

是德科技

汽车中功率器件的测试挑战和 解决方案

技术概述



引言

汽车电气化程度逐年提高，所有迹象都表明，这一趋势未来还将加速。这种发展趋势的形成因素包括越来越多使用混合动力和纯电动汽车来满足“绿色能源”的目标，期望电子元件一般能够提供更高的可靠性，以及需要减少汽车召回（很大程度上是由于机械故障，而不是电气故障）。此外，全球化趋势导致汽车和汽车配件行业出现激烈的竞争，因为每个人都希望以更低的成本开发汽车功能，同时不会降低能效、安全性和可靠性。

本技术概述简要探讨了汽车电子系统、其面临的挑战以及汽车电子工程师为应对此类挑战而需采用的工具。结尾部分介绍了是德科技为了应对此类挑战而推出的解决方案。

下方展示了应用电气化的汽车功能。

<h3>动力传动系统控制/充电器</h3> <ul style="list-style-type: none">- 电动汽车 (EV)- 混合动力电动汽车 (HEV)- 车载充电器- 充电站 	<h3>安全控制</h3> <ul style="list-style-type: none">- 电动助力转向- 制动系统 
<h3>车体控制</h3> <ul style="list-style-type: none">- 电动门/窗- 高亮度气体放电灯 (HID) 照明系统 	<h3>传感器</h3> <ul style="list-style-type: none">- 压力传感器- 加速计- 电流传感器- 光传感器 

图 1. 以电子方式实现的汽车功能

汽车电气化面临的挑战

如今，很多汽车功能都是通过电子方式予以控制。图 2 显示了一些典型汽车电子应用的框图。

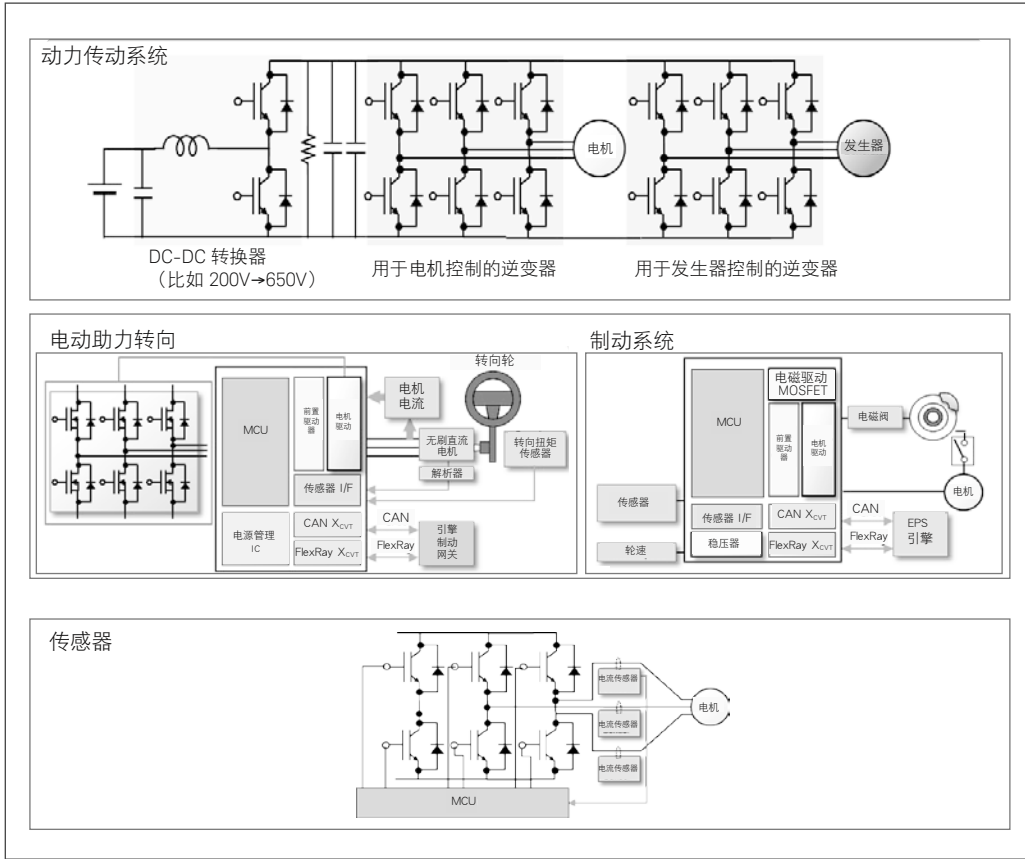


图 2. 汽车电气化功能的框图示例

混合动力电动汽车 (HEV) 以及电动汽车 (EV) 技术可大幅提高汽车燃料效率 (甚至能够完全摆脱对液体燃料的需求)。此类车辆电气化技术的核心是电气化动力传动系统，其中包含升压转换器和马达驱动逆变器。由于动力传动系统是所有 HEV/EV 系统的核心，因此它必须非常可靠。在动力传动系统所面临的挑战中，有一项为 EV 测试，要求能够经受高电压和电流 (高达 650 V 和 200 A)，以及能够在严峻的温度 (-40 至 40°C) 和高湿度条件下正常运行。动力传动系统中使用的功率器件 (比如绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 或二极管) 在运行过程中会消耗能量，最终的工作温度可能会超过 100°C。但是，即使在此类极端条件下，动力传动系统仍需实现可靠运行。

动力传动系统电路中使用的二极管和 IGBT 的效能，对实现高燃料效率起着关键性作用。使用低导电损耗和低开关损耗的器件，对实现这一目标至关重要。此外，通过提高转换器/逆变器的工作频率，可以让周围的电容器和传感器变得更小，进而降低车重并提高燃料效率。采用 SiC 和 GaN 等新材料制造的元件，可以提供更高的工作频率和更加稳定的温度性能，因而成为未来汽车电力系统中备受青睐的元件。

毋庸置疑，即使是不采用电气动力传动系统的车辆，同样配备有诸多重要的电气系统。车载充电器和充电系统中使用直流对直流转换器以及整流器，此类电路的要求类似于动力传动系统。显而易见，电动助力转向、制动以及照明系统均对汽车安全性起着关键性作用，其运行需尽可能可靠。因此，此类系统中使用的所有元件（金属氧化物半导体场效晶体管（MOSFET）、二极管、电容器、传感器等等）在各种条件下均必须保持稳定效能。汽车中使用的电传感器提供有关运动控制、工作效率以及安全性的重要信息，因此其性能和可靠性同样非常重要。为此，诸多汽车和汽车元件制造商正积极开发此类传感器的改进版本。

车辆电气化系统面临的关键挑战

- 在各种条件下均必须实现可靠运行
- 采用高工作电流和电压（例如 200 A、650 V）
- 必须在广泛的温度范围（例如 -40 至 +150°C）中正常运行
- 需要实现高转换效率
- 需要实现高工作频率，以便减小模块尺寸，降低车重
- 需要采用可靠的传感器，以提供关键安全性信息
- 必须采用 SiC/GaN 器件，以提高效率并扩大正常工作的温度范围

汽车电路面临的挑战设计人员面临的挑战是？

由于汽车行业的电气工程师需要开发高效、安全和可靠的电路，因此对最终电路的特性进行评测是至关重要的。为此必须对整个电路的效率进行评测，包括验证电路每个节点的电流和电压波形。为实现这一点，工程师必须详细了解电路中使用的功率器件、元件以及传感器。对于电路中使用的功率器件（比如 IGBT 和 MOSFET）而言尤其如此，原因在于其性能通常会决定整个电路的效率、安全性以及可靠性。可惜，器件制造商提供的技术资料通常不足以满足此类需求。技术资料中的条件通常不同于实际使用条件，而且提供的信息通常拥有较大的裕量，未提供元件变体的相关信息。因此，仅仅使用器件和元件制造商提供的信息通常很难设计出可靠且高效的电路。

以下章节更详细地描述了元件级测试所需的关键因素，并说明了是德科技为帮助汽车行业应对此类挑战而开发的 EV 测试和电力电路仿真器解决方案。

汽车功率器件测试挑战总结

图 3 总结了针对汽车应用执行元件级测试时应考虑的主要事项；所有这些事项均与先前论述的车辆电气化系统所面临的挑战息息相关。毫无疑问，此类问题的根源是对更高安全性、可靠性和效率的需求。为应对此类问题，汽车电气工程师需要测试许多元件参数，比如导通电阻（ R_{on} ）、饱和电压（ V_{sat} ）、击穿电压（ BV_{dss} ）以及输入/输出电容（ C_{iss} 、 C_{oss} ）。此外，这些测试需在实际工作条件（比如 400 A 或 1200 V）下以及广泛的温度范围中执行。另外，为了尽量降低功耗，需要透彻了解 Cr_{ss} 、栅极电荷（ Q_g ）以及栅极电阻（ R_g ）等参数。验证汽车传感器（尤其是微机电系统（MEMS）电容式传感器）的性能，同样十分重要，直流测试（IV 和 CV）是此流程的第一步。

除技术问题外，竞争力因素同样要求对汽车应用中所使用的半导体元件进行测试。另一个同等重要的要求是，汽车工程师需采用全新技术（比如 SiC 和 GaN）来降低成本。除此之外，假冒伪劣功率器件的盛行，意味着汽车企业需要先对器件进行筛选，才能将其应用于大量生产中。



图 3. 汽车功率器件测试挑战总结

是德科技功率器件测试解决方案

是德科技公司功率器件的测试解决方案如下所示。图 4 中总结了诸多适用于功率器件测试的解决方案组合。



图 4. 是德科技适用于汽车元件级测试的解决方案组合

下一章节会详细讲述各个解决方案，并提供关于是德科技功率器件分析仪（适用于功率器件和元件测试的综合解决方案）的更多信息。

适用于电路设计的 B1506A 功率器件分析仪

适用于电路设计的 B1506A 功率器件分析仪是一款全面的解决方案，可帮助汽车电子电路设计人员尽量提高汽车电气系统的效率、安全性和可靠性。它可在各种工作条件下评测所有与器件和元件相关的参数，包括 IV 参数（比如击穿电压和导通电阻）以及三端子 FET 电容、栅极电阻、栅极电荷和功耗。



B1506A

- 用于功率半导体和元件测试的一整套解决方案
- 自动化 IV/CV 测试
- 自动化热性能测试
- CV (Ciss、Crss、Coss、Cgs、Cds、Cgd) 高达 3 kV
- 功耗计算

**动态测试仪
示波器/PG**

- 开关参数， - 栅极电荷 (Qg)
- 功耗 (T、r、Tf、E、P)

LCR 表

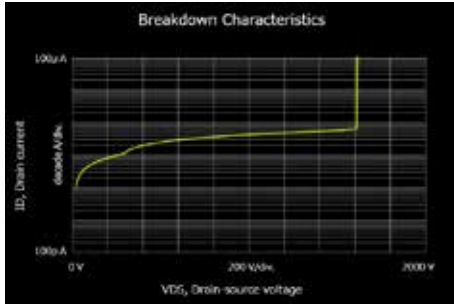
- 电容测量 (低电压)

曲线跟踪仪

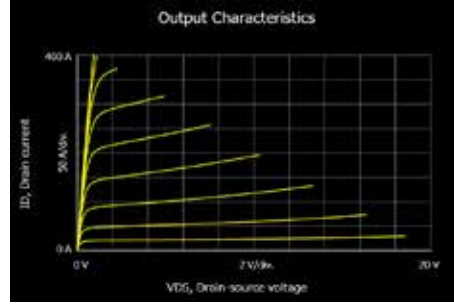
- IV 曲线

在实际工作条件下表征器件的特性

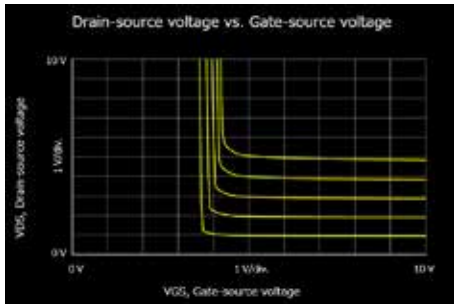
B1506A 涵盖各种电流和电压，电流范围从低于 nA 的级别至 1500 A，电压范围从微伏级别到 3 kV。借助这一特性，它可对汽车电路中使用的绝大部分器件和元件进行评测。B1506A 的 50 μ s 脉宽测量功能可限制自热效应，同时可提供更精确的器件特性。此外，B1506A 还可对决定器件功耗的所有关键参数（包括器件电容、栅极电阻和栅极电荷特性）进行评测。图 5 显示了部分使用 B1506A 得到的典型器件参数。



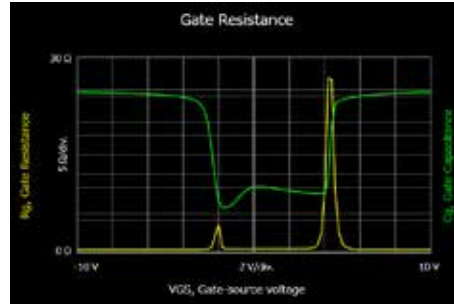
击穿电压 (BV) 和泄露电压高达 3 kV



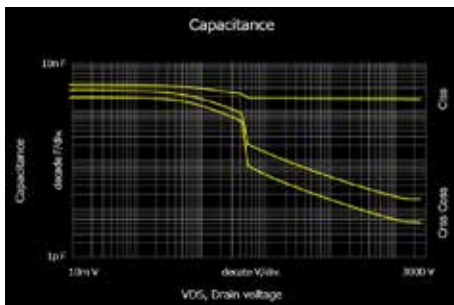
Id-Vds 高达 1500 A



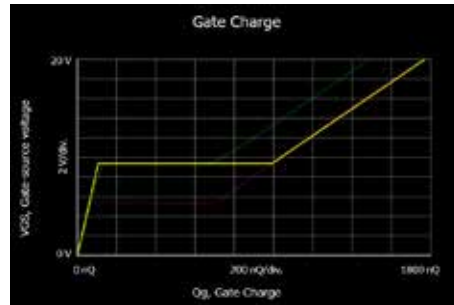
在 Isourcing 下测得的 Vsat



Rg 和 Ciss VS Vgs



Ciss、Coss、Crss 高达 3 kV



栅极电荷 (Qg)

图 5. B1506A 测量的典型特性

验证不同温度条件下器件的工作特性

对于汽车应用而言，对不同温度条件下的器件特性进行表征十分重要，但是实现这一点并非易事。温度试验箱达到稳定状态所需的时间较长，从测试设备连接至试验箱的长电缆会引入电阻和电感，可能导致振荡问题。相比而言，B1506A 可在各种温度 (-50 至 +250°C) 条件下实现自动化、易用且精准的温度依存测量。解决方案有两种。一种解决方案支持行业标准 inTEST Thermostream 温度系统，而另一种解决方案为保温板（同样可从 inTEST 获得），用 B1506A 的测试夹具固定（参见图 6）。通过此类解决方案，以前通常需要一整天才能完成的热工测试，现在不到一小时即可完成（参见图 7）。



图 6. B1506A 支持的温度测试解决方案。

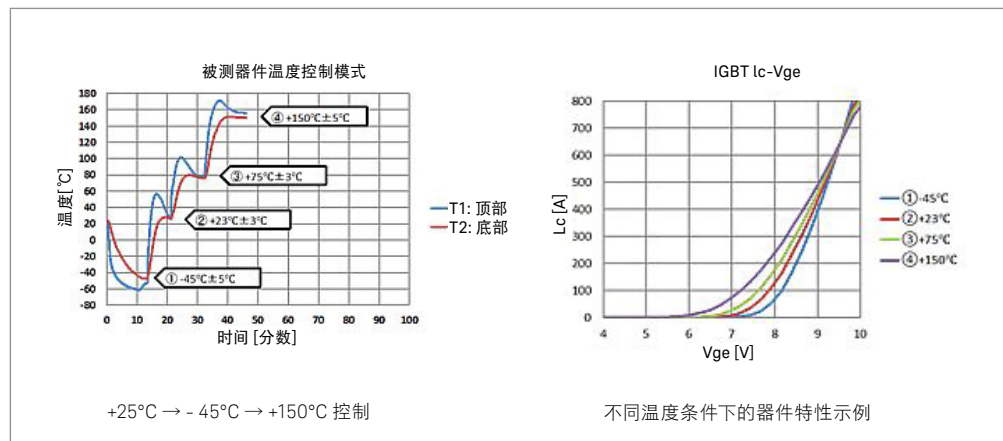


图 7. 使用 B1506A 执行温度依存测量的示例。

通过选择适合的器件实现更高的电路效率

要实现更高的电路性能和效率，需要更充分的数据，这超出了传统曲线追踪仪的能力。在开关频率使开关损耗增加，驱动损耗开始成为主要器件功耗的情况下，尤其如此。鉴于这一点，对器件电容、栅极电阻和栅极电荷进行表征，变得至关重要。但是，由于此类参数难以测量，因此许多汽车工程师并未尝试涉足这一领域。B1506A 不仅能够自动测量所有这些参数，而且能够使用提取的参数执行功耗计算，从而成功解决这一难题。

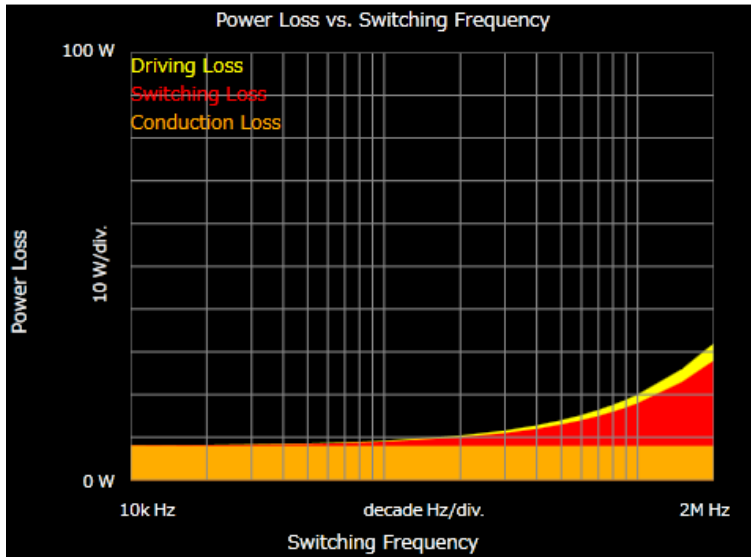


图 8. 计算得到的功耗 VS 使用 B1506A 测得的频率

直观且自动的技术资料表征

借助 B1506A 的技术数据表征模式，任何人都可自动测量关键器件参数，而无需接受任何专门培训。所有特性均能够以数据表的格式打印，使得工程师能够轻松对比不同元件的性能。

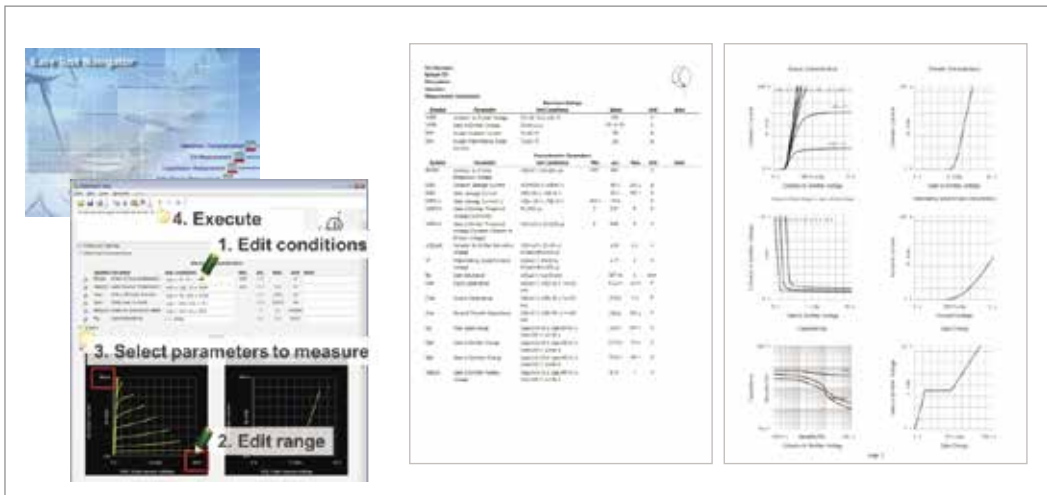


图 9. Easy Test Navigator 软件能够以直观方式对器件和元件进行自动化测试，同时能够生成数据表。

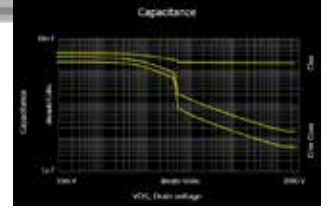
B1507A 功率器件电容分析仪

如果您已拥有适用于直流表征的传统型曲线追踪仪或者电力生产器件测试仪，但是缺乏电容测量能力，B1507A 可填补您测试资源的这一空白。它可在高压偏置的条件下（最高 3 kV）自动测量晶体管输入、输出以及反向转移电容，并能够测量栅极电阻。



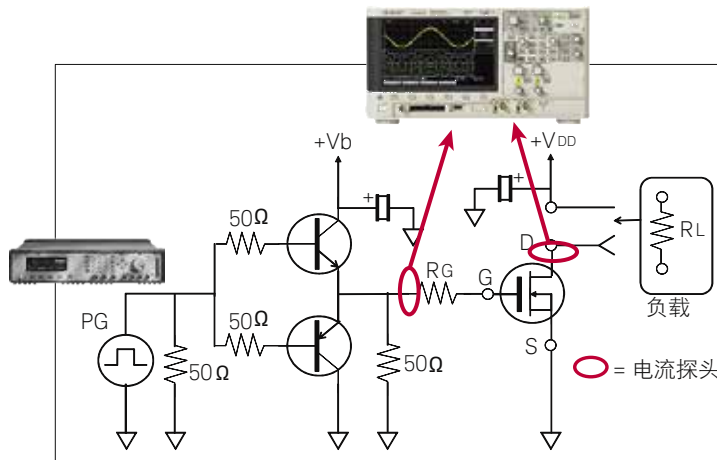
B1505A 功率器件分析仪/曲线追踪仪

相比于 B1506A，B1505A 是一款更加灵活的替代产品，其电流和电压范围更为广泛，弱电流测量精度更高，可进行高电压-中等强度电流测量（比如在 500 mA、1.2 kV 的条件下），能够提供 GaN 电流崩溃测试选项，并能够同时测量三个以上引脚。此外，B1505A 还能够测量晶圆级和封装器件。除了得到电力器件制造商的广泛应用外，B1505A 还可有效协助汽车电子工程师充分利用 GaN 功率器件、测量 4 端子 IGBT 的感应发射机电流，以及对栅极驱动器电路的高压集成电路（HVIC）进行表征。



是德科技示波器和脉冲发生器

开关特性是元件级测试的重要组成部分，是德科技同时拥有能够协助测试此类参数的示波器和脉冲发生器。InfiniiVision 4000 X 系列示波器能够以合理成本提供充足的带宽和分辨率，并可根据需要与电流探头配套使用。此外，81110A 脉冲发生器还能够提供电压脉冲，其速度和数量水平足以对汽车元件进行表征。



传感器表征解决方案

使用 B1500A 和 B2900A SMU 轻松表征直流 MEMS 的性能

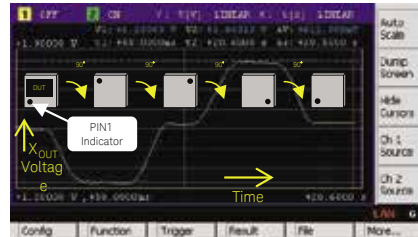
SMU 能够输出和测量电流和电压，便捷地对汽车传感器的 IV 性能进行表征。例如，B1500A 和 B2900A 系列配备的 SMU 均能够对 MEMS 器件（比如加速计）执行直流电流和电压表征。如下图所示，SMU 可在 MEMS 器件手动旋转 360 度时测量输出电压。



B2900A 电源测量单元



B1500A 半导体器件分析仪



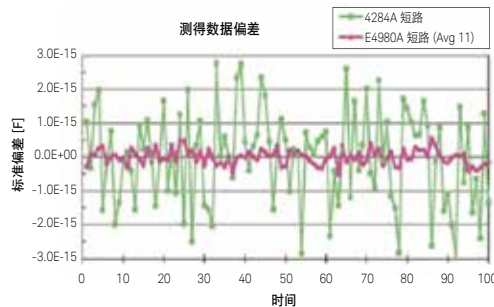
MEMS 加速计输出电压测量

使用 E4980A LCR 表评测 MEMS

MEMS 电容式传感器（比如压力传感器或者加速计）可通过电容变化检测机械位移。为测试此类器件的功能，通常会使用静电力而非物理激励，原因在于静电力可提高测试效率。但是，由于执行器的电容变化非常微小，因此需要采用能够测量电容的测试设备（具备飞法级以下分辨率）。E4980A 能够测量电容，具备阿法级可重复性 ($\sigma < 1 \text{ fF}$)，是这一应用的理想工具。



E4980A LCR 表



改善电路设计，加快上市步伐

除了针对汽车电力测试需求提供全套硬件外，是德科技还提供了先进设计系统（ADS）软件，其电力电路仿真功能可以在电路设计验证阶段中为 HEV/EV 电子工程师提供支持。

凭借出色的易用性和强大功能，是德科技 ADS 得到了全球超过 70% 的高频电路设计人员的青睐，使电力电路仿真测试的设计能够与实际测量相符合。

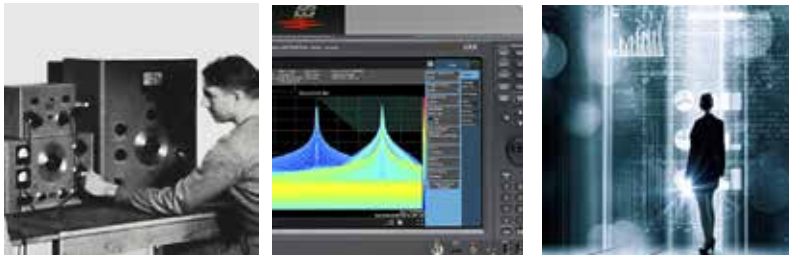
访问以下网站，了解更多信息：www.keysight.com/find/ads

总结

汽车使用的电气元件日益增多，这一持续趋势为电子电路设计人员带来了诸多挑战，而且催生了对更优秀电力电路仿真器解决方案的需求。为实现更高工作效率和安全性的目标，此类电路中使用的元件需要经历的测试相比以往要多很多。对于半导体器件和元件，工程师必须对 IV、CV、Qg 和栅极电阻进行表征，以满足此类要求。MEMS 传感器需要低电平 IV 表征以及非常精确的 CV 测量。是德科技公司可提供全面的解决方案，满足所有这些测试需求。

演进

我们独有的硬件、软件和技术人员资源组合能够帮助您实现下一次突破。
我们正在开启技术的未来。



从惠普到安捷伦再到是德科技

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息！

是德科技服务

KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

www.keysight.com/find/services

我们拥有业界领先的技术人员、流程和工具，可以提供深度的设计、测试和测量服务。最终的结果就是：我们帮助您应用新的技术，而工程师为您改进流程并降低成本。

是德科技保证方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

10 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。



www.keysight.com/go/quality

是德科技公司
DEKRA 认证 ISO 9001:2015
质量管理体系



是德科技渠道合作伙伴

www.keysight.com/find/channelpartners

黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

www.keysight.com/find/solution

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863
电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技(中国)有限公司

北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦
电话: 86 010 64396888
传真: 86 010 64390156
邮编: 100102

是德科技(成都)有限公司

成都市高新区南部园区天府四街 116 号
电话: 86 28 83108888
传真: 86 28 85330931
邮编: 610041

是德科技香港有限公司

香港铜锣湾希慎道 33 号
利园 1 期 45 楼 4567 室内
电话: 852 3197777
传真: 852 25069233

上海分公司

上海市虹口区四川北路 1350 号
利通广场 19 楼
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200080

深圳分公司

深圳市福田区福华一路 6 号
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元
电话: 86 755 83079588
传真: 86 755 82763181
邮编: 518048

广州分公司

广州市天河区金穗路 62 号侨鑫国际中心 17 楼
雷格斯侨鑫国际中心 1772 室
电话: 86 20 38390680
传真: 86 20 38390712
邮编: 510623

西安办事处

西安市碑林区南关正街 88 号
长安国际大厦 D 座 501
电话: 86 29 88861357
传真: 86 29 88861355
邮编: 710068

南京办事处

南京市鼓楼区汉中路 2 号
金陵饭店亚太商务楼 8 层
电话: 86 25 66102588
传真: 86 25 66102641
邮编: 210005

苏州办事处

苏州市工业园区苏华路一号
世纪金融大厦 1611 室
电话: 86 512 62532023
传真: 86 512 62887307
邮编: 215021

武汉办事处

武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利广场 18 楼 A 座
电话: 86 27 87119188
传真: 86 27 87119177
邮编: 430071

上海MSD办事处

上海市虹口区欧阳路 196 号
26 号楼一楼 J+H 单元
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200083

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
© Keysight Technologies, 2018
Published in USA, March 21, 2018
出版号: 5992-0562CHCN
www.keysight.com