

降低测试成本

使用 E5080B ENA 系列矢量网络分析仪



引言

在降低制造成本的同时进行快速、全面的生产测试仍然是提升企业竞争力的关键途径。企业面临一系列必须克服的挑战，例如产品复杂性提高，设计集成度提升，以及对更高生产良率的需求。找到能够应对这些挑战并具有高可靠性的测试仪器，对于实现当今竞争日益激烈的制造目标非常关键。

本应用指南探讨了是德科技的 E5080B ENA 系列矢量网络分析仪对降低生产线测试成本作出的贡献。

目录

- 总体拥有成本 (TCO) 和测试成本 (COT)
- E5080B ENA 的价值
- 结论

总体拥有成本 (TCO) 和测试成本 (COT)

纵观当今开发的新产品，其生命周期越来越短，市场上的产品也面临持续的降价压力。不可否认，厂家同时面临实现产品质量目标和降低设备维护成本的双重挑战，而克服这种挑战的唯一方法是同时降低拥有成本和测试成本。

总体拥有成本

总体拥有成本 (TCO) 是指拥有一台设备，并在其生命周期内使用它时所发生的一切成本之和。TCO 包含两个核心要素：资本支出（购置成本）和运营支出。运营支出通常包含以下元素：

- 预防性维护成本
- 维修成本
- 减少停机时间的成本（如备用设备）
- 技术更新（如增强功能、升级）
- 培训与教育
- 转售价值或处置成本
- 设施（如场地成本、电费）
- 其他（如消耗品）

测试成本 (COT)

测试成本 (COT) 的定义是特定时间内为生产线测试流程中的设备所花费的总成本 (如测试测量设备、自动元器件处理设备)。设备在其使用寿命中的不同阶段, COT 会发生变化。图 1 描述了 COT 从 t0 到 t3 的变化。在设备购得之时 (t0), COT 包含资本支出和初始运营支出 (如培训和教育) 以及其他成本 (a)。在 t1 时, 资本支出为折旧费用, 但初始运营支出已剔除。在 t2 之后, 剔除资本支出, 维护费用占 COT 的主要部分 (b)。当产品进入停产状态并且设备供应商终止官方维护服务之后, 维护成本将增加 (c)。

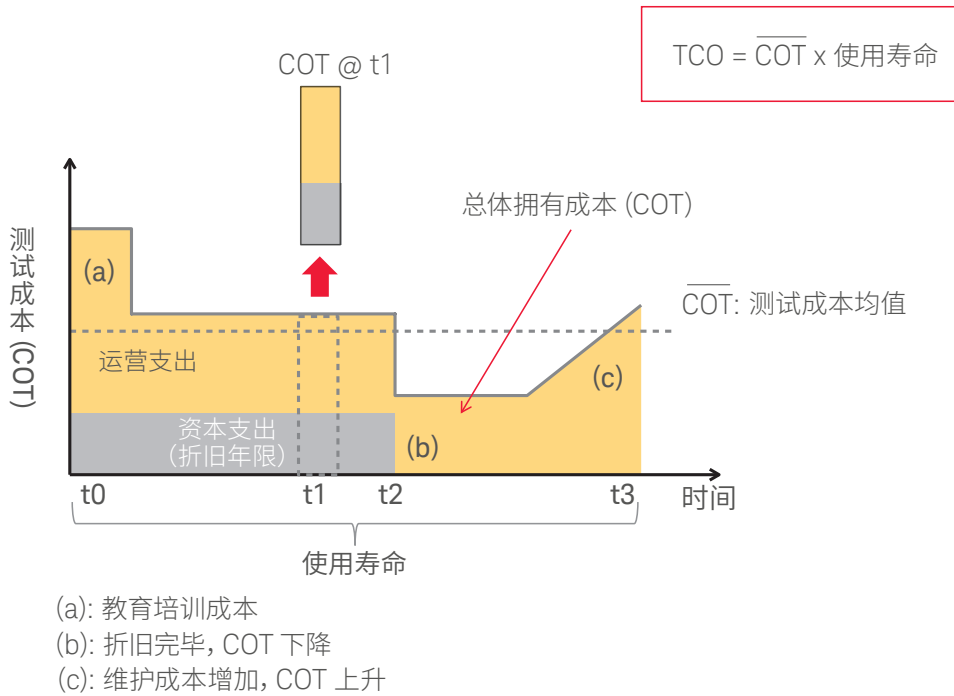


图 1. 测试成本随时间发生的变化

这里 $\overline{\text{COT}}$ 我们把它定义为 COT 在其使用寿命中的平均值, TCO 可以表示为:

$$\text{TCO} = \overline{\text{COT}} \times \text{使用寿命}$$

因此，COT 是测试和测量被测器件 (DUT) (如设备、元器件或模块) 以确定并保证性能和质量所需的费用。

由于制造商需要向市场价格看齐并保持竞争力，制造成本持续下降。现在的制造成本大约是上世界 90 年代初的五分之一。但是，COT 并没有发生改变，几乎与 40 年前一样，因为生产线的测试和测量要求对于先进的技术和性能测试变得更加复杂。企业已着手逐步削减成本，缩短交货时间。在降低测试成本的同时，务必要继续保持优异的产品质量。高质量的产品对于维持公司的竞争优势至关重要。

按照是德科技估计，在产品的总成本中，生产线上花费的成本平均约占 12%。其中，COT 占这部分的三分之一，达到了总成本的 4%。降低测试成本是在竞争激烈的市场中赢得业务的关键所在。

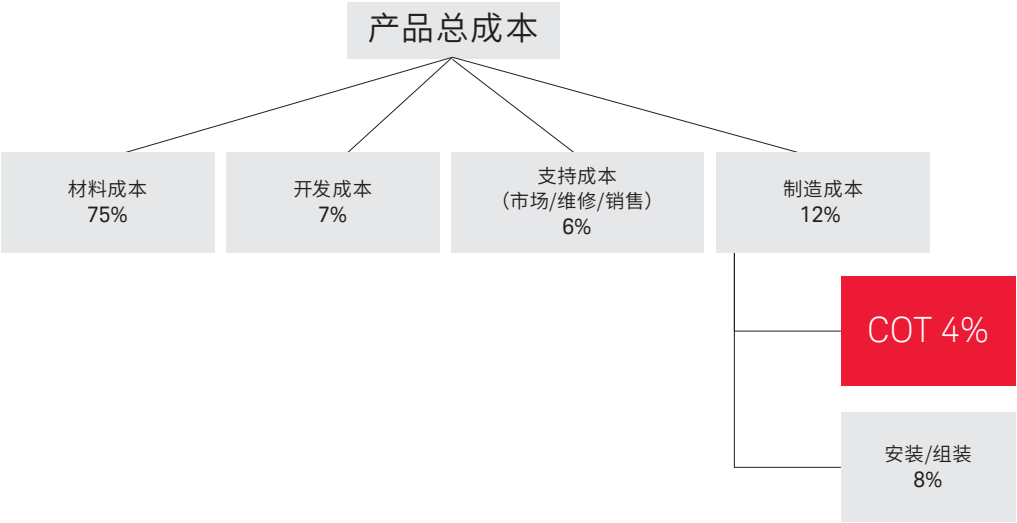
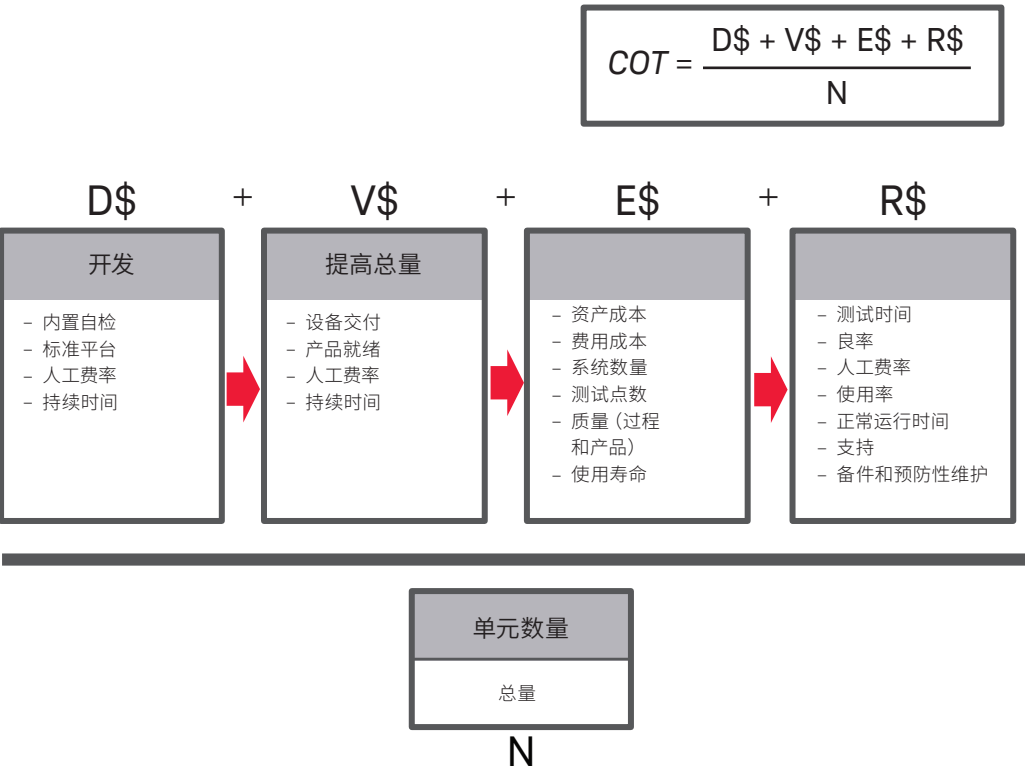


图 2. 产品总成本

受生产线中使用的测试和测量设备的性能和质量的影 响，COT 会发生变化。图 3 中的公式用于通过结构化方式得出 COT。



矢量网络分析仪在 COT 中的作用

本应用指南重点要介绍矢量网络分析仪 (VNA) 为降低 COT 所起到的作用。下表所示为对 COT 有影响的 VNA 性能和特性。

表 1：与降低测试成本有关的因素

成本类别	因素	价格	内置硬件功能	集成的应用软件	速度	动态范围	温度稳定性	迹线噪声/精度	兼容性	用户界面	可升级	质量/耐久性	事实标准	保修, 维修成本	应用专业知识	制造能力/全球支持
开发成本 (D\$)	内置自检	√										√	√		√	
	标准平台		√	√					√	√	√		√	√	√	
	人工费率		√	√					√	√			√		√	
	持续时间															
提高总量成本 (V\$)	设备交付										√		√			√√
	产品就绪			√												
	人工费率		√	√					√							
	持续时间															
设备成本 (E\$)	资产性成本	√√									√			√		
	费用性成本	√														
	系统数量	√														
	测试点位数量		√		√											
	质量 (过程和产品)						√	√					√		√	
经常性成本 (R\$)	测试时间		√	√	√√	√		√√		√					√	
	良率					√	√√	√								
	人工费率			√					√	√						
	正常运行时间											√√		√	√	√
	支持								√	√					√√	
	备件和预防性维护	√	√	√					√	√					√	
单元数量	总量				√	√	√	√								

√√：高度相关 √：相关

纵轴表示 COT 公式中的成本因素，横轴表示 VNA 的性能和产品属性。一个黑勾表示 VNA 的属性与 COT 因素有关，两个红勾表示 VNA 属性严重影响 COT 因素。

由于不同的 VNA 有不同的属性,因此,不同 VNA 对 COT 的影响也有所不同。在下一节中,我们要探讨 ENA 系列对于降低 COT 的具体贡献。

E5080B ENA 系列矢量网络分析仪的价值

当您需要测试 S 参数时，速度和性能的优势能够助您占据优势。是德科技 ENA 兼具完整的测量功能和经济的成本,可以帮助您完成更好的设计。每款 Keysight ENA 都能提升您在线性和非线性设备表征方面的专业知识。

上一节中所讲到的运营性成本方面，ENA 具有很大优势。将 Keysight ENA 添加到您的生产线中，降低测试成本。总体而言，ENA 可以帮助您降低 COT。

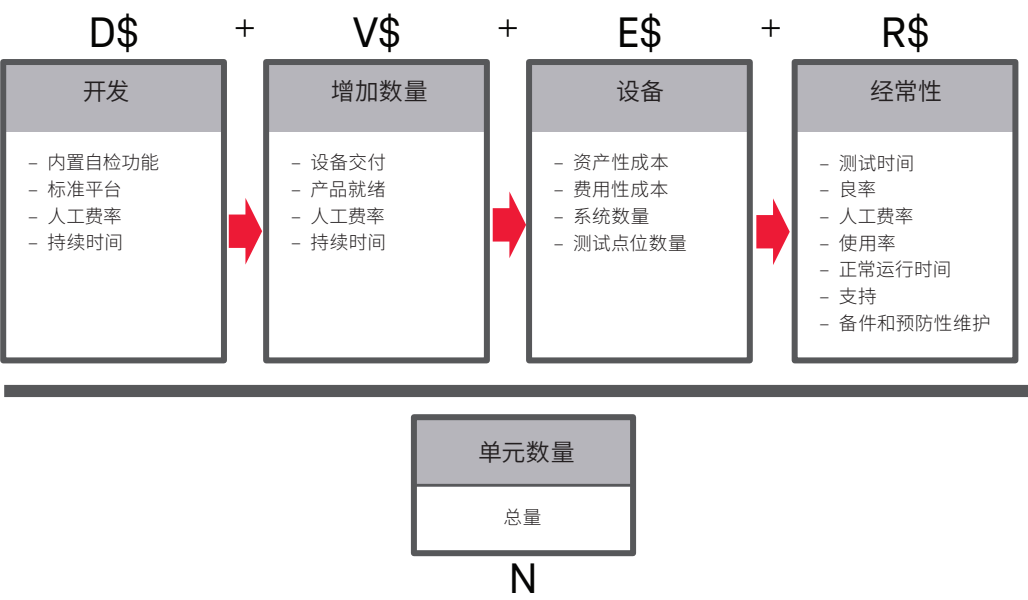


图 4. ENA 对降低 COT 提供的贡献

通过内置硬件和软件实现简单的快速测量设置

E5080B 内置了一系列功能，包括内部直流电源、直流监控输入、频谱分析、脉冲发生器或脉冲调制器。传统的测试设置需要多种仪器，如直流电源、数字万用表、频谱分析仪或脉冲发生器，而 E5080B 可以节省其他仪器的成本。

E5080B 的集成应用软件可以减少工程师的工作量，缩短他们为了开发多台仪器自动测量程序投入的时间。得益于直观的图形化用户界面，研发工程师可以迅速开始测量。

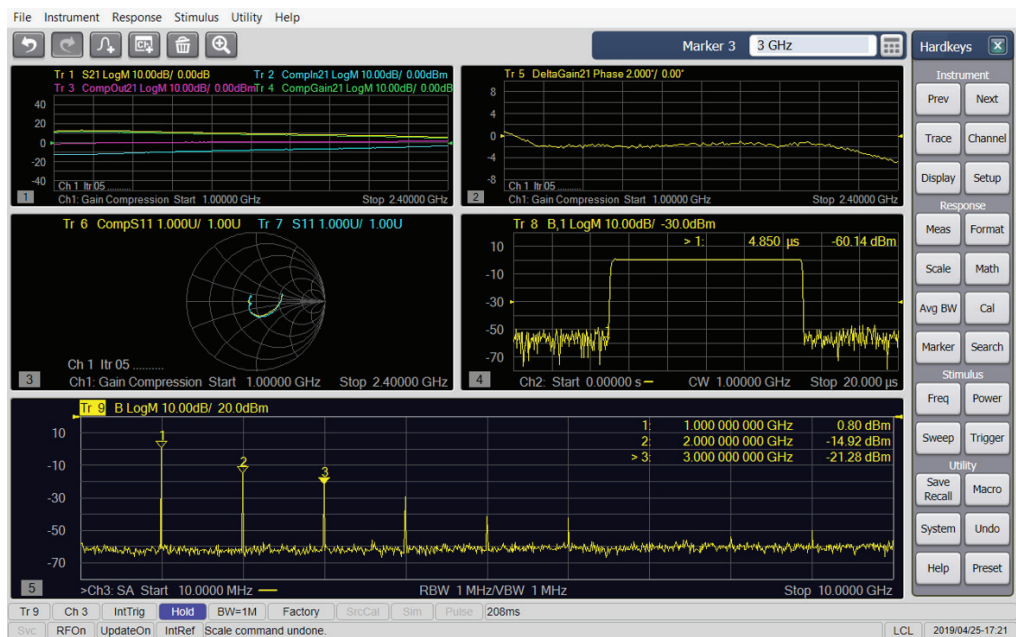


图 5. E5080B 只需一台仪器即可同时提供网络分析和频谱分析功能

测量速度快

测量吞吐率直接影响 COT。例如，手机上使用的 SAW 滤波器测试中，需要进行毫秒级的测量以生产大量器件。为此，E5080B 具有较宽的中频带宽 (IFBW)，与其他 VNA 相比，可以实现更快的测量扫描、更快的误差计算和数据处理。E5080B 完成相同测量的速度要比 E5071C 快四倍以上 (图 6)。

利用 ENA 的分段扫描，您可以使用任意频率点、IFBW、测量点数等来定制扫描条件。您可以通过优化设置参数来尽量提升测量吞吐率。

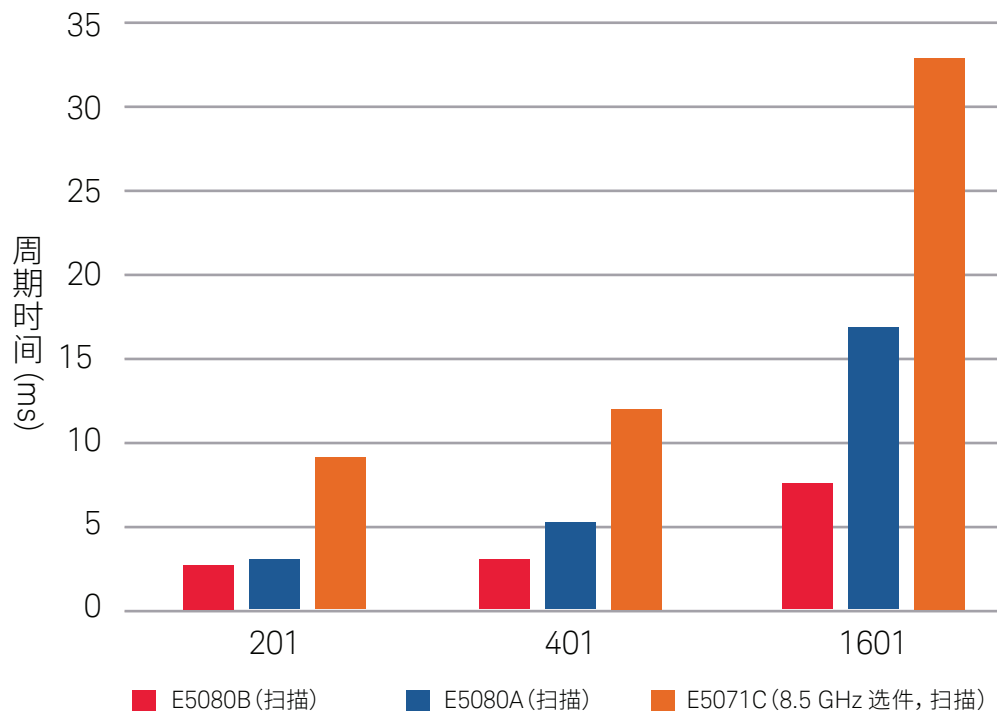


图 6. ENA 系列在扫频（快速扫描）模式下的测试时间比较。0.8 到 1 GHz、扫描 201、401 和 1,601 个点的完整双端口校准测量。

借助宽动态范围优化测试吞吐量

在表征各类射频器件（例如用于无线通信应用的高抑制滤波器）特性时，利用 VNA 来尽量扩大动态范围至关重要。

宽动态范围可以提升高衰减器件的测量吞吐量，因为它可以选择更高的 IFBW 来获得结果。如果将动态范围增加 20 dB，那么可以选择宽 100 倍的 IFBW 来执行速度快 100 倍的测量，并获得相同的结果。E5080B 的动态范围指标为 140 dB，可实现快速、准确的滤波器测量。

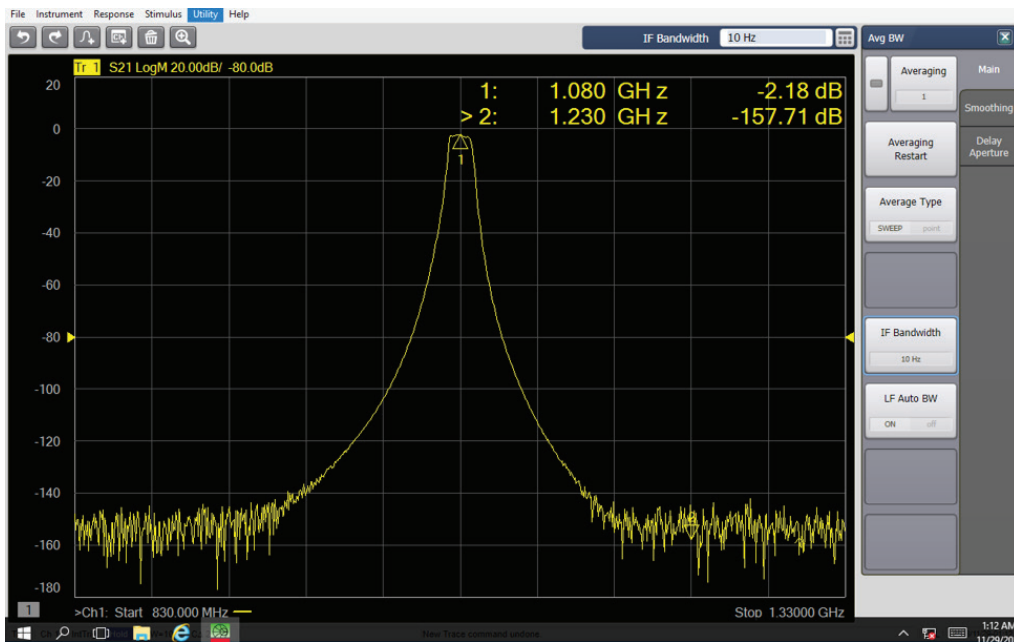


图 7. E5080B 的动态范围领先同类产品，可以提高测试吞吐量

使用 ECal 模块进行快速校准

校准可以消除测试设置中的测试电缆或夹具导致的系统误差，从而实现精确的测量。连接和断开标准校准件所需的时间可能占总校准过程时间的很大一部分。为缩短这一时间，是德科技提供了电子校准 (ECal) 模块，该模块是一种具有可重复阻抗状态的固态设备。ECal 模块只需建立一组连接即可执行校准，因而可以大幅提高测试效率，并减少操作人员误差。

是德科技提供丰富的 ECal 模块，您可以选择最小和最大频率、端口数量、连接器类型以及高性能或经济型 ECal 模块。



图 8. 精密型 N469xD 系列 ECal 模块有助于快速、精确地校准直流至 67 GHz

利用低迹线噪声提高良率

迹线噪声是影响准确测试和测试良率的关键因素。较低的迹线噪声有助于在测量电缆组件或滤波器通带等低损耗器件时最大程度减少误差和所需的测试裕量。由于迹线噪声会随着 IFBW 的平方根增加而增加，因此您需要选择较窄的 IFBW 来获得较低的迹线噪声。

与市场上其他同类 VNA 相比，ENA 的迹线噪声比较低，因此可以使用更高的 IFBW 得到同样的迹线噪声。较高的 IFBW 可以提高测量吞吐量。

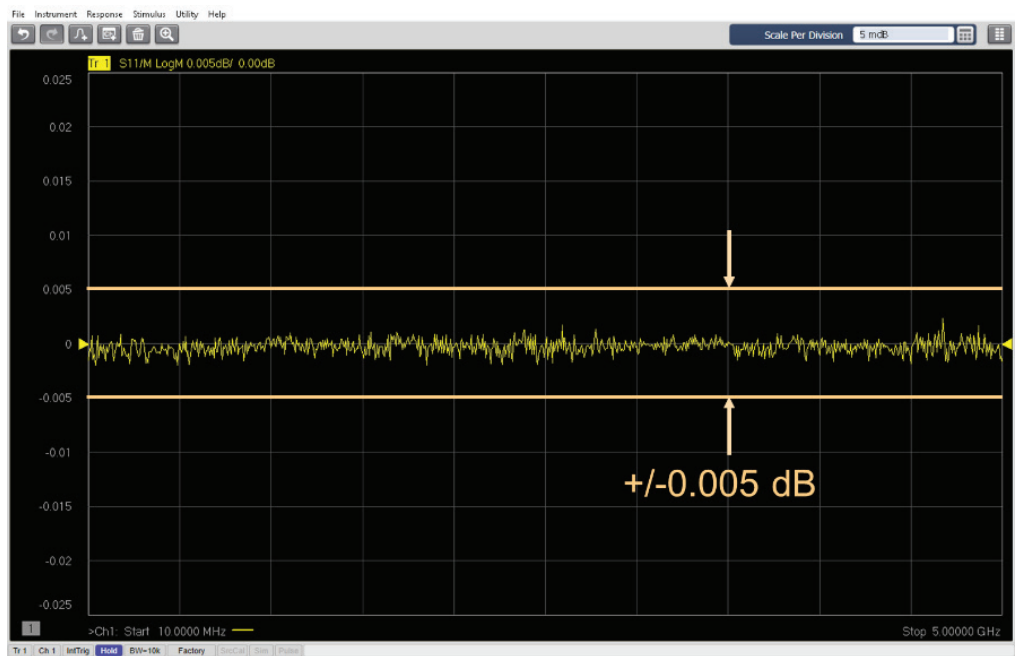


图 9. 低迹线噪声可以最大程度地降低所需测试裕量，从而提高产品良率

更稳定的测量

由于 VNA 的性能容易受到环境温度变化的影响，因此测量稳定性是仪器设计质量的关键指标之一。在生产线上，仪器通常会连续运行（24 小时 x 7 天）以实现生产目标。但是，仪器周围的环境温度会随时间发生变化，因此需要频繁进行重新校准来消除漂移误差，以达到所需的精度水平。此外，使用不稳定的仪器得出的测量结果会增加合格/不合格极限测试的测量不确定度，从而降低测试良率，导致生产中的 COT 上升。

ENA 旨在最大程度地减小温度漂移以抵抗环境温度变化，并且在 3 GHz 时，典型稳定性在每摄氏度 5 到 10 毫 dB 的范围内。出色的测量稳定性有助于大批量制造商将校准时间和相关停机时间减至最少。

结论

在本应用指南中，我们探讨了 TCO 和 COT 的定义，并且介绍了矢量网络分析仪对于降低产品生产中的 COT 的关键作用。Keysight ENA 是一款中档性能的矢量网络分析仪，在当前市场上具有出色的性价比。ENA 专为生产线而设计，具有各种优势，有助于在各个产品生命周期内降低 COT。在初始阶段，它卓越的可支持性、功能、信息以及财务计划支持可以降低采购和开发成本。在运行测试阶段，它出色的测量速度、低迹线噪声和稳定性有助于大幅降低 COT。在后期阶段，它的可升级性和极大的转售价值能给贵公司的利润产生积极影响，并可以轻松满足将来的测试需求。将 ENA 添加到您的生产线中，降低测试成本。

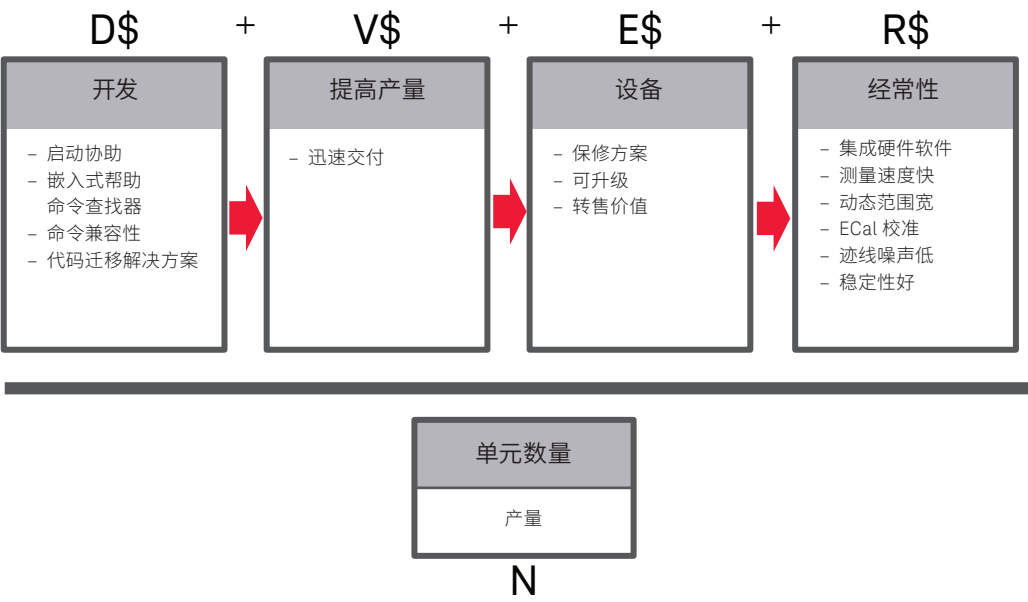


图 10. ENA 有助于降低测试成本

附录

是德科技 ENA 系列与 VNA 比较。

	E5063A	E5061B (射频 NA 选件)	E5071C	E5072A	E5080A	E5080B
最低频率	100 kHz	100 kHz	9/100 kHz, 300 kHz	30 kHz	9 kHz	9 kHz
最高频率	0.5/3/4.5/6/8.5/14/ 18 GHz	1.5/3 GHz	4.5/6.5/8.5 GHz 14/20 GHz	4.5/8.5 GHz	4.5/6.5/9 GHz	4.5/6.5/9/14/ 20 GHz
测试端口	双端口 50 Ω	双端口, 50 和 75 Ω	双端口和 4 端口, 50 Ω	双端口, 50 Ω	双端口和 4 端口, 50 Ω	双端口和 4 端口, 50 Ω
3 GHz 时的 动态范围	117 dB	120 dB	123 dB	123 dB	135 dB	140 dB
迹线噪声 (3 GHz 时)	0.005 dBrms (70 kHz IFBW)	0.005 dBrms (3 kHz IFBW)	0.003 dBrms (70 kHz IFBW)	0.004 dBrms (70 kHz IFBW)	0.0015 dBrms (10 kHz IFBW)	0.0015 dBrms (10 kHz IFBW)
电源功率 (3 GHz 时)	-20 至 0 dBm	-45 至 10 dBm	-55 至 10 dBm	-85 至 16 dBm	-90 至 15 dBm	-60 至 10 dBm
温度稳定性 (3 GHz 时, 典型值)	0.01 dB/摄氏度	0.01 dB/摄氏度	0.005 dB/摄氏度	0.005 dB/摄氏度	0.005 dB/摄氏度	0.005 dB/摄氏度
测试时间 (双端口 校准, 201 个点, 典型值)	19 ms (300 kHz IFBW)	21 ms (300 kHz IFBW)	5 ms (100 kHz IFBW)	4 ms (500 kHz IFBW)	3 ms (500 kHz IFBW)	2 ms (1 MHz IFBW)
中频带宽 (IFBW)	10 Hz 至 300 kHz	1 Hz 至 300 kHz	10 Hz 至 1.5 MHz	10 Hz 至 500 kHz	1 Hz 至 1.5 MHz	1 Hz 至 15 MHz
内置 bias tees 偏置器	否	否	是	是	是	是
可配置的测试仪	否	否	否	是	否	否
支持多端口测试	否	否	是	否	是	是
内置脉冲调制器	否	否	否	否	否	是
内置脉冲发生器	否	否	否	否	否	是
内置直流电源	否	否	否	否	否	是
直流监控 (AUX 输入) 端口	否	否	是	是	是	是
频谱分析硬件	否	否	否	否	否	是
关键的软件功能	时域分析, PCB 阻抗 分析, 无线功率传输 分析	时域分析, 无线 功率传输分析	时域分析, 频偏 模式, 标量混频器 测量	时域分析, 频偏 模式, 标量混频器 测量, 无线功率 传输分析	自动夹具移除, 时域分析, 增益 压缩应用, 频偏 模式, 标量混频器 测量, 自动测量 专家	自动夹具移除, 时域分析, 借助 TDR 进行增强的 时域分析, 增益压缩 应用, 脉冲测量, 频偏模式, 标量 混频器测量, 嵌入式 LO, 频谱 分析, 自动测量专家
用户界面	ENA 独特的 图形用户界面	ENA 独特的 图形用户界面	ENA 独特的 图形用户界面	ENA 独特的 图形用户界面	通用 VNA 图形用户界面	通用 VNA 图形用户界面

参考文件和链接

是德科技 ENA 系列矢量网络分析仪网页

– www.keysight.com/find/vna

白皮书：《测试设备的实际“总体拥有成本”》，文档编号 5990-6642 CHCN

– <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-6642EN.pdf>

《管理测试设备的总体拥有成本》，文档编号 5990-9133CHCN

– <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-9133EN.pdf>

如欲了解更多信息，请访问：www.keysight.com

如需了解关于是德科技产品、应用和服务的更多信息，请与是德科技联系。

如需完整的联系方式，请访问：www.keysight.com/find/contactus

