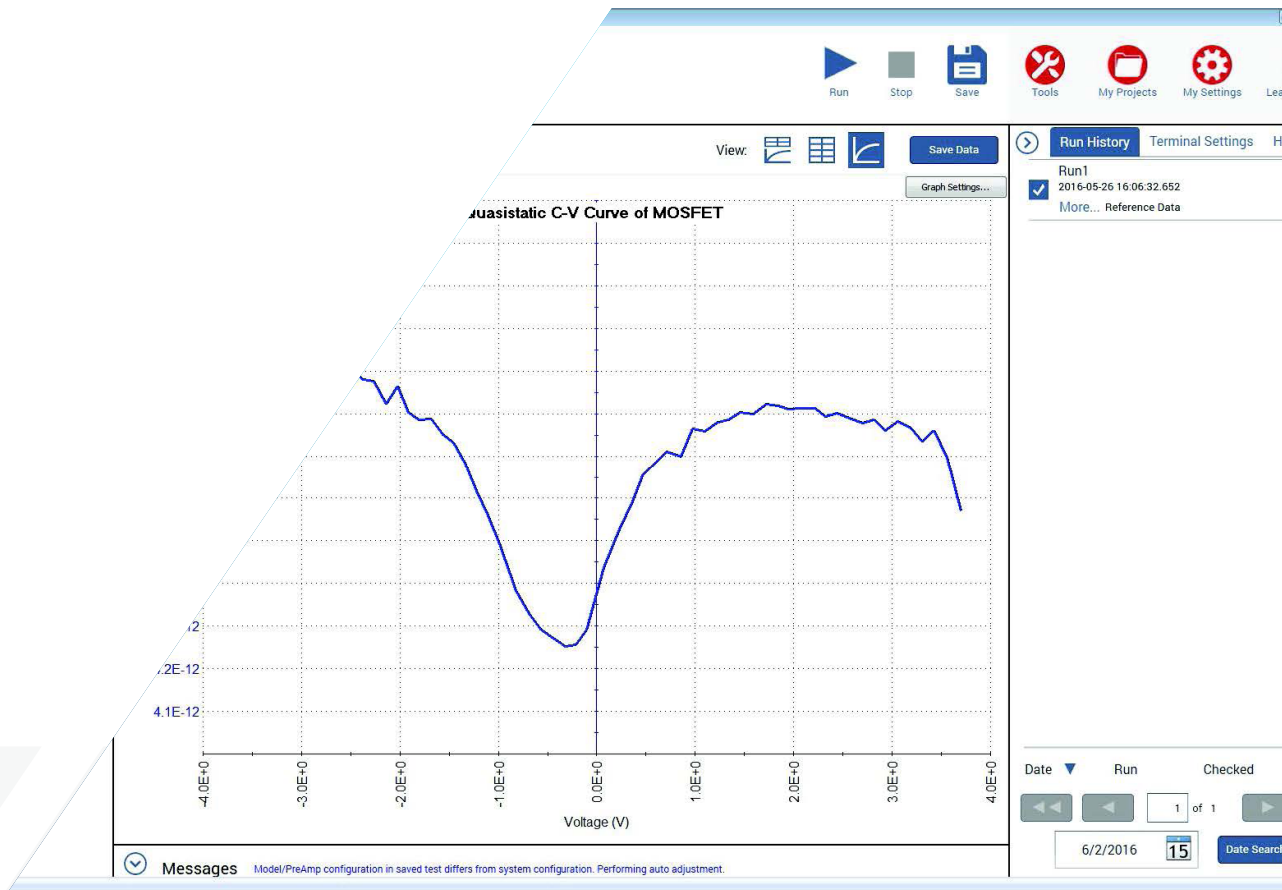




# 用4200A-SCS进行斜坡法 准静态C-V测量

应用指南



## 引言

电容电压 (C-V) 测量通常采用交流测量技术。而一些电容测量需要直流测量技术，被称为准静态 C-V (或 QSCV) 测量，因为它们是在非常低的测试频率下进行的，即几乎是直流的。这些测量通常包括步进直流电压和测量所产生的电流或电荷。一些用于准静态 C-V 测量的技术包括反馈电荷法和线性斜坡法。4200A-SCS 参数分析仪采用了一种新的方法，即斜坡速率法，该方法采用了两个 4200-SMU 源测量单元和两个 4200-PA 前置放大器。可选的 4200-PA 前置放大器是必需的，因为该测试涉及测量皮安量级范围内的电流。SMU 用源电流给电容器充电，然后测量电压、时间和放电电流。

软件根据测量的参数来计算电容作为电压的函数，并在 4200A-SCS 的显示器上显示曲线。本应用文档说明描述了如何使用 4200A-SCS 和斜坡方法来实现和优化准静态 C-V 测量。这篇文档的前提是用户能熟练使用 Keithley 4200A-SCS 进行 I-V 测量。

## 斜坡法

图 1 说明了斜坡法的基本连接图，需要两个 4200-smu 和 4200-pa 连接到被测设备的任意一侧。由于斜坡法在一个有限的范围内工作，因此被测器件的电容应在 1pF 到约 400pF 的范围内。

斜坡法的工作原理是 SMU 作为电流源，将被测设备充电到特定的直流电压。一旦设备被充电，当 SMU 测量电压作为时间的函数时，一个极性相反的电流将被迫放电设备。第二个 SMU 测量放电电流。根据测量的电压 (V)、电流 (I) 和时间 (t) 值，得出电容 (C) 作为电压和时间的函数：

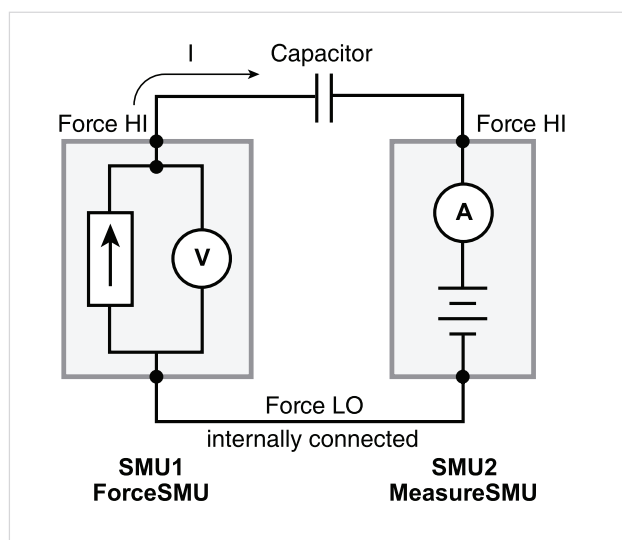


图 1. 使用斜坡法测量电容的连接

$$C = \frac{dQ}{dV}$$

$$Q = \int Idt$$

4200A-SCS 中包含的斜坡法在进行 QSCV 测量时遵循以下步骤：

- 1. 给设备充电：**通过 *ForceSMU* 对 DUT 施加 100pA 的预充电电流，直到达到限制电压。限制电压是由用户指定的，并被称为 VStart。预充电电流的极性与 VStart 电压的极性相同。如果预充电电流不足以使设备进入 VStart，则将产生超时错误。
- 2. 在扫描前在指定时间内给器件施加恒定值：**设备在扫描前的用户指定时间 (*提前时间*) 内，设备达到偏置 VStart 电压。
- 3. 将斜坡电流应用于放电装置：**一旦设备在指定时间内达到偏置电压，则会向器件施加斜坡电流以使设备放电。斜坡电流与预充电电流的极性相反。斜坡电流的值为：

$$I_{ramp} = CVal \times RampRate$$

其中

$C_{Val}$  是用户输入的估计电容值 (F)。

$RampRate$  是用户输入特定速率的电压 (dV/dt)，单位是 V/s。

4. **同时触发 SMU 以进行测量：**作为 Force SMU 的 SMU 测量电压 (V1、V2、V3...Vn) 和时间 (T1、T2、T3...Tn)。测量 SMU 测量电流 (I1,I2 和 I3...)。测量电压、时间和电流，直到达到 VStart 电压的相反极性。

5. **计算电压、时间和电容输出值：**实时从测量值中提取参数，并将其显示在图表中。这些参数分别为  $V_{out}$  = 电压、 $T_{out}$  = 时间和  $C_{out}$  = 电容，计算方法如下：

$$V_{out} = \frac{(V2 + V1)}{2} \text{ (两个测量电压的平均值)}$$

$$T_{out} = T2 \text{ (进行第二次测量的时间)}$$

$$C_{out} = \frac{I2}{(dV/dt)}$$

其中  $dV = V2-V1$  和  $dT = T1 - T1$

## 如何使用 Clarius 软件进行 QSCV 测量

Clarius 软件包括一个用户模块 UTM，使用斜坡法进行准静态 C-V 测量。这个用户模块 meas\_qscv 位于 QSCVulib 用户库中，它可以作为项目中的自定义测试打开。

### 在 meas\_qscv 用户模块中设置参数

一旦使用 UTM 创建了一个测试，就需要输入一些参数。meas\_qscv 用户模块的可调参数如表 1 所示。

表 1. meas\_qscv 用户模块中可调参数一览表

参数	范围	说明
ForceSMU	1-8	SMU number that will force current through capacitive load. This SMU must have a preamp.
MeasureSMU	1-8	SMU number that will measure current. This SMU must have a preamp.
VStart	-200 to 200	Starting and ending voltages (V) for C-V sweep.
CVal	1E-12 to 400E-12	Approximate capacitance of device under test in Farads (F).
RampRate	0.1 to 1	Slope of stimulus voltage (dV/dt) in V/s.
PreSoakTime	0 to 60	Additional time delay in seconds to allow DUT, fixture, and cables to charge up.
TimeOut	10 to 60	Time allowed in seconds to charge up prior to time out.

这里是输入参数的更详细的描述：

**Force SMU:** SMU 施加电流到被测器件，并测量电压作为时间的函数。这个 SMU 必须有一个前置放大器，因为它将在 pA 范围内监测电流。

**Measure SMU:** 测量电路中电流的 SMU。这个 SMU 必须有一个前置放大器，因为它将测量 pA 范围内的电流。

**VStart:** 这是 C-V 扫描的起始电压和结束电压，C-V 扫描总是以 0V 为对称值。

**CVal:** 输入被测设备的近似最大电容值。该值用于确定器件充电的源电流的大小。

**RampRate:** 充电电压的斜率，单位 V/s。如果斜坡速率太快，则在扫描中将没有足够的点。如果斜坡的速度过慢，读数可能会有噪声。需要进行一些实验来找到被测器件的最佳设置。

**启动时间:** 在 CV 扫描开始前对被测器件施加 VStart 电压的时间长度，让设备充电并达到平衡。

**Timeout:** 在测试模块超时之前，允许将器件充电到 VStart 电压的时间。在某些情况下，例如当设备短路时，设备可能无法达到 VStart 电压；该参数使模块能够自动停止并生成错误消息。默认情况下，它是 10 秒。

## 执行测试

通过在测试库中选择一个新的自定义测试，可以在项目中打开 meas\_qscv 用户模块。然后在屏幕的左上角选择“配置”，并在右侧窗格中选择 QSCVulib 用户库和 meas\_qscv 用户模块。然后，可以根据应用程序输入适当的值。

Keithley 已经创建了一个测试和一个项目，它使用 meas\_qscv 用户模块进行准静态 C-V 测量。在屏幕的左上角选择“选择”，然后从测试库或项目库中，

在搜索栏中输入 qscv，并选择“搜索”。qscv 测试或项目将自动出现在中心窗格中。

使用斜坡率项目的准静态 C-V (斜坡率扫描) 的项目树如图 2 所示。



图 2. 使用斜坡法项目的准静态 C-V 项目树 (qscv)

这个项目包含一个名为斜坡 cv 扫描的测试，用于在 MOSFET 设备上测量。用于设置测试参数的配置如图 3 所示

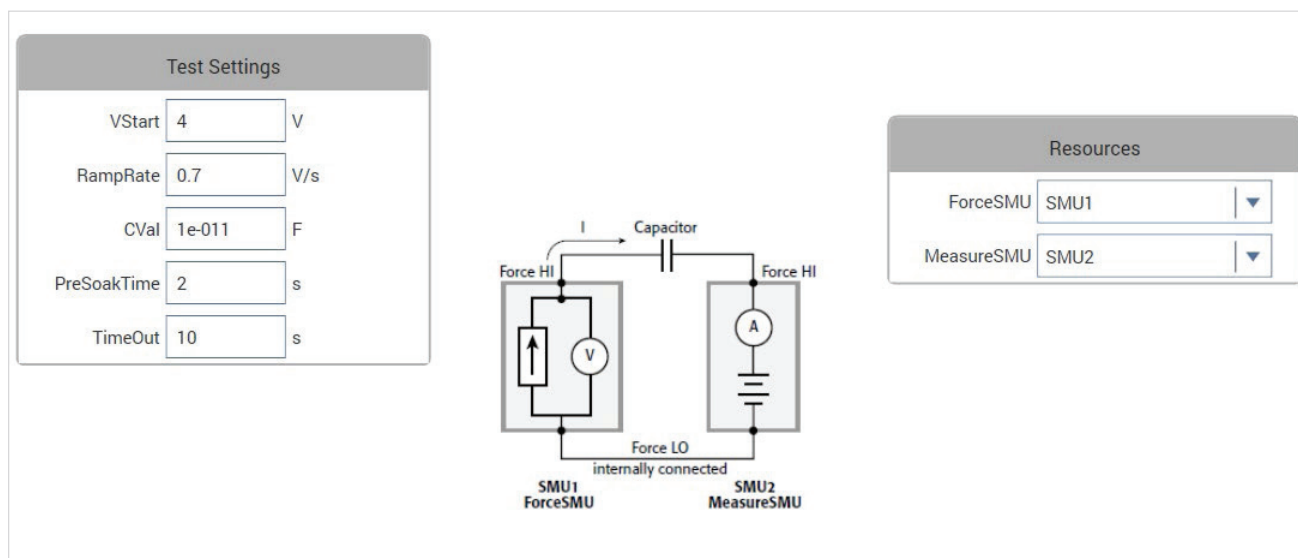


图 3. 斜坡扫描测试的配置界面

在这个测试中，使用 SMU1 (*Force SMU*) 和 SMU2 (*Measure SMU*) 来进行 C-V 测量。*VStart* 值设置为 4V，因此这将产生从 -4V 到 4V 的电压扫描。近似的电容值为 10pF，这是 *CVal* 的参数输入。这个 CV 电容值将用于确定斜坡电流。如果这个数字过低（例如， $1E-12$  而不是  $10E-12$ ），则电容测量将会出现噪声。*RampRate* 值设置为 0.7V/s。在这种情况下，一个更大 (1V/s) 的 *RampRate* 将产生一个更慢的曲线，但将有更少的数据点。较小的波动率 (0.1V/s) 将产生具有大量数据点的更多的噪声曲线。需要进行实验，以确定被测试的被测器件的最佳设置。

一旦器件连接到两个 smu，并使用所需的输入参数创建了测试，就可以执行 C-V 扫描。这种扫描的结果如图 4 所示。

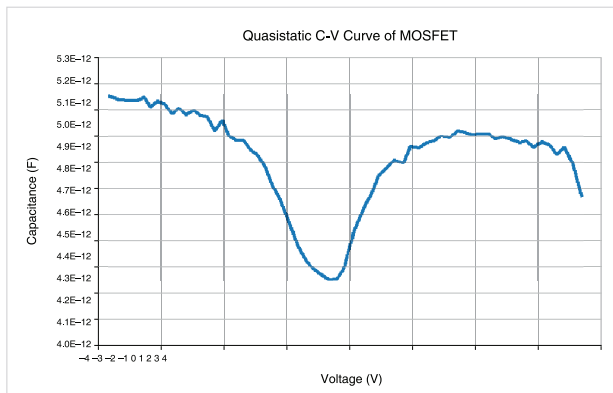


图 4. MOSFET 器件的准静态 C-V 扫描

## 优化测量

当使用斜坡法进行准静态 C-V 测量时，必须使用各种技术来优化测量精度。这些技术包括实现低电流的测量和在软件中选择适当的设置。

由于使用斜坡率法涉及到测量微小电流，因此必须采用低电流测量技术。使用 4200A-SCS 附带的三轴电缆，这是屏蔽线缆。为了减少静电干扰造成的噪声，确保将器件放置在金属外壳中，屏蔽罩与 4200A-SCS 的 LO 端子相连。关于低电流测量技术的详细信息可以在 Keithley 的低水平测量手册中找到。

*meas\_qscv* 模块中影响测量影响最大的参数设置是 *CVal* 和 *RampRate*。*CVal* 是被测器件的近似值。如果输入的值大于实际设备的值，那么 *RampRate* 将会更大，数据点也会更少。相反，如果输入的电容值小于实际器件电容，则速率将会更低，曲线中将会有更多的数据点。使用尽可能大的速率，但确保设备曲线显示稳定。然而，如果速度太快，可能没有足够的点。

为了降低曲线的噪声水平，可以使用公式器中的平均函数 (MAVG)。试着使用三个读数的移动平均值，看看这是否有帮助。不要将移动平均数设置得很大，从而失去 C-V 曲线的形状。

要减去电缆和探头造成的偏移，请使用探头向上或开路的 *meas\_qscv* 模块进行 C-V 扫描。使用公式器，取读数的平均值。从在被测器件上的电容测量值中减去这个平均偏移值。

## 结论

用 4200-SMU 进行斜坡法进行准静态 C-V 测量。该技术在 Clarius 软件的 *QSCV\_uslib* 用户库的 *meas\_qscv* 模块中的软件中实现。使用低电流的测量技术，并在软件中选择适当的参数设置，将确保最佳的结果。



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](http://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](http://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。

071116 SBG 1KC-60639-0

