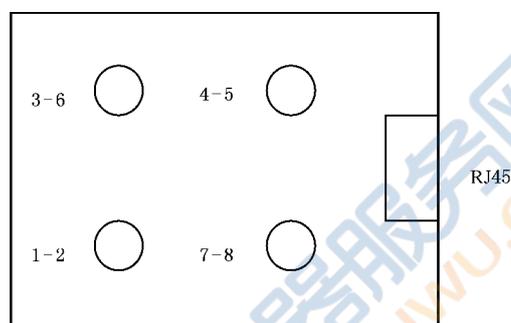


图 D.1 阻抗转换器外观接口示意图

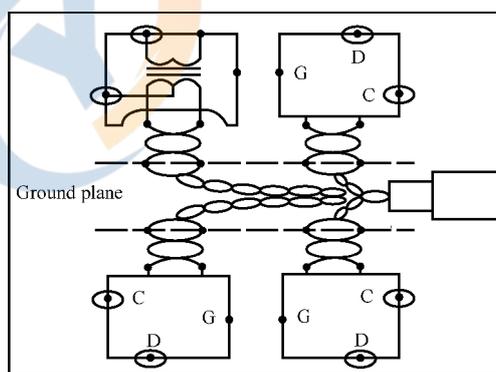


图 D.2 阻抗转换器内部线路示意图

图 D.2 是阻抗转换器的内部线路图，图示右侧的一段接头是 RJ45 模块，或者插头，通过内部四个平衡和非平衡转换器之后，分成四路 BNC 接口，用来连接到特性阻抗为  $50\ \Omega$  的仪器或组件。

## 附录 E

## ELFEXT 模拟器

ELFEXT 模拟器（等效远端串扰模拟器）的内部线路如图 E.1 所示：

图示是 1-2 线对与其他三组线对之间的远端串扰示意图，即在 1-2 线对和其他线对之间增加了电容，按照需要的串扰量的大小不同，选取容量值在 8 pF~25 pF 之间的电容，加到各组线对之间。通过在线对之间跨接电容，可以模拟信号的远端串扰/等效远端串扰。

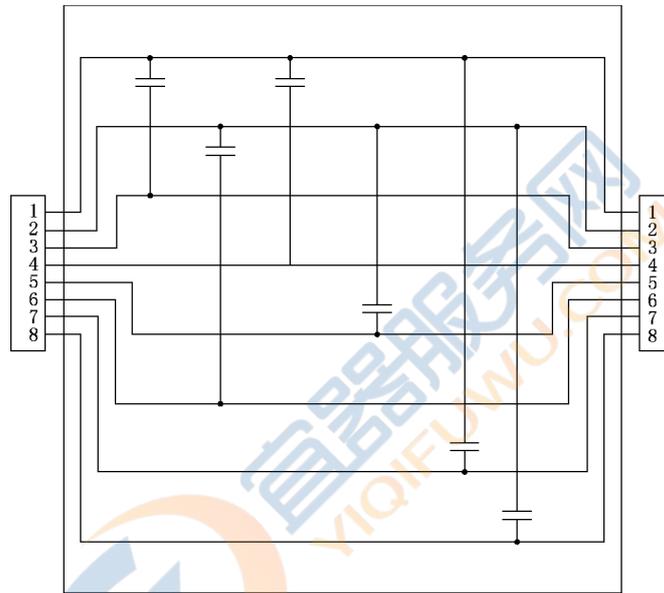


图 E.1 ELFEXT 模拟器内部线路示意图