

网络分析仪校准 验证的常见误区



网分产品应用文档

AN2403-F0002CN01

版权和声明

版权

深圳市鼎阳科技股份有限公司版权所有

商标信息

SIGLENT 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标

声明

- 本公司产品受已获准及尚在审批的中华人民共和国专利的保护
- 本公司保留改变规格及价格的权利
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料
- 未经本公司同意，不得以任何形式或手段复制、摘抄、翻译本手册的内容

产品认证

SIGLENT 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准，并进一步认证本产品符合其他国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司

地址：广东省深圳市宝安区 68 区安通达工业园一栋&四栋&五栋

服务热线：400-878-0807

E-mail: support@siglent.com

网址: <https://www.siglent.com>

1 引言

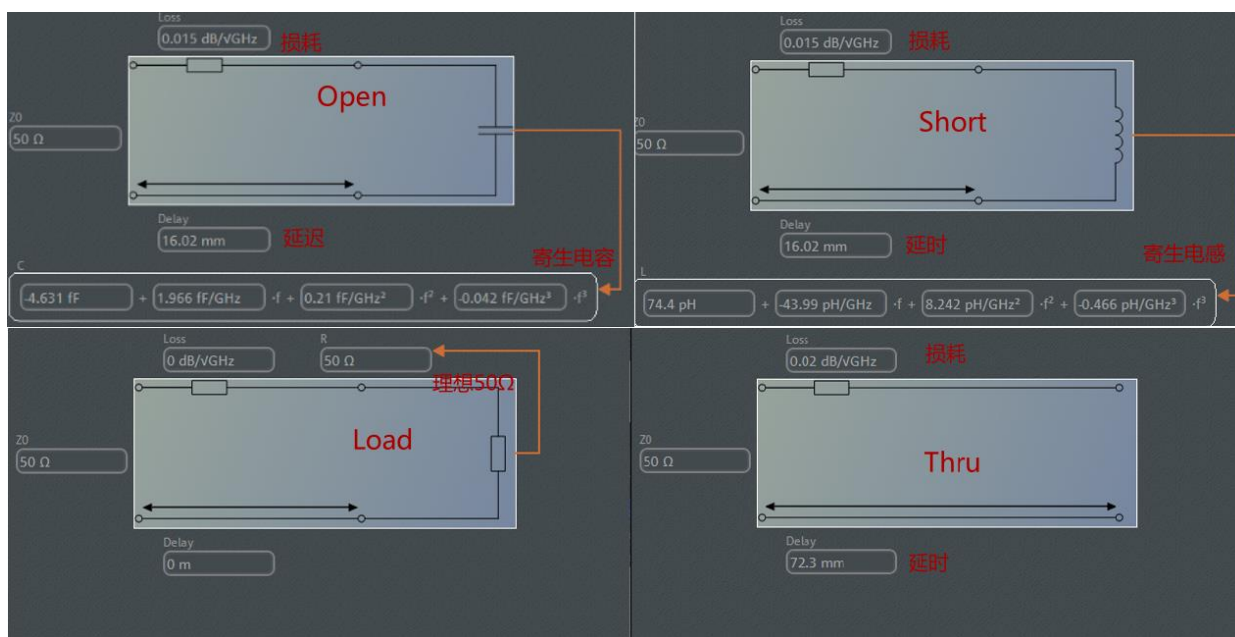
正确的校准是保证矢量网络分析仪 VNA 正确测量的前提，现代商用矢量网络分析仪已经提供很多智能的校准方法保证校准的正确性。使用者通常在校准之后，直接测量校准件，来验证校准的结果，这是一种常见的验证方法，但是由于历史原因和对一些细节的认识不够深入，使用者对验证结果的认识有一定误区。本文针对同轴系统的 VNA 校准的验证做了深入分析和解释，让使用者对验证结果有了进一步的正确的认识。

2 概述

概述所谓校准，就是测量一组已知器件（即校准件或称标准件），根据仪器接收机实际测试的结果和已知校准件的特性比较，联列方程组，解出的误差项，从而为后续的测量提供修正。

这里需要对校准件做进一步说明，在同轴系统中，校准件通常是开路、短路、匹配和直通，但是由于现实中无法实现理想的开路、短路、匹配和直通，因此需要正确的标定校准件的“特征数据(characteristic data)”，例如开路应该表征为一个寄生电容和一段传输线（损耗和延时）；短路表征为寄生电感和一段传输线，匹配一般表征为一个理想 50 欧姆，现代网络分析仪也可以对匹配的不理想性进行表征。对于直通校准件，必须精确的表征（或者说“告诉”网络分析仪）其插损和电长度，严格来讲还需要知道其 S11 和 S22，但是目前网络分析模型都是把直通当一个理想 50 欧姆的有损传输线来处理的。

如图 3 所示。



一般在校准件的附带的存储设备里面（优盘或软盘），都以文件形式定义，对于低频的同轴校准件，其差异

性不是很大，所以大部分商用网络分析仪都内置了常见型号的校准件“特征数据”的典型值（typical）。例如鼎阳科技的 F503xx, F603xx

ID	Kit Name	Description
1	F503ME	TypeN (50) Calibration Kit (Siglent)
2	F503FE	TypeN (50) Calibration Kit (Siglent)
3	F503TS	TypeN (50) Calibration Kit (Siglent)
4	F603ME	3.5 mm Calibration Kit (Siglent)
5	F603FE	3.5 mm Calibration Kit (Siglent)
6	F603TS	3.5 mm Calibration Kit (Siglent)
7	F504MS	TypeN (50) Calibration Kit (Siglent)
8	F504FS	TypeN (50) Calibration Kit (Siglent)

3 使用校准验证

2.1 开路、短路、负载校准件的验证

首先要强调，用校准件去验证，实际测试的结果不是“理想”参数，而是校准件“特征数据”。

因此直接测试 Open,并不是在史密斯圆图最右端开路位置的一圈点,而是一个沿等驻波比圆,向源(generator)方向的一条曲线。这是因为如图 3 中的开路校准件实际上是一个寄生电容串联一段有损传输线,对于不同频率传输线引起的相移(包括损耗)是不一样的,因此聚在一起的数百个扫频点,每个点的频率是不一样的,相移各不相同,就显示成一个曲线了,如果看 S11 的相位,也不是 0 度,原因同上。

以 Silent F603FE 这个 3.5mm 的母头校准件为例,为了简答起见,取 1GHz 这个点计算。

同理如果测试 Short 校准件的 S11,看到的也是在史密斯圆图左端短路点附近,沿等驻波比圆,向源(generator)方向的一条线,曲线的长度和扫频范围有关。

至于 Match,由于目前的网络分析仪一般把它当作理想 50 欧姆匹配来处理的。所以校准完再次接上 Match 校准件,其反射系数非常低,一般能达到 -60dB 左右,这个值可以理解为“有效系统数据”即补偿后的剩余误差。值得注意的是,对于 Match 会有一个特殊的所谓“记忆(re-recognition)”现象,也就是说用某套校准件校准,如果还是测刚刚校准用的那个 Match,反射系数可以到 -60dB 左右,如果换任何其他一套校准件中的 Match,都不可能达到 -60dB,一般只能达到 -30dB 左右。这主要是因为,低频段的网络分析仪都把 Match 当作理想 50 欧姆,校准算法仅仅根据当前测试的这个 Match 的结果来补偿,而实际上每个 Match 的物理特性

都是略有差别的，因此换上另外的 Match 就不可能达到-60dB 左右的反射系数。当然理想的 50 欧姆也是不可能实现的，这也是影响测量不确定度的一个因素，目前商用网络分析仪在测试反射系数，特别是反射系数特别小的器件的时候（-25dB 到-35dB），不确定度一般都能达到 2-3dB。

因此有必要再次强调，任何匹配校准件真实的 S11（反射系数）达不到-60dB，一般只有-30 到-40dB 左右。在校准时，系统将它当作理想的匹配，就得到了一60dB 这样低的结果。

现代网络分析仪也支持用 S 参数包来定义校准件，如果采用 S 参数包文件定义，校准后再测量 Open, Short 和 Match，测量的结果就和 S 参数定义包里面的数据完全一样。值得注意的是，目前的商用校准件通常只是对 Open、Short、Match 使用 S 参数包，对 Through 还是使用无损传输线的模型。这主要是由于传输线模型已经能比较精确的描述其特性了，由于 Through 是 2 端口器件，必须是有 S2P 文件，而如果用了 S2P 文件，文件的参数必须和校准件的连接的方向有关，而实际中也不方便规定校准的时候 Through 的连接方向。

2.2 直通校准件的验证

同轴校准件最常见的校准方法主要有两种

SOLT-Short, Open, Load, Through（又称 TOSM- Through, Short, Open, Match,）

SOLR- Short, Open, Load, unknown Reciprocal through（又称 UOSM- Unknown reciprocal through, Open, Short, Match,）

无论是 SOLT 还是 SOLR 校准方法，最后一个接的校准件就是 Through。因此校准完之后直接看 Through 的结果也是最方便和最常用的简单验证方法。下面对在 SOLT 和 SOLR 两种方法下 Through 测量的结果进行详细分析。

和上面类似，使用 SOLT 校准之后，直接测量 Through 的结果就是校准件模型中对应的“特征数据”，有一定的插损和相位。这一点是需要注意的，很多使用者一直有一个认识的误区，认为这时候的插损应该是 0，相位也是 0，这是不正确的。

对于 SOLR 校准，校准后直接测量 Through 校准件，这时网络分析仪就把 Through 直接当成一个被测件来处理，测到的插损和相位就是这个校准件实际的测试结果。值得一提的是，SOLR 校准非常适合两端为不同接头类型的器件的测试。例如一个被测件的输入是 N 型接头，输出是 SMA 接头。在测试这种器件时，可以在网分的一端使用 N 型电缆，另一端使用 SMA 型电缆，校准的时候，可以在 N 型接头这边使用 N 型的 Open、Short、Match 校准件校准，在 SMA 型接头这边使用 SMA 的 Open、Short、Match 校准件。在校准 Through 的时候，使用任意一个质量较好的 N-SMA 转接头即可，校准完之后，参考面就是电缆的 N 型接头和 SMA 型接头的末端。因此 SOLR 校准方法也可以用于测试一些接头适配器和射频电缆。

SOLT 校准完之后，Through 校准件不拿掉，直接测试 S11 或 S22，此时测得的是有效负载匹配（可

以当做接近理想 50 欧姆) 串联一段有损传输线的结果, 如图 5 所示, 是在史密斯原图中心匹配点附近的一个小圆圈, 随着频率的变化呈现一定的复数阻抗特性, 逐步偏离 50 欧姆原点。由于如图 3, Through 校准件是当作理想 50 欧姆的有损传输线来处理的, 没有考虑 Through 本身的 S11 反射, 这个值换算成反射系数用 dB 表示仍然很小, 一般网络分析仪在 8GHz 以下, 仍然有 -50dB 左右。

TOSM 校准在测量直通时, 仍然要测试 S11 和 S22, 并对其补偿, 因此校准之后, 对当前使用的这个 Through 校准件也有所谓“记忆 (re-recognition)”现象, 此时换成另外一个 Through 之后, 都不可能达到 -50dB 的回波损耗的, 甚至仅仅把当前这个 Through 换一个方向连接, 也达不到 -50dB 这个量级。

4 例子

本文以 Siglent F603FE 校准件为例, 做过全一端口校准 (Open、Short、Load) 后再接上刚刚用的 Open 校准件, 为了计算简单, 取 1GHz 即 109 Hz 这个点。

The screenshot shows the 'Edit Open Standard' dialog box with the following settings:

- Standard ID: 2
- Label: OPEN -F-
- Description: 3.5 mm female open
- Connector: APC 3.5 Female
- Frequency Range: Min 0 MHz, Max 4500 MHz
- Delay Characteristics: Delay 29.243 pSec, Loss 2.3 Gohms/s, Z0 50 ohms
- Open Characteristics:

C0	49.433	F(e-15)	C2	23.168	F(e-36)/Hz^2
C1	-310.13	F(e-27)/Hz	C3	-0.15966	F(e-45)/Hz^3

电容计算方法:

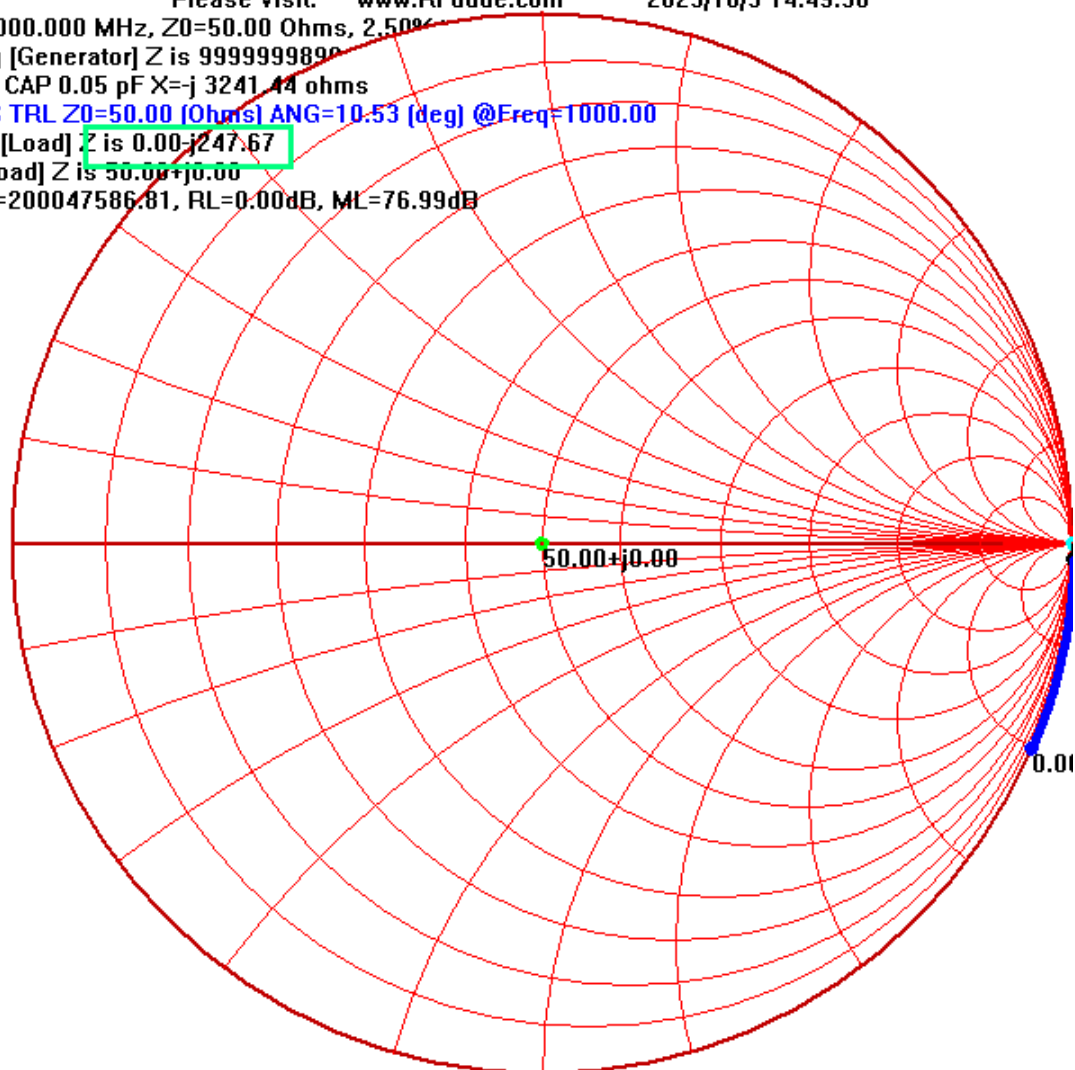
$$C=C_0+C_1*Freq \text{ [+C] }_2* \text{ [Freq] }^2 \text{ [+C] }_3* \text{ [Freq] }^3$$

本例中, 频率为 1GHz 即 109:

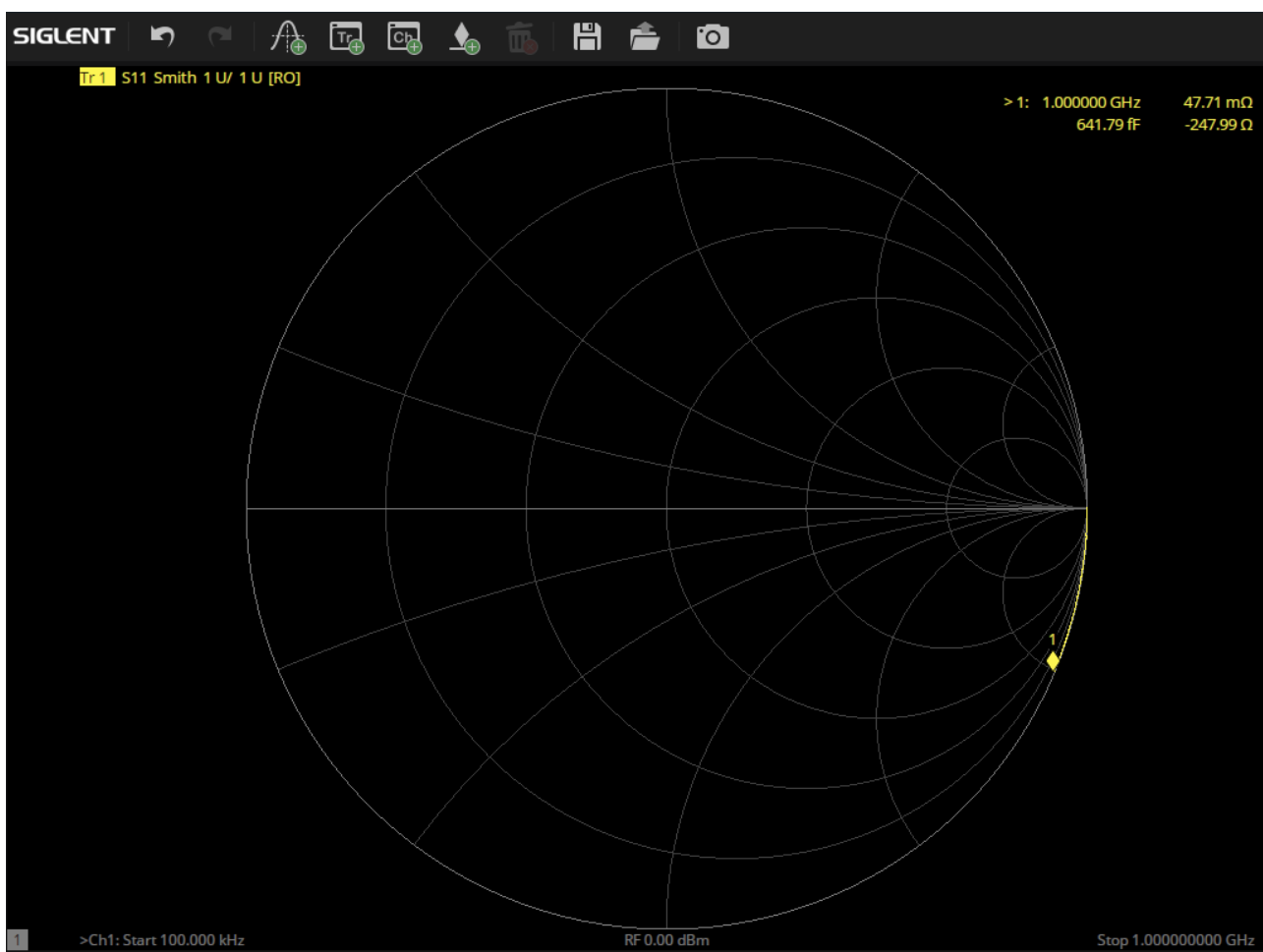
$$C=49.433 \times 10^{-15} - 310.13 \times 10^{-18} + 23.168 \times 10^{-18} - 0.15966 \times 10^{-18}$$

=49.1fF

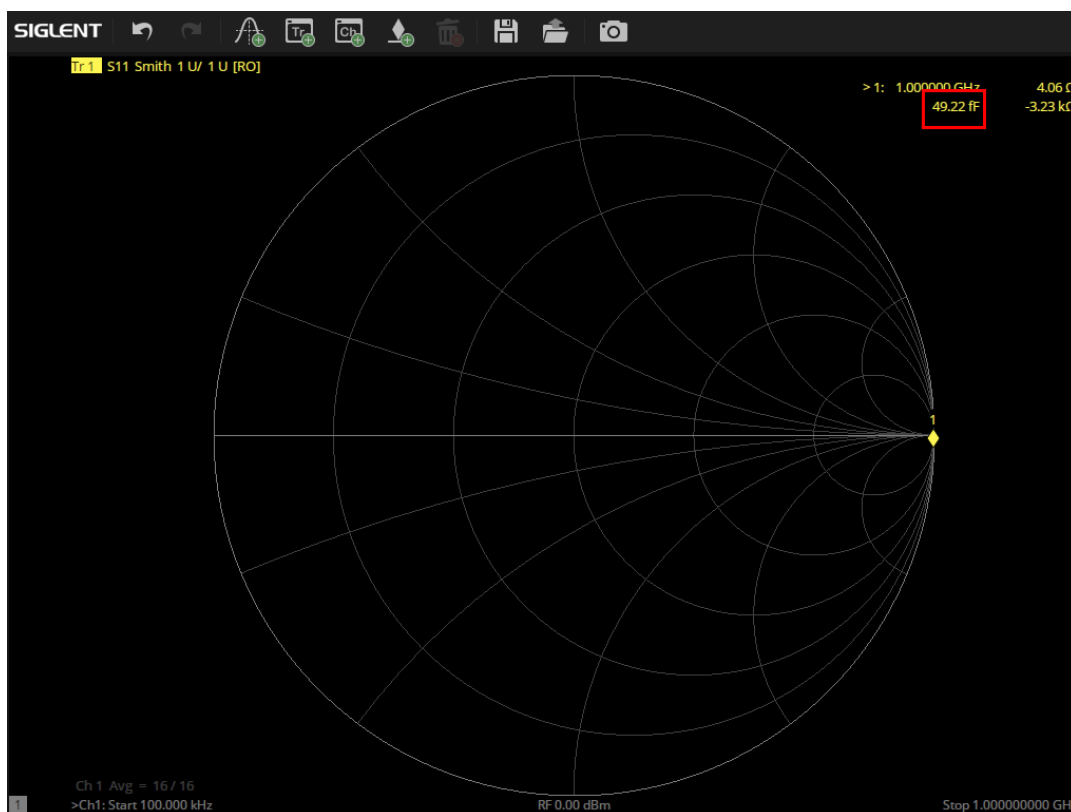
Title: Please Visit: www.RFdude.com 2023/10/3 14:49:36
 Freq=1000.000 MHz, Z0=50.00 Ohms, 2.500%
 Starting [Generator] Z is 9999999890
 SHUNT CAP 0.05 pF X=-j 3241.44 ohms
 SERIES TRL Z0=50.00 [Ohms] ANG=10.53 [deg] @Freq=1000.00
 Ending [Load] Z is 0.00-j247.67
 Goal [Load] Z is 50.00+j0.00
 VSWR=200047586.81, RL=0.00dB, ML=76.99dB



用仿真软件计算 49.1fF（软件由于显示原因只能显示 0.05pF）并联电容加一段 29.243ps（在 1GHz 的时候对应 10.53°）传输线之后的阻抗为 0.00-j247.67，如下图，使用 Siglent SNA5000 测试的实际结果是 0.047-j247.99，基本一致



当然还有另外一种方法，校准完接上 Open 校准件之后，再“端口延伸”功能中，把端口延伸 29.243ps，这时在史密斯原图上读到 1GHz 的电对应的电容是 49.22fF 和校准件的给定值 49.1pF 接近。



关于鼎阳


鼎阳科技 (SIGLENT) 是通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业, A股上市公司。

2002年, 鼎阳科技创始人开始专注于示波器研发, 2005年成功研制出鼎阳第一款数字示波器。历经多年发展, 鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、矢量网络分析仪、射频/微波信号源、台式万用表、直流电源、电子负载等基础测试测量仪器产品, 是全球极少数能够同时研发、生产、销售数字示波器、信号发生器、频谱分析仪和矢量网络分析仪四大通用电子测试测量仪器主力产品的厂家之一, 国家重点“小巨人”企业。同时也是国内主要竞争对手中极少数同时拥有这四大主力产品并且四大主力产品全线进入高端领域的厂家。公司总部位于深圳, 在美国克利夫兰、德国奥格斯堡、日本东京成立了子公司, 在成都成立了分公司, 产品远销全球80多个国家和地区, SIGLENT已经成为全球知名的测试测量仪器品牌。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司
全国免费服务热线: 400-878-0807
网址: www.siglent.com

声明

 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标, 事先未经允许, 不得以任何形式或通过任何方式复制本手册中的任何内容。
本资料中的信息代替原先的此前所有版本。技术数据如有变更, 恕不另行通告。

技术许可

对于本文档中描述的硬件和软件, 仅在得到许可的情况下才会提供, 并且只能根据许可进行使用或复制。

