# 示波器输入端口阻抗频率特性矢网测量方法

李 铭
(天水庆华电子科技有限公司 天水 741000)

**摘 要**:示波器输入阻抗的传统测量方法所得测量结果为:直流电阻、输入电容,不能获取阻抗的频率特性。因此,由这种"静态"测量方法所得的测量结果是示波器输入阻抗的片面反映。本文提出用 HP8752A 矢量网络分析仪测量示波器输入阻抗的方法。整个测量过程均是在示波器通电工作状态满频带正弦信号激励下实现的。复阻抗—频率特性在史密斯圆图上表现得十分清楚。依据复阻抗在 10 MHz,20 MHz 频点的相关电抗数据,可求得示波器输入电容。由 HP8752A 测得的结果,能客观、全面地反映示波器输入阻抗的高频段(10 MHz~100 MHz)特性。

**关键词**:阻抗-频率特性;输入电容;阻抗圆图
**中图分类号**: TP806 **文献标识码**:A

# Measurement method of impedance-frequency characteristics at the oscilloscope input port with vector network analyzer

Li Ming
(Tianshui QingHua Electronic Sci-tech. Co.,Ltd., Tianshui 741000)

**Abstract**: Using traditional method of measurement we can obtain oscilloscope input impedance results, one is DC resistance datum, the other is input capacitance datum. Impedance-frequency characteristics can not be obtained by traditional method. Therefore, the result of measurement by traditional"static" measuring method is one-sided reflection of oscilloscope input impedance. This paper introduced a new method using HP8752A vector network analyzer to measure oscilloscope input impedance. The whole measuring procedure is accomplished with the oscilloscope being power on and in its full frequency range sine signal excited state. The complex impedance-frequency features are displayed clearly by Smith chart on the screen of HP8752A. According to the measured reactance data at 10 MHz and 20 MHz, the input capacitance of oscilloscope can be obtained. The result of measurement with HP8752A can reveal high- frequency range (10 MHz~100 MHz) features of the oscilloscope objectively and completely.

**Keywords**: impedance-frequency characteristics; input capacitance; Smith chart

## 0 引 言

示波器信号通道输入阻抗是计量,检定的必测项目之一。此阻抗通常以电阻,电容值标示于示波器面板 Y 端口附近,如 KIKUSUI COS6100A 100MHz 示波器标以 1 MΩ,20 pF。19 世纪 90 年代以前,测量该阻抗通常采用直流电桥和 Q 表(并联替代法),分别测出电阻、电容[1]。直流电桥(或数字欧姆计)测电阻对示波器而言是直流激励。Q 表(并联替代法)或交流电桥测电容对示波器而言是低频($f$<200 kHz)交流激励。由于受到系统连接、标准电容/感、调谐机构、连线方式、屏蔽优劣、测量仪器精度等诸多因素的限制,基于调谐理论(或交流电桥平衡理论)的电容测量所用信号频率极低(通常在 kHz 量级或几百 kHz 以下),而且测量系统繁杂,操作困难。这种低频激励的传统测量方法根本无法通观示波器满频带特性。针对传统测量方法的局限性,本文提出用 HP8752A NETWORK ANALYZER 测量示波器输入端口复阻抗的方法。该方法可反映示波器输入阻抗的高频段动态特性,十分清楚地展显复阻抗—频率特性。同时,由于 HP8752A 的信号频率设定为 0.3 MHz(START)~100 MHz(STOP),这就将被测示波器完全置于满频段激励状态,从而大大提高了测量结果的可信程度与精度。这种矢网测量法可充分揭示示波器在通电状态下的工作特性。诸如示波器工作方式开关接触良好与否、示波器输入网络组态

作者简介:李铭(1950- ),男,高级工程师,长期从事(微波)电子仪器的检测、鉴定,设计开发,计量工作。

合理与否、示波器内部输入端口信号流引线长短与否等等，均可在史密斯圆图上直接或间接地反映出来。同时，若设定 HP8752A 的 SWEEP TIME≥10s，还可以观察示波器屏示正弦波幅度变化情况，从而大致确定其幅频特性。

## 1 阻抗模型及测量原理

示波器置于 DC 耦合状态，$Y$ 轴灵敏度置基本档位，信号通道端口的等效电路如图 1 所示。图 1 中，$J_T$ 为固定于示波器面板的 BNC 阴接头，其芯线对地的电容以 $C_j$ 表示。$R_c$ 为 $J_T$ 芯线与 $Y$ 轴前置放大器之间的跨接电阻，通常为 20Ω～50Ω。$R_E$=1MΩ，此为放大器输入端与地间的高值电阻。$C_E$ 为 $Y$ 轴放大器入端对地的等效分布电容（此电容主要取决于前置放大器特性）。此 $C_E$ 并非实体电容器，$C_E$ 越小越好，因为除放大器自身的频响特性之外，$C_E$ 也是确定示波器频带的因素之一。$R_{in}$为放大器的输入电阻，通常应满足：$R_{in}\gg R_E$。

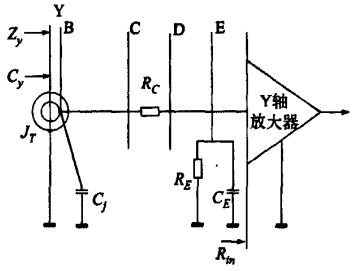



图 1 示波器输入端口网络

综上所述，从 $J_T$ 端口看入的示波器输入阻抗应是信号频率的函数，即 $Z_Y=\Phi(\mathrm{FREQ.})$。在满足集中参数电路条件时，$Z_Y$ 可写成：

$$Z_Y\approx\frac{1}{j\omega c_j}//[(R_E//\frac{1}{j\omega c_E}//R_{in})+j\omega L+R_C] \quad (1)$$

式(1)中 $L=L_{BC}+L_{DE}$为连接线 B－C、D－E 两段电感之和，其值视连线长短及结构而异，少则小于 30nH，多则近几百 nH。当示波器置于 DC 耦合方式，直流电压激励时的阻抗 $Z_Y(f=0)=R_E+R_C\approx1\mathrm{M}\Omega$，其误差通常确定为±(1%～3%)。因此，几十欧姆的 $R_C$ 对此误差项贡献甚微。当不同频率信号激励时，$C_E$、$L$ 和 $C_j$ 的特性凸显出来。无论式(1)表达的阻抗多么复杂，总可以简化表达为：

$$Z_Y=R(f)+jX(f) \quad (2)$$

当电抗为容性时，$X(f)<0$；电抗为感性时，$X(f)>0$。

式中 $R(f)$、$X(f)$分别为电阻、电抗，均为频率的函数。该阻抗可由矢量网络分析仪测量出来。

当信号频率满足 10 MHz≤$f$≤100 MHz（本文将此频段称为示波器的高频段）条件时，

$\frac{1}{\omega cE}\ll(R_E//R_{in})$，图 1 可简化为：

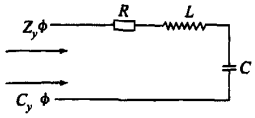



图 2 $Z_y$ 的简化模型

由图 2 写成：$Z_Y\approx R+j(\omega L-\frac{1}{\omega c})$ (3)

示波器输入电容一般在 13 pF～30 pF 之间。因此，在10 MHz～30 MHz频段，式(3)中 $\omega L\ll\frac{1}{\omega c}$，以频率 $f$≤100 MHz的信号激励各型示波器，式(3)中电抗分量总是呈容性。

因此，HP8752A 既显示出复阻抗，又显示出电容值（以 $C_D$表示），这一电容值是容抗较之于感抗的强势体现。频率愈接近 100 MHz，式(3)中的感抗愈不能小觑。

### 1.1 复阻抗的直接测量

表 1 给出了(甲)TRiO 100 MHz 模拟示波器和(乙)RIGOL DS3102B 100MHz 数字示波器的实测数据。HP8752A 以 5 位有效数字显示。这种测量是示波器通电状态的实时特性反映。表 1 是在激活 HP8752A 的平均、平滑功能状态下得到的高分辨稳定显示数据。若想获得频段内任一频点的复阻抗数据，只要设定相应频标(MARKER)即可。

### 1.2 输入电容的测量

由式(3)分离出电抗分量：

$$X=(\omega L-\frac{1}{\omega c}) \quad (4)$$

由式(4)可得：

$$\begin{cases}X_1=\omega_1 L-(1/\omega_1 C)\\X_2=2\omega_1 L-(1/2\omega_1 C)\end{cases} \quad (5)$$

由式(5)导出输入电容表达式：

$$C_Y=C=3/2\omega_1(X_2-2X_1) \quad (6)$$

式中：$\omega_1=\omega$(10 MHz)；$X_1=X$(10 MHz)；$X_2=X$(20 MHz)。

由 HP8752A 测出的 $X_1$、$X_2$ 及 10 MHz 频点的 $\omega_1$ 数据，可计算出 $C_Y$，(见表 1)。观察表 1 所列数据，可归结为几个要点：

(1)每一频点的电抗值精准地对应一电容值 $C_D$；

(2)10 MHz 频点的显示电容值 $C_D$(10 MHz)略大于 $C_Y$；

或：$\begin{cases}\Delta C=C_D(10\ \mathrm{MHz})-C_Y\\C_Y=C_D(10\ \mathrm{MHz})-\Delta C\end{cases}$ (7)

如果 $\Delta C$ 小到可以忽略的程度，可以 $C_D$(10 MHz)表示 $C_Y$：

$$C_Y\approx C_D(10\ \mathrm{MHz}) \quad (8)$$

(3) 从表 1 的实测数据可以看出：

对于(甲)：$C_D$(100 MHz)是 $C_D$(10 MHz)的两倍多。对于(乙)：$C_D$(100 MHz)只比 $C_D$(10 MHz)多 2.5 pF 左


万方数据

右。这说明两者电感特别明显的差别，即：$L$(甲) > $L$(乙)。两者电感量值可依据表中电抗数据作出大致估计；

(4) 矢网测量法反映示波器高频段复阻抗—频率特性；传统方法只反映直流电阻、输入电容。两者有着本质的区别；

(5) 各型示波器给出输入电容指标，其含义是间接地说明高端频率限制。既然如此，以 kHz 量级信号激励示波器所作的传统方法测量具有片面性。而矢网测量法是在 0.3～100 MHz 满频带激励状态下实施的。后者的优越性得以充分体现；

(6) 矢网测量法不可能反映那个标称 1 MΩ 的高值电阻。该电阻测量十分方便，只要将示波器置于 DC 耦合状态，适当的 Y 轴灵敏度基本挡位(不通过衰减器)，可用适当精度的数字欧姆计完成测量。

表 1 两种示波器输入阻抗实测数据

| 频率/MHz | | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 阻抗 | (甲) | 57.344−j697.66 | 48.313−j339.70 | 49.148−j221.55 | 48.375−j121.16 | 54.867−j29.502 |
| $Z_Y$(Ω) | (乙) | 46.688−j815.63 | 31.063−j403.59 | 27.625−j266.98 | 26.977−j157.33 | 26.102−j69.090 |
| 显示电容 | (甲) | 22.813 | 23.426 | 23.946 | 26.272 | 53.947 |
| $C_D$(pF) | (乙) | 19.513 | 19.717 | 19.871 | 20.232 | 23.036 |
| 输入电容 | (甲) | 22.615 | | | | |
| $C_Y$(pF) | (乙) | 19.446 | | | | |
| 注：(甲)：TRiO 100 MHz 模拟示波器　　标称阻抗：1 MΩ，≈22 pF | | | | | | |
| (乙)：RIGOL DS3102B 100 MHz 数字示波器 标称阻抗：1 MΩ，20 pF | | | | | | |

## 2 误差分析

开机、通电校准后，在一小时内获取若干数据算一次测量。(测量环境：室温(20±5)°C；相对湿度≤75% RH；电源 220 V±1%，50 Hz)。在相同环境异时、多次测量中，可发现电抗的相对变量为：

$$-1\times10^{-2}\leqslant(\triangle X\ /\ X)\leqslant+\ 1\times10^{-2} \qquad (9)$$

这反映示波器在扫频信号激励下，不同通电工作时间的即时特性。由 HP8752A 构成的测量系统的测量精度应优于±3×10⁻³。式(6)表达了输入电容与电抗的函数关系，即：$C_Y=\Phi(X_1,X_2)$。对式(6)求全微分，再求出相对误差表达式：

$$(dc_Y/c_Y)=(X_2-2X_1)^{-1}(2dx_1-dx_2) \qquad (10)$$

针对不同型号示波器，式(4)中：10 μH<$L$<100 μH，因此存在：(1) $|X_2|\leqslant|0.5X_1|$ 基本成立；(2)$X_1$，$X_2$均为负值；(3) $dx_1$，$dx_2$ 同为正或同为负或符号相反。把这些因素都考虑上，再考虑式(9)的极端情况，可得：

$$|(dc_Y/c_Y)|\leqslant1.5\times10^{-2} \qquad (11)$$

## 3 测量方法及实例

### 3.1 测量用电缆

对于 100 MHz 示波器阻抗测量，可用双端 N 型阳接头 50 Ω 同轴线(如 HP8120−4781 电缆)和 N 阴−BNC 阳连接器构成一测试电缆。将此电缆 N 阳端接于 HP8752A REFLECTION TEST PORT 端口，BNC 阳端开路(暂不连接)。

### 3.2 开路校准

被测器件的不同和精度要求的差异，就形成了各种不同形式的校准方法[2]。该测量信源频率(相对于微波测量)并不高，加之使用了 HP 优质同轴电缆、优质连接器。因此只需作开路校准便能满足要求。接通 HP8752A 电源，选定测量项目为反射测量(REFLECTION)。定频带为：0.3 MHz(START)～100 MHz(STOP)，激活测量方式(FORMAT)为 SMITH CHART，激活校准功能(CAL)，完成开路校准。

### 3.3 测量

将测试电缆 BNC 阳端接于示波器面板 Y 通道端口，使示波器置于 DC 耦合状态，选择示波器基本档位依 HP8752A 功率(POWER)的设定大小和示波器显示屏显示波形幅度不超满屏而定。根据需要设定 10 MHz、20 MHz、30 MHz、100 MHz 等频标(MARKER)。为便于稳定观测，设定源扫描时间(SWEEP TIME)为适当值(比如可设定 10 s)，激活平均(AVERAGE)平滑(SMOOTHING)功能，且使 AVG. FACTOR=16，待完成 16 次扫描(约 3 分钟)后，可观测到 HP8752A 屏上显示的清晰稳定的阻抗圆图。图 3 示出了某一台 COS6100A 100 MHz 示波器的阻抗特性。

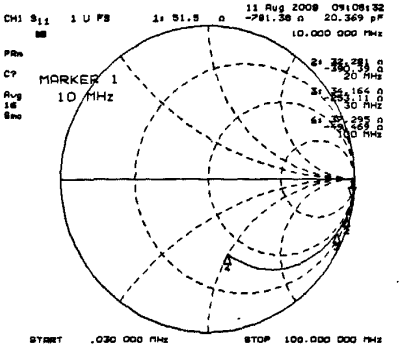



图 3 COS6100A 100 MHz 示波器阻抗测试图(SMITH CHART)


万方数据

依据图3的显示数据，若将10 MHz频点的显示电容值确定为被测COS6100A的输入等效电容，有：

$C_D1=20.369$ pF (12)

若按式(6)计算，有：

$C_Y=20.363$ pF (13)

## 4 输入电容$C_Y$测量不确定度评定

### 4.1 A类不确定度

式(13)以平均值表达了测量结果，还需对其作不确定度评定。若按式(6)作间接测量不确定度评定，将会使问题变得复杂。依据HP8752A显示电容$C_{D1}$作不确定度评定，将会使问题大大简化。由式(7)可知：$\Delta C \ll C_D$(10 MHz)且赋值为常数。因此，只要评定出$C_D$(10 MHz)的测量不确定度，就得到$C_Y$的测量不确定度。为表述方便，令$C_{D1}=C_D$(10 MHz)。由一次非平均(HP8752A不使用平均、平滑功能)测量获取10个包含最大值和最小值的数据(pF)(从大到小排列)：

20.521，20.496，20.471，20.443，20.413，20.363，20.351，20.275，20.187，20.157，计算得：

平均值($C_{D1}$)=20.368 pF (14)

依据贝塞尔公式计算出实验标准偏差：

$S(C_{D1})=0.127$ pF (15)

用平均值 = 20.368 pF作为测量结果，依据实验标准偏差$S(C_{D1})$计算不确定度为：

$u_1=0.127\ \text{pF}/\sqrt{10}=0.040$ pF (16)

### 4.2 B类不确定度

HP8752A以5位有效数字显示出电容值，其测量精度应不劣于$10^{-3}$(相对值)。考虑到可靠连接的测量电缆开路校准重复性。根据经验估计，系统的测量误差极限为$\pm 3\times10^{-3}$(相对值)。计算出B类不确定度：

$u_2=20.368\ \text{pF}\times3\times10^{-3}/\sqrt{3}=0.035$ pF (17)

### 4.3 合成标准不确定度

$u_C^2=u_1^2+u_2^2$，代入数据计算出：

$u_c=0.053$ pF (18)

### 4.4 扩展不确定度

$U=ku_C=2.58\times0.053\ \text{pF}=0.137$ pF (19)

给出相对值扩展不确定度：

$U_r=0.137\ \text{pF}/20.368\ \text{pF}=6.73\times10^{-3}$ (20)

关于式(13)的最终结果表述成：

$C_Y=(20.363\pm20.363\times6.73\times10^{-3})$(pF)

将数据作修约处理，表达为：

$C_Y=(20.36\pm0.15)$(pF) (21)

式(21)是对应于图3的示波器输入电容测量结果。通过几台不同型号示波器的测量，可以得相对测量不确定度：

$U_r\leqslant1.5\times10^{-2}$ (22)

式(22)对于各型100 MHz示波器有普遍的适用性。在测量中，总是要激活HP8752A的平均、平滑功能，以得到高分辨稳定显示。在这钟测量过程中获得数据的实验标准偏差比非平均(平滑)测量所获的实验标准偏差低一至两个数量级。因此，只要平均(平滑)测量获得了史密斯圆图，便可得$C_D$(10 MHz)，$C_Y$，其测量不确定度可参照式(22)给出。示波器输入电容常见的标定误差(相对值)为：$\pm$(5～15)%。因此，即使取式(22)的极端表达：$U_r=1.5\times10^{-2}$，也是能满足要求的。

## 5 分析总结

(1)等效电感$L(f)$

示波器输入端口到$Y$轴前置放大器之间的连线总存在等效电感$L(f)$。该电感不同于一般意义上的线性电感。示波器工作方式变换开关的相关连线长度、走向及型式，相关连线的趋肤效应，相关电路不同频点的等效网络差异等等，均使$L(f)$在高频段不可能为常数。对其量值，只能作大致估计，但并不影响输入电容的测量。

(2)引用集中参数电路条件的合理性及局限性

若将示波器内部连线段及各器件的几何尺寸以d表示，信号波长以$\lambda$表示。在DC～100 MHz频宽内同等地认定$d\ll\lambda$在高频段会导致明显的等效网络误差。这是因为在10 MHz低频段$\lambda$是d的几百倍至几千倍，在100 MHz高频段$\lambda$是d的几十倍至几百倍(视不同结构而定)。因此，输入电容$C_Y$的表达式在10～20 MHz频段导出。

(3)输入电容$C_Y$测定的合理性及注意事项

$C_Y$应包含$C_E$，$C_j$及相关连线对地的杂散电容(图1中未画出)三者的贡献。HP8752A的测量能客观地反映出三者的合成效果。由图3可见，在$f<10$ MHz的低频段，频率愈低，SMITH圆图上的阻抗点愈接近开路校准点，其分辨力愈差。因此，要避免在5 MHz以下测定$C_Y$。

## 6 结束语

示波器的信号输入端口是含有(等效)输入电容的单口网络。各型示波器给出输入电容指标其含义是间接地表达高端频率限制。鉴于此，笔者针对传统“静态”测量法的片面性提出矢网测量法：一是将被测示波器置于满频带激励状态，使其与实际应用相符；二是充分利用HP8752A的功能(如平均、平滑功能)测量出10～100 MHz高频段复阻抗，以SMITH CHART表现出来；三是充分考虑集中参数电路条件，依据电抗$X$(10 MHz)、$X$(20 MHz)实测数据及其变化导出输入电容$C_Y$及测量误差($dC_Y/C_Y$)表达式，然后评定测量不确定度，其相对测量不确定度$U_r\leqslant1.5\times10^{-2}$。通过各型100 MHz示波器实测表明：该矢网测量法仪器连接简单、操作方便快捷、测量结果置信度高，有一定推广价值。

(下转第66页)


万方数据

果见表1。由测试结果可以看出，测试数据相对误差保持在3%以内，满足实际应用的精度要求。

表1 测试结果

| 类别 | 标称值 | Q表测量值 | 本仪器测试值 | 相对误差/% |
|---|---|---|---|---|
| 电阻 | 100 Ω | 100.1 Ω | 100.2 Ω | 0.1 |
| 电阻 | 1.2 kΩ | 1.201 kΩ | 1.203 kΩ | 0.2 |
| 电阻 | 360 kΩ | 359.90 kΩ | 360.1 kΩ | 0.02 |
| 电阻 | 2 MΩ | 2.000 MΩ | 2.000 MΩ | 0 |
| 电容 | 300 pF | 299.8 pF | 299.3 pF | −0.21 |
| 电容 | 1 nF | 1.000 nF | 1.025 nF | 2.5 |
| 电容 | 10 nF | 10.02 nF | 10.05 nF | 0.33 |
| 电容 | 100 nF | 102.5 nF | 102.6 nF | 0.09 |
| 电感 | 5.6 μH | 5.6 μH | 5.607 μH | 0.13 |
| 电感 | 10 μH | 10.1 μH | 10.28 μH | 1.8 |
| 电感 | 100 μH | 101.4 μH | 101.6 μH | 1.9 |
| 电感 | 1 mH | 1.023 mH | 1.028 mH | 0.48 |

## 5 结束语

本测试仪利用RC振荡电路和电容三点式振荡电路，将RLC参数信号转换为脉冲频率信号，充分利用AT89S52单片机能够精确控制采样脉冲频率信号的优势，有效地提高了测试精度，并简化了硬件结构。在非操作状态下，可由单片机控制测试仪系统进入睡眠状态，也可由功能按键唤醒，因而可由干电池供电，体积小巧，便于携带。测试功能主要由单片机内部的定时/计数功能和应用程序完成，通过直线插值和数字惯性滤波算法，实现自动的量程转换和数值滤波功能，操作简便。实际测试结果表明，在常温环境下，测量误差在3%以内，可实际应用于电子元件参数测量、电路分析和电子产品检验等领域。

## 参 考 文 献

[1] 刘新. 如何正确使用LCR测试仪测量电子元件[J]. 计量与测试技术，2006，33(5)：12-14.
[2] 韦以明. 基于传感中低Q电感的测量[J]. 现代电子技术，2007(11)：138-140.
[3] 朱强. 数字逻辑电路[M]. 北京：机械工业出版社，2005：129-133.
[4] 沈晓谷. 采用脉冲计数法以单片机实现电容的测量[J]. 上海应用技术学院学报，2006，6(4)：290-293.
[5] 侯伟，王辉. 基于DSP的变频电源电参数测量系统[J]. 仪表技术与传感器，2007(1)：53-57.
[6] 王福瑞. 单片微机测控系统设计大全[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，1998：335-338.
[7] 王立新，傅崇岗，洪智凤，等. 一种新型数字电感测量仪的设计[J]. 仪器仪表学报，2001，22(4)：113-114.
[8] 刘新. 如何正确使用LCR测试仪测量电子元件[J]. 计量与测试技术，2006，33(5)：12-14.

(上接第62页)

## 参 考 文 献

[1] 《JJG411-86通用示波器检定规程》，中华人民共和国国家技术监督局，1990.
[2] 樊中山，矢量网络分析仪的校准方法[J]. 国外电子测量技术，2003，22(5)：35-40.
[3] [美]Robert. A. Witte著《频谱和网络测量》，科学技术文献出版社，1996.
[4] KIKUSUI ELECTRONICS CORP.《INSTRUCTION MANUAL》OSCILLOSCOPE MODEL COS5060A COS6100A.
[5] GJB3756-99《测量不确定度的表示及评定》，1999.
[6] 王琦. 现代矢量网络分析仪的测量与校准[J]. 实验技术与管理，2006(2)：31-34.
[7] Hp8752A NETWORK ANALYZER. OPERATING AND SERVICE MANUAL》.
[8] 刘军，李智. 基于单片机的高精度电容电感测量仪[J]. 国外电子测量技术，2007，26(6)：48-51.
[9] 郝绍杰，韩晓东. 校准件不完善导致的矢量网络分析仪剩余误差分析[J]. 国外电子测量技术，2008(6)：54-56.


万方数据

# 微 波 射 频 测 试 仪 器 使 用 操 作 培 训

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，推出多套微波射频以及天线设计培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表：http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html




## 微波射频测量仪器操作培训课程合集

搞硬件、做射频，不会仪器操作怎么行！对于射频工程师和硬件工程师来说，日常电路设计调试工作中，经常需要使用各种测试仪器量测各种电信号来发现问题、解决问题。因此，熟悉各种测量仪器原理，正确地使用这些测试仪器，是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能，该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟悉掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作…

**课程网址**：http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html

## 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器；该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装，包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材，能够帮助微波、射频工程师快速地熟悉掌握矢量网络分析仪使用操作…

**课程网址**：http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html







## 示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器，因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解，也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解，能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器…

**课程网址**：http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html