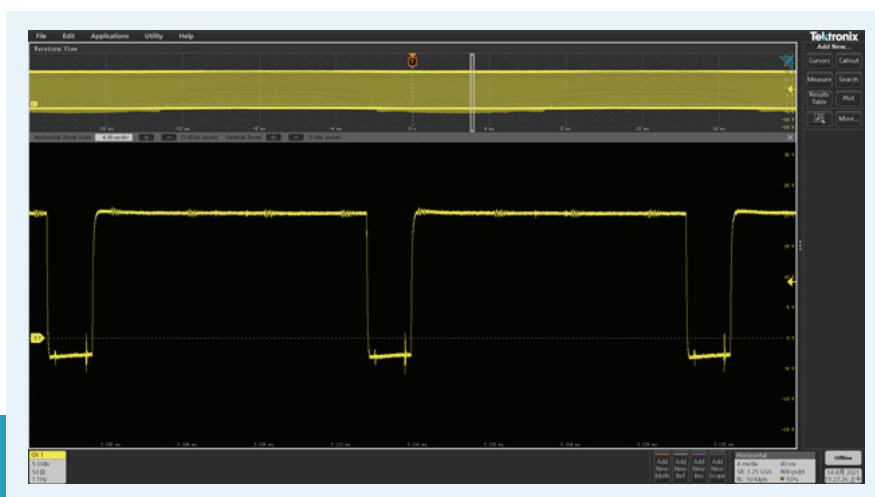


测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因



开关特性是功率半导体开关器件最重要的特性之一，由器件在开关过程中的驱动电压、端电压、端电流表示。一般在进行器件评估时可以采用双脉冲测试，而在电路设计时直接测量在运行中的变换器上的器件波形，为了得到正确的结论，获得精准的开关过程波形至关重要。

SiC MOSFET 相较于 Si MOS 和 IGBT 能够显著提高变换器的效率和功率密度，同时还能够降低系统成本，受到广大电源工程师的青睐，越来越多的功率变换器采用基于 SiC MOSFET 的方案。SiC MOSFET 与 Si 开关器件的一个重要区别是它们的栅极耐压能力不同，Si 开关器件栅极耐压能力一般都能够达到 $\pm 30\text{V}$ ，而 SiC MOSFET 栅极正压耐压能力一般在 $+20\text{V}$ 至

$+25\text{V}$ ，负压耐压能力一般仅有 -3V 至 -10V 。同时，SiC MOSFET 开关速度快，开关过程中栅极电压更容易发生震荡，如果震荡超过其栅极耐压能力，则有可能导致器件栅极可靠性退化或直接损坏。

很多电源工程师刚刚接触 SiC MOSFET 不久，往往会在驱动电压测量上遇到问题，即测得的驱动电压震荡幅值较大、存在与理论不相符的尖峰，导致搞不清楚是器件的问题还是电路设计的问题，进而耽误开发进度。

接下来我们将向您介绍 **6 种** 由于测试问题而导致的**驱动电压离谱的原因**。

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

原因 1：高压差分探头衰减倍数过大

高压差分探头的为差分输入且输入阻抗高，在电源开发过程中一般都会选择它来测量驱动波形。

有时在使用高压差分探头时获得的驱动波形显得非常粗，这往往是由于高压差分探头的衰减倍数过大导致的。衰减倍数大，高压差分探头的量程就大，使得分辨率大幅下降，同时示波器在还原信号时还会将噪声放大。此时就需要选择衰减倍数较小的高压差分探头或选择高压差分探头衰减比较小的档位。我们使用图 1 中的高压差分探头测量驱动电压，衰减倍数分别选择 50 倍和 500 倍，在下图中可以明显到 500 倍衰减倍数下驱动波形非常粗。

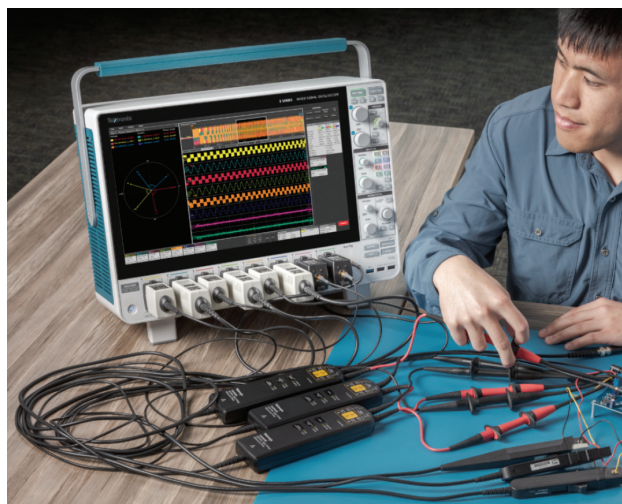


图 1. 示意图为泰克高压差分探头

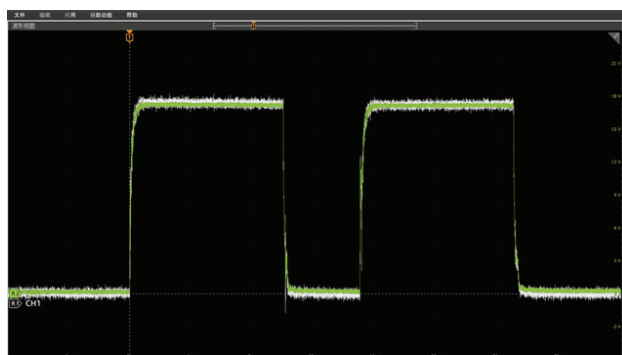


图 2. 50 倍与 500 倍衰减波形对比

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

原因 2：高压差分探头测量线未双绞

高压差分探头一般用于测量高压信号，为了使用安全及方便接线，其前端是两根接近 20cm 的测量线。在进行测量时，可以将两根测量线看作为一个天线，会接收外界的磁场信号。而 SiC MOSFET 的开关速度快，开关过程电流变化速率大，其产生的磁场穿过由高压差分探头

测量线形成的天线时就会影响测量结果。为了降低这一影响，可以将高压差分探头的两根测量线进行双绞，尽量减小它们围成的面积。从图 4 中可以看到，在将测量线未双绞进行双绞后，驱动电压波形的震荡幅度明显降低了。



图 3. 差分探头是否双绞

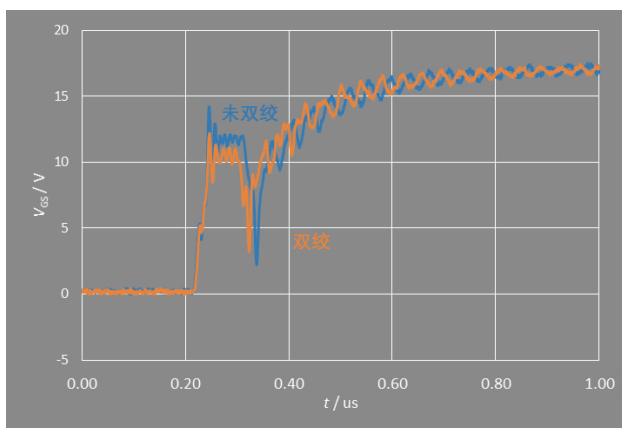
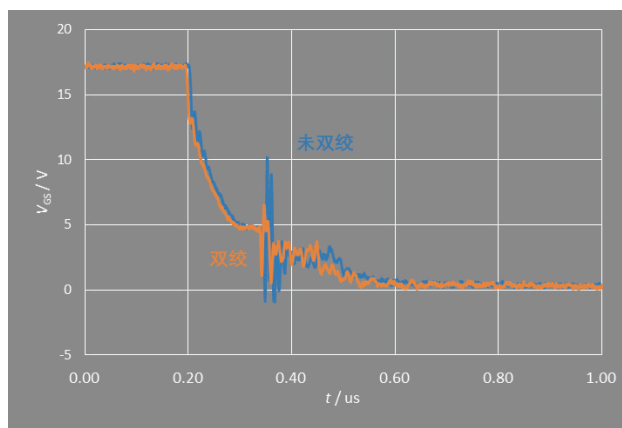


图 4. 是否双绞的波形对比



测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

原因 3：无源探头未进行阻抗匹配

无源探头衰减倍数小、带宽高，往往可以在双脉冲测试时用来获得更为精准的驱动电压波形。无源探头的等效电路如下所示，只有当其与示波器达到阻抗匹配时才能获得正确的波形。一般情况下，我们可以通过旋转无源探头尾部的旋钮调节电容来进行阻抗匹配调节，此外还有部分探头能够在示波器上完成自动补偿。



图 6. 泰克无源探头

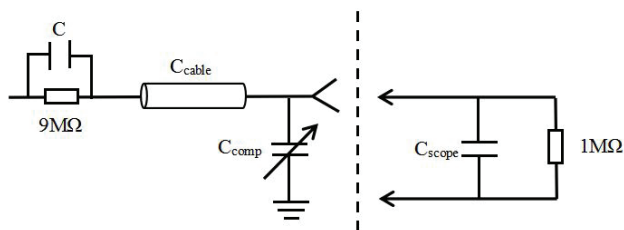


图 7. 无源探头等效示意图

当驱动电压为 $-4V/+15V$ 时，通过图 8 可以看到，是否正确补偿对测量结果有非常大的影响。当探头未进行阻抗匹配时，驱动波形振荡幅度明显变大，测量量值也更大，这将会导致对驱动电压的误判。当探头正确阻抗匹配时，驱动电压振幅更小，测量值与实际外加电压一致。

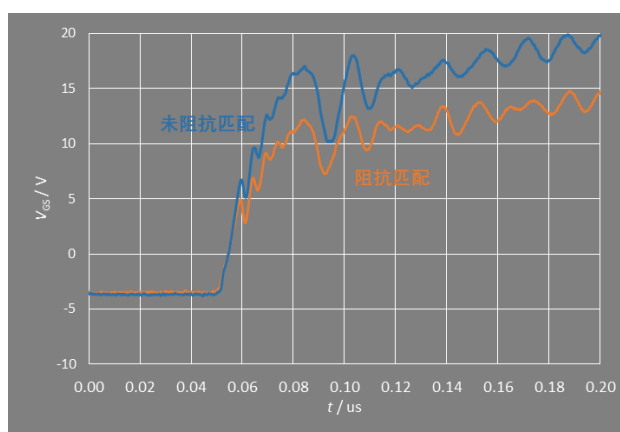


图 8. 阻抗匹配与未阻抗匹配波形对比

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

原因 4：无源探头未使用最小环路测量

无源探头标配的接地线有接近 10cm 长，采用这样的接地线时，会出现同高压差分探头一样，即测量线围出一个很大的面积，成为一个天线，测量结果会受到 SiC MOSFET 开关过程中高速变化的电流的影响。同时，过长的接地线可以看做一个电感，也会导致震荡的产生。

为了降低这一影响，可以使用厂商标配的弹簧接地针，其长度短、围出的面积更小。从图 10 中可以看到，使用标配接地线时，驱动波形震荡严重，其峰值最大达到 xxV，超过了 SiC MOSFET 栅极耐压能力；当使用弹簧接地针后，波形震荡大大减轻了，幅值均在 SiC MOSFET 栅极耐压能力范围内。



图 9. 示波器自带长接地线、短弹簧地线

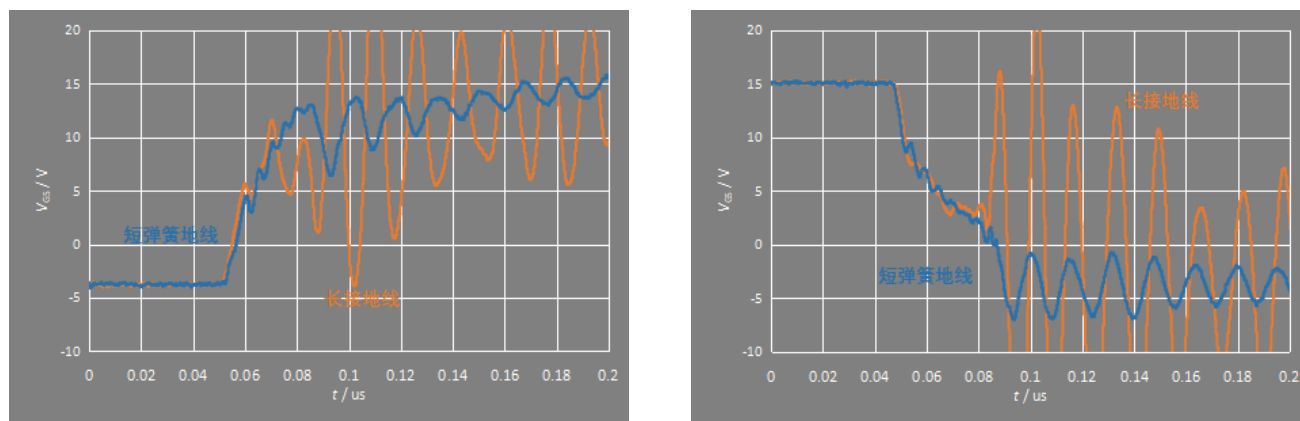


图 10. 长接地线与短弹簧地线波形对比

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

原因 5：探头高频共模抑制比不够

对于桥式电路中的上管 SiC MOSFET，其 S 极为桥臂中点，其电压在电路工作时是跳变的。其跳变的幅度为电路的母线电压，对于 1200V SiC MOSFET 而言，母线电压为 800V；其跳变的速度为 SiC MOSFET 的开关速度，可达到 100V/ns。此时要测量上管的驱动电压，就需要面对这样高幅值、高速度跳变的共模电压。

从图 12 中可以看到，当采用常见的高压差分探头时，驱动波形振荡更大，在第一个脉冲内 Ton 时间测量值偏低，在 Toff 时间内存在偏置，在第二个脉冲上升沿存在严重的震荡。这主要是由于高压差分探头在高频下的共模抑制比不够导致的，此时我们就需要使用具有更高共模抑制比的光隔离探头来测量上管驱动电压波形。

从图 12 中可以看到，当采用光隔离探头后，波形震荡明显减小，第二脉冲上升沿的严重震荡消失，在关断时间内电压测量值与实际外加电压接近。



图 11. 泰克光隔离探头 ISOVu

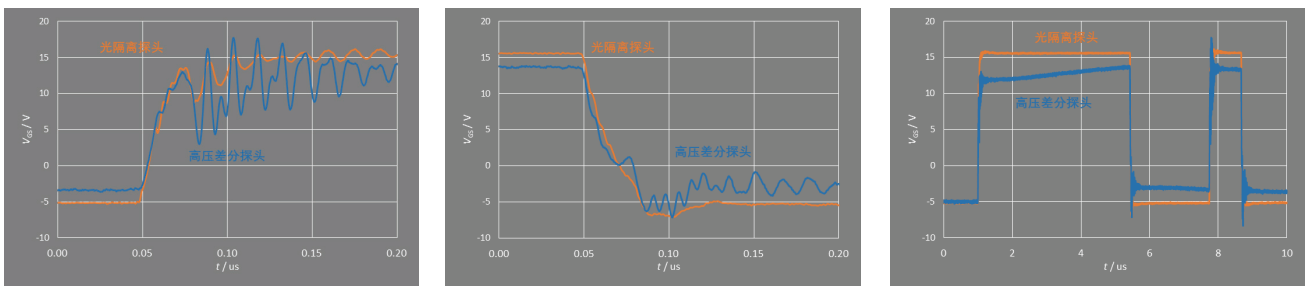


图 12. 光隔离探头与高压差分探头波形对比

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

原因 6：测量点离器件引脚根部过远

当我们测量驱动电压波形时，探头并不能直接接触到 SiC MOSFET 芯片，而只是能接到器件的引脚上。可以将器件的引脚看作为电感，那么我们实际测得的驱动电压为真实的栅 - 源极电压和测量点之间引脚电感上压降之和。那么，测量点之间引脚长度越长，测量结果与 SiC MOSFET 芯片上真实的栅 - 源极电压差异越大。

为了降低这一影响，需要将探头接到器件引脚的根部，最大限度得缩短测量点之间引脚的长度。从图 14 中可以看到，当测量点位于引脚根部时，开通驱动波形振荡幅值及振荡频率明显减少，关断驱动波形振荡幅值也明显减少。

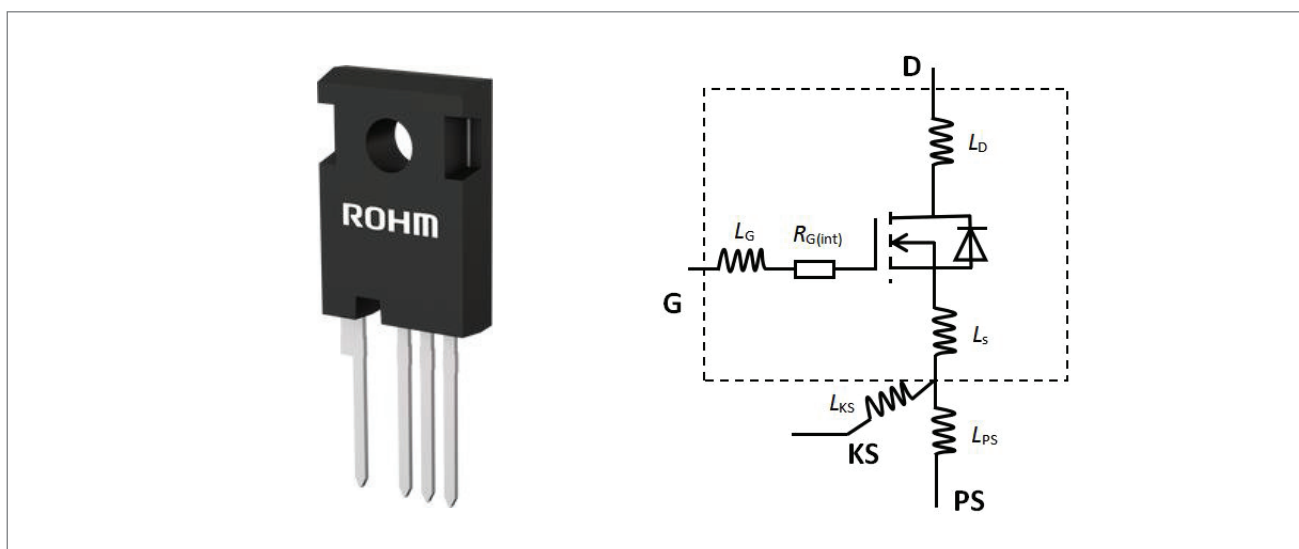


图 13. 4pin 的图片和等效示意图

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

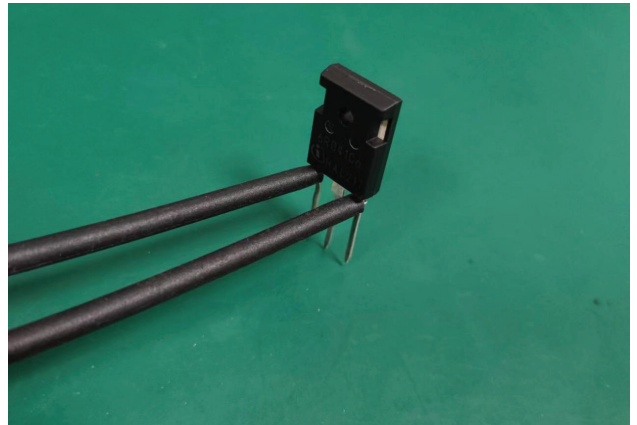
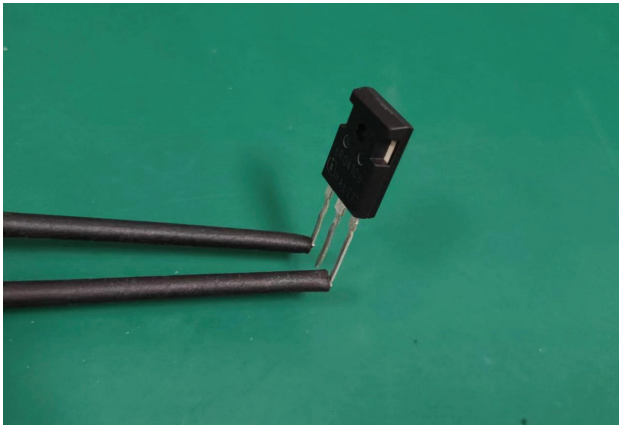


图 14. 探头接引脚根部与远离根部

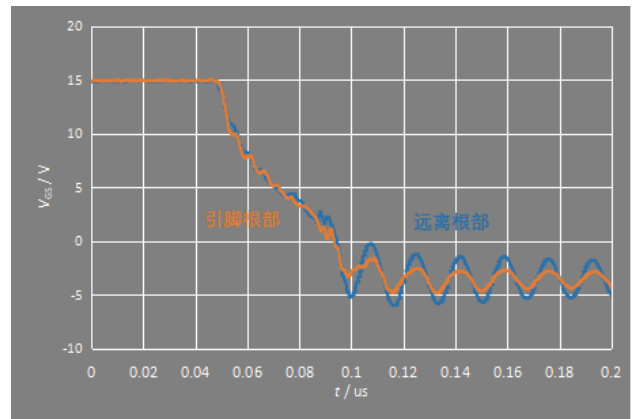
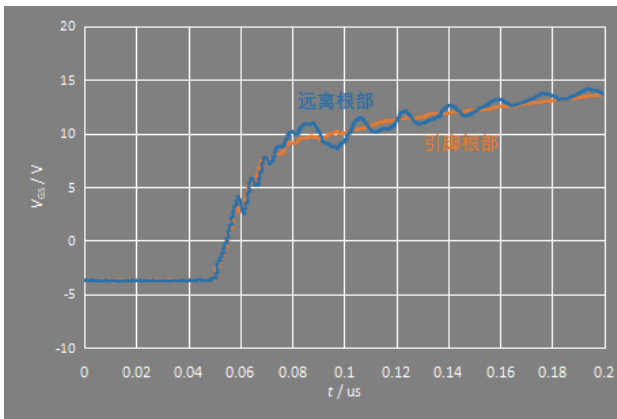
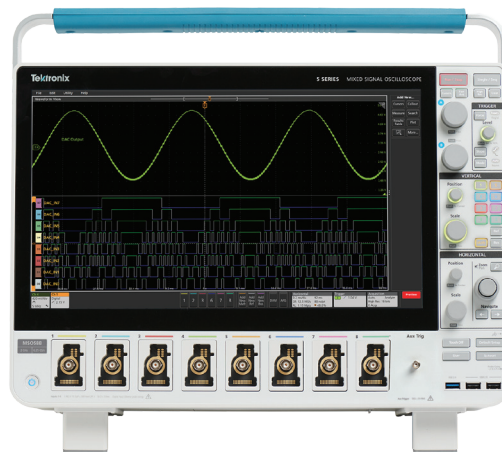


图 15. 引脚根部与远离根部波形对比

测不对 SiC MOSFET 驱动波形的 6 大原因

相关仪器：



泰克高压差分探头

- 优秀的带宽和探头负载影响
- 符合第三方安全认证的产品（UL、CSA、ETL）
- 高压和中压产品，支持不同动态范围和测量分辨率的需要
- 全面的探头附件

<https://www.tek.com.cn/products/oscilloscopes/probes/high-voltage-differential-probes>



泰克光隔离探头

- DC 时 160 dB (100,000,000:1) CMRR
- 100 MHz 时高达 120 dB (1,000,000:1) CMRR
- 1 GHz 时高达 80 dB (10,000:1) CMRR
- ± 60 kV 共模电压范围
- 高达 ± 2500 V 差分输入电压范围
- 高达 ± 2500 V 偏置范围

<https://www.tek.com.cn/products/oscilloscopes/probes/isovu-isolated-probes>

泰克 MSO5B 系列示波器

- 更多通道系统，示波器本身支持 4, 6, 8 通道输入，且支持 Aux in+TekScope 可以搭建 16 通道以上的多通道高速采集系统；
- 更高精度，12bit 硬件 ADC 支持，更低噪声，更高分辨率，测试精度及一致性；
- 更大屏幕，15.6“高清触摸大屏，突破障碍，一次性查看更多，发现更多细节；
- 更快体验，处理器硬件升级结合友好的示波器 UI 设计，体验大大提升；
- 更加安全，嵌入式操作系统及 Windows 系统硬盘都可以移除，尽量保护您的数据安全；
- 更灵活、独特的 Flexchannel 技术，灵活配置您的测试系统，以满足更严苛的测试需求；
- 3 年全面保护服务，保障升级；
- 强大的波形分析软件加持，完美复现示波器界面。

<https://www.tek.com.cn/products/oscilloscopes/5-series-mso>

文章来源：

公众号：功率器件显微镜



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

服务时间：9:00am - 5:00pm，周一至周五

泰克科技(中国)有限公司
泰克中国客户服务中心
免费热线: 400-820-5835
泰克销售分公司及办事处

泰克科技(中国)有限公司
北京分公司
北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编: 100015
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克上海办事处
上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编: 200335
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 5031 6910
(86 21) 6289 7267
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克深圳办事处
广东省深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编: 518008
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克成都办事处
四川省成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编: 610063
电话: (86 28) 6530 4900
传真: (86 28) 8527 0053
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克西安办事处
陕西省西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549
E-mail: china.mktg@tektronix.com

泰克武汉办事处
武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编: 430074
电话: (86 27) 8781 2760
E-mail: china.mktg@tektronix.com

如需进一步信息

泰克维护着一套完善的不断扩大的应用指南、技术简介和其它资源，帮助工程师处理尖端技术。请访问www.tek.com.cn



© 2022年泰克公司版权所有，保留所有权利。泰克产品受到美国 and 国外已经签发和正在申请的专利保护。本文中的信息代替以前出版的所有材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX和TEK是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其它商品均为各自公事的服务标志、商标或注册商标。
2022年5月

Tektronix®