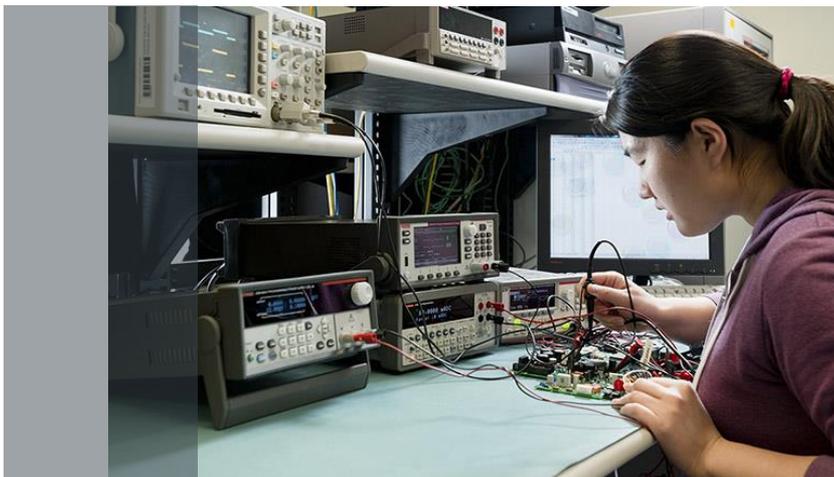
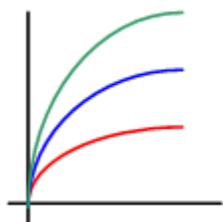


简单精确地测试与表征功率半导体器件

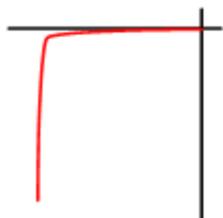
Catherine Liu 柳妍妍
应用工程师，吉时利仪器公司



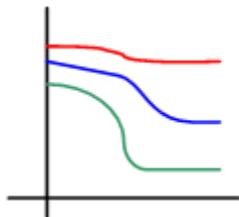
功率半导体器件测试



开态



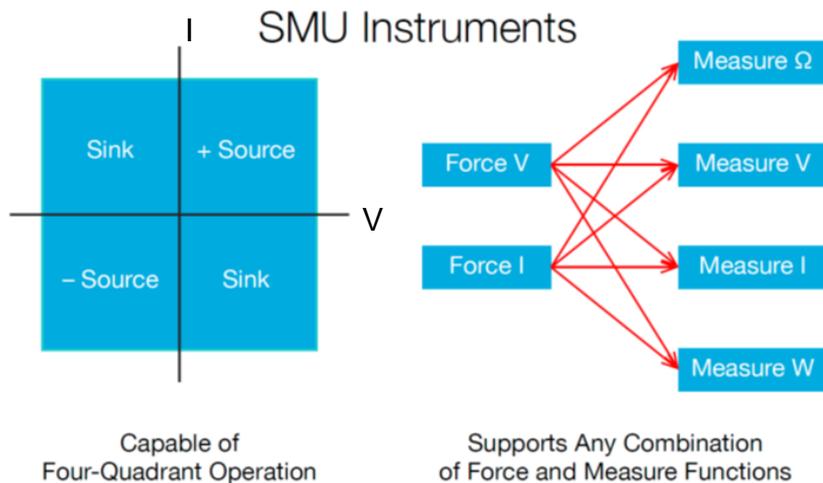
关态



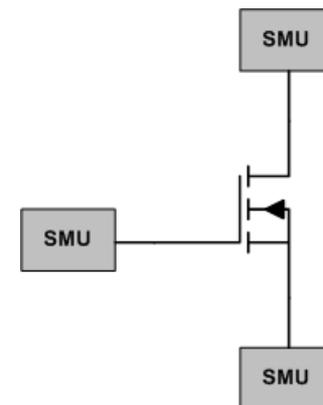
电容电压(C-V)

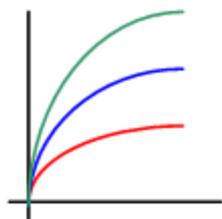
- 涉及各种各样的测量
 - 开态
 - 关态
 - 电容电压(C-V)
 - 动态
- 要求电压和电流偏置及电压和电流测量，全面分析器件特性

使用SMU仪器测试功率半导体器件

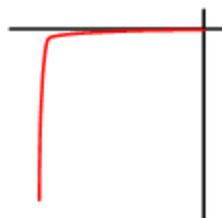


- 源测量单元(SMU)仪器是经过验证的用于半导体器件测试的多功能仪器。
- 这些SMU仪器用来满足开态、关态和C-V测量中对电压和电流的广泛需求
- 在每个器件端子上使用一台SMU仪器，确保测试的灵活性和高吞吐量

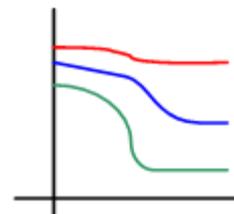




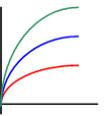
开态



关态

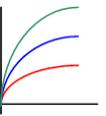


电容电压
(C-V)



开态特性分析挑战

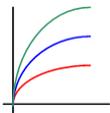
1. 器件经常是高电流，要求
 - 脉冲式激励源，使器件中的能耗达到最小，确保非破坏性测试
 - 低接触电阻连接，确保正确测量器件参数
2. 器件通常是高增益，因此在测试过程中经常不稳定



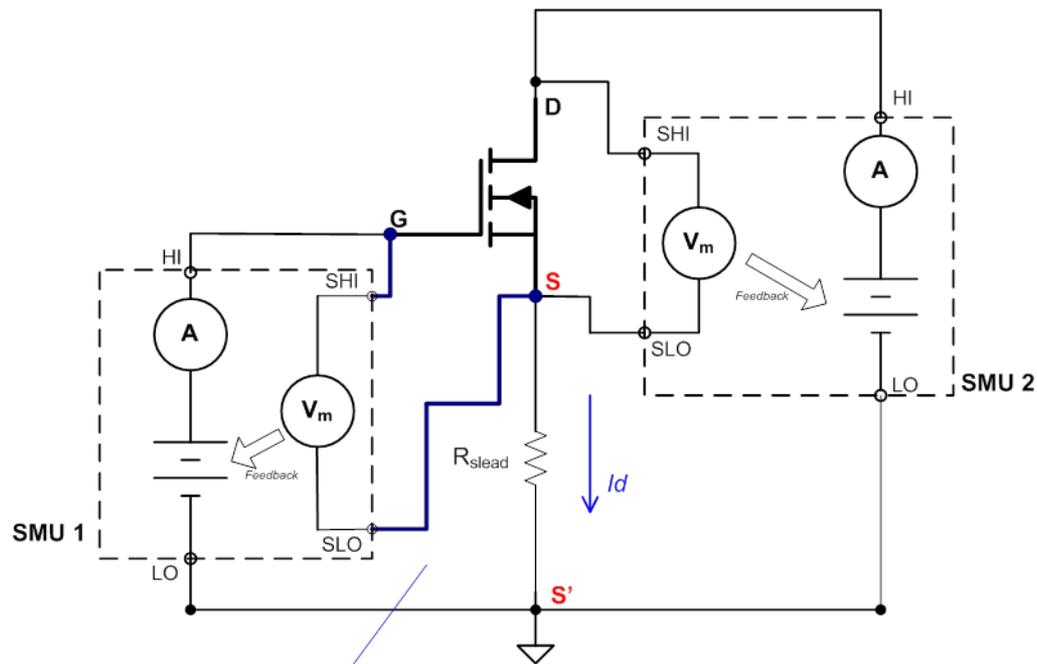
开态特性分析挑战：高电流

- 脉冲式激励源要求最大额定测试电流的低电阻、低电感线缆
 - 低电感保证良好的脉冲保真度
 - 低电阻保证在DUT中提供所需的电压
 - 对晶圆测试，保证晶圆准备充分，因此到卡盘的接触电阻很低
- 使用四线(Kelvin)连接，在栅极端子和漏极端子上实现电压源和测量精度
- 为实现最佳结果，保证高电流信号线与被测器件隔开
 - 漏极SMU的测试低端与栅极SMU测试低端分开连接
 - 以四线连接栅极SMU，保证正确的栅极电压



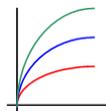


开态特性分析挑战：高电流



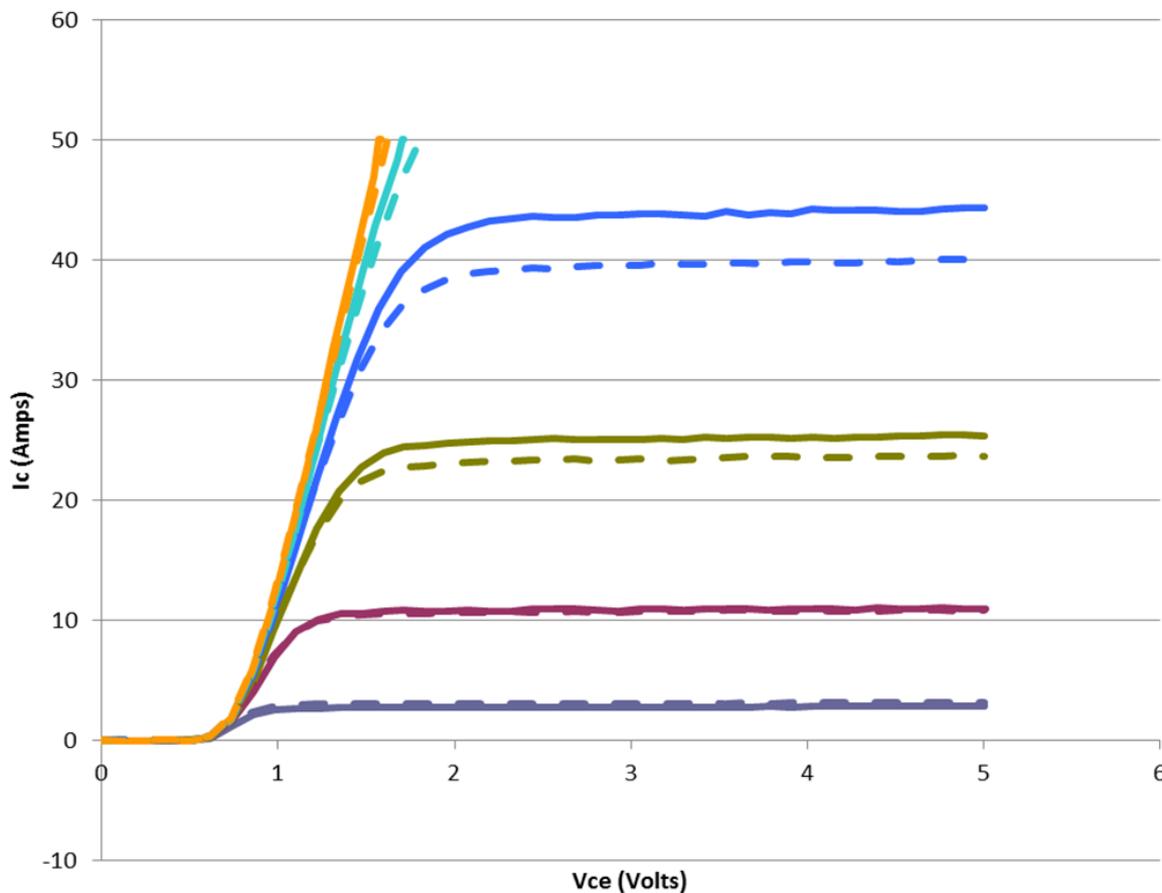
Using 4-wire on the gate SMU allows it to measure and correct the output voltage based on the voltage at the actual device terminal.

在栅极SMU上使用4线，可以根据实际器件端子上的电压校正输出电压。



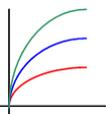
开态特性分析挑战：高增益

- 功率器件经常是高增益，也就是说，栅极电压很小的变化就会导致漏极或集电极电流产生很大的变化
- 对栅极SMU使用四线连接，保证准确的栅极电压



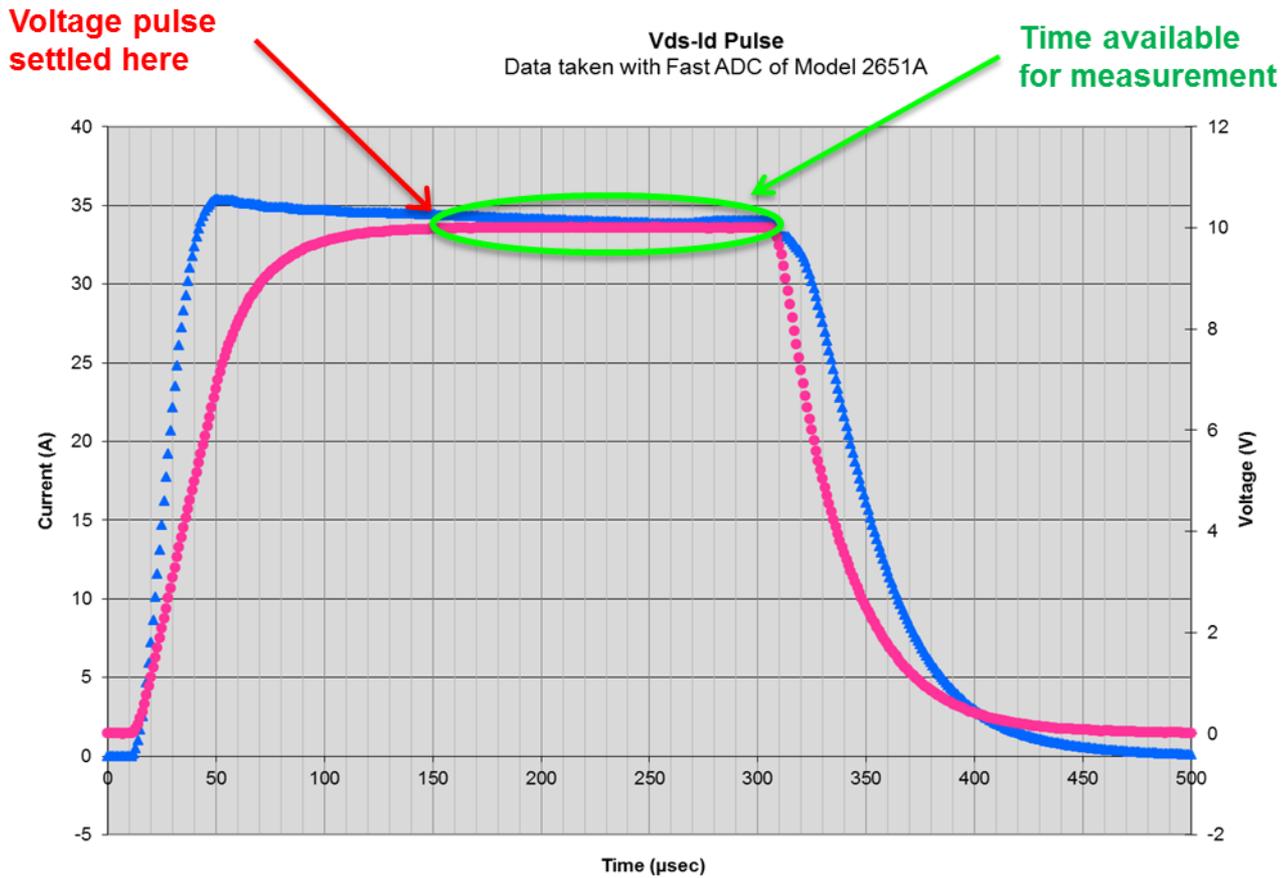
在这个图中，实线是正确连接栅极SMU时的数据，虚线是栅极SMU连接不当时的数据。

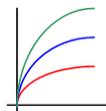
注意，在栅极SMU正确连接到器件时，集电极电流比较高。



开态特性分析挑战：高增益

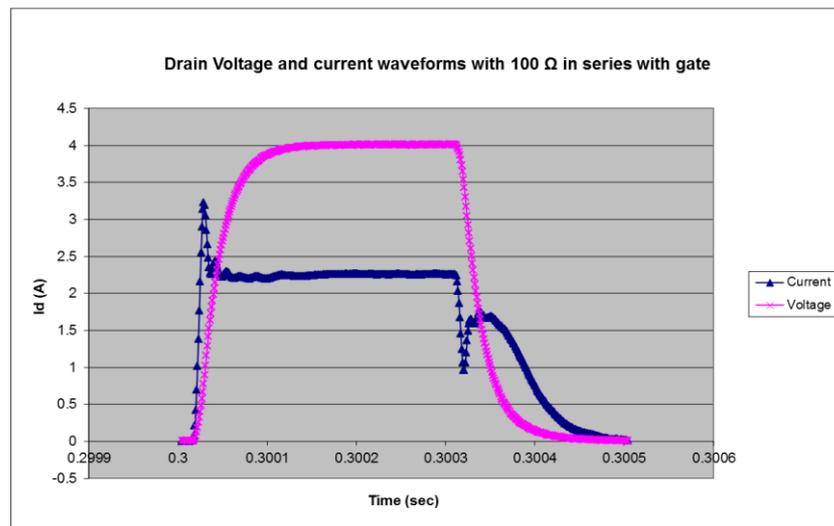
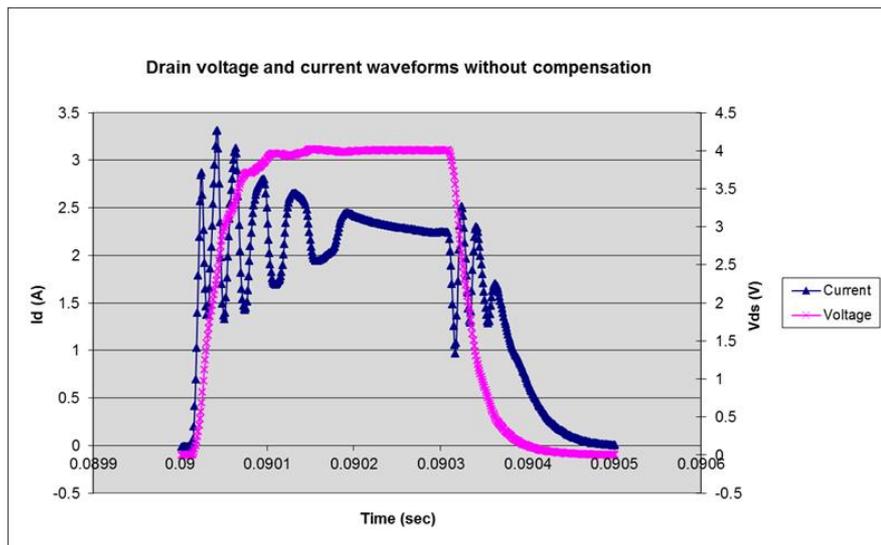
- 开态测量经常要求脉冲式激励源，但实际为DC测量

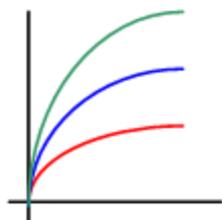




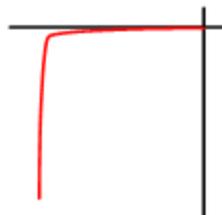
开态特性分析挑战：高增益

- 高增益和高开关速度晶体管通常会受到振荡影响，这会破坏器件和/或导致测量不一致及测量错误
 - 在器件改变状态时器件阻抗大的变化会导致漏极电压变化。这个变化会把能量注入栅极端子，然后反馈回到漏极端子，导致振荡。
 - 仪器中有源电路之间的交互及器件端子本身上的电容元素会导致振荡。
- 在栅极上串联电阻，解决振荡
 - 调整电阻值，抑制振荡，而又不会明显影响器件的开关时间

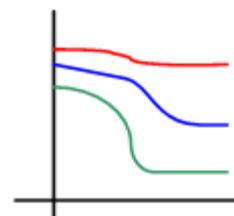




开态



关态



电容电压
(C-V)



关态特性分析挑战

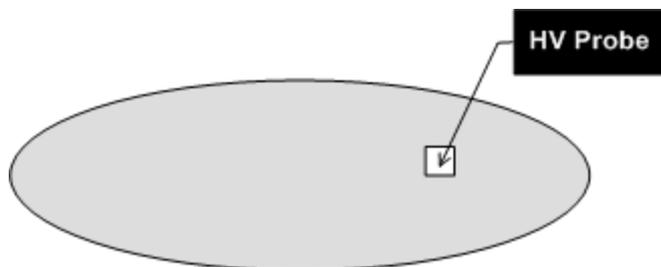
1. 在高电压时确保测试安全
2. 防止测试设备出现过压情况
3. 在高压环境中考虑系统电容

关态特性分析挑战：安全

- 在高电压时，安全是担心的主要问题！
- 测试电缆和探针均需承受测试额定电压值
- 如果测量中包括底盘，那么也必须满足额定的高电压
- 使用仪器和设备的安全互锁功能，保证人身安全
- 在手动改变仪器或器件连接前要先给系统电容放电



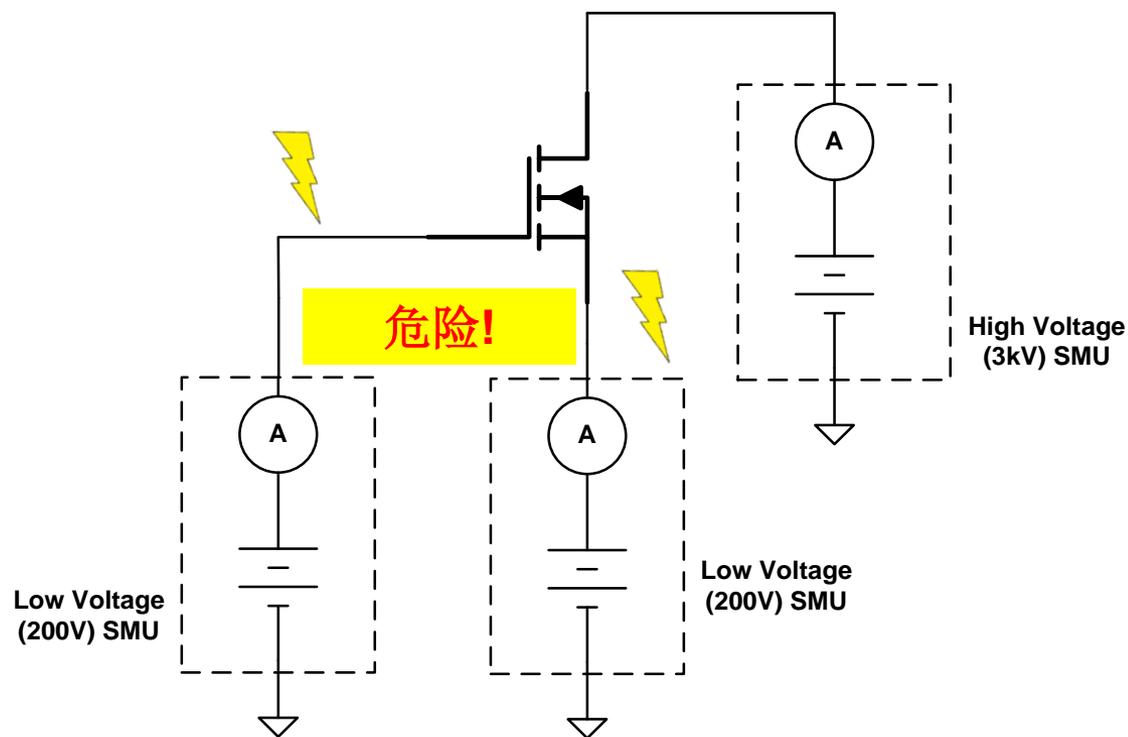
HV线缆



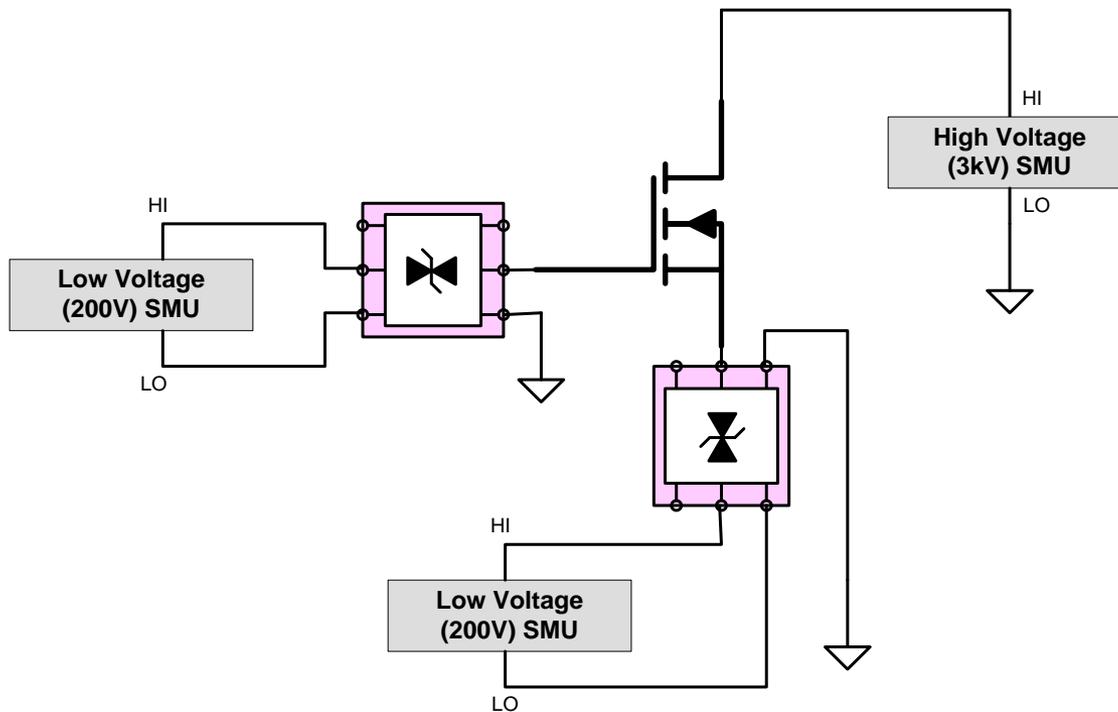
放电探头

关态特性分析挑战： 保护仪器

- 关态特性分析需要接近器件极限或以器件极限条件进行测试
- 器件击穿可能会导致低功率仪器存在潜在危险
- 考虑所有潜在的器件失效模式



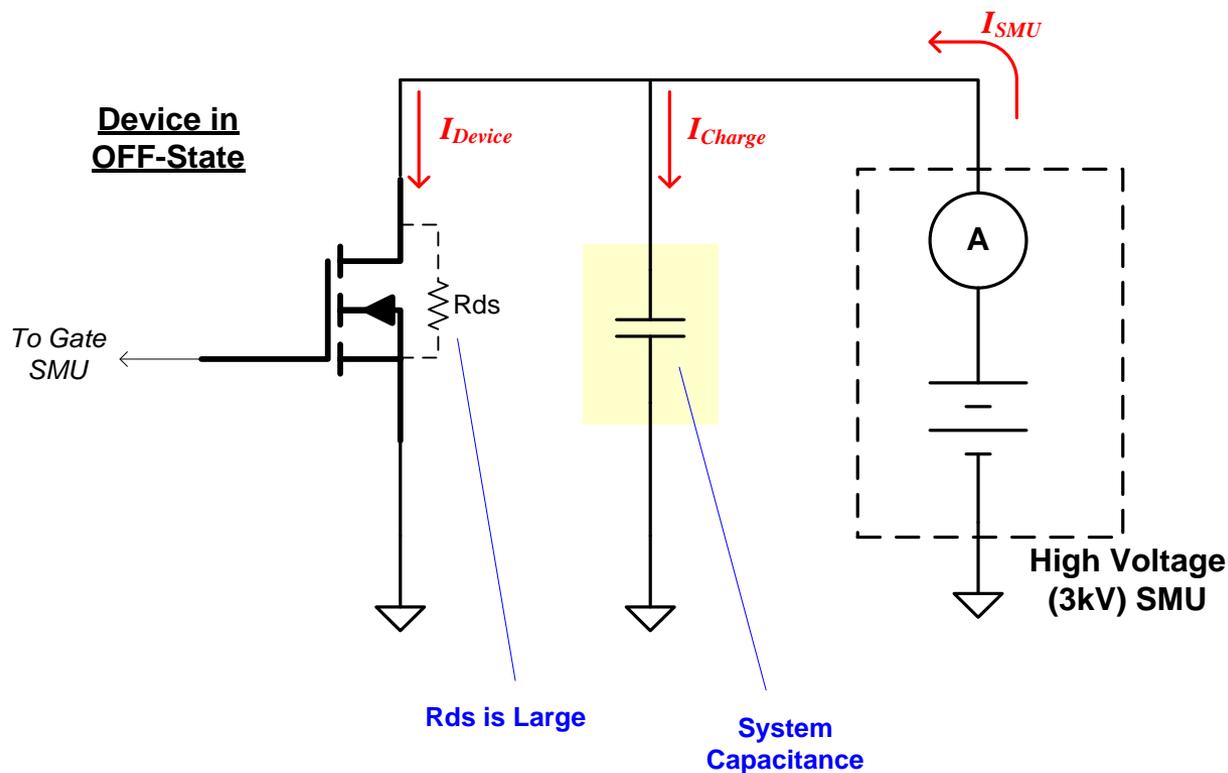
关态特性分析挑战： 保护仪器



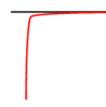
- 使用过压保护模块，保证在器件击穿时高压SMU不会损坏低压SMU

关态特性分析挑战： 系统电容

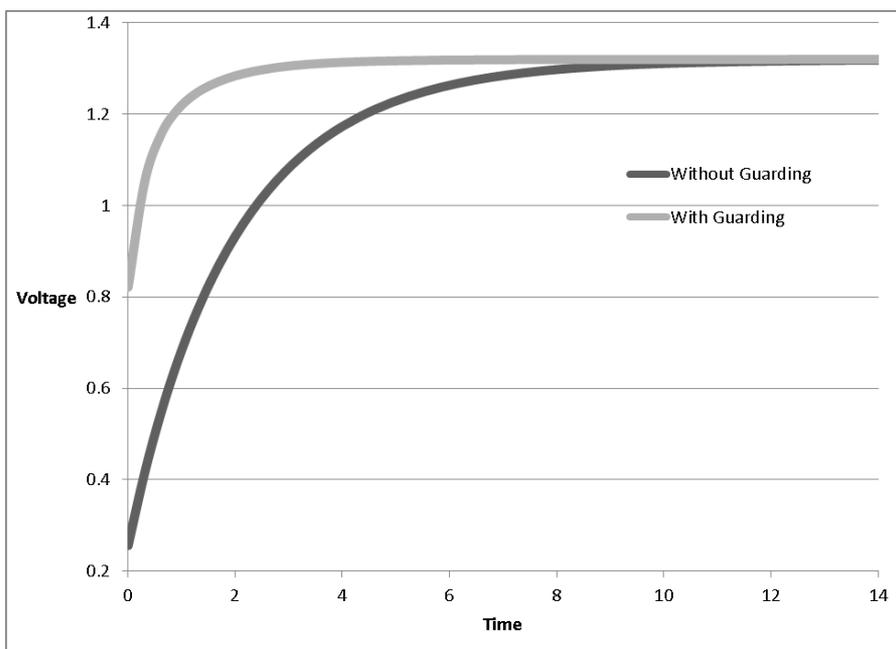
- 电缆电容、器件寄生电容及系统中其他电容会影响高电阻电路中的稳定时间，如在半导体关态测量中。
- 保证电压源或电流源的限流值足够高，在预计测量时间内保证电容完成充放电。



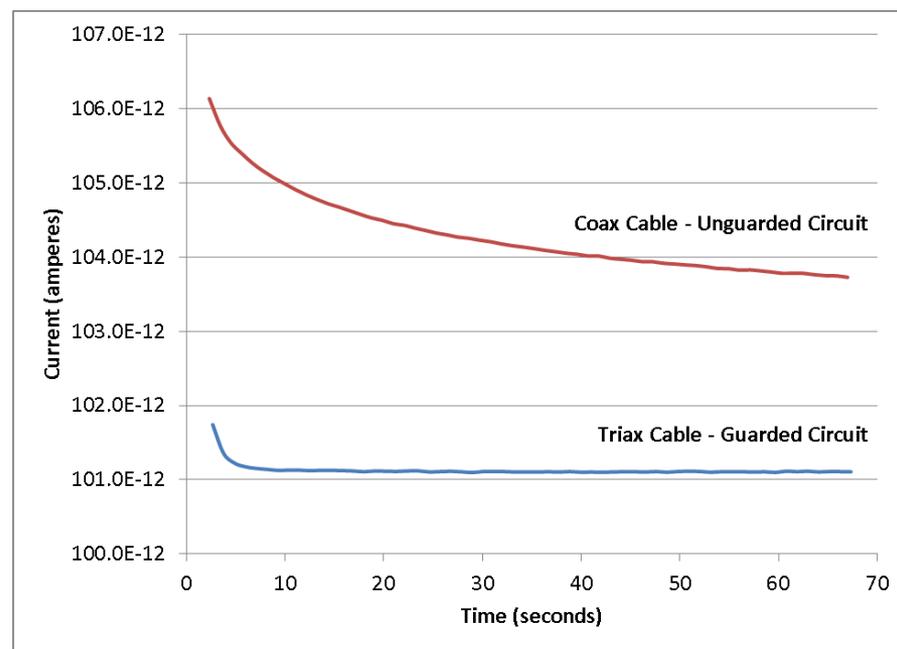
关态检定挑战： 系统电容



使用三同轴电缆降低电缆电容，降低高压测量的稳定时间



源电压

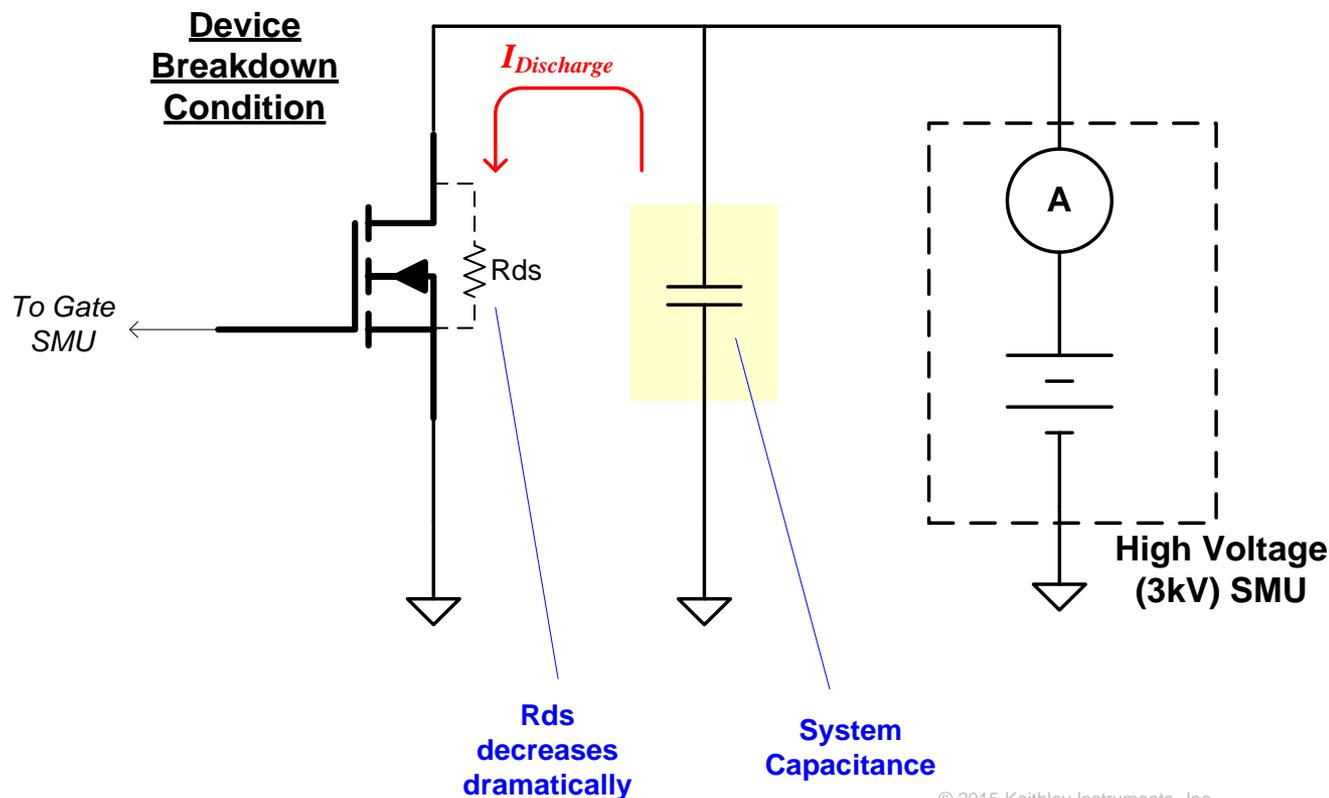


测量电流

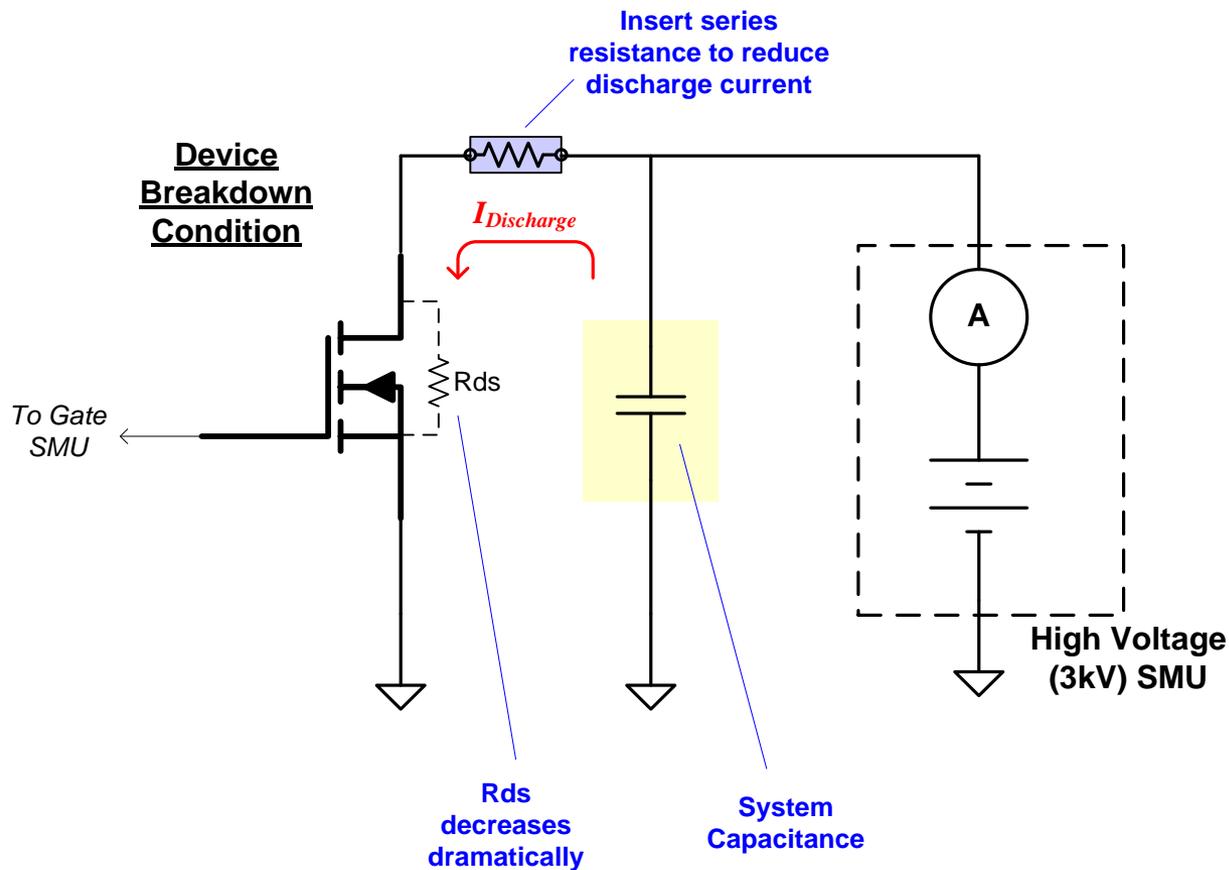
关态特性分析挑战： 系统电容



- 注意突然释放电时电容产生的电流，如器件击穿一瞬间
- 这些电流可能会损坏器件其他端子上的器件、附件或仪器

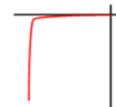


关态特性分析挑战： 系统电容

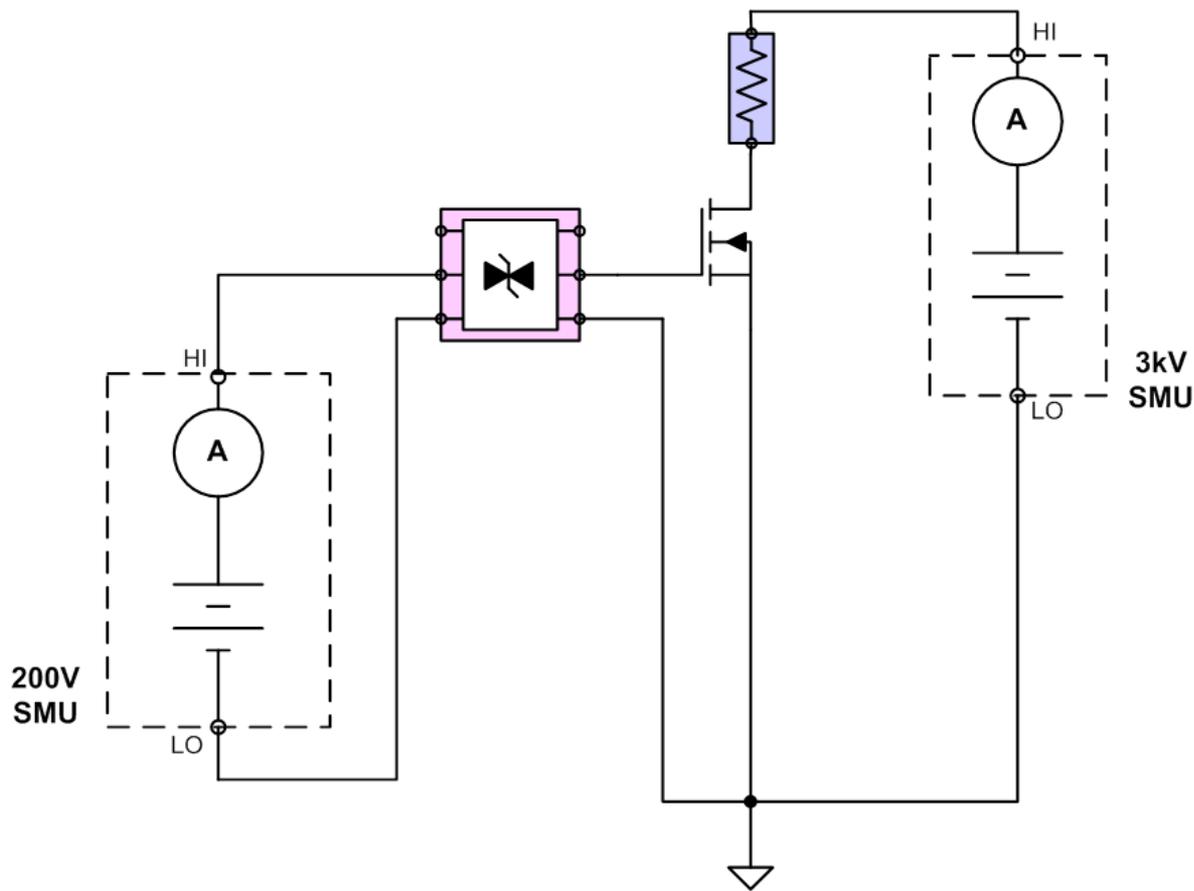


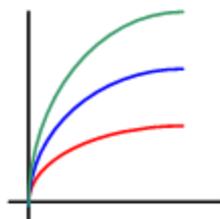
- 使用串联电阻，在系统电容放电期间强制实施绝对电流极限

迎接关态测量挑战

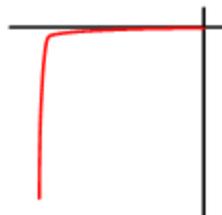


- ✓ 使用安全互锁保证安全
- ✓ 使用高压电缆连接(最好是三同轴)
- ✓ 使用保护模块保护低压SMU
- ✓ 考虑系统电容充电时间
- ✓ 使用串联电阻限制进入器件的总电流

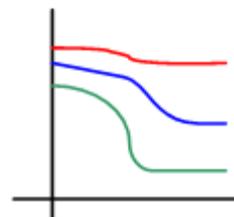




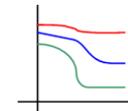
开态



关态



电容-电压
(C-V)

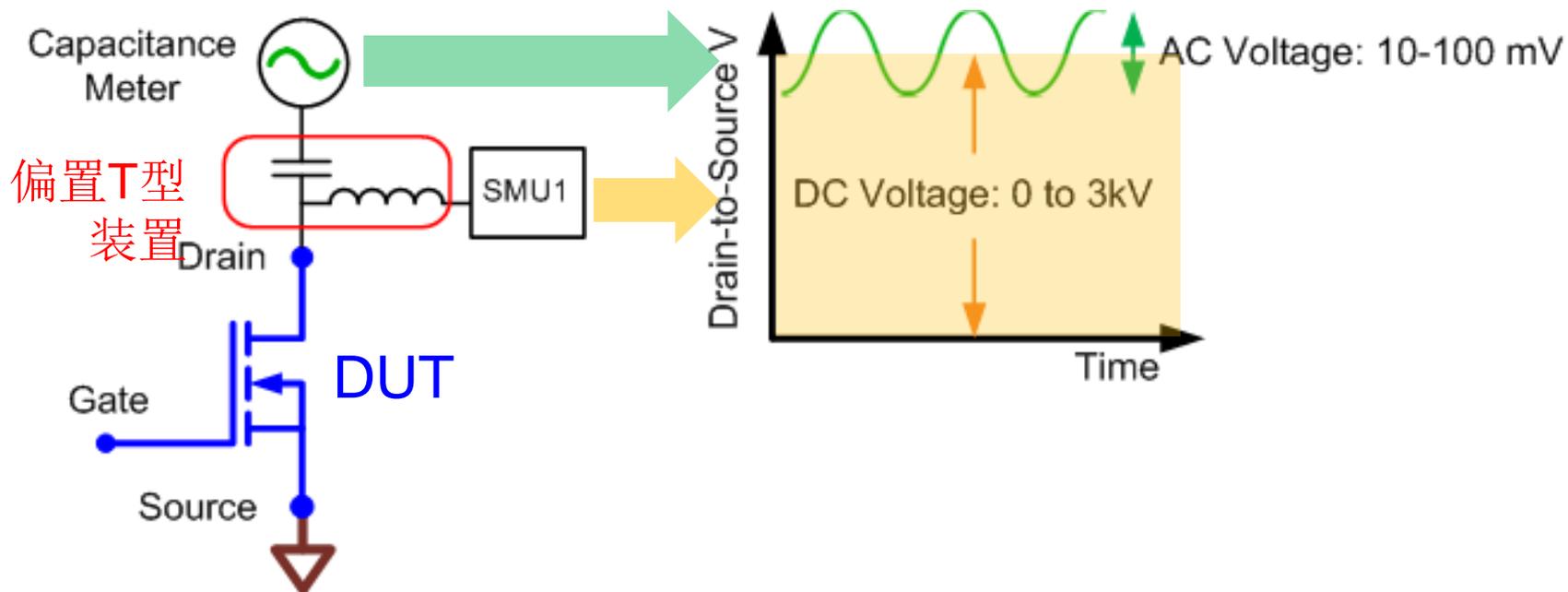


高压CV特性分析挑战

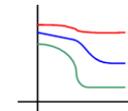
1. 在高电压时安全地进行测试。前面讨论的所有高压注意事项均适用
2. 选择一个偏置T型装置，在器件最大电压处进行C-V测量
3. 在3端子器件或4端子器件上准确测量两个管脚之间的电容

高压CV特性分析挑战： 偏置T型装置

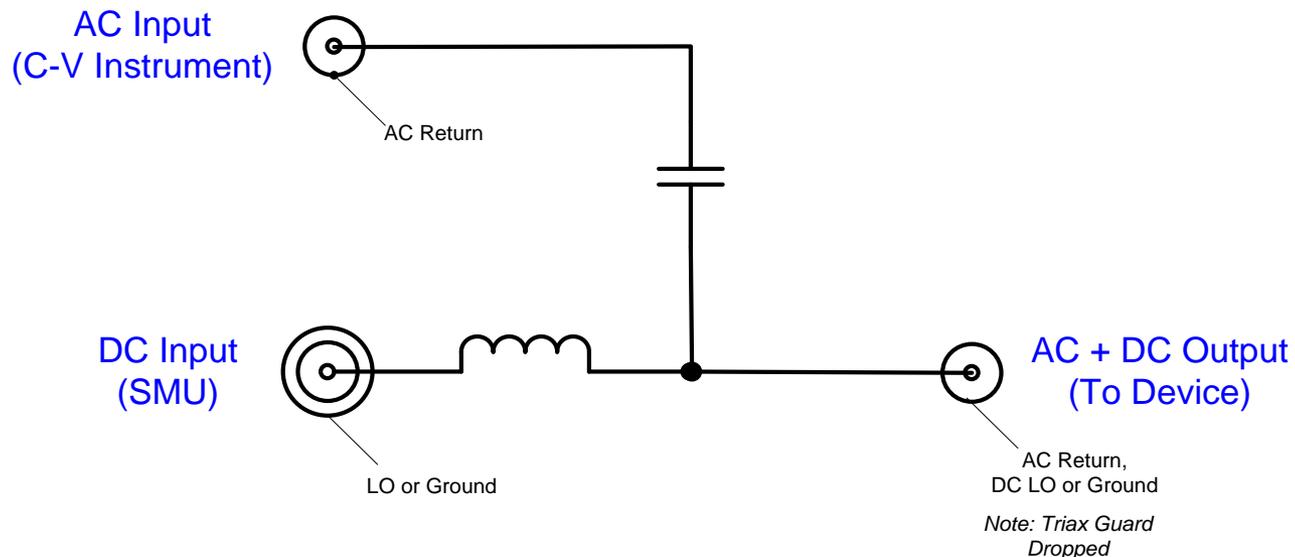
- 偏置T型装置把来自SMU的DC偏置与电容表的AC源和测量端子结合在一起，同时把多台仪器隔离开
 - 在高压时，还必需防止电容表损坏
- 器件电容变化与被测器件有关
- 设计人员需要测量器件最大电压的电容



高压CV特性分析挑战： 偏置T型装置

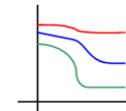


典型的偏置 T型装置：



- CV测量与DC偏置相结合，同时把CVU和SMU相互隔开
 - 大多数偏置T型装置只用于AC测量
- 是为特定频率范围设计的
- 一般为同轴

高压CV特性分析挑战： 偏置T型装置

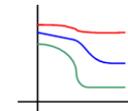


器件样本指标

I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	1	100	μA	$V_{DS} = 1200 V, V_{GS} = 0 V$
		10	250		$V_{DS} = 1200 V, V_{GS} = 0 V$ $T_J = 150^\circ C$

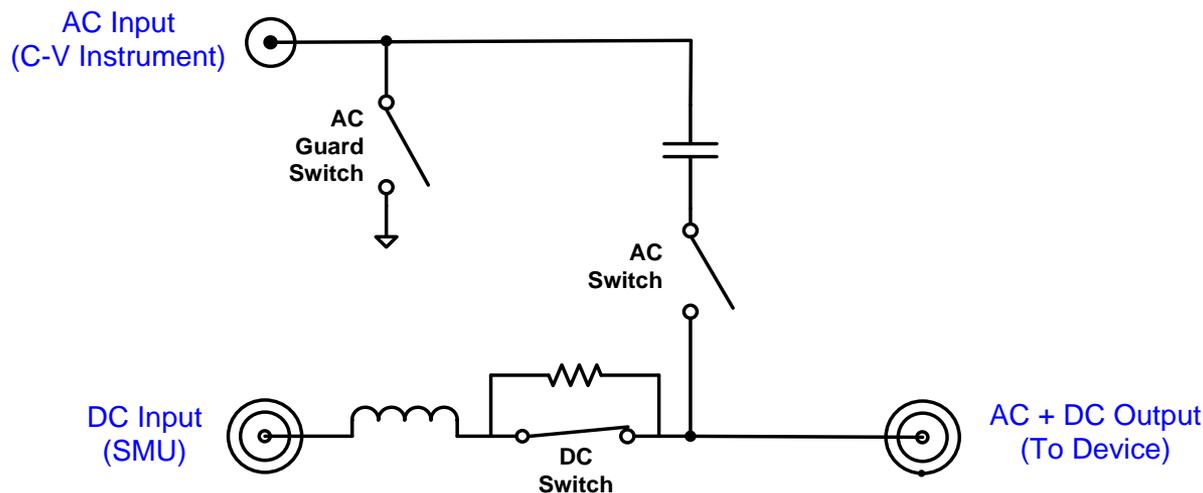
了解偏置T型装置对功率半导体检定的影响

- 全面分析器件特性要求用低电流进行DC I-V测量(nA级)
- 同轴偏置T型装置会影响低电流DC测量精度
 - 导致DC IV测量和CV测量之间重新布线
- 重新布线耗时长，容易出错

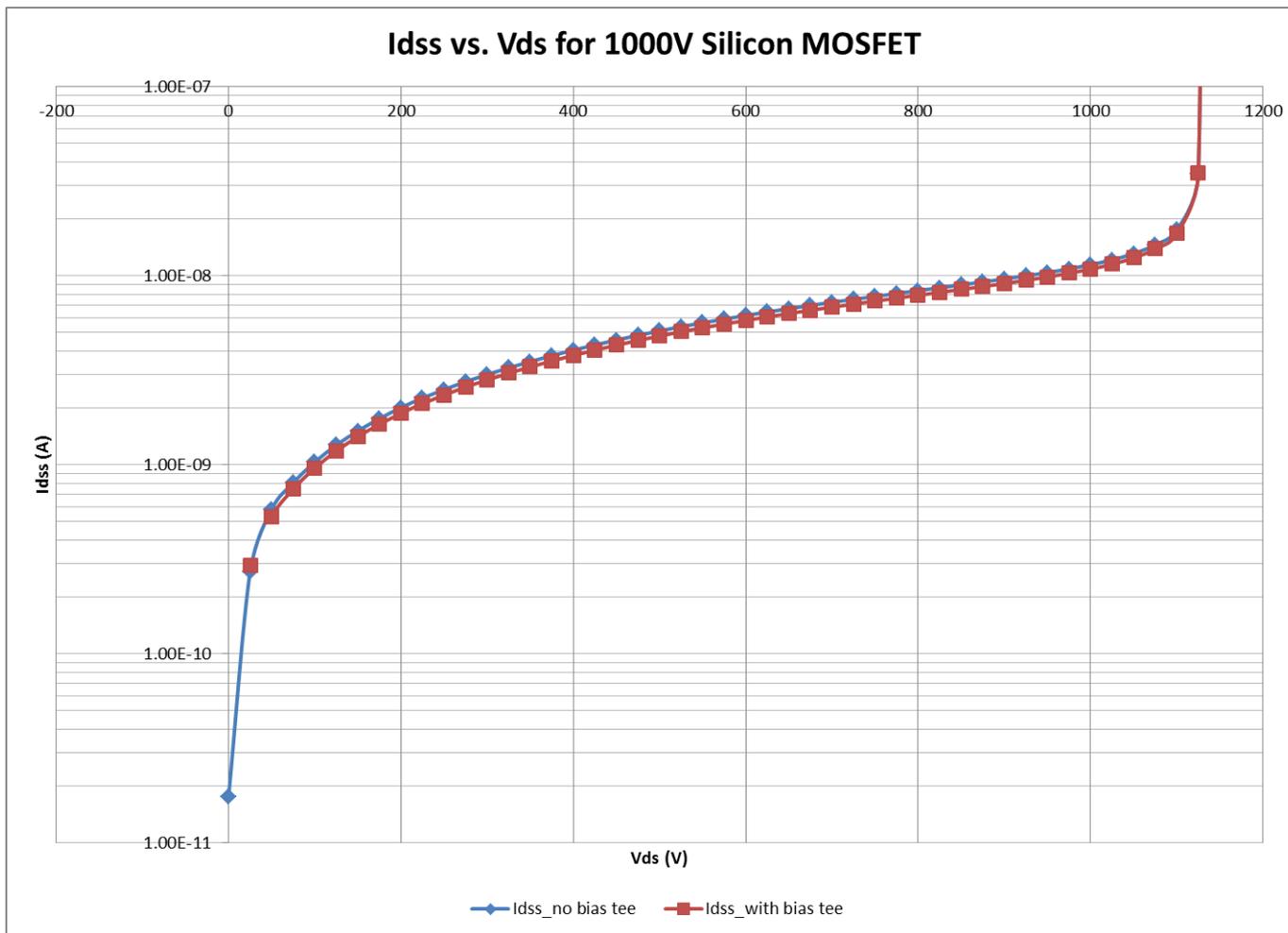
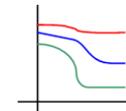


使用多模偏置T型装置迎接高压CV挑战

- 使用开关创建多种模式，优化DC I-V或CV测量
 - 三同轴设计保证高精度低电流DC测量
 - SMU保护层是三同轴内部屏蔽
 - AC返回/接地是三同轴外部屏蔽
- ★ 使用多模式偏置T型装置最大限度地减少器件接口探头一侧的连接变化
- I-V测量和C-V测量在偏置T型装置和DUT之间使用相同的连接

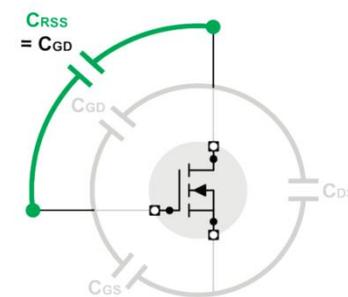
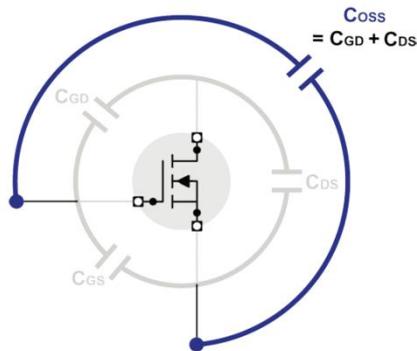
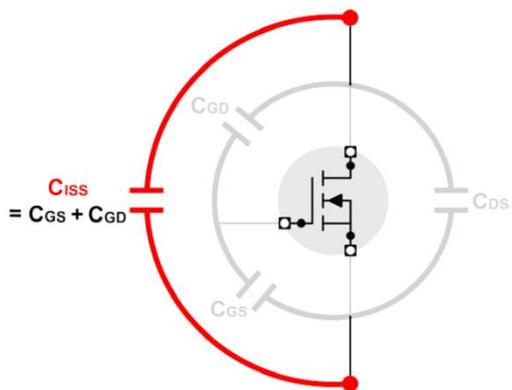
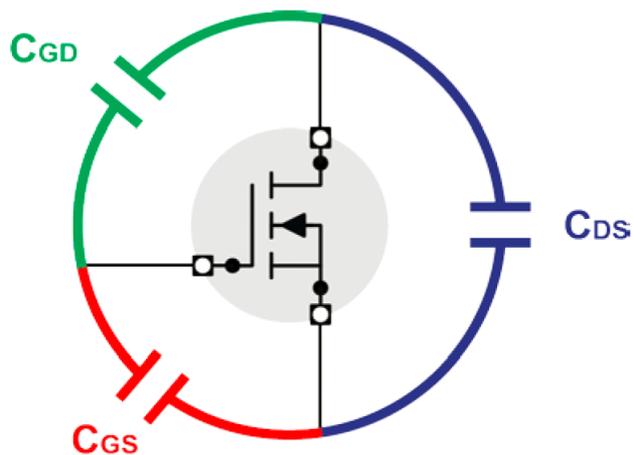
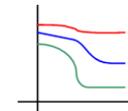


使用多模偏置T型装置迎接高压CV挑战

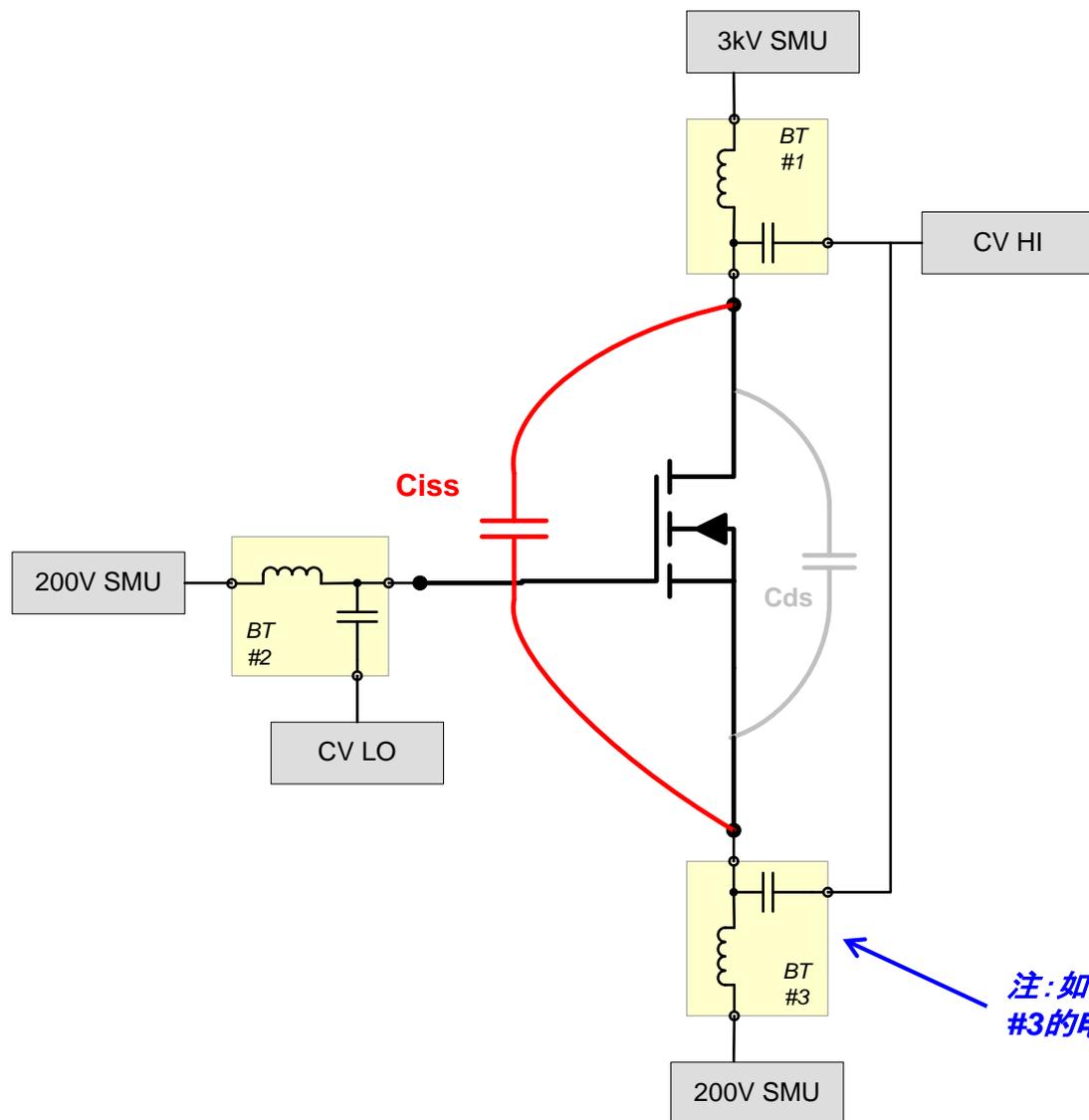
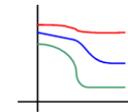


测量证明，多模偏置T型装置可以提供低泄漏电流性能！

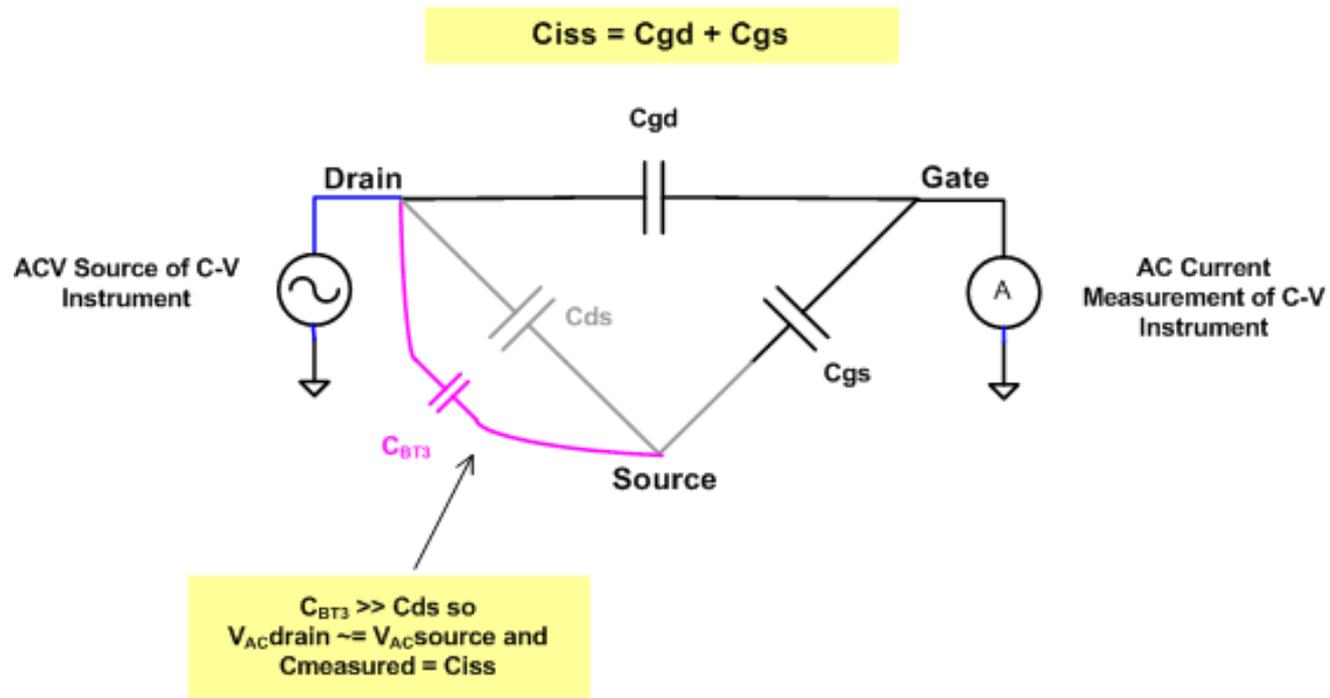
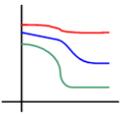
高压CV特性分析挑战： 测量多端子器件上的电容



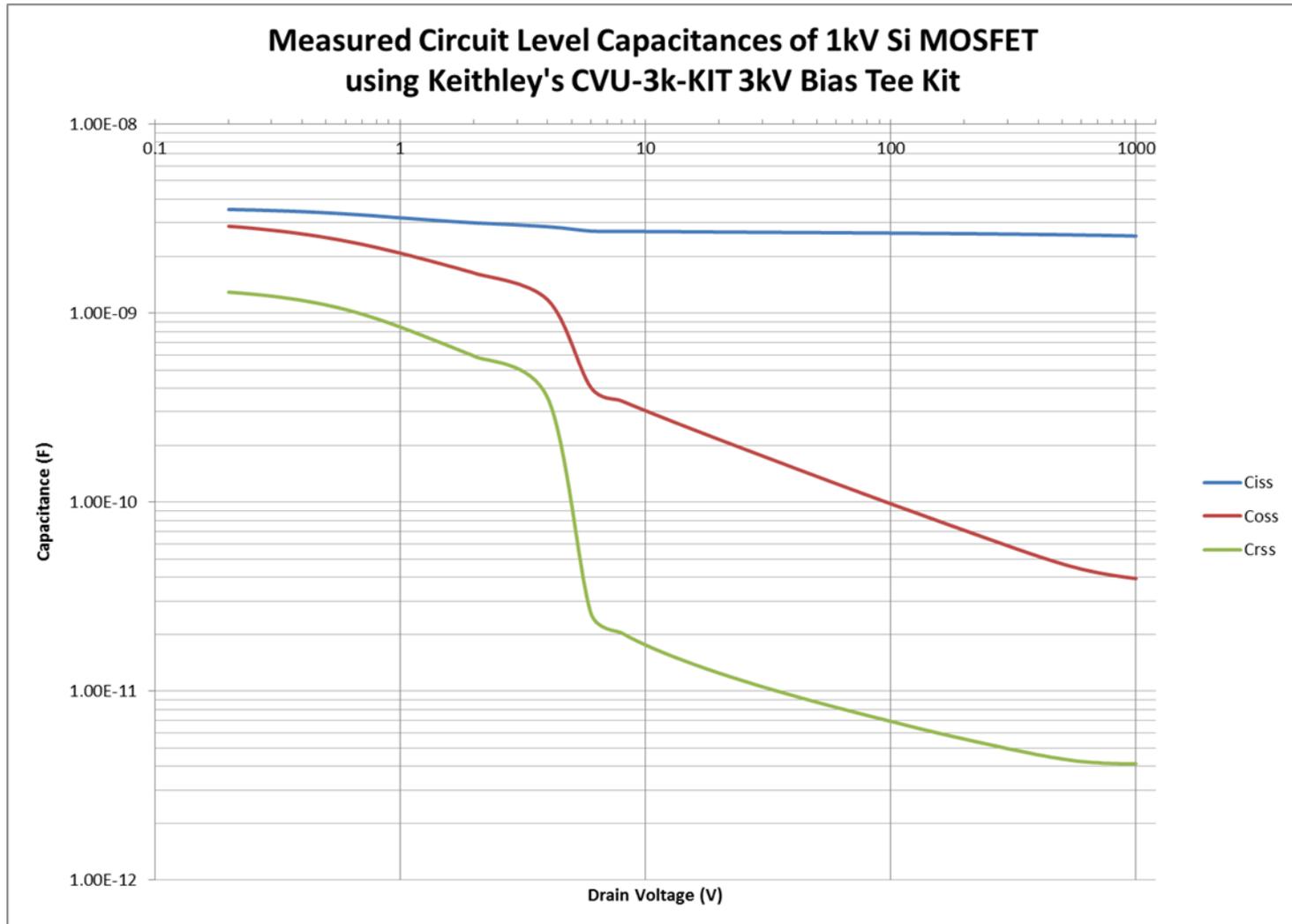
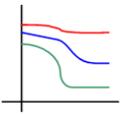
使用多模偏置T型装置迎接高压CV MOSFET测量挑战

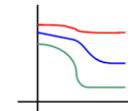


使用多模偏置T型装置迎接高压CV MOSFET测量挑战



使用多模偏置T型装置迎接高压CV MOSFET测量挑战

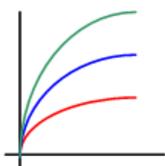




迎接高压CV挑战

- ✓ 所有高压安全注意事项均适用
- ✓ 使用三同轴多模偏置T型装置，简化被测器件连接
- ✓ 在每个器件端子上使用偏置T型装置和SMU，实现最大的测量灵活性

功率半导体器件测试小结

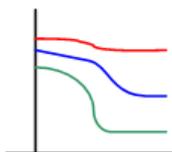


开态

- 各种测量要求不同的附件和测量考虑因素
- 吉时利测试解决方案旨在简化连接，同时提供杰出的测量性能



关态



电容电压
(C-V)



想了解更多信息？

通过电话、传真、邮件或电子邮件联系我们：



吉时利仪器公司主持一个在线应用论坛，鼓励用户之间交流想法及展开讨论。[立即加入讨论。](#)

如需进一步了解怎样增强测试测量应用的生产效率，请与吉时利本地代表联系，或[在线咨询问题。](#)

KEITHLEY CORPORATE HEADQUARTERS

Keithley Instruments, Inc.
28775 Aurora Road
Cleveland, Ohio 44139
Phone: 440-248-0400
Toll-free: 800-552-1115
Fax: 440-248-6168
info@keithley.com

WORLDWIDE HEADQUARTERS

Within the USA: 1-888-534-8453
Outside the USA: + 1-440-248-0400
Email: applications@keithley.com
Additional contact information at www.keithley.com

EUROPE

Germany: +49-89-84-93-07-40

亚洲

中国: +86-10-8447-5556
日本: +81-120-441-046
韩国: +82-2-6917-5000
台湾: +886-3-572-9077

如需进一步了解怎样购买或确定销售伙伴位置，敬请访问：www.keithley.com/buy

Specifications are subject to change without notice. All Keithley trademarks and trade names are the property of Keithley Instruments
All other trademarks and trade names are the property of their respective companies.

KEITHLEY

A Tektronix Company

A Greater Measure of Confidence

KEITHLEY INSTRUMENTS ■ 28775 AURORA RD. ■ CLEVELAND, OH 44139-1891 ■ 440-248-0400 ■ Fax: 440-248-6168 ■ 1-888-KEITHLEY ■ www.keithley.com

BENELUX

+31-40-267-5506
www.keithley.nl

FRANCE

+33-01-69-86-83-60
www.keithley.fr

ITALY

+39-049-762-3950
www.keithley.it

MALAYSIA

60-4-643-9679
www.keithley.com

SINGAPORE

01-800-8255-2835
www.keithley.com.sg

BRAZIL

55-11-4058-0229
www.keithley.com

GERMANY

+49-89-84-93-07-40
www.keithley.de

JAPAN

81-120-441-046
www.keithley.jp

MEXICO

52-55-5424-7907
www.keithley.com

TAIWAN

886-3-572-9077
www.keithley.com.tw

CHINA

86-10-8447-5556
www.keithley.com.cn

INDIA

080-30792600
www.keithley.in

KOREA

82-2-6917-5000
www.keithley.co.kr

RUSSIA

+7-495-664-7564
www.keithley.ru

UNITED KINGDOM

+44-1344-39-2450
www.keithley.co.uk

For further information on how to purchase or to locate a sales partner please visit www.keithley.com/buy



KEITHLEY

A Tektronix Company