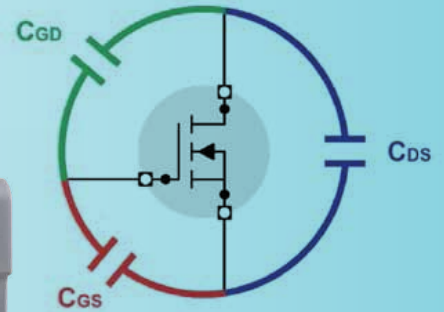




使用 4200A-CVIV 开关的 偏置能力进行三端器件 高达 400 V 电压的电容测试

应用文档



介绍

MOSFET、IGBT 和 BJT 等半导体器件的开关速度受到元件本身的电容的影响。为了满足电路的效率，设计者需要知道这些参数。例如，设计一个高效的开关电源将要求设计者知道设备的电容，因为这将影响开关速度，从而影响效率。这些信息通常在 MOSFET 的指标说明书中提供。

三端功率半导体器件的电容可以在两种不同的量级上看待：组件和电路。在组件上查看电容涉及到表征每个设备终端之间的电容。在电路上观察电容涉及到描述组件级电容的组合。例如，图 1 说明了一个功率 MOSFET 的组件级电容。

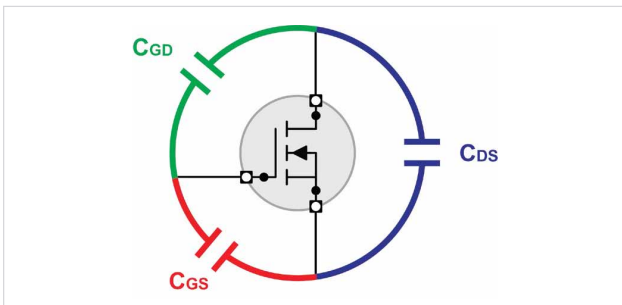


图 1. 功率 MOSFET 的组件级电容

图 2 到图 4 说明了一个功率 MOSFET 的组件级和电路级电容之间的关系。对 BJT 和 IGBT 器件也可以进行类似的电容测量。

关系如下：

- $C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD}$ = 输入电容
- $C_{OSS} = C_{DS} + C_{GS}$ = 输出电容
- $C_{RSS} = C_{GD}$ = 反向传输电容

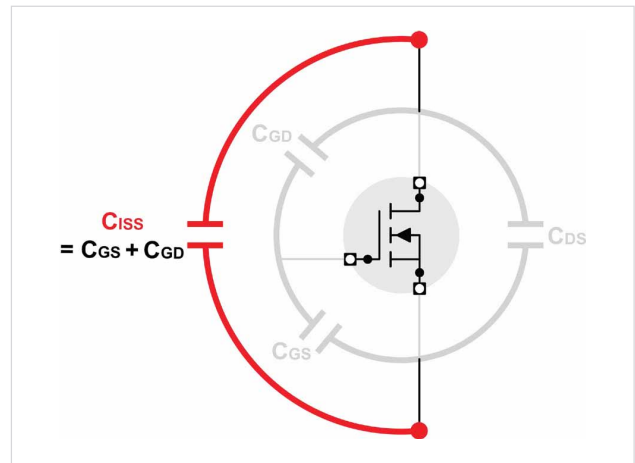


图 2. 功率 MOSFET 的输入电容

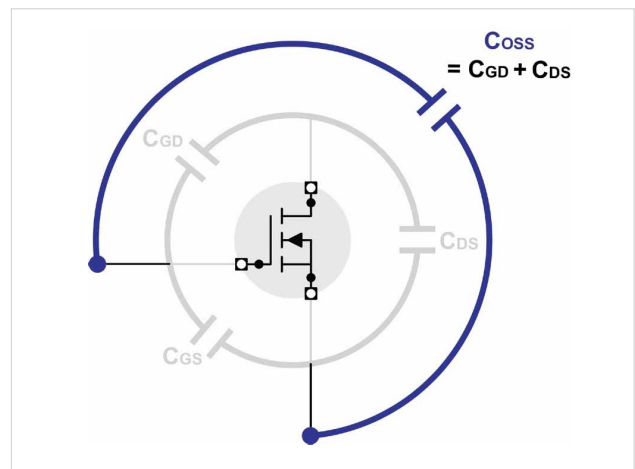


图 3. 功率 MOSFET 的输出电容

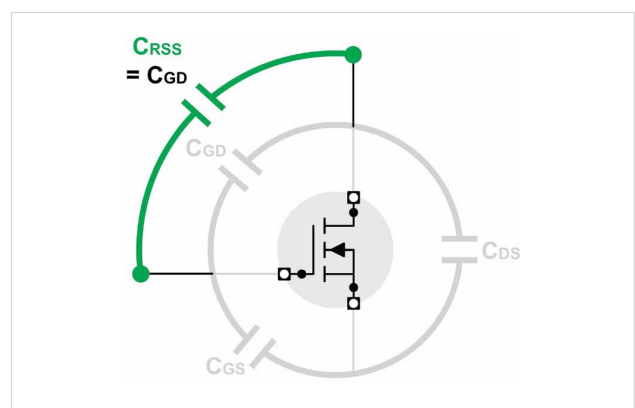


图 4. 功率 MOSFET 的反向传输电容

器件的电容通常随所施加的电压而变化。因此，完整的表征需要了解在最大额定电压下的电容。本应用程序说明了如何使用 4200A-CVIV 开关提供的偏置功能以及在 Clarius 中测量 C_{ISS} 、 C_{OSS} 和 C_{RSS} 的。CVIV 可以很容易地在 I-V 和 C-V 测量值之间切换，它还可以将 C-V 测量值移动到任何设备终端，而无需重新连接或抬起探针。

本应用文档还显示了仪器的直流输出电压如何从 200 V 加到 400 V，进行漏极上更高电压的测量，这有利于测试更高功率的半导体，如 GaN 器件。该功能已在 Clarius V1.6 以上的版本添加并更新。本应用文档的前提是熟悉使用 4200A-CVIV 使用 Keithley 4200A-SCS 进行 C-V 测量。

有关偏置网络（BiasT）功能的更多信息，请参阅以下 Keithley 应用程序说明：

- 使用 4200A-CVIV 开关和 4200A-SCS 参数分析仪
- 使用 4200A-CVIV 开关进行高压和高电流 C-V 测量，在 C-V 和 I-V 测量之间进行切换

设备连接

本应用文档中描述的所有 SMU 和 CVU 连接都是通过 4200A-CVIV 进行连接的。CVIV 可以有一个 4210-CVU 或 4215-CVU，最多可以有四个 SMU 连接到一个设备上。有关更多信息，请参阅 4200A-CVIV 多开关用户手册。

使用 4200A-CVIV 提供了以下优点：

- 内置项目可测量高达 200 V 和 400 V 的 C_{ISS} 、 C_{RSS} 和 C_{OSS} 。
- 4200A-CVIV 开关支持自动测量。不需要重新连接设备或电缆。
- 开路和短路的 C-V 补偿。

图 5 显示了 MOSFET 与 CVIV 的连接。对于这个特定的应用程序，至少需要三个 smu 和一个 CVU 来完成测试。

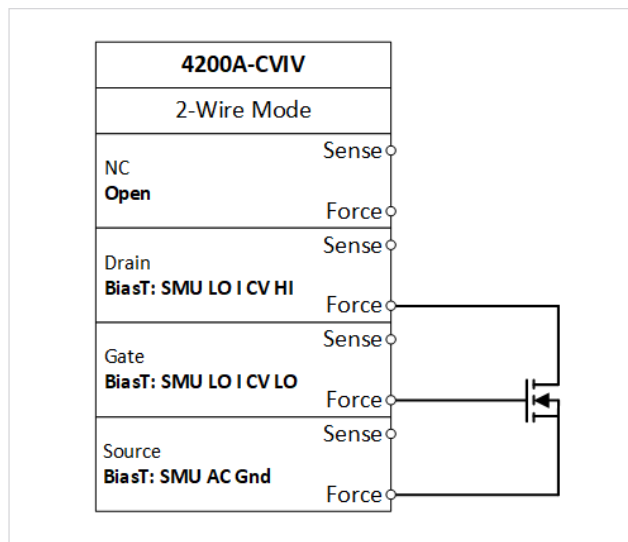


图 5. MOSFET 连接到 4200A-CVIV 的输出端

图 6 显示了封装的 MOSFET 的实际 CVIV 连接。请注意，CVIV 上的所有通道都是打开的。4200A-CVIV 的四个通道将根据每次测试的配置进行配置，因此每次测试都不需要电缆重新连接。

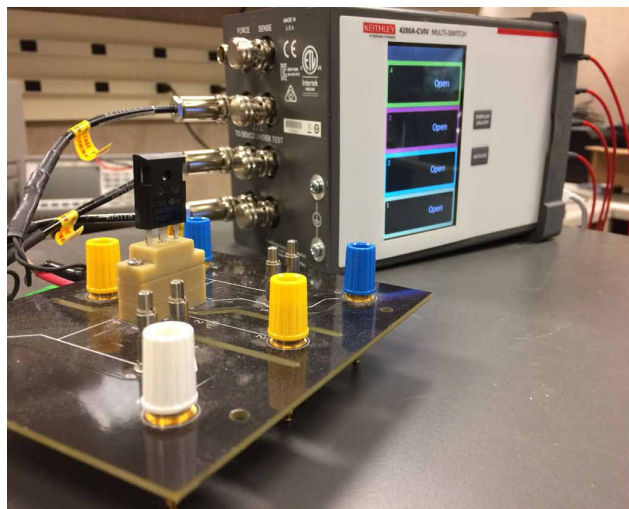


图 6. 连接到 4200A-CVIV 的封装 MOSFET

在 Clarius 软件中配置测量

Clarius 的库有两个在 mosfet 上执行三端电容测量的项目。这两个项目在 Clarius 中配置相似，不同之处在于能力。一个项目，“MOSFET 3-terminal C-V Test Using 4200A-CVIV Bias Tees”使用一个 SMU 加到漏端，从 0 到 200 V 直流偏置电压扫描。另一个项目，“MOSFET 3-terminal C-V tests up to 400 V using 4200A-CVIV Bias Tees”使用一种新方法将电压从 0 到 400 V。这种方法同时使用三个 SMU 扫描，每个器件端口上一个 SMU，提供一个 400 V 直流差分电压。

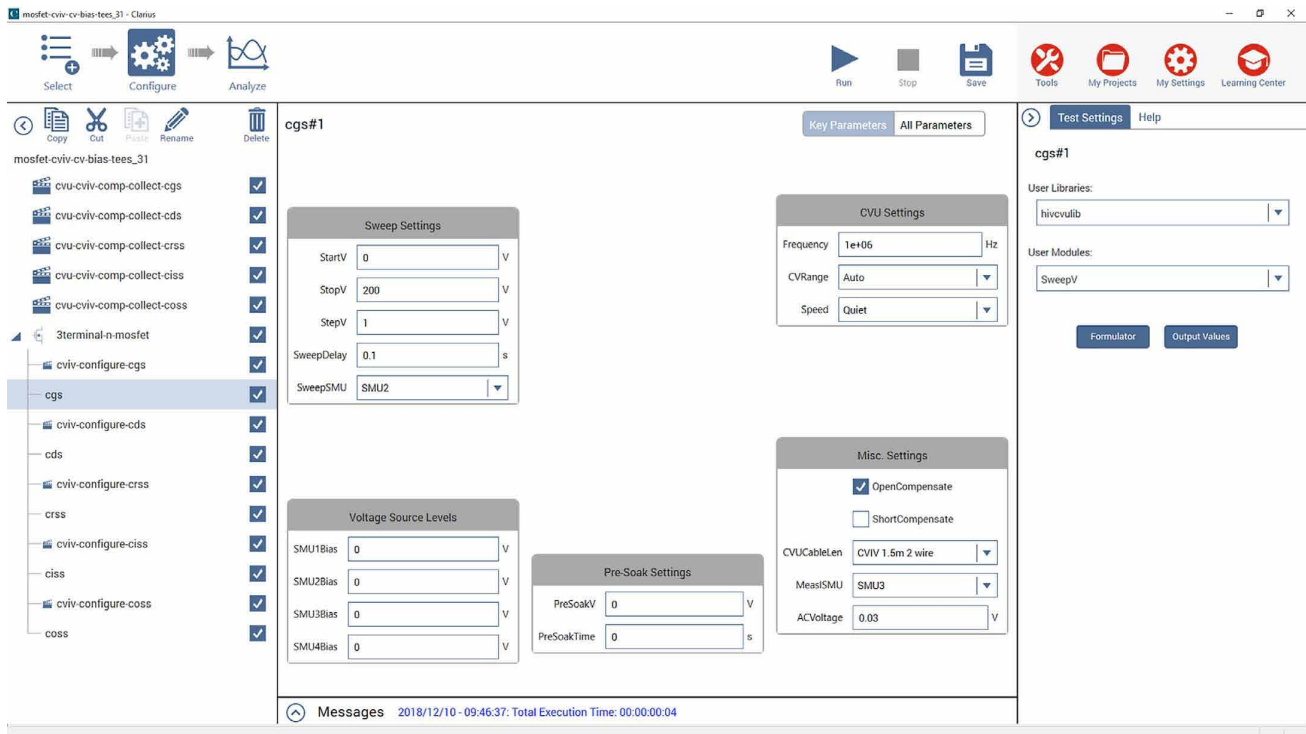


图 7. 使用 SweepV 用户模块的 MOSFET-CVIV-CV-Bias-Tees 项目

图 7 显示了“使用 4200A-CVIV BiasT 的 MOSFET3 端 C-V 测试”项目，该项目使用了 hivcvulib 中的 SweepV 用户模块。

该用户模块允许在漏极处进行一次扫描，并在器件每个端口处进行电容测量。

首先，进行开路 and 短路补偿，以确保准确的测量。执

行这些补偿需要执行特定的配置步骤。它们被称为补偿测量，并在项目树中提供。在执行任何测试之前，将对每个测试执行补偿。4200A 可以存储对每个配置的补偿，可以执行多个测试。

该项目有五种不同的配置： C_{ISS} 、 C_{RSS} 、 C_{OSS} 、 C_{GS} 和 C_{DS} 。

CVIV 配置

必须为每个测试配置 CVIV。CVIV 有许多输出模式，这些都在用户手册中有描述。表 1 列出了各种输出模式。

表 1. 4200A-CVIV 输出模式

4200A-CVIV 输出模式	应用程序和描述
开路	默认设置。还断开与设备的通道
SMU	用于 I-V 测量。连接 Force Hi 和 Sense Hi 到器件
CV Hi	用于 C-V 测量。将 CVU (HPOT 和 HCUR) 连接到该设备
CV LO	用于 C-V 测量。将 CVU (LPOT 和 LCUR) 连接到该设备。
CV Guard	用于在多终端设备上 C-V 测量时保护不必要的阻抗。对排除 C-V 测量的器件应用 CV 保护。
Ground Unit	用于 I-V 测量。将 Force LO 和 Sense LO 连接到器件
AC 耦合到 AC 地	用于 C-V 测量。允许交流路径到地面，而不提供直流路径。
BiasT SMU CV HI and BiasT SMU CV LO	用于高达 200 V 直流偏置的 C-V 测量。允许高达 1A 的直流电流，理想的状态设备测量。
BiasT SMU LO I CV HI and BiasT SMU LO I CV LO	用于高达 200 V 的 DC 偏置测量。允许高达 100 μ A 的直流电流，理想的关态设备测量。
BiasT SMU AC Gnd	用于在多器件设备上 C-V 测量时保护不必要的阻抗。允许直流偏置高达 200 V。应用 BiasT SMU AC Gnd 的器件被排除在 C-V 测量之外。

图 8 到图 12 显示了对每个元件和电路级电容测量的 CVIV 的每个通道的状态

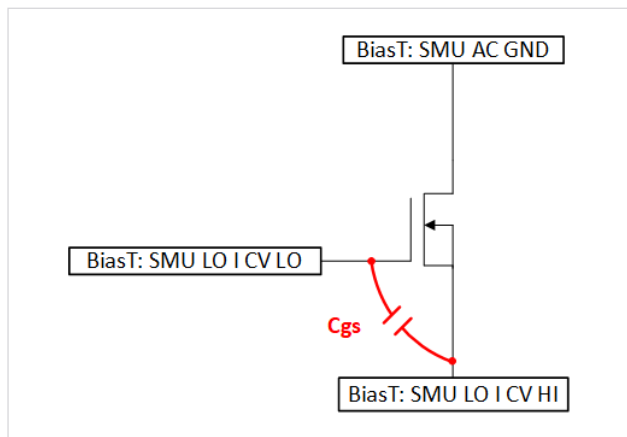


图 8. C_{GS} 配置

图 8 显示了 C_{GS} 的配置。当 SMU 在漏极处扫描直流电压时，该测试测量了 MOSFET 的栅极和源极之间的电容。

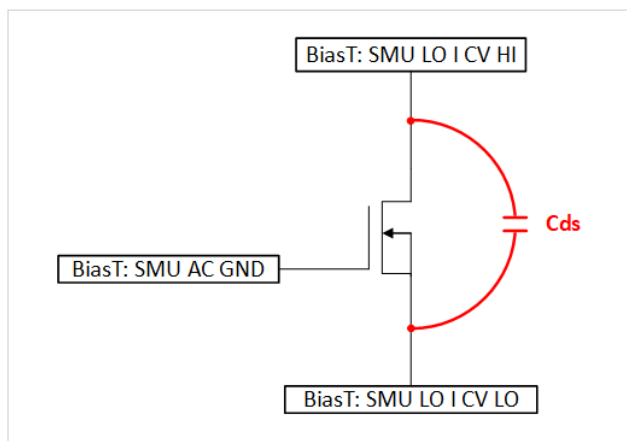


图 9. C_{DS} 配置

图 9 显示了 C_{DS} 的配置。当 SMU 在漏极处扫描直流电压时，该测试测量了漏极和源极之间的电容。

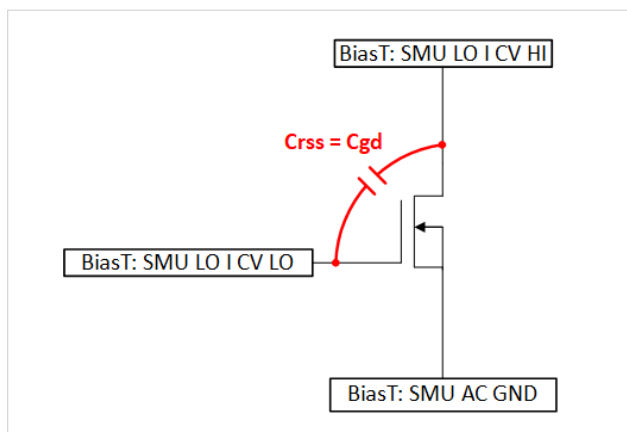


图 10 . C_{RSS} 和 C_{GD} 配置

图 10 显示了 C_{RSS} 配置。该测试测量 SMU 扫描漏极直流电压时 MOSFET 的反向传输电容。

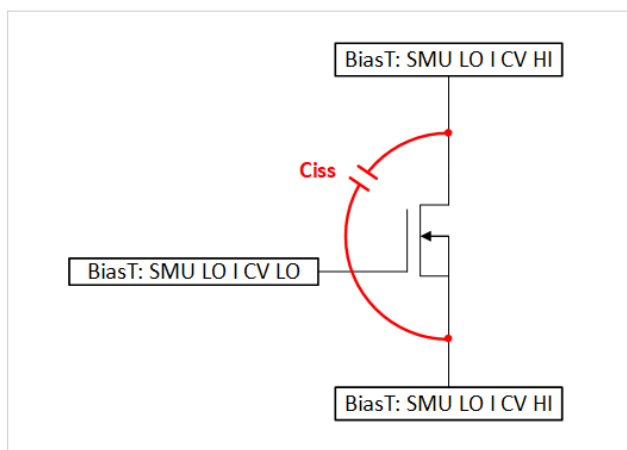


图 11 . C_{ISS} 配置

图 11 显示了 C_{ISS} 的配置。该测试测量 SMU 扫描直流电压时，MOSFET 的输入电容。

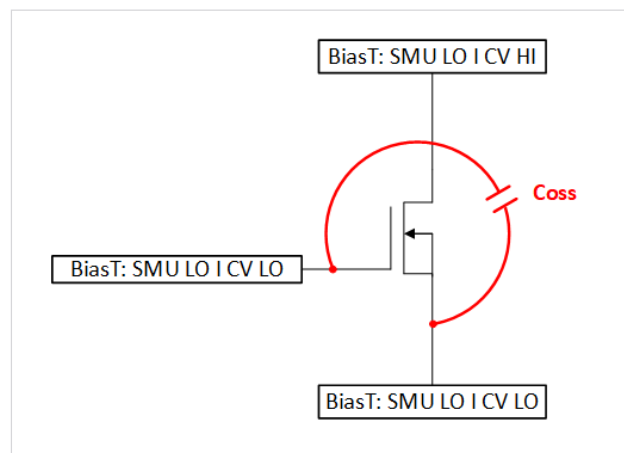


图 12 . C_{OSS} 配置

图 12 显示了 C_{OSS} 配置。该测试在 SMU 扫描漏极的直流电压时测量 MOSFET 的输出电容。

一旦执行了测试，数据就会被绘制出来。图 13 显示了由 4200A 生成的 MOSFET 的电容特性数据。

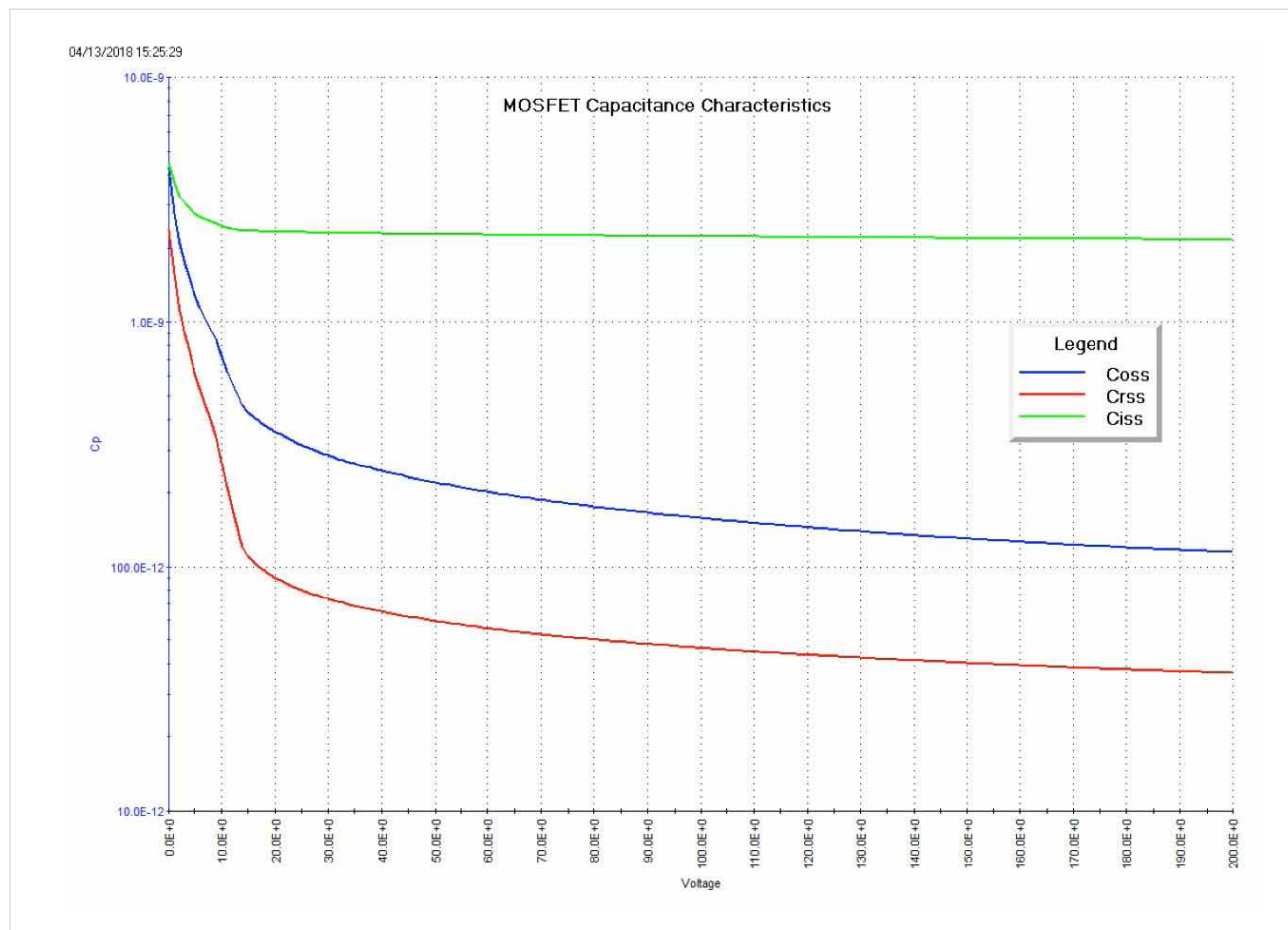


图 13. MOSFET 扫描到 200 V 的电容特性

400 V 直流电压扫描

利用 4200A-CVIV 多开关同时扫描多个 SMU，将 MOSFET 器件的输出电压翻倍至 400 V 的新方法。这些测试通常在 OFF 状态 ($V_{GS} = 0\text{ V}$) 下进行。通常在漏极有一个扫描 SMU，使用 4200A-CVIV 内置的偏置能力，在每个终端测量电容。

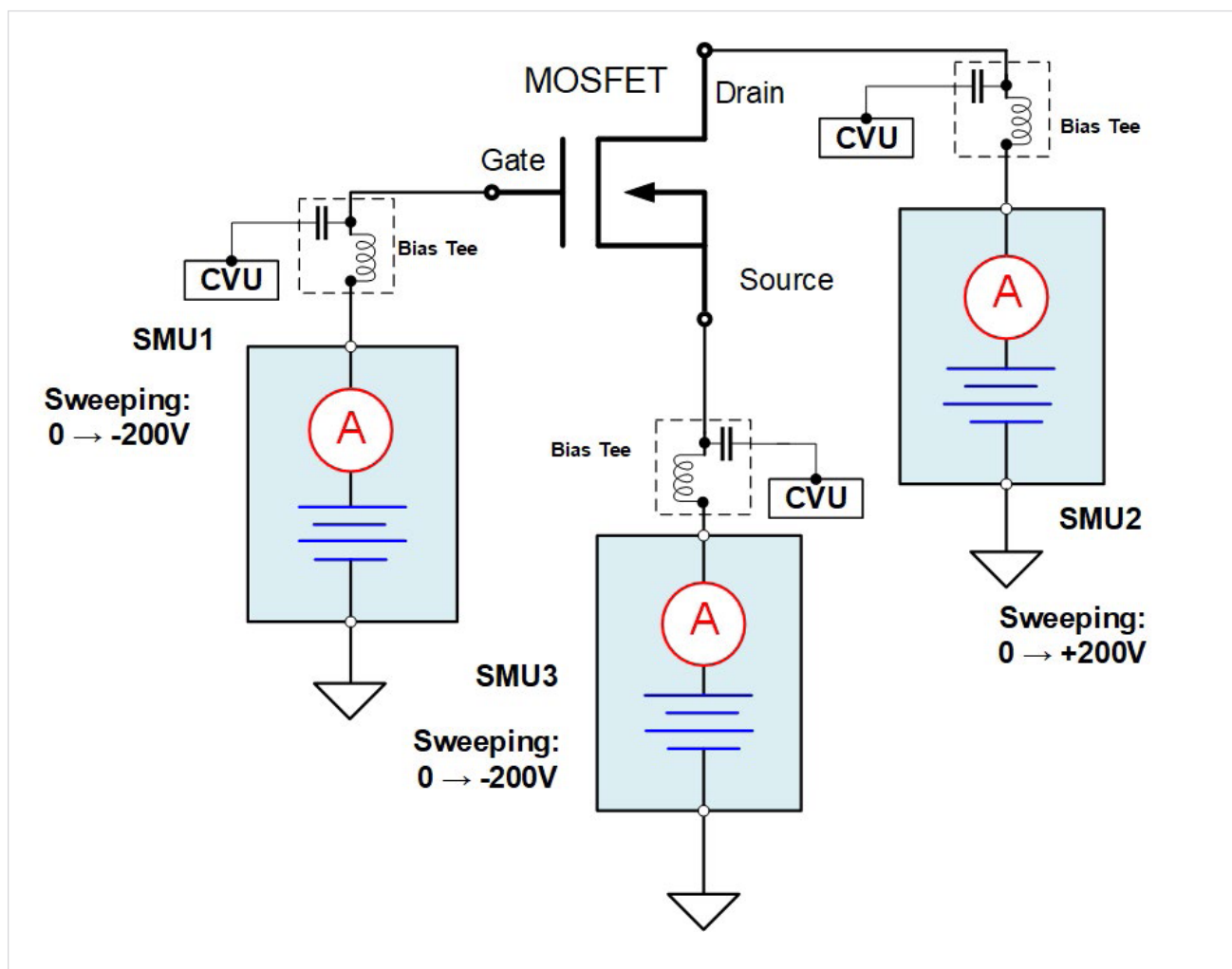


图 14. 三个 SMU 同时扫描

图 14 显示了连接到 MOSFET 的三个端口的三个扫描 SMU。SMU1 和 SMU2 将使用高达 400 V 的差分电压。SMU2 和 SMU3 必须在相同的电压下同时扫描，这可以使栅极下降 0V。使用这种方法，我们可以在 Drain 端产生一个 400 V 的扫描电压。

注：此方法仅用于封装器件，而不适用于晶圆级设备。

这些测量是使用 *multiple SMU_SweepV* 用户模块执行的，可在 *hivcvulib* 用户库中获得。

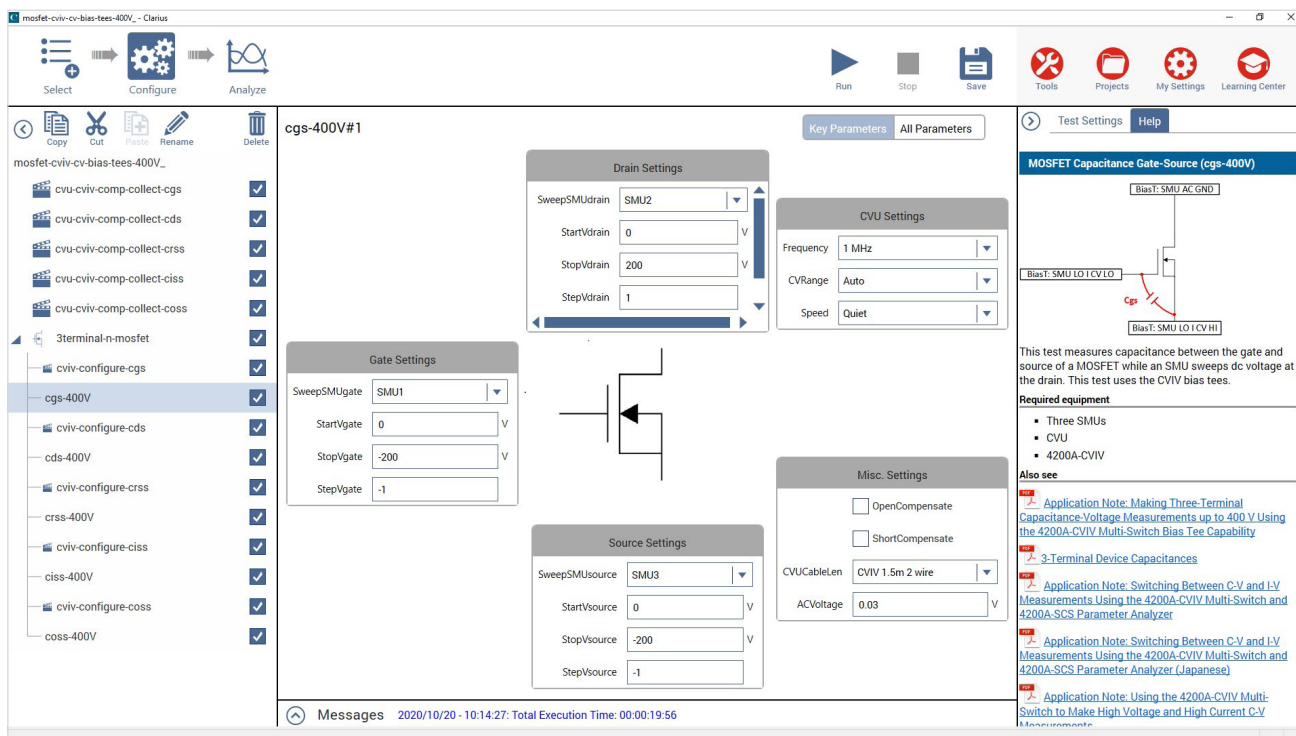


图 15. 输出高达 400 V 直流差分的项目

图 15 显示了使用用户模块 *ultipleSMU_SweepV* 的 4200A-CVIV Bias Tee 项目进行高达 400V 的 MOSFET 三端口 C-V 测试

项目树的设置方式与上一个项目相同。所有的 CVIV 配置操作，包括补偿，都以完全相同的方式完成。唯一的区别是，还必须配置另外两个 SMU。

默认情况下，测试应该在 Drain 上从 0 扫到 400 V。栅极和源极 SMU 应同时在相同的电压下扫描。

用户还能够根据被测试设备的阻抗来改变 CVU 设置，如频率、范围和速度。

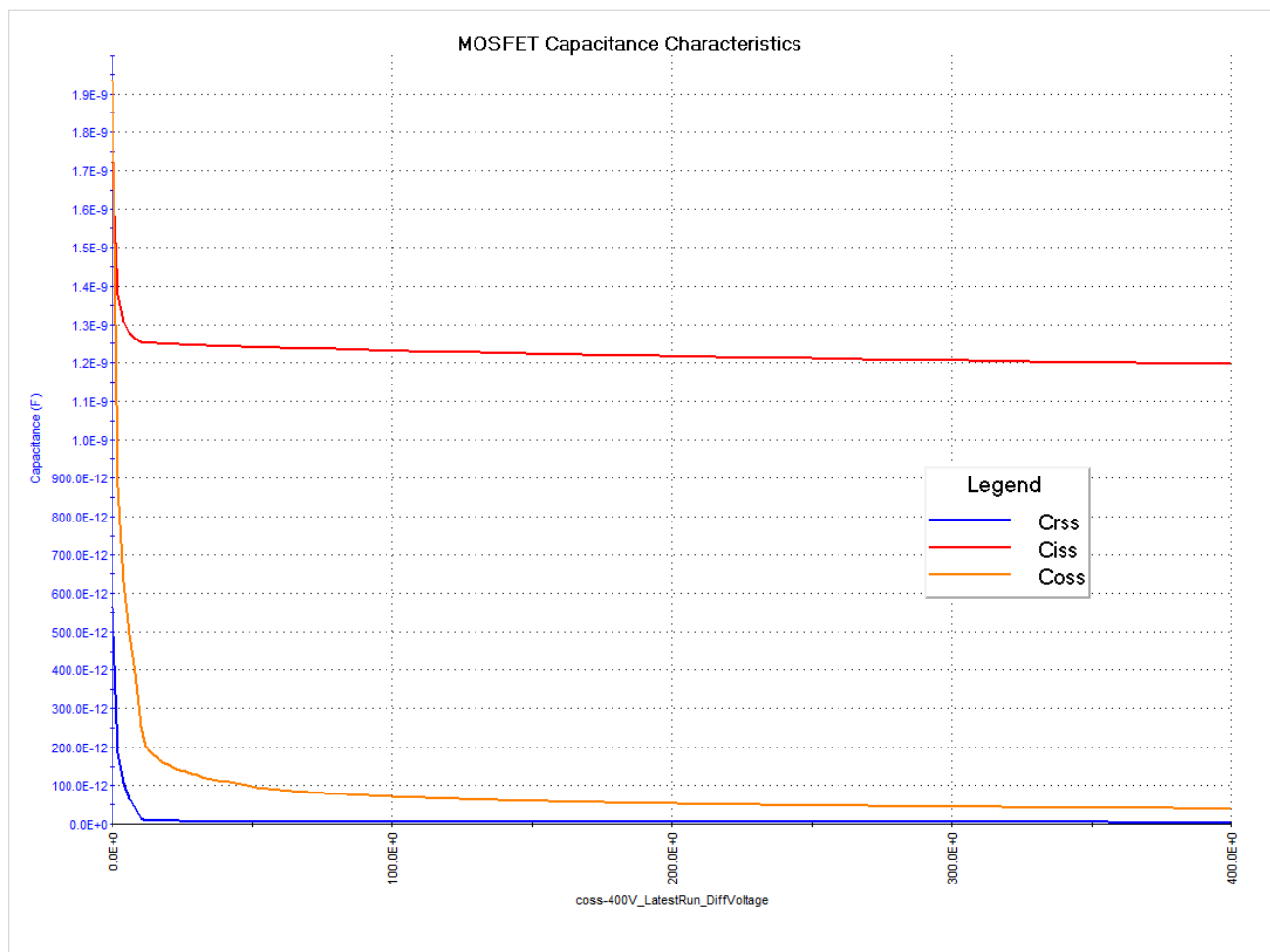


图 16. MOSFET 扫描到 400 V 的电容特性

图 16 显示了由 4200A-SCS 中测试 MOSFET 上高达 400 V 的 C-V 扫描图。差分电压为一个计算值。区别在于漏极和源极之间的电压不同。

Run1 Formulas List									
	multipleSMU_S	Cp	Gp	Time	DrainVoltage	GateVoltage	SourceVoltage	DiffVoltage	FrequencyVal
1	0	1.7217E-9	1.0779E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	1.0000E+6
2		1.3747E-9	682.4445E-6	1.1321E+0	1.0000E+0	-1.0000E+0	-1.0000E+0	2.0000E+0	1.0000E+6
3		1.3068E-9	618.0853E-6	2.2607E+0	2.0000E+0	-2.0000E+0	-2.0000E+0	4.0000E+0	1.0000E+6
4		1.2769E-9	591.6332E-6	3.3917E+0	3.0000E+0	-3.0000E+0	-3.0000E+0	6.0000E+0	1.0000E+6
5		1.2618E-9	579.0844E-6	4.5208E+0	4.0000E+0	-4.0000E+0	-4.0000E+0	8.0000E+0	1.0000E+6
6		1.2533E-9	572.9777E-6	5.6486E+0	5.0000E+0	-5.0000E+0	-5.0000E+0	10.0000E+0	1.0000E+6
7		1.2517E-9	571.9208E-6	6.7769E+0	6.0000E+0	-6.0000E+0	-6.0000E+0	12.0000E+0	1.0000E+6
8		1.2508E-9	571.0873E-6	7.9057E+0	7.0000E+0	-7.0000E+0	-7.0000E+0	14.0000E+0	1.0000E+6
9		1.2499E-9	570.1984E-6	9.0337E+0	8.0000E+0	-8.0000E+0	-8.0000E+0	16.0000E+0	1.0000E+6
10		1.2492E-9	569.5463E-6	10.1610E+0	9.0000E+0	-9.0000E+0	-9.0000E+0	18.0000E+0	1.0000E+6
11		1.2484E-9	568.8524E-6	11.2894E+0	10.0000E+0	-10.0000E+0	-10.0000E+0	20.0000E+0	1.0000E+6

图 17. 400V 扫描的输出数据

图 17 显示了输出数据，其中列出了三个端口上的扫描电压。Diffvoltage 是计算出的差分电压值。

结论

MOSFET、IGBT 和 BJT 等半导体器件的开关速度受到元件本身电容的影响。本应用程序说明了如何使用 4200A-CVIV 能够在不需要重新连接任何电缆的情况下，在 200 V 直流偏置的情况下进行这些测量，从而减少了用户错误并允许自动测试。它还允许直接测量电路级电容，而不需要通过组件级电容，这允许电路级设计者更快地获得所需的数据。

此外，当在三端器件上测量电容时，通常有一个端子不包括在测量中，其电容可能会影响整体测量。在每个端口使用偏置网络消除了外部电容或短路的影响。

我们还展示了一种新的方法，通过同时使用三台 smu 进行扫频，使在三端器件上的 4200A 的直流偏置加倍。栅极和源极 SMU 在同一极性上同时扫描，以避免设备的开态状态的影响。漏极 SMU 将扫描源极和栅极的相反极性，从而使差分电压翻倍。这支持在漏极处进行高达 400 V 的电压扫描，这有利于测试更高功率的半导体，如 GaN。



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：tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

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

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) 6289 7267

泰克深圳办事处

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

泰克成都办事处

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) 8620 3028
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

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) 8836 0984
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店718室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 3168 6695
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：TEK.COM.CN

© 泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的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。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

111320 SBG 1KC-61529-1

