

---

# Keysight B1506A 电路设计功率器件 分析仪

操作和演示指南

# 声明

© 是德科技 2015、2016

根据美国和国际版权法，未经是德科技事先允许和书面同意，不得以任何形式或通过任何方式（包括电子存储和检索或翻译为其他国家或地区的语言）复制本手册中的任何内容。

## 手册文档号

B1506-92500

## 版本

2015 年 2 月，第 1 版

2016 年 8 月，第 2 版

发布者：

Keysight Technologies International

Japan G.K.

9-1, Takakura-cho, Hachioji-shi,

Tokyo 192-0033 Japan

## 担保说明

本手册内容按“原样”提供，在将来的版本中如有更改，恕不另行通知。此外，在适用法律所允许的最大范围内，是德科技对与此手册相关的内容及其中所含的信息不作任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性和特定用途适用性的暗示担保。是德科技对与提供、使用本手册及其所含信息以及与执行手册中的步骤有关的任何错误或偶发或继发性损坏不承担任何责任。如果是德科技与用户之间单独签定的协议中的担保条款涉及本文档中的内容，并且与本文档中的条款相抵触，则应以单独协议中的担保条款为准。

## 技术许可证

本文档中描述的硬件和/或软件仅在得到许可的情况下提供并且只能根据此类许可的条款进行使用或复制。

## 受限权利声明

如果软件在美国政府的项目原始合同或转包合同中使用，则所交付并许可使用的软件是 DFAR 252.227-7014

（1995 年 6 月）中定义的“商用计算机软件”，或 FAR 2.101(a) 中定义的“商用品”，或 FAR 52.227-19

（1987 年 6 月）或任何同等机构法规或合同条款中定义的“限制性计算机软件”。软件的使用、复制或公开必须遵守是德科技的标准商业许可条款的规定，美国政府的任何非 DOD 部门和机构所拥有的权利不得超出 FAR 52.227-19(c)(1-2)（1987 年 6 月）中定义的“受限权利”的范围。美国政府用户所拥有的权利不得超出 FAR 52.227-14（1987 年 6 月）或 DFAR 252.227-7015 (b)(2)（1995 年 11 月）中定义的“受限权利”的范围（适用于所有技术数据）。



# 警告



## 高电压

用于操作本设备。

## 致命的接触电压

如果您未能采取所有安全预防措施，  
测量端子上可能存在此类电压！

- 当红色指示灯亮起时，测量端子上可能会出现致命电压（±10 kV 直流/脉冲）。
- **经常使用联锁功能**
- 请勿操作仪器，除非工作区周围有熟悉仪器操作和危险情况或负责急救的其他人员。
- 在某些情况下，低于 ±500 V 的电位可能会导致死亡。  
因此，必须始终采取充分的预防措施！

## 触电急救

### 安全救援**特别注意事项**

- 切勿贸然进入事故现场。
- 尤其注意以下事宜，防止发生二次事故。
  - ✓ 请勿用手直接接触伤员或导电表面。
  - ✓ 立即切断高电压。
  - ✓ 断开交流电源。
- 如果不确定是否安全，以下程序将有助于在救助伤员期间保护您的生命安全。
  - ✓ 站在干燥的绝缘材料上；借助干燥的木制或塑料工具将伤员移离危险电源区域。
  - ✓ 将电路接地使其断电。



# 目录

1. 入门.....	7
简介.....	8
操作步骤.....	8
准备.....	10
B1506A 硬件配置.....	10
Easy Test Navigator 软件.....	13
校准.....	17
2. 数据表表征.....	19
概述.....	23
数据表表征模式.....	23
器件测量参数.....	26
基本功能.....	32
数据表表征 GUI.....	32
基本功能.....	33
IGBT 测量示例.....	37
器件和测试夹具.....	37
测量步骤.....	40
步骤 1 启动数据表表征模式.....	40
步骤 2 创建新的数据表定义.....	41
步骤 3 输入器件信息.....	42
步骤 4 输入最大额定值.....	44
步骤 5 为特性参数部分创建设置.....	46
步骤 6 为特性图部分创建设置.....	89
步骤 7 更新整个设置.....	119
步骤 8 运行整个参数和图形的测试.....	120
步骤 9 审查和检查测量结果的打印图像.....	130
步骤 10 打印数据表.....	133
步骤 11 从多个测试结果文件创建摘要报告.....	136
关于使用数据表表征模式的有用信息.....	139
自定义数据表设置的相关提示.....	139
UHCU 详细信息和测量提示.....	158
如何更改 Rg 测量的连接.....	164
电容测量提示.....	167
测量理论和测量功能的详细说明.....	168
电容测量技术.....	168
栅极电荷测量基础知识.....	171

	如何使用示波器视图功能 .....	174
3.	I/V 测量 .....	179
	概述 .....	180
	器件类型的测量参数 .....	181
	演示示例 .....	183
	如何打开 I/V 测量模式 .....	184
	IV 测量示例 .....	185
	1. IC-VCE IGBT 特性 .....	185
	2. ID-VDS 功率 MOSFET 特性 .....	192
	3. ID-VGS 功率 MOSFET 特性 .....	196
	4. Vgs(th) 功率 MOSFET 特性 .....	198
	5. RDS-ID 功率 MOSFET 特性 .....	200
	6. VDS-VGS、RDS-VGS 功率 MOSFET 特性 .....	202
	7. IDSS 功率 MOSFET 特性 .....	206
	8. IGSS 功率 MOSFET 特性 .....	210
	9. IS-VSS 功率 MOSFET 特性 .....	212
	10. IGBT 模块测量 .....	215
	关于使用 I/V 测量模式的有用信息 .....	219
	快速模式和精细模式的区别 .....	219
	如何避免器件振荡 .....	222
	使用窄脉冲进行准确测量 .....	223
4.	电容测量 .....	227
	概述 .....	228
	每种器件类型的测量参数 .....	231
	测量频率注意事项 .....	233
	如何打开电容测量模式 .....	238
	电容测量模式示例 .....	239
	1. Ciss、Coss、Crss MOSFET 特性 .....	240
	2. 功率 MOSFET 的 Rg 内部栅极电阻特性 .....	243
	3. IGBT 模块测量示例和提示 .....	246
	关于使用电容测量模式的有用信息 .....	248
	超结 FET 的 Crss 测量 .....	248
	电容补偿数据测量 .....	251
	漏极/集电极开路或带电压偏置下的 Rg 测量 .....	255
	通过自校准提高 Vgs 精度 .....	259
5.	栅极电荷测量 .....	261
	概述 .....	262

测量准备 .....	264
如何打开栅极电荷测量模式 .....	264
栅极电荷测量适配器 .....	264
栅极电荷测量示例 .....	267
1. 使用恒流负载的 $Q_g$ 测量 .....	267
2. 使用阻性负载的 $Q_g$ 测量 .....	283
关于使用 $Q_g$ 测量模式的有用信息 .....	292
栅极电荷测量校准 .....	292
栅极电荷测量设置的简要介绍 .....	300



# 1. 入门

简介.....	8
操作步骤.....	8
器件数据: .....	8
准备.....	10
<b>B1506A 硬件配置</b> .....	10
主机和测试模块.....	10
电缆连接.....	10
测试夹具.....	12
<b>Easy Test Navigator 软件</b> .....	13
Easy Test Navigator 软件 .....	13
启动 Easy Test Navigator 软件.....	14
退出 Easy Test Navigator 软件.....	15
如何启动每种测量模式并返回托盘窗口 .....	15
保存和调用设置及测量数据 .....	16
退出设置.....	16
校准.....	17

本文档提供 B1506A 电路设计功率器件分析仪的 Easy Test Navigator 软件基本功能的分步操作，以便初次使用 B1506A 的 B1506A 用户开始执行基本测量。

## 操作步骤

分步操作步骤描述如何在演示场景下创建 B1506A 的数据表征功能设置，即设置 B1506A 并使用以下演示器件进行测量。

示例使用以下测试器件：

- IGBT: FGA180N33ATD
- MOSFET: IXTH1N250
- LDMOSFET: IRFP4004
- MOSFET: IXTX200N10L2N (用于电流负载)
- 超结 MOSFET: IPW50R109CE (仅供参考)
- 碳化硅 MOSFET: CMF20120D (仅供参考)
- IGBT 模块: 1MB1800U4B (仅供参考)

示例演示中使用的器件。



FGA180N33ATD  
IGBT



IXTH1N250  
HVMOS



IRFP4004  
HCMOS

器件数据：

以下是测量示例中使用的简化器件数据。

IGBT: FGA180N33ATD

- VCES: 330 V
- VCE(sat): 典型值 1.68 V @  $I_c = 180$  A
- ID 最大值: 450A @ 100  $\mu$ s 脉冲,  $V_C = 16$  V
- SOA: 7.5 kW @  $T_c = 25$  °C, 100  $\mu$ s 脉冲
- Vth: 2.5~5.5 V (典型值 = 4 V) @  $I_c = 250$   $\mu$ A
- Coss: 305 pF 典型值 @  $V_c = 30$  V

## MOSFET: IRFP4004Pbf

- VDSS: 40 V
- Rds(on): 典型值 1.35 m $\Omega$  (最大 1.70 m $\Omega$ ) @ Vgs = 10 V
- ID 最大值: 350A @ 100  $\mu$ s 脉冲, VD = 10 V  
1390 A @ Vd = 2.5 V
- SOA: 3.5 kW @ Tc = 25  $^{\circ}$ C, 100  $\mu$ s 脉冲
- Vth: 2~4 V @ Id = 250  $\mu$ A
- Coss: 2360 pF 典型值 @ Vd = 25 V

## 高压 MOSFET: IXTH1N250

- VDSS: 2500 V
- Rds(on): 最大 40  $\Omega$
- ID 最大值: 6 A @ 100  $\mu$ s 脉冲, 5 kW @ Tc = 25  $^{\circ}$ C
- SOA: 3 kW @ Tc = 25  $^{\circ}$ C, 100  $\mu$ s 脉冲
- Vth: 2~4 V @ Id = 250  $\mu$ A
- Coss: 77 pF 典型值 @ Vd = 25 V

## MOSFET: IXTX200N10L2

- VDSS: 100 V
- ID 最大值: 500 A @ 100  $\mu$ s 脉冲, VD = 35 V
- SOA: 17.5 kW @ Tc = 25  $^{\circ}$ C, 100  $\mu$ s 脉冲
- Rds(on): 11 m $\Omega$

此部分提供了准备演示的基本信息。

## B1506A 硬件配置

### 主机和测试模块

本指南使用具有以下配置的 B1506A。

图 1-1 显示 B1506A-H51 和 H71 主机的模块配置，包括以下测量模块。

- 插槽 1: MPSMU
- 插槽 2: MFCMU
- 插槽 3: MCSMU
- 插槽 4: MCSMU
- 插槽 5: MCSMU
- 插槽 6: MCSMU
- 插槽 7: HVSMU

图 1-1.

B1506A H-51 和 H71 的模块配置。

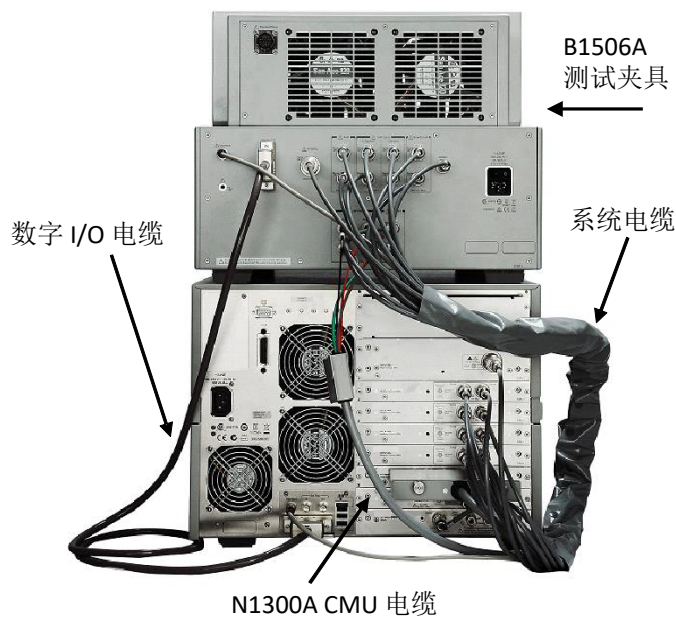


### 电缆连接

B1506A 使用以下三种成套电缆连接 B1506A 主机与 B1506A-H51 和 H71 测试夹具，如图 1-2 所示。

- 数字 I/O 电缆
- N1300A CMU 电缆
- 系统电缆（2x5 SMU 电缆、1x HVSMU 电缆、1x GNDU 电缆、1x 联锁电缆）

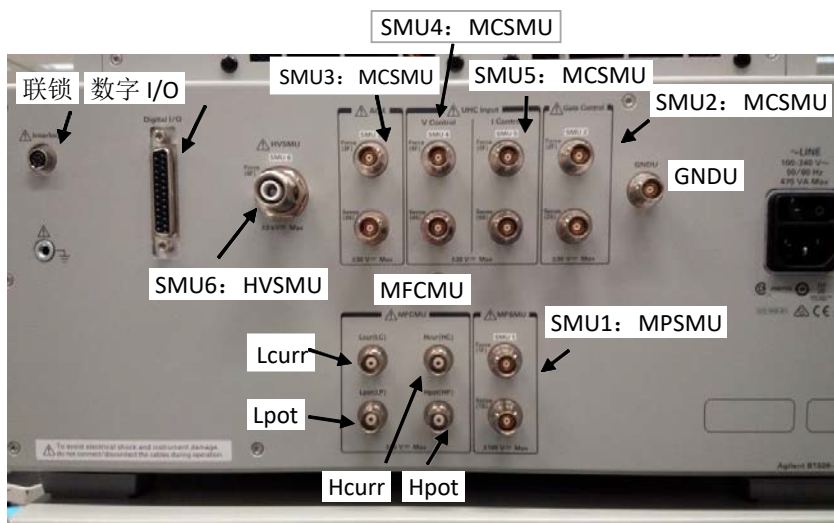
图 1-2 B1506A H51 和 H71 的电缆连接。



系统电缆中的每条电缆都带有标签，指示要连接的端子。（请参考图 1-2 和图 1-3。）

例如，标有 1F 的电缆连接到 SMU1 的 Force 端子，标有 1S 的电缆连接到 SMU1 的 Sense 端子。

图 1-3 B1506A-H51 和 H71 测试夹具的输入端口。



注意

对于未按图 1-2 所示配置的 B1506A-H21，请参考 B1506A 用户指南的安装部分进行电缆连接。

测试夹具

使用以下两种类型的测试夹具。

- 3 针直插式封装插座模块
- 栅极电荷插座适配器

图 1-4

Opt.F10 3 针直插式封装插座模块。



图 1-5

Opt.F14 栅极电荷插座适配器。



## Easy Test Navigator 软件

### Easy Test Navigator 软件

图 1-6 所示的 Easy Test Navigator 是 B1506A 的常驻软件，其启动屏幕是一个启动器，可切换到以下任一测量模式：

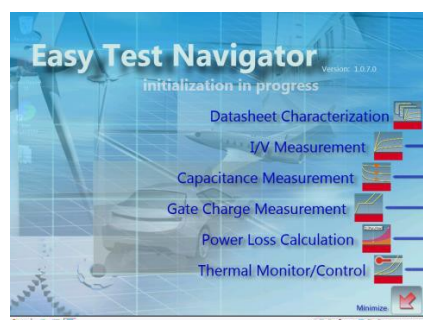
- 数据表表征
- IV 测量
- 电容测量
- 栅极电荷测量

还可以切换到以下软件。

- 功率损耗计算软件
- 温度监测/控制模式设置。

图 1-6

Easy Test Navigator 软件。



本快速入门指南提供有关如何使用该软件和进行测量的信息。

### 启动 Easy Test Navigator 软件

在启动 Easy Test Navigator 之前，请确认 B1506A 测试夹具的电源已打开。

要启动 Easy Test Navigator，请在 MS Windows 的开始菜单中选择 Keysight Easy Test Navigator 下的 Easy Test Navigator（图 1-7 (a)）。

随即会出现 Easy Test Navigator 启动面板（图 1-7 (b)），随后移动到名为 Easy Test Navigator 托盘的主面板（图 1-7 (c)）。Easy Test Navigator 启动时，B1506A 会进行初始化。在 B1506A 的初始化过程中，initialization in progress 的标签闪烁，各测量模式的选择栏处于禁用状态。

图 1-7

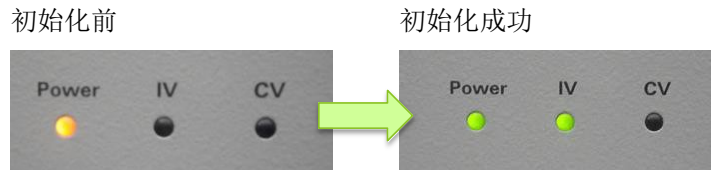
从开始菜单中选择 Easy Test Navigator。



在初始化过程中，如果初始化成功完成，B1506A 测试夹具前面板上的 LED 灯会从橙色变为绿色，如图 1-8 所示。如果初始化失败，电源 LED 灯保持橙色。

图 1-8

初始化后 LED 指示灯变为绿色。



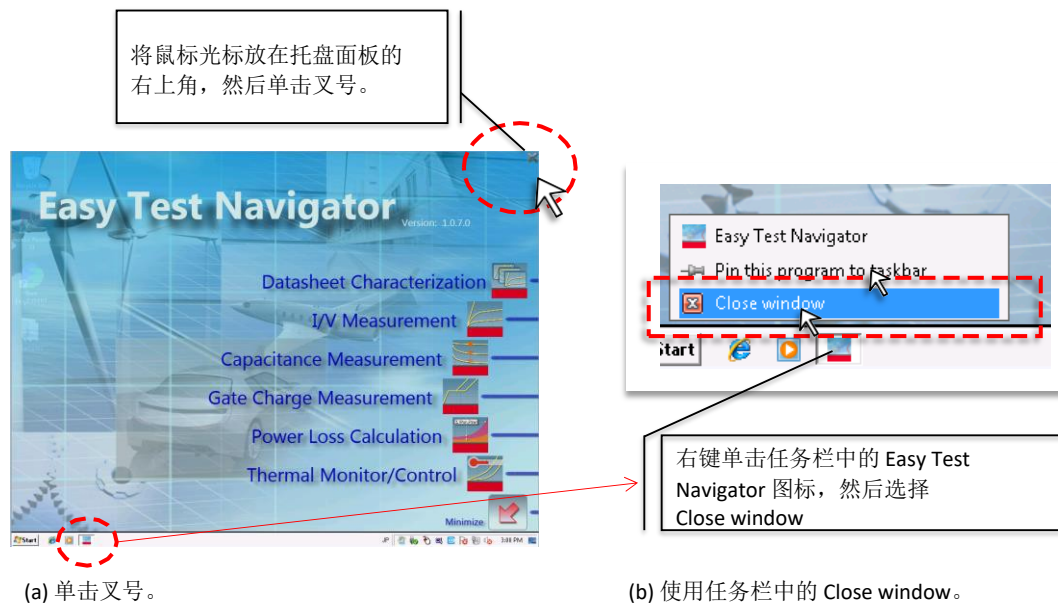
## 退出 Easy Test Navigator 软件

有两种方法可以退出 Easy Test Navigator。

一种方法是将鼠标光标移动到托盘面板的右上角，单击此时出现的叉号（图 1-9 (a)）。

另一种方法是右键单击任务栏中的 Easy Test Navigator 图标，然后从列表中选择 Close window，如图 1-9 (b) 所示。

图 1-9 退出 East Test Navigator 的两种方法。



注意：

图 1-9 (b) 的方法可以退出每种测量模式。

## 如何启动每种测量模式并返回托盘窗口

如何启动每种测量模式：

要启动每种测量模式，请将鼠标光标放在目标测量模式的标签上并单击标签。

如何返回托盘窗口：

要从单个测量模式返回到托盘窗口，请单击窗口顶部的 Go to Pallet 图标，如图 1-10 (a) 所示。

图 1-10 每种测量模式的托盘图标用于返回 Easy Test Navigator 的托盘面板。



### 保存和调用设置及测量数据

可以用指定文件名将测量设置及测量数据保存和调用到 Windows 文件系统中的指定文件夹中，如图 1-10 (b) 所示。

### 退出设置

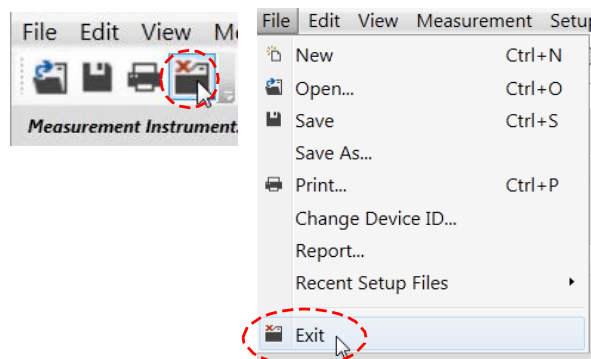
可以通过单击菜单栏或文件菜单中的 Exit 图标退出设置窗口，如图 1-11 所示。

### 注意：

退出设置时，现有窗口或面板中所有未保存的数据都不会保存。

请注意，单击 Go to Pallet 时会保持该设置，直到您退出设置面板或窗口。

图 1-11 退出设置面板。



## 校准

电容测量模式和栅极电荷测量模式均提供校准功能。这些校准可以提高测量精度，但由于校准对于 Easy Test Navigator 的功能演示并非必需，因此操作演示课程中并不执行校准。

这些校准程序包含在每个测试模块的以下校准部分中。

### 电容校准：

请参考第 4 章中的“电容补偿数据测量”。

### 栅极电荷校准：

请参考第 5 章中的“栅极电荷测量校准”。

入门

## 2. 数据表表征

概述.....	23
数据表表征模式.....	23
器件测量参数.....	26
基本功能.....	32
数据表表征 GUI.....	32
基本功能.....	33
测量功率器件数据表特性的步骤.....	34
IGBT 测量示例.....	37
器件和测试夹具.....	37
示例中使用的器件.....	37
IV 和 CV 测试插座模块.....	37
栅极电荷测试插座适配器.....	38
测量步骤.....	40
步骤 1 启动数据表表征模式.....	40
步骤 2 创建新的数据表定义.....	41
步骤 3 输入器件信息.....	42
步骤 4 输入最大额定值.....	44
步骤 5 为特性参数部分创建设置.....	46
5.1 BVCES.....	46
如何设置 BVCES 测试条件参数.....	46
如何设置详细的 I/V 测量参数.....	47
BVCES 测量设置的验证.....	50
5.2 ICES.....	52
设置 ICES 测试条件和 I/V 测量参数.....	52
ICES 测量设置的验证.....	53
5.3 IGES.....	54
如何设置 IGES 测量参数.....	54
IGES 测量设置的验证.....	56
5.4 VGE(th).....	57
如何设置 VGE(th) 测量参数.....	57
VGE(th) 测量设置的验证.....	59
5.5 VCE 恒定时的 VGE(th).....	60

	5.6 VCE(sat) .....	64
	IC = 40 A 的 VCE(sat) 测试条件 .....	64
	VCE(sat) @ IC = 40 A 测量设置的验证 .....	67
	IC = 180 A 的 VCE(sat) 测试条件 .....	67
	VCE(sat) @ IC = 180 A 测量设置的验证 .....	69
	5.6 跨导 (gfs) .....	70
	5.7 续流二极管 VF .....	72
	如何设置 VF 测量参数 .....	72
	VFM 测量设置的验证 .....	74
	5.9 其他 IV 参数 .....	75
	5.10 内部栅极电阻 (Rg) .....	75
	如何设置 Rg 测量参数 .....	76
	5.11 电容 (Cies、Coes、Cres) .....	80
	如何设置电容测量参数 .....	80
	Cies 电容测量设置的验证 .....	82
	Coes、Cres 电容测量设置的验证 .....	82
	5.12 栅极电荷 (Qg、Qge、Qgc) .....	83
	如何设置栅极电荷测量参数 .....	83
	如何选择电流负载 FET .....	84
	Qg 设置 .....	85
	Qg 测量设置的验证 .....	87
	Qge、Qgc 设置 .....	87
	如何删除栅极平台电压 Vge(pl) .....	88
步骤 6	为特性图部分创建设置 .....	89
	6.1 IC-VCE 特性 .....	90
	如何设置 IC-VCE 图形测量参数 .....	90
	IC-VCE 测量设置的验证 .....	93
	6.2 IC-VGE 传输特性 .....	95
	如何设置 IC-VGE 图形测量参数 .....	95
	6.3 VCE-VGE 特性 - VCE(sat) .....	103
	如何设置 VCE-VGE 图形测量参数 .....	103
	6.4 VF 续流二极管正向特性 .....	111
	如何设置 VF 图形测量参数 .....	111
	IF-VF 测量设置的验证 .....	112
	6.5 其他 IV 特性 .....	114
	6.6 CV 特性 .....	114
	如何设置 CV 图形测量参数 .....	114

CV 测量设置的验证.....	116
6.7 Vge-Qg 栅极特性.....	117
如何设置 Qg 图形测量参数.....	117
Qg 测量设置的验证.....	118
如何设置第 2 个 Qg 图形测量.....	118
第 2 个 Qg 测量设置的验证.....	119
步骤 7 更新整个设置.....	119
步骤 8 运行整个参数和图形的测试.....	120
步骤 9 审查和检查测量结果的打印图像.....	130
步骤 10 打印数据表.....	133
步骤 11 从多个测试结果文件创建摘要报告.....	136
关于使用数据表表征模式的有用信息.....	139
自定义数据表设置的相关提示.....	139
提示：如何更改器件的图片.....	139
提示：如何更改符号名称和描述.....	139
提示：如何向最大额定值中添加新项目.....	140
提示：如何向特性参数中添加最小/最大限值.....	140
提示：如何更改测试条件与测量设置之间的关联.....	141
提示：如何删除项目.....	144
提示：如何还原已删除的项目.....	144
提示：如何复制现有设置.....	145
提示：如何更改设置中的锁定参数.....	145
提示：如何通过修改现有项目创建新项目.....	146
提示：如何从测量设置创建新项目.....	150
提示：如何从其他测量设置导入数据.....	155
提示：如何合并不同数据表设置的数据.....	156
提示：如何更改连接图.....	156
提示：如何更改测量顺序.....	156
提示：如何跳过指定项目.....	156
提示：如何使用热监测/控制功能在指定温度下测量 IV、CV 和 Qg.....	157
提示：如何在结果超过限值时停止测量.....	157
UHCU 详细信息和测量提示.....	158
如何为 VCE(sat) 设置 UHCU 的 V/I 参数.....	158
如何设置电压强制模式设置.....	160
使用 UHCU 的 IC-VGE 输出特性测量.....	161

如何更改 $R_g$ 测量的连接 .....	164
集电极/漏极开路状态的连接.....	164
集电极/漏极和发射极/源极短路状态的连接 .....	165
集电极/漏极和发射极/源极短路状态的连接 .....	165
电容测量提示.....	167
提示：如何测量大电容 .....	167
提示：如何提高测量精度 .....	167
提示：降低测量频率时的电容数据相关性 .....	167
测量理论和测量功能的详细说明 .....	168
电容测量技术.....	168
栅极电荷测量基础知识.....	171
$Q_g$ 测试中的 SOA 和电流负载 FET .....	172
如何确定 $I_g$ 以测量栅极电荷 .....	173
如何使用示波器视图功能.....	174

# 概述

B1506A 的数据表表征功能可自动测量器件数据表中描述的一系列电气参数，包括静电参数、电容参数、栅极电荷 (Qg) 参数，以及这些参数的特性图。

## 数据表表征模式

此功能如图 2-1 所示，其中左侧的图 2-1 (a) 所示的器件数据表可以按右侧的图 2-1 (b) 所示进行测量和打印。

图 2-1 数据表表征模式的操作图像。

Datasheet  
FGA\_XYZN33

**Features**

- High Current Capability
- Low Saturation Voltage
- RoHS Compliant

**Applications**

- High Speed Power Switching
- High Efficiency Regulators

**Absolute Maximum Ratings**

Symbol	Parameter	Max.	Units
$I_D$	Continuous Drain Current, $V_{DS} \leq 10V$ (Silicon Limited)	350	A
$I_D$	Continuous Drain Current, $V_{DS} \leq 10V$ (Silicon Limited)	250	A
$I_D$	Continuous Drain Current, $V_{DS} \leq 10V$ (Wire Bond Limited)	165	A
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current	1390	A
$P_{tot}$	Maximum Power Dissipation	380	W

**Static Characteristics**

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{DS(BR)}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	40	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$V_{DS(BR)ST}$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.095	—	%/°C	Reference to 25°C, $I_D = 5mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	1.35	1.70	m $\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 195A$
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	—	4.0	—	V	$I_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	20	—	$\mu A$	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 30V$
$I_{DSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	200	—	nA	$V_{GS} = 40V, V_{DS} = 30V, T_J = 125^\circ C$
$I_{DSS}$	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	200	—	nA	$V_{GS} = -30V$

**Dynamic Characteristics**

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$g_{fs}$	Forward Transconductance	200	—	330	S	$V_{GS} = 10V, I_D = 195A$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	220	330	nC	$I_D = 195A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	59	—	nC	$V_{GS} = 20V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	75	—	nC	$V_{GS} = 10V$
$Q_{gsw}$	Total Gate Charge Sync. ( $Q_g + Q_{gd}$ )	—	145	—	nC	$I_D = 195A, V_{GS} = 40V, V_{DS} = 10V$
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	8600	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	2360	—	pF	$V_{GS} = 20V$
$C_{res}$	Reverse Transfer Capacitance	—	190	—	pF	$f = 1.0MHz$
$C_{oss} \text{ eff. (ERR)}$	Effective Output Capacitance (Energy Related)	—	2960	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V \text{ to } 30V$
$C_{oss} \text{ eff. (TRR)}$	Effective Output Capacitance (Time Related)	—	3110	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V \text{ to } 30V$

数据表示例!

General Information

- $V_{DS5}$ : 330 V
- ID: 350 A
- Rds (on): 2 m $\Omega$  typ. 3 m $\Omega$  max.

(a) 器件数据表图像

Part Number: FGA\_XYZN33  
Device ID: DEV1  
Description: IR  
Operator: NONAME  
Measurement Instrument: B1506A

**Maximum Ratings**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Value	Unit	Note
$V_{DS5}$	Drain to Source Voltage	$T_J = 25^\circ C \text{ to } 150^\circ C$	40	V	
$V_{GS5}$	Gate to Source Voltage	Continuous	-20 to 20	V	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current	$T_C = 25^\circ C$	1390	A	
$I_{SM}$	Pulsed Body Diode Current	$T_C = 25^\circ C$	1390	A	

**Characteristics Parameters**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Act.	Max.	Unit	Note
$BV_{DS5}$	Drain to Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0V, I_D = 250 \mu A$	40	44.9	—	V	
$IDSS$	Drain Leakage Current	$V_{DS} = 40V, V_{GS} = 0V$	19.1 n	—	20	$\mu A$	A
$IGSS(-)$	Gate Leakage Current (-)	$V_{GS} = 20V, V_{DS} = 0V$	50 p	—	200	n	A
$IGSS(+)$	Gate Leakage Current (+)	$V_{GS} = -20V, V_{DS} = 0V$	-200 n	—	-10.4	n	A
$V_{GS(th)}$	Gate to Source Threshold Voltage ( $V_{DS} = V_{GS}$ )	$I_D = 250 \mu A$	2	3.3	4	V	
$R_{DS(on)}$	Drain to Source On Resistance	$V_{GS} = 10V, I_D = 195A, \text{PulseWidth} = 200 \mu s$	1.46 m	—	1.7	m	ohm typ. 1.35m
$V_{DS(on)}$	Drain to Source On Voltage	$V_{GS} = 10V, I_D = 195A, \text{PulseWidth} = 200 \mu s$	286 m	—	800	m	V
$V_{SD}$	Body Diode Forward Voltage	$V_{GS} = 0V, I_S = 195A, \text{PulseWidth} = 200 \mu s$	977 m	—	1.3	V	
$R_g$	Gate Resistance	$V_{GS} = 0V, f = 100 \text{ kHz}$	5.22	—	—	ohm	typ. 6.8 ohm
$C_{iss}$	Input Capacitance	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1 \text{ MHz}$	9.59 n	—	—	F	typ. 8920pF
$C_{oss}$	Output Capacitance	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1 \text{ MHz}$	2.32 n	—	—	F	typ. 2360pF
$C_{res}$	Reverse Transfer Capacitance	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1 \text{ MHz}$	1.04 n	—	—	F	typ. 930pF
$Q_g$	Total Gate Charge	$V_{GS(on)} = 10V, V_{GS(off)} = 0V, V_{DS} = 20V, I_D = 195A$	212 n	—	330 n	C	typ. 220nC
$Q_{gs}$	Gate to Source Charge	$V_{GS} = 20V, I_D = 195A, V_{GS(off)} = 0V, V_{DS} = 20V, I_D = 195A$	62.9 n	—	—	C	typ. 59nC
$Q_{gd}$	Gate to Drain Charge	$V_{GS(on)} = 10V, V_{GS(off)} = 0V, V_{DS} = 20V, I_D = 195A, V_{GS(off)} = 0V, V_{DS} = 20V, I_D = 195A$	78 n	—	—	C	typ. 75nC
$V_{GS(pl)}$	Gate to Source Plateau Voltage	$V_{GS(on)} = 10V, V_{GS(off)} = 0V, V_{DS} = 20V, I_D = 195A$	6.04	—	—	V	

Output Characteristics

Body Diode Forward Characteristics

(b) 数据表表征输出图像

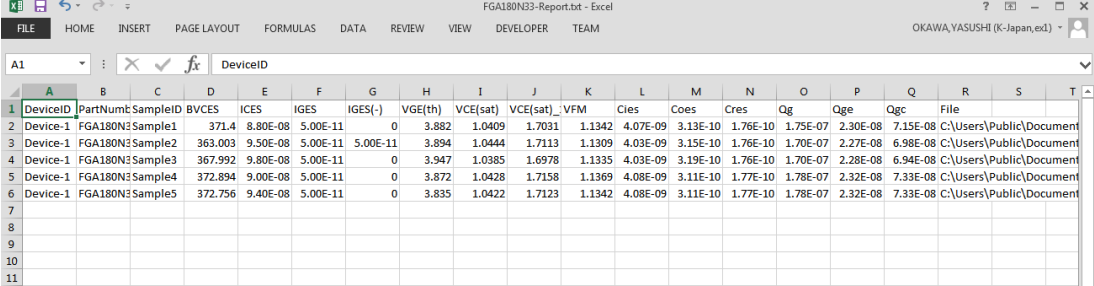
23

## 数据表表征

在数据表表征模式下，可以使用从多个数据表文件创建摘要报告的功能。

图 2-2 显示导入到电子表格应用程序中的摘要报告示例（摘要报告采用以制表符分隔的变量格式创建）。

图 2-2 导入到电子表格应用程序中的摘要报告



DeviceID	PartNum	SampleID	BVCS	ICES	IGES	IGES(-)	VGE(th)	VCE(sat)	VCE(sat)_VFM	Cies	Coes	Cres	Qg	Qge	Qgc	File
Device-1	FGA180N3	Sample1	371.4	8.80E-08	5.00E-11	0	3.882	1.0409	1.7031	1.1342	4.07E-09	3.13E-10	1.76E-10	1.75E-07	2.30E-08	7.15E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample2	363.003	9.50E-08	5.00E-11	5.00E-11	3.894	1.0444	1.7113	1.1309	4.03E-09	3.15E-10	1.76E-10	1.70E-07	2.27E-08	6.98E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample3	367.992	9.80E-08	5.00E-11	0	3.947	1.0385	1.6978	1.1335	4.03E-09	3.19E-10	1.76E-10	1.70E-07	2.28E-08	6.94E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample4	372.894	9.00E-08	5.00E-11	0	3.872	1.0428	1.7158	1.1369	4.08E-09	3.11E-10	1.77E-10	1.78E-07	2.32E-08	7.33E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample5	372.756	9.40E-08	5.00E-11	0	3.835	1.0422	1.7123	1.1342	4.08E-09	3.11E-10	1.77E-10	1.78E-07	2.32E-08	7.33E-08 C:\Users\Public\Document

创建数据表表征模式设置的步骤在标题为“基本功能”的后续部分中进行描述。

**注意：** 支持的器件类型

一开始，数据表表征模式涵盖以下五种类型的器件：

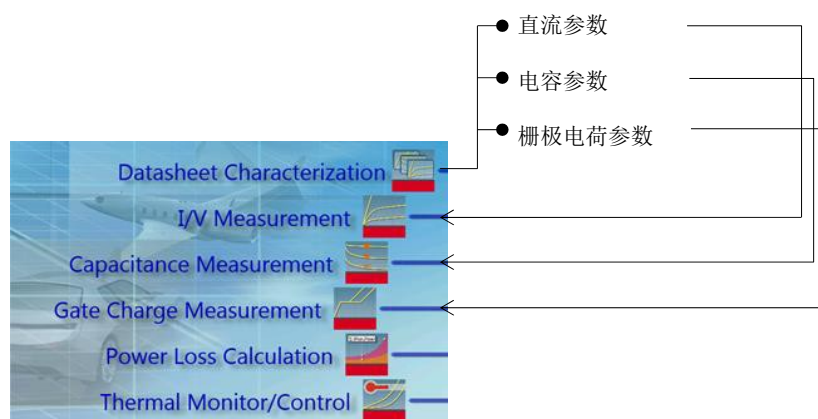
- 功率 MOSFET
- IGBT
- BJT
- 二极管
- 元器件

**注意：** 软件关系

数据表表征测量以下三组参数，即直流、电容和栅极电荷。这些参数是使用三种测量模式作为测量引擎测得的，如图 2-3 所示。

由于数据表表征功能使用这些测量模式，因此本章也解释了其中的一部分测量模式。

图 2-3 数据表表征中使用的测量模式



## 器件测量参数

数据表表征模式支持以下五种器件类型的参数。

### MOSFET 参数

MOSFET 器件类型支持以下器件参数和器件特性图表。

表 2-1

MOSFET 的可测量参数和图表

参数	描述
BVDSS	漏极-源极击穿电压
IDSS	漏极漏电流
IGSS(+)	栅极漏电流 (栅极正向偏置)
IGSS(-)	栅极漏电流 (栅极反向偏置)
VGS(th)	栅极阈值电压 (VGS = VDS)
VGS(th)	栅极阈值电压 (恒定 VDS)
gfs*	跨导
RDS(on)	漏极-源极导通电阻
VDS(on)	漏极-源极导通电压
VSD	体二极管正向电压
Rg	内部栅极电阻
Ciss	输入电容
Coss	输出电容
Crss	反向传输特性
Qg	总栅极电荷
Qgs	栅极-源极电荷
Qgs	栅极-漏极电荷
Vgs(pl)	栅极-源极平台电压

图形	描述
ID-VDS	VGS 变化时的 ID-VDS 曲线
ID-VGS	VDS 恒定时的 ID-VGS 曲线
Gfs-VGS*	VDS 恒定时的 Gfs-VGS 曲线
RDS(on)-ID	VGS 变化时的 RDS(on)-ID 曲线
RDS(on)-VGS	ID 变化时的 RDS(on)-VGS 曲线
VDS-VGS	ID 变化时的 VDS-VGS 曲线
IS-VS	内置二极管的正向电流特性
C-V	电容-VDS 曲线 (包括 Ciss、Coss 和 Crss)
Qg-Vgs	栅极电荷-VGS 曲线

\*仅限 B1506A-H20/H21

## IGBT 参数

IGBT 器件类型支持以下器件参数和器件特性图。

表 2-2

## IGBT 的可测量参数

参数	描述
BVCES	集电极-发射极击穿电压
ICES	集电极漏电流
IGES(+)	栅极漏电流 (栅极正向偏置)
IGES(-)	栅极漏电流 (栅极反向偏置)
VGE(th)	栅极阈值电压 (VGE = VCE)
VGE(th)	栅极阈值电压 (恒定 VCE)
gfs*	跨导
VF	续流二极管正向电压
Rg	内部栅极电阻
Cies	输入电容
Coes	输出电容
Cres	反向传输特性
Qg	总栅极电荷
Qgs	栅极-发射极电荷
Qgc	栅极-集电极电荷
Vge(pl)	栅极-发射极平台电压

图形	描述
IC-VCE	VGE 变化时的 IC-VCE 曲线
IC-VGE	VCE 恒定时的 IC-VGE 曲线
gfs-VGE*	VCE 恒定时的 Gfs-VGE 曲线
VCE-VGE	VCE(sat) 集电极饱和电压
IF-VF	续流二极管正向特性
VCE-VGE	IC 变化时的 VCE-VGE 曲线
C-V	电容-VCE 曲线 (包括 Cies、Coes 和 Cres)
Qg-Vge	栅极电荷-VGE 曲线

\*仅限 B1506A-H20/H21

BJT 参数

BJT 器件类型支持以下器件参数和器件特性图。

表 2-3

BJT 的可测量参数

参数	描述
ICEO	集电极截止电流
IEBO	发射极截止电流
hft*	直流电流增益
VCE(sat)	集电极-发射极饱和电压
VBE(sat)	基极-发射极饱和电压
VBE(on)	基极-发射极导通电压
V(BR)CEO	集电极-发射极击穿电压
V(BR)EBO	集电极-基极击穿电压

图形	描述
IC-VCE	IB 变化时的 IC-VCE 曲线
hfe-IC*	VCE 恒定时的 hft-I 曲线
VBE-IC*	VCE 恒定时的 VBE-IC 曲线

\*仅限 B1506A-H20/H21

二极管参数

二极管器件类型支持以下器件参数和器件特性图。

表 2-4

二极管的可测量参数

参数	描述
VDC	直流阻断电压
VF	正向电压
IR	反向电流
C	总电容

图形	描述
IF-VF	正向特性
IR-VR	反向特性
C-V	电容-反向电压特性

## 元器件参数

元器件类型的每个器件都支持以下器件参数和器件特性图。

表 2-5

## 元器件的可测量参数

元器件类型：电感器

参数	描述
L	零偏置电流时的电感
RDC	直流电阻

元器件类型：电容器

参数	描述
C	零偏置电压时的电容
C (biased)	电压系数电容
Leak	漏电流
R (insulation)	绝缘电阻

图形	描述
C-V	电容-电压特性

元器件类型：分流电阻器

参数	描述
R	指定电流下的电阻

元器件类型：电阻器

参数	描述
R	指定电压下的电阻

元器件类型：连接器

参数	描述
R (contact)	接触电阻
BV	耐电压
Leak	漏电流
R (insulation)	绝缘电阻
C (insulation)	绝缘电容

图形	描述
R-I	接触电阻与传导电流
C-V	绝缘电容与绝缘电压

元器件类型：电缆

参数	描述
C	电容
R (insulation)	绝缘电阻
R (conduction)	传导电阻

图形	描述
R-I	接触电阻与传导电流

元器件类型：继电器

参数	描述
R (contact)	接触电阻
R (coil)	线圈电阻
R (open contacts)	开路触点之间的绝缘电阻
R (coil-contact)	线圈与触点之间的绝缘电阻
V (pick-up)	吸合/置位电压
V (drop-out)	释放/复位电压
I (operating)	工作电流
C (open contacts)	开路触点之间的电容
C (coil-contact)	线圈与触点之间的电容

图形	描述
R-I	传导电阻与传导电流

元器件类型：光电耦合器

参数	描述
V <sub>F</sub>	LED 正向电压
I <sub>R</sub>	LED 反向电流
C <sub>T</sub>	LED 总电容
BV <sub>CEO</sub>	检测器集电极-发射极击穿电压
BV <sub>ECO</sub>	检测器发射极-集电极击穿电压
I <sub>CEO</sub>	检测器集电极暗电流
C <sub>ce</sub>	检测器集电极-发射极电容
V <sub>CE(sat)</sub>	检测器集电极-发射极饱和电压
C <sub>S</sub>	输入-输出电容
R <sub>S</sub>	绝缘电阻
BV <sub>S</sub>	绝缘电压

图形	描述
IF-VF	正向电流与正向电压
IFP-VFP	脉冲正向电流与脉冲正向电压
IC-VCE	集电极电流与集电极-发射极电压
IC-IF	集电极电流与正向电流
Cce-VCE	集电极-发射极电容与集电极-发射极电压

元器件类型：固态继电器

参数	描述
VF	LED 正向电压
VR	LED 反向电压
IF (on)	LED 工作电流
IF (off)	LED 关断电流
R (on)	导通电阻
I (leak)	关断状态漏电流
C (out)	输出电容
C (iso)	I/O 电容
R (iso)	I/O 绝缘电阻

图形	描述
IF-VF	正向电流与正向电压
IL-V	输出电流与输出电压
I(off)-VL	关断状态漏电流与负载电压
C(out)-VL	输出电容与负载电压

# 基本功能

## 数据表表征 GUI

数据表表征模式图形用户界面 (GUI) 如图 2-4 所示。

图 2-4

数据表表征 GUI。

The screenshot shows a software interface for MOSFET characterization. It is divided into four main sections, each highlighted with a red box and a numbered callout:

- 1. Identification Data Region:** A form for entering device and operator information. Fields include:
  - Part Number: FGA180N33ATD
  - Sample ID: Sample 3 (LOT 1D38AH)
  - Description: 330 V, 180 A PDP Trench IGBT
  - Operator: operator2173
  - Measurement Instrument: B1106AH71
- 2. Maximum Ratings Data Region:** A table showing maximum ratings for various parameters.
 

Symbol	Parameter	Test Conditions	Value	Unit	Note
V <sub>CEs</sub>	Collector to Emitter Voltage	T <sub>j</sub> =55 °C to 150 °C	330	V	
V <sub>GES</sub>	Gate to Emitter Voltage	Continuous	-30 to 30	V	
I <sub>CM</sub>	Pulsed Collector Current	T <sub>c</sub> =25 °C	450	A	Pulse width 100µs, Duty...
I <sub>FM</sub>	Pulsed Free-wheeling Diode Current	T <sub>c</sub> =25 °C	450	A	
- 3. Characteristics Parameters Region:** A table for defining test conditions and characteristics parameters.
 

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Act.	Max.	Unit	Note
<input checked="" type="checkbox"/> BV <sub>CEs</sub>	Collector to Emitter Breakdown Volt...	V <sub>GE</sub> =0 V, I <sub>C</sub> =400 µA	330	362		V	
<input checked="" type="checkbox"/> IC <sub>ES</sub>	Collector Leakage Current	V <sub>CE</sub> =330 V, V <sub>GE</sub> =0 V	67 n		400 µ	A	
<input checked="" type="checkbox"/> IG <sub>ES</sub>	Gate Leakage Current	V <sub>GE</sub> =30 V, V <sub>CE</sub> =0 V	50 p		400 n	A	
<input checked="" type="checkbox"/> IG <sub>ES(-)</sub>	Gate Leakage Current (-)	V <sub>GE</sub> =-30 V, V <sub>CE</sub> =0 V	-400 n	0		A	
<input checked="" type="checkbox"/> V <sub>CE(th)</sub>	Gate to Emitter Threshold Voltage (...)	I <sub>C</sub> =250 µA	2.5	3.9	5.5	V	Typ. 4.0 V
<input checked="" type="checkbox"/> V <sub>CE(sat)</sub>	Collector to Emitter Saturation Volt...	V <sub>GE</sub> =15 V, I <sub>C</sub> =40 A, PulseWidth=200 µs	1.04	1.4		V	Typ. 1.1 V
<input checked="" type="checkbox"/> V <sub>CE(sat)_1</sub>	Collector to Emitter Saturation Volt...	V <sub>GE</sub> =15 V, I <sub>C</sub> =180 A, PulseWidth=200 µs	1.71	2		V	Typ. 1.1 V
<input checked="" type="checkbox"/> V <sub>FM</sub>	Free-wheeling Diode Forward Voltage	V <sub>GE</sub> =0 V, I <sub>F</sub> =20 A, PulseWidth=200 µs	1.12	1.6		V	Typ. 1.2 V
<input checked="" type="checkbox"/> C <sub>ies</sub>	Input Capacitance	V <sub>GE</sub> =0 V, V <sub>CE</sub> =30 V, f <sub>s</sub> =100 kHz	4.1 n			F	Typ. 3880 pF
<input checked="" type="checkbox"/> C <sub>oes</sub>	Output Capacitance	V <sub>GE</sub> =0 V, V <sub>CE</sub> =30 V, f <sub>s</sub> =100 kHz	308 p			F	Typ. 305 pF
<input checked="" type="checkbox"/> C <sub>res</sub>	Reverse Transfer Capacitance	V <sub>GE</sub> =0 V, V <sub>CE</sub> =30 V, f <sub>s</sub> =100 kHz	177 p			F	Typ. 180 pF
<input checked="" type="checkbox"/> Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	V <sub>ge(on)</sub> =15 V, V <sub>ge(off)</sub> =0 V, V <sub>ce</sub> =200 V, I <sub>c</sub> =40 A	177 n			C	Typ. 169 nF
<input checked="" type="checkbox"/> Q <sub>ge</sub>	Gate to Emitter Charge	V <sub>ge(on)</sub> =15 V, V <sub>ge(off)</sub> =0 V, V <sub>ce</sub> =200 V, I <sub>c</sub> =40 A	23.4 n			C	Typ. 22 nC
<input checked="" type="checkbox"/> Q <sub>gc</sub>	Gate to Collector Charge	V <sub>ge(on)</sub> =15 V, V <sub>ge(off)</sub> =0 V, V <sub>ce</sub> =200 V, I <sub>c</sub> =40 A	73.2 n			C	Typ. 69 nC
- 4. Characteristics Graphs Region:** Two graphs showing device characteristics.
  - Output Characteristics:** Collector Current vs. V<sub>CE</sub> for various V<sub>GE</sub> values (9V, 10V, 15V, 20V, 7V, 6V).
  - Transfer Characteristics (MPSMU):** Collector Current vs. V<sub>GE</sub> showing the switching point.

GUI 包含以下四个部分（请参考图中相应的编号）：

1. 器件标识数据区域。  
在此区域中输入器件和操作人员信息。
2. 最大额定值数据区域。  
在此区域中输入器件的最大额定值。  
当设置测试条件时，测试设置使用这些参数作为最大限值。
3. 器件特性参数区域。  
该区域定义要测量的实际器件参数和测试参数。
4. 器件特性图区域。

该区域定义要测量的特性图、测试条件和输出图形标度。

**注意：** 在 BVDES 或 BVCES 等击穿测试中，测试设置在默认设置（通常为 3 kV）中使用比最大额定值更高的合规电压，因为实际击穿电压高于最大额定值。  
指定的集电极电流不应损坏器件。

## 基本功能

数据表测量模式提供以下测试支持和编辑功能。

- ✓ 保护测试器件。  
测试设置自动受最大额定值限制，器件在其运行范围内的安全条件下运行。
- ✓ 自动检查最小和最大参数限值。  
系统会自动检查测量参数是否在最小和最大限值范围内。如果测量数据超出限值，则测量参数在显示屏中显示为红色。
- ✓ 修改测量条件的功能。可以在详细测量设置窗口中更改测量条件。
- ✓ 取消选择测量中指定参数的功能。开始测量时，您可以选择从数据表表征测试文件中取消选择某个参数。当只需要进行有限的测试来测量时，此功能很有用。
- ✓ 复制现有器件特性参数的功能，以便在不同的测试条件下进行测量。  
可以复制预定义测试，并将其添加为不同测试条件下的另一个测试。
- ✓ 导入单独测量数据的功能。  
如果测量类型相同，则可以在当前设置中导入现有数据，包括测量数据。
- ✓ 上移/下移测量项目。  
可以更改测量顺序。
- ✓ 添加新测试参数  
可以根据现有的 IV、CV 和 Qg 数据添加新的测试参数。
- ✓ 修改现有参数以创建新参数的功能。  
可以通过修改现有参数来创建新参数。

注意： 有关如何添加新参数的信息，请参考标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“自定义数据表设置的相关提示”部分。

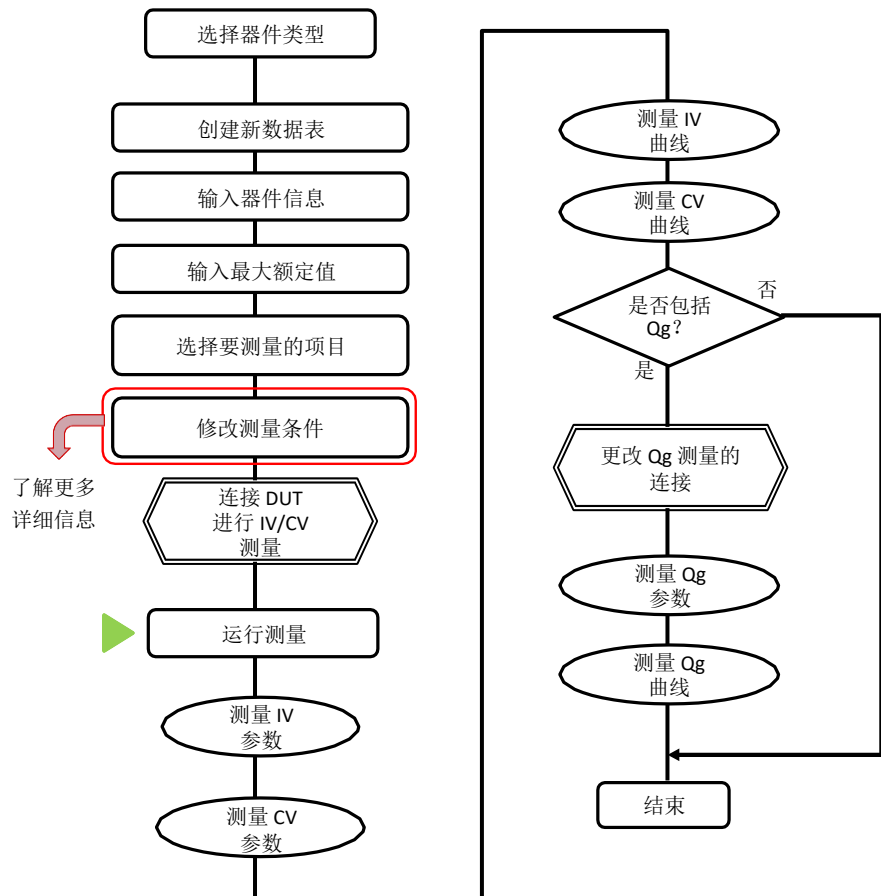
### 测量功率器件数据表特性的步骤

图 2-5 描述了测量数据表特性的典型流程。

如果特定器件的设置可用，则可以重复使用该设置，而且可以跳过修改测量条件的步骤。

在测量过程中，需要手动更改从 IV/CV 测量测试模块到 Qg 测量插座适配器的连接。

图 2-5 运行数据表表征模式的典型流程。



## 测量条件修改详情

图 2-5 中的“修改测量条件”步骤实际上是设置图 2-4 中 3、4 参数块内各参数和图形项目中的参数。

每个行项目和这些项目的图形被分解为如图 2-6 所示的详细测量设置窗口。

如图 2-7 所示，在测试器件的初始设置阶段对所有器件参数重复每个参数的详细设置。

图 2-6 每个器件参数的详细测量设置窗口示例。

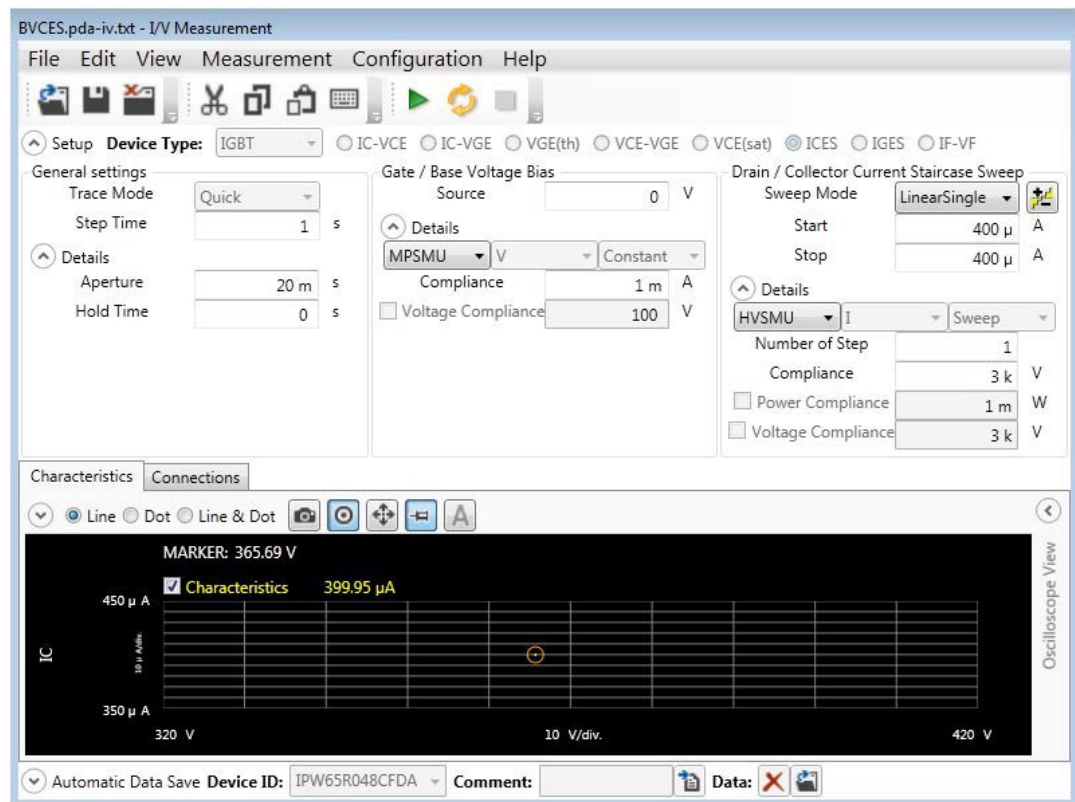
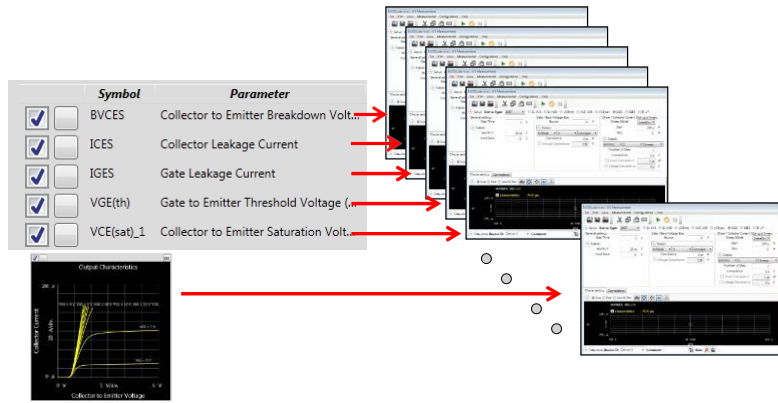


图 2-7 对每个参数重复详细测量设置。



## IGBT 测量示例

### 器件和测试夹具

#### 示例中使用的器件

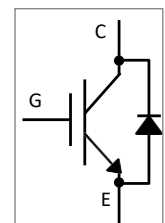
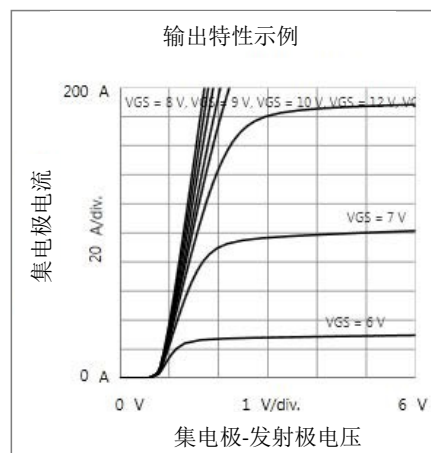
在此部分中，测试器件以分立式 IGBT FGA180N33ATD 为例。（参见右图）。

该器件具有以下基本特性。

- ✓ VCES: 330 V
- ✓ VGES: +/-30 V
- ✓ IC: 180 A (直流), 450 A (脉冲)



FGA180N33ATD  
IGBT



数据表表征功能的每个测量参数的测试条件都取自器件的数据表。

#### IV 和 CV 测试插座模块

要测量 IV 和 CV 特性，请使用 B1506A Opt.F10 3 针直插式封装插座模块，如图 2-8 所示。

图 2-8 B1506A Opt.F10 3 针直插式封装插座模块，插座上安装 IGBT。



### 栅极电荷测试插座适配器

要测量栅极电荷参数，请使用 B1506A Opt.F14 栅极电荷测量适配器，如图 2-9 所示。

在此部分中，采用恒流负载法测量被测器件 (DUT) 的栅极电荷。左侧 TO 插座用于连接电流负载 FET (IXTH200N)。DUT 连接到右侧 TO 插座。

#### 注意：

要测量连接到 TO 插座的 DUT 的  $Q_g$ ，DUT 选择器开关必须置于 Internal Package。此外，短路棒必须连接到集电极/漏极 Sense 端子以进行外部 DUT 测量，如图 2-10 所示。

图 2-9 B1506A Opt.F14 栅极电荷测量适配器。

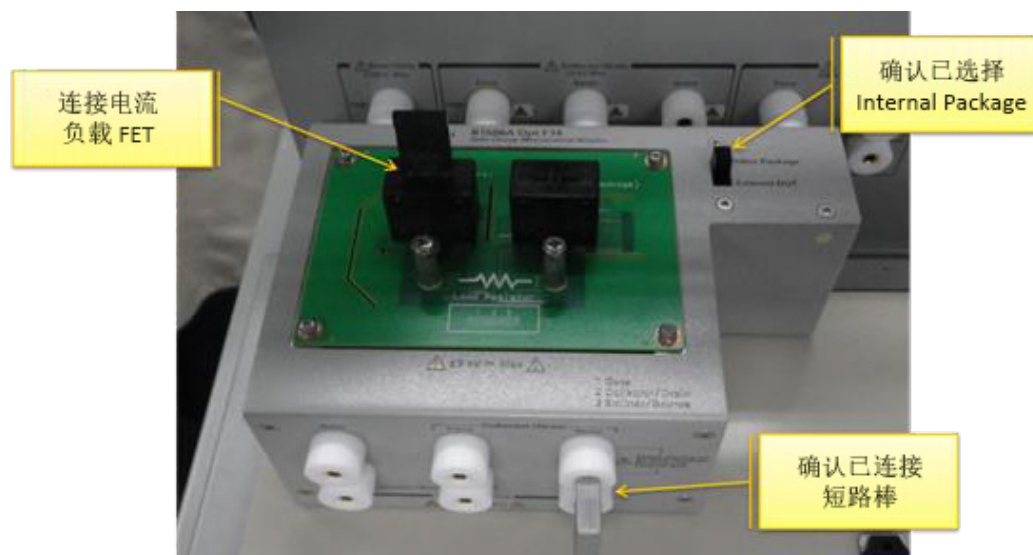
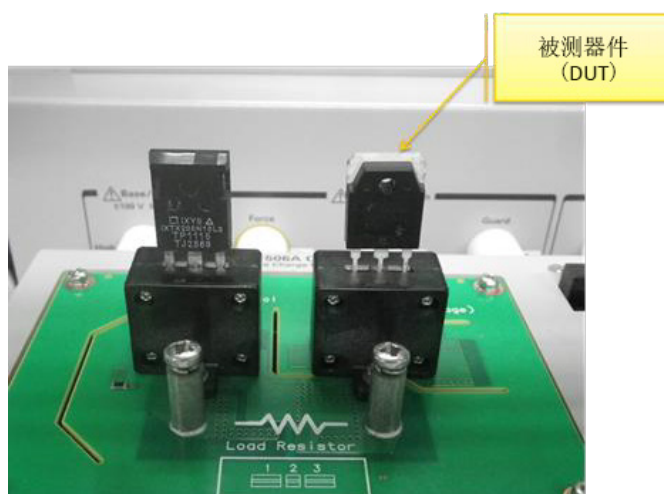


图 2-10 电流负载 FET (IXTH200N) (左) 和 DUT (右)。



## 测量步骤

以下是数据表表征模式的测量步骤。

### 步骤 1

启动数据表表征模式

单击 **Datasheet Characterization**。（图 2-11）数据表表征模式随即启动。

一开始，将打开空白数据表表征设置，如图 2-12 所示。

图 2-11 单击 **Datasheet Characterization**。

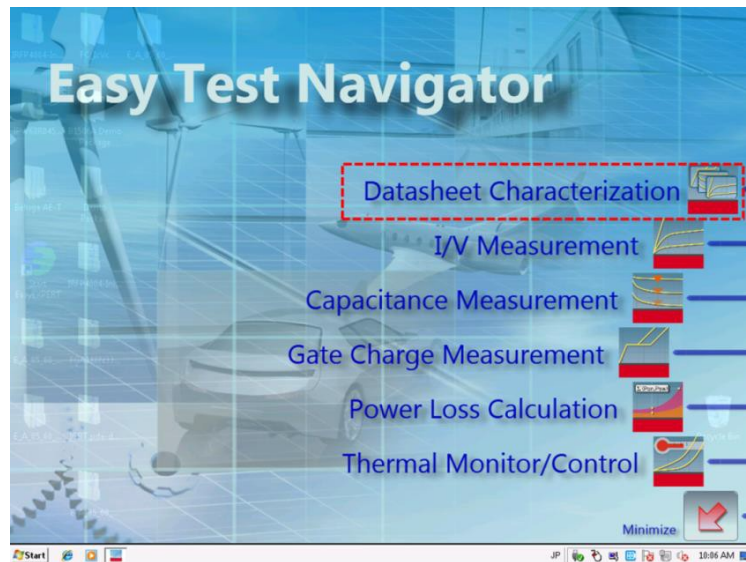
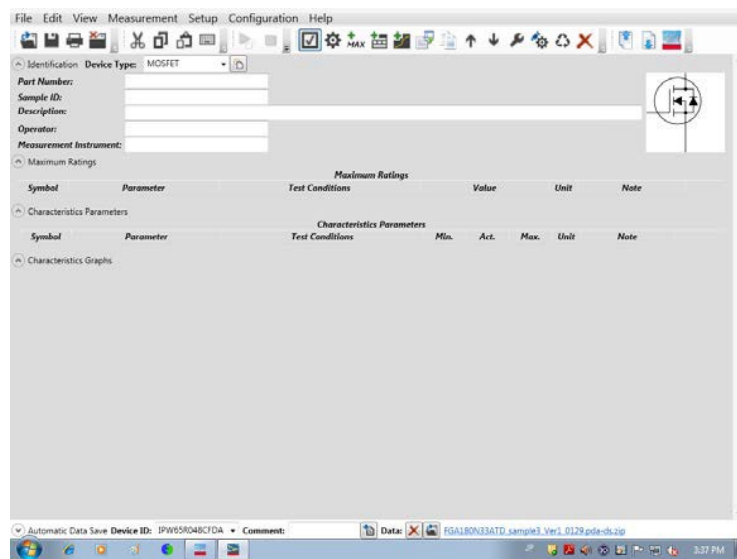


图 2-12 空白的数据表表征设置面板打开。



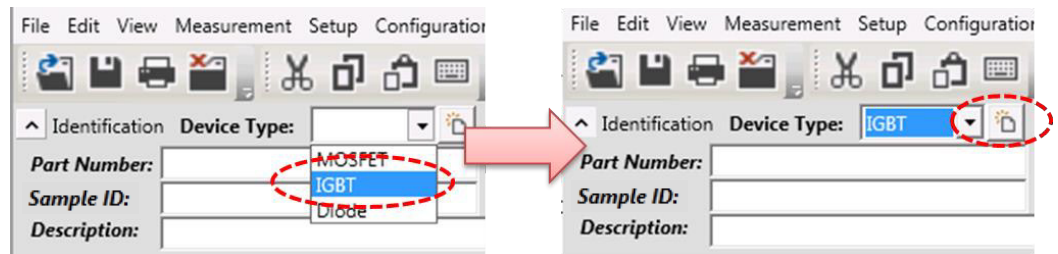
步骤 2

创建新的数据表定义

请参考图 2-13，按照下述步骤打开新的数据表模板。

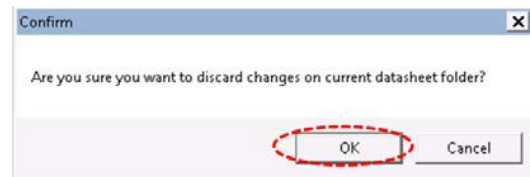
- (a) 从下拉列表中选择器件类型。
- (b) 单击 New Datasheet 按钮。
- (c) 单击确认窗口中的 OK 按钮。
- (d) 将打开 IGBT 数据表模板。

图 2-13 创建新数据表定义的步骤。

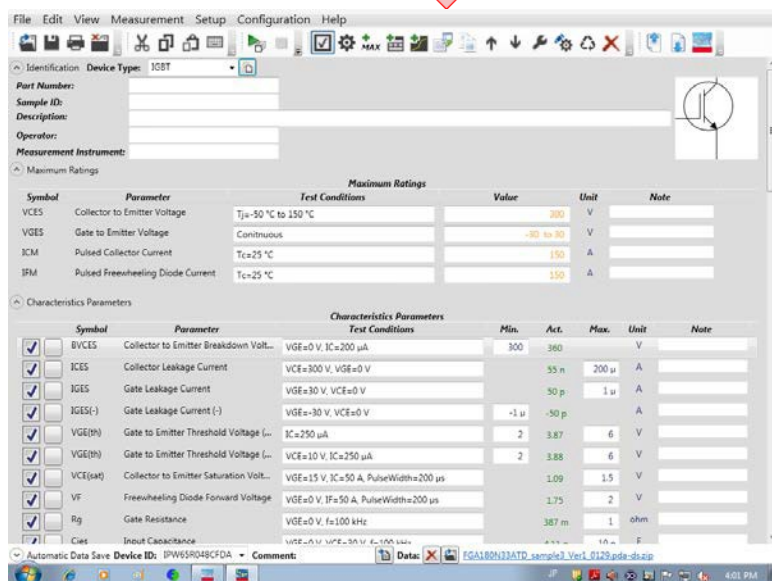


(a) 选择器件类型 - IGBT。

(b) 单击 New Datasheet 按钮。



(c) 单击 OK 按钮。



(d) IGBT 数据表的模板。

步骤 3

输入器件信息

将器件信息输入数据表模板的标识部分，如图 2-14 所示。

图 2-14

演示器件的标识部分示例。

^ Identification		Device Type:	IGBT
1.	Part Number:	FGA180N33ATD	
2.	Sample ID:	Sample 1	
3.	Description:	Fairchild: 330 V, 180 A PDP Trench IGBT	
4.	Operator:	Keysight Application Development	
5.	Measurement Instrument:	B1506A H71 Demo Equipment #1	

建议使用部件号和器件描述（包括制造商信息，示例见图 2-15）来详细标识器件，以备将来使用。

输入以下信息：

1. Part number:  
数据表中的器件名称。
2. Sample ID:  
描述用于区分每种示例器件的信息。
3. Operator 名称:
4. Measurement Instrument 部分:  
这些部分用于记录信息，以确定测量情况。例如，是由谁测量的，或者使用了什么设备来测量数据。

这些信息记录在测试结果文件中。

图 2-15

数据表描述示例。

**示例制造商信息。**

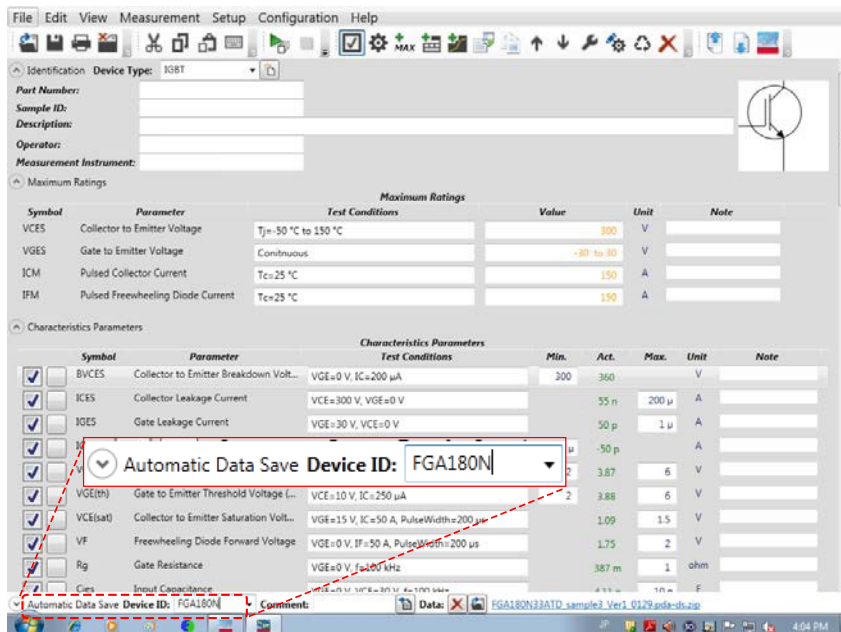
**FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®**

**FGA 180N33ATD**

**330V, 180A PDP Trench IGBT**

- ✓ 在面板底部输入器件 ID。（图 2-16）此器件 ID 用作存储测量结果的文件名标题。

图 2-16 面板底部的器件 ID



提示:

如何更改器件图片:

请参考“提示: 如何更改器件的图片”部分

步骤 4

输入最大额定值

在 **Maximum Ratings** 部分输入器件的最大额定值。此部分指定的额定值用于限制施加的电压/电流，可以在测量期间保护器件

图 2-17 显示从 FGA180N33ATD 的数据表中获取的最大额定值。

图 2-17

示例演示器件的数据表中描述的绝对最大额定值。

**绝对最大额定值**

符号	说明	额定值	单位
VCES	集电极-发射极电压	330	V
VGES	栅极-发射极电压	± 30	V
IC	集电极电流 @ TC = 25°C	180	A
ICM (1)	脉冲集电极电流 @ TC = 25°C	450	A
TJ	工作结温	-55 至 +150	°C

输入最大额定值：

请参考图 2-18 所示的编号，按照下述步骤输入图 2-17 中的最大额定值。

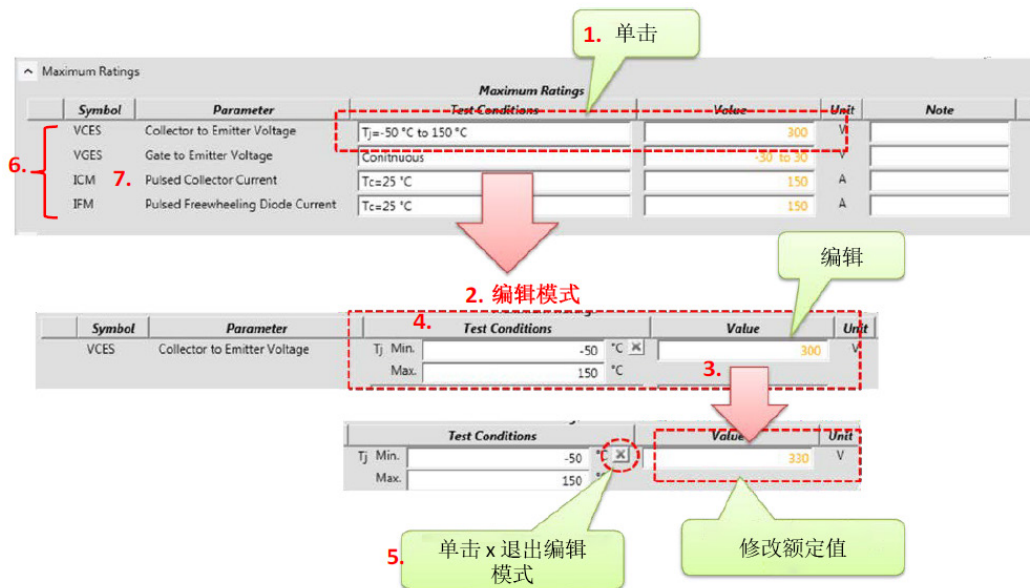
1. 单击要修改的参数。
2. 随后参数输入字段变为编辑模式。  
在该示例中，Tj Min.、Max. 和 VCES 最大值均会更改。
3. 根据数据表（图 2-17）修改 VCES 值字段。
4. 输入 Tj Min.、Max.。  
注意：  
Tj 参数仅供参考，不用于实际测量。
5. 修改值之后，单击 x 按钮退出编辑模式。
6. 请参考上述步骤 1 至 5，以同样的方式设置所有其他参数的最大额定值。

注意：

由于 B1506A 使用脉冲测量模式测量 ICM 的最大额定电流，因此请选择脉冲电流模式中定义的最大额定值。

图 2-19 显示为 FGA180N33ATD 输入所有参数后的最大额定值部分。

图 2-18 编辑 VCES 最大额定值和其他最大额定值。



**注意:** 如果数据表中未描述续流二极管的最大电流，则其通常与最大集电极电流相同。使用最大集电极电流作为 IFM。

图 2-19 FGA180N33ATD 的最大额定值部分。

Symbol	Parameter	Test Conditions	Value	Unit
VCES	Collector to Emitter Voltage	T <sub>J</sub> = -50 °C to 150 °C	330	V
VGES	Gate to Emitter Voltage	Conitnuous	-30 to 30	V
ICM	Pulsed Collector Current	T <sub>c</sub> = 25 °C	450	A
IFM	Pulsed Freewheeling Diode Current	T <sub>c</sub> = 25 °C	450	A

**提示** 如何更改符号名称或描述：  
请参考标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“提示：如何更改符号名称和描述”部分。

**提示** 如何向最大额定值部分中添加项目  
请参考标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“提示：如何向最大额定值中添加新项目”部分。

步骤 5 为特性参数部分创建设置此步骤演示如何为以下器件参数特性创建各个测量设置。

- 5.1 BVCES
- 5.2 ICES
- 5.3 IGES
- 5.4 VGE(th) (栅极-漏极连接)
- 5.5 VCE 恒定时的 VGE(th)
- 5.6 VCE(sat)
- 5.7 跨导 (gfs)
- 5.8 续流二极管 VF
- 5.9 其他 IV 参数
- 5.10 Rg 内部栅极电阻
- 5.11 电容 (Cies、Coes、Cres)
- 5.12 栅极电荷 (Qg、Qge、Qgc)

### 5.1 BVCES

BVCES 是指在保持器件关闭的情况下，对集电极施加 VCES 时，在指定集电极电流下的集电极电压。

如何设置 BVCES 测试条件参数

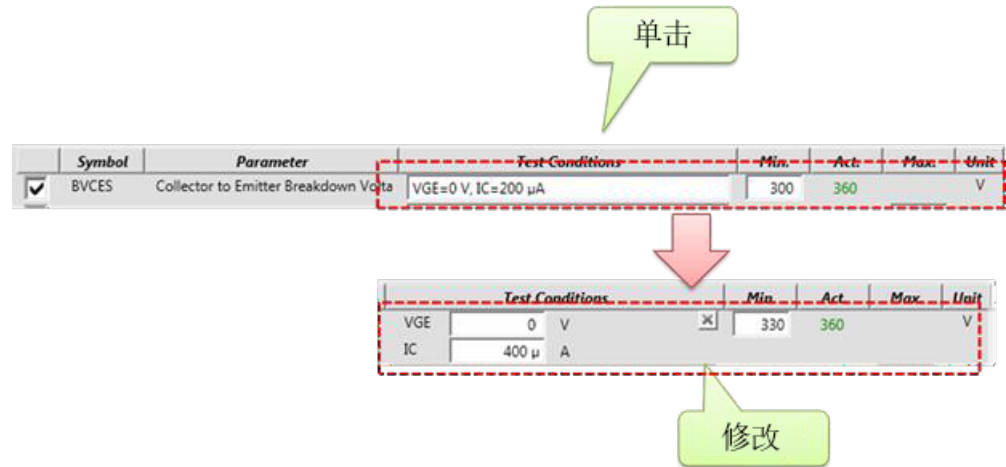
根据数据表中描述的条件修改测试条件。例如，以下是数据表中 BVCES 的描述。VBCES 是指集电极电流为 400  $\mu$ A 且栅极-发射极电压为 0 V 时的集电极电压。

符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>关断特性</b>						
BVCES	Collector to Emitter Breakdown Voltage	VGE = 0V, IC = 400 $\mu$ A	330	-	-	V

修改测试条件 (请参考图 2-20)

- ✓ 单击参数区域进入编辑模式。
- ✓ 根据数据表修改测试条件和额定值。

图 2-20



**注意：** 通常，数据表中的 BVCES 仅定义了最小值。但是，如有必要，除了最小限值外，还可以添加最大限值。要为项目添加最大或最小限值，请参考“提示：如何添加最小/最大限值”部分。

### 如何设置详细的 I/V 测量参数

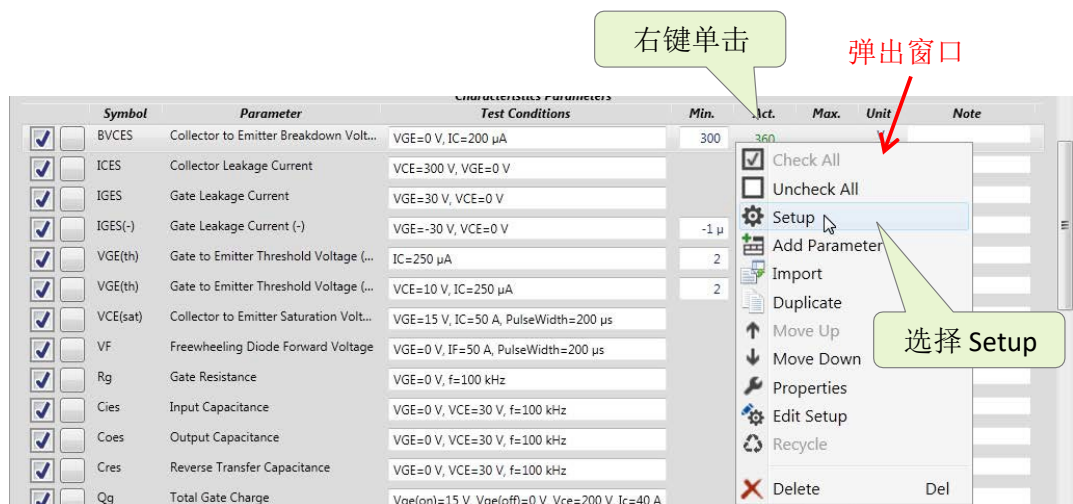
要为新的器件参数创建新测量设置，或验证现有的单独设置，或详细修改测量设置，请使用以下两种方法之一打开相应的设置窗口。

方法 1：从弹出菜单中打开 Setup:

- ✓ 右键单击除输入参数外的待修改参数。（请参考图 2-21。）
- ✓ 从弹出菜单中选择 Setup。

图 2-21

从弹出菜单中选择 Setup。



方法 2：从数据表表征模式面板的功能区菜单中打开设置（图 2-22）。

- ✓ 单击除输入参数外的待修改参数。
- ✓ 单击功能区菜单中的 Setup 按钮。

图 2-22 从功能区菜单中选择 Setup。

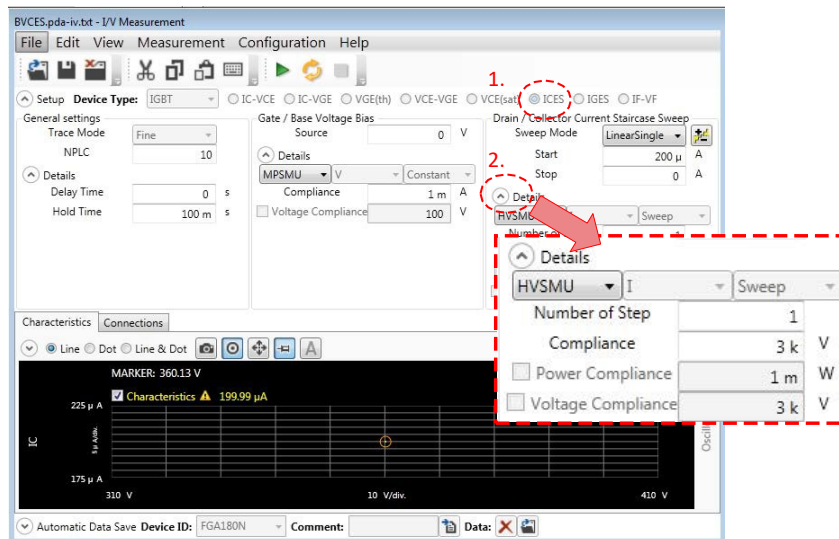


- ✓ 相应设置将打开。（图 2-23）

下文解释了 BVCES I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。

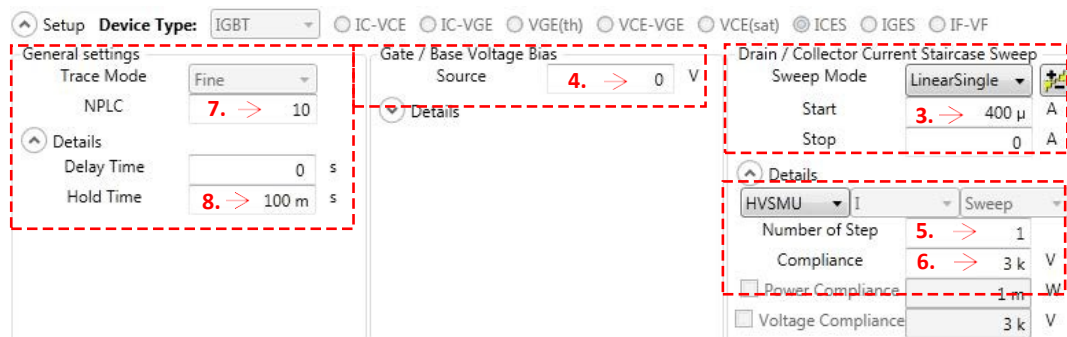
1. 对于 BVCES 测量，使用 IV 测量模式的 ICES 预设（在此模式下无法更改测量项目。若要更改测量项目，请参考“提示：如何更改设置中的锁定参数”部分）。
2. 要查看详细设置，请单击 Details 标签左侧的向下箭头。

图 2-23 BVCES I/V 测量面板。



BVCES 参数设置的详细信息如图 2-24 所示。

图 2-24 BVCES I/V 测量设置的详细信息。



- ✓ 为了测量 BVCES，HVSMU 在恒定电流模式下将电流强制设为  $400\ \mu\text{A}$  并测量集电极电压。
- 3. 起始电流设置为  $400\ \mu\text{A}$ ，取自 VBCES 的测试条件。
- 4. 栅极电压设置为  $0\ \text{V}$ ，取自 VBCES 的测试条件。
- 5. 阶跃数设置为 1，以便在起始值处进行单点测量。
- 6. 此测量中使用的合规电压大于器件的最大额定值，因为 BVCES 通常大于最大额定值，同时应避免器件被指定的集电极电流损坏。

7. 可以在此处详细修改测量设置（示例：保持时间、延迟时间和测量时间）。

要查看详细设置，请单击 Details 标签左侧的向下箭头。

使用 NPLC 模式测量时间。

NPLC 代表电源周期数

（1 PLC = 20 ms @ 50 Hz

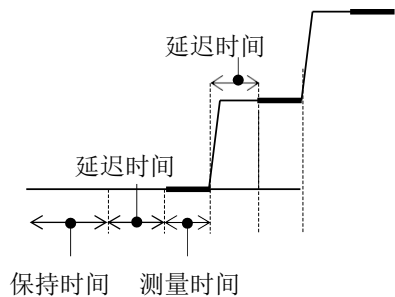
区、16.67 ms @ 60 Hz

区），可有效降低来自商用电源线的测量噪声。

此外，为了降低测量

数据的随机噪声，测量时间应该足够长。在此设置中，精确漏电流测量使用 10 PLC 的测量时间。

8. 保持时间应足够长，以等待电压和电流稳定。



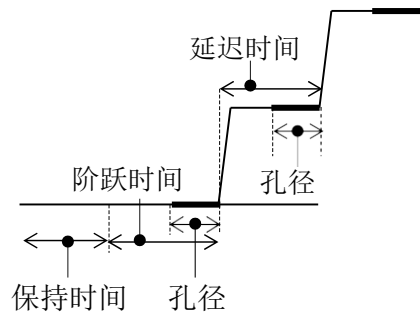
注意：

为了在 IC 较小时准确测量

BVCES，需要在 IV 测量模式中使用精细模式。该模式采用有限的自动范围调整，以使用适当的测量范围并利用 PLC 模式测量时间，从而降低来自商用电源的测量噪声。精细模式仅在使用直流偏置模式（V 或 I）时才可用。使用脉冲偏置模式（VPulse 或 IPulse）

时，使用的是快速模式。在快速

模式下，测量时间定义为阶跃时间或脉冲以及孔径。



### BVCES 测量设置的验证

完成详细的 I/V 测量设置后，建议对测量设置进行验证。请参考图 2-25 中的编号，按照下述步骤操作

9. 单击 Measure 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
10. 在本例中，测得的 BVCES 为 334.45 V。
11. 要将测试设置和测试结果保存到数据表级别，请选择 File --> Save 来保存设置。数据表中的实际值即会更新（图 2-26）。

图 2-25 执行 BVCES I/V 测量。

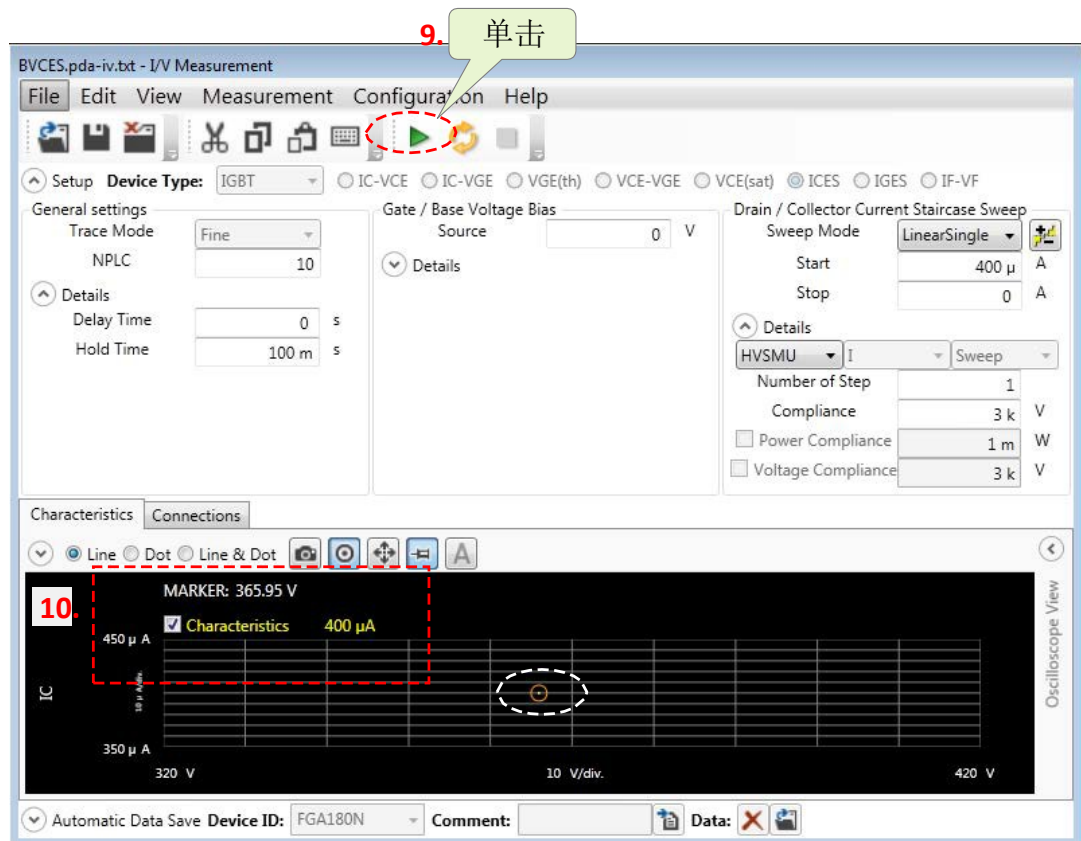


图 2-26 数据表结果更新。

**11.**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Act.	Max.	Unit
<input checked="" type="checkbox"/>	BVCES	Collector to Emitter Breakdown Volt...	VGE=0 V, IC=400 μA	330	348	V

注意：如果要更改任何可选参数并反映更改，请通过选择 File --> Save 来保存设置。



## 5.2 ICES

ICES 是指在保持器件关闭的情况下，对集电极施加指定  $V_{CES}$  时的集电极电流。

设置 ICES 测试条件和 I/V 测量参数

根据数据表中描述的条件修改测试条件。例如，以下是数据表中 ICES 的描述。ICES 是指集电极电压为  $V_{CES}$  且栅极-发射极电压为  $0\text{ V}$  时的最大集电极电流  $400\ \mu\text{A}$ 。

符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>关断特性</b>						
$BV_{CES}$	Collector to Emitter Breakdown Voltage	$V_{GE} = 0\text{ V}, I_C = 400\ \mu\text{ A}$	330	-	-	V
ICES	Collector Cut-Off Current	$V_{CE} = V_{CES}, V_{GE} = 0\text{ V}$	-	-	400	$\mu\text{A}$

修改测试条件（请参考图 2-27）

- ✓ 单击参数区域进入编辑模式。
- ✓ 根据数据表修改测试条件和额定值。

图 2-27 ICES 测试条件



- ✓ 打开 ICES I/V 测量设置面板（图 2-28）。

下文解释了 ICES I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。

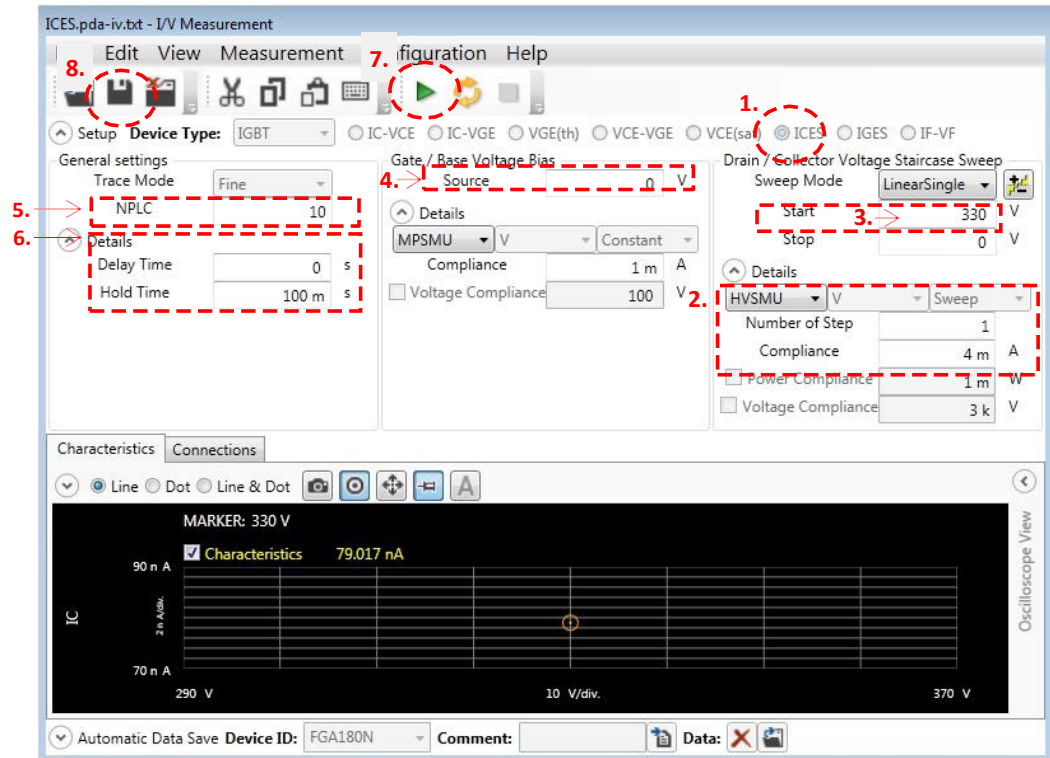
1. 在 ICES 测量后台，使用 IV 测量模式的 ICES 测量模板。
2. 对于漏极/集电极偏置，HVSMU 在电压强制模式下运行。
3. HVSMU 运行时采用起始电压为  $330\text{ V}$  的单阶跃扫描测量（仅测量具有起始电压的第一个阶跃）。
4. 栅极电压偏置取自数据表输入。

**注意：** 漏极/集电极电压阶梯扫描的起始电压和栅极/基极电压偏置的源极电压继承自数据表模式中定义的测试条件。

**注意：** 合规电流自动定义为上层（数据表模式）中定义的最大限值的 **10 倍**。可以通过编辑测试参数的属性来更改该值（请参考“提示：如何更改测试条件与测量设置之间的关联”）。

5. 默认使用 10 PLC 的测量时间，通常该测量时间已足够长。
6. 保持时间默认值为 100 ms。如果合规值非常小，则有必要增大该值，以有足够时间在测量 ICES 之前为器件的电容充电。由于精细模式使用有限的自动范围调整，因此即使使用较大的合规电流也不会降低测量分辨率。

图 2-28 ICES I/V 测量面板。



### ICES 测量设置的验证

完成详细的 I/V 测量设置后，建议对测量设置进行验证。请参考图 2-28 中的编号，按照下述步骤操作

7. 单击 Measure 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
8. 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置。



### 5.3 IGES

IGES 是指 VGES 在正向电压和反向电压下的栅极漏电流。

如何设置 IGES 测量参数

根据数据表中描述的条件修改测试条件。例如，以下是数据表中 ICES 的描述。

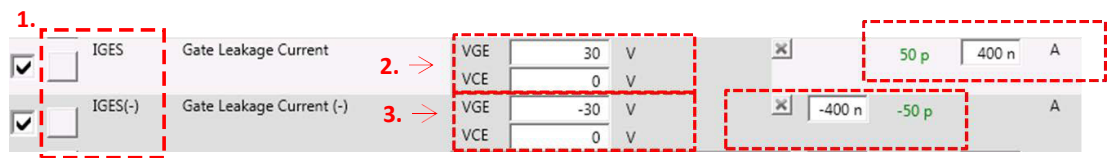
符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>关断特性</b>						
BVCES	Collector to Emitter Breakdown Voltage	VGE = 0V, IC = 400μA	330	-	-	V
ICES	Collector Cut-Off Current	VCE = VCES, VGE = 0V	-	-	400	μA
IGES	G-E Leakage Current	VGE = VGES, VCE = 0V	-	-	±400	nA

**注意：** 在数据表表征模式下，由于一个测量项目只能指定一个测试条件，因此需要将 IGES 测量分为两部分：正向偏置条件和反向偏置条件。

修改测试条件（请参考图 2-29）

- ✓ 单击参数区域进入编辑模式。
- ✓ 根据数据表修改测试条件和额定值。
  1. IGES 用于正向偏置测量，IGES(-) 用于反向偏置测量。
  2. 对于 IGES，输入与数据表中相同的测试条件（VGE = 30 V，VCE = 0 V，最大限值 = 400 nA）。
  3. 对于 IGES(-)，所有参数的符号均相反，最大限值转换为最小限值。（VGE = -30 V，VCE = 0 V，最小限值 = -400 nA）

图 2-29 IGES 测试条件。



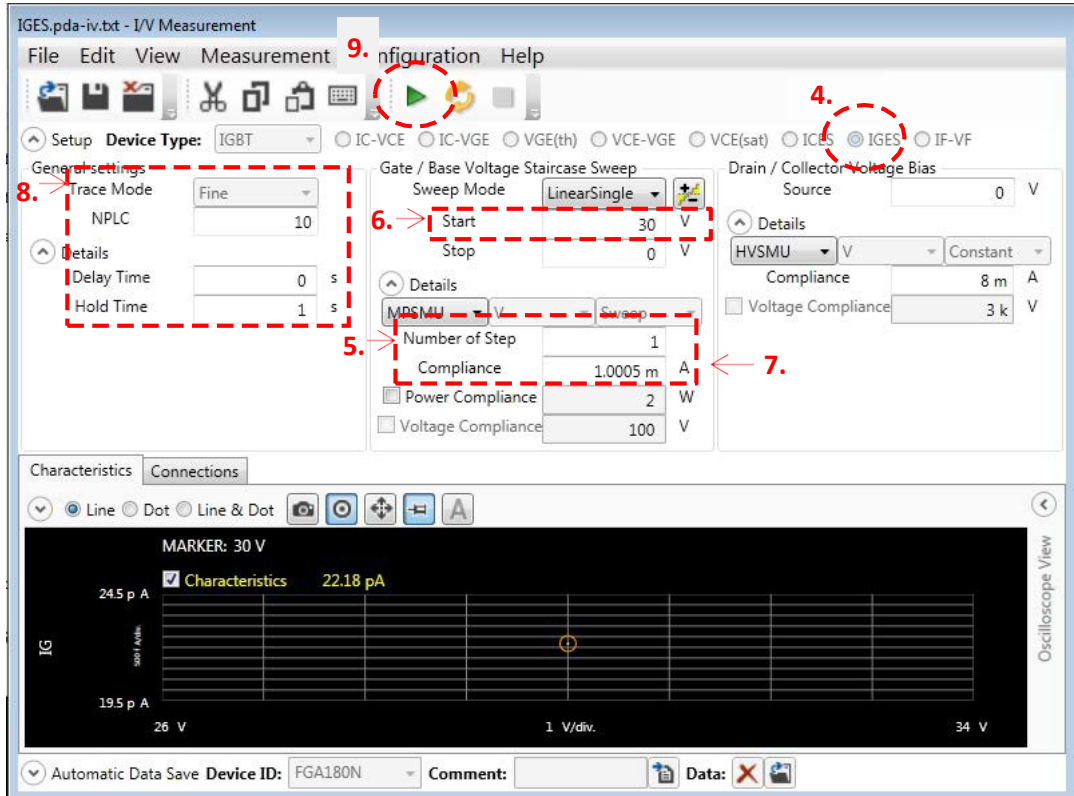
- ✓ 打开 IGES I/V 测量设置面板。（图 2-30）

下文解释了 IGES I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。

4. 在 IGES 测量后台，使用 IV 测量模式的 IGES 模板。
5. 对于栅极/偏置电压阶梯偏置，MPSMU 在电压强制模式下使用，同时采用单阶跃扫描测量。
6. 单阶跃 30 V 设置为起始电压（仅测量具有起始电压的第一个阶跃）。

- 注意： 栅极/基极电压阶梯扫描的起始电压和漏极/集电极电压偏置的源极电压继承自数据表模式中定义的测试条件（30 V 和 0 V）。
7. 栅极偏置的合规电流自动定义为上层（数据表模式）中定义的最大限值 + 1 mA。由于合规电流是由数据表模式中定义的最大限值决定的，因此不允许将其删除。要更改/删除最大限值与合规电流之间的关联，请参考“提示：如何更改测试条件与测量设置之间的关联”。
  8. 精细模式用于精确测量漏电流。  
保持时间决定了施加偏置之后、测量之前的等待时间。在本例中，等待 1 秒后，ICE 将以 10 PLC 的测量时间进行测量（1 PLC = 1/商用电源的频率）。
- 注意： 如果 DUT 栅极的输入电容较大且合规电流较小，则由于合规电流对充电电流的限制，默认等待时间 (1 s) 可能不足以为栅极输入电容充电。
- ✓ 如果等待时间不够长，则测得的电流会超过数据表模式中定义为测试条件的最大限值，并达到合规电流值。
  - ✓ 在这种情况下，请设置更长的阶跃时间，例如 2 秒。

图 2-30 IGES I/V 测量面板。



### IGES 测量设置的验证

完成详细的 I/V 测量设置后，建议对测量设置进行验证。请参考图 2-30 中的编号，按照下述步骤操作

9. 单击 Measure 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
- ✓ 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置。



对于 IGES(-): IGES(-) I/V 测量设置和验证

通过打开 IGES(-) I/V 测量设置面板，重复 IGES(-) 参数的 I/V 测量设置和验证。

### 5.4 VGE(th)

栅极阈值电压  $V_{GE(th)}$  是指当指定的集电极/漏极电流在指定的集电极/漏极偏置条件下流过时的栅极电压。

通常，在功率器件的数据表中，栅极-发射极电压  $V_{GE}$  定义为与集电极电压  $V_{CE}$  相同。这意味着 DUT 的栅极和集电极互相连接。

如何设置  $V_{GE(th)}$  测量参数

根据数据表中描述的条件修改测试条件。例如，以下是数据表中  $V_{GE(th)}$  的描述。 $V_{GE(th)}$  的定义条件为  $I_C = 250 \mu A$ ,  $V_{CE} = V_{GE}$ 。

符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>导通特性</b>						
$V_{GE(th)}$	G-E Threshold Voltage	$I_C = 250 \mu A$ , $V_{CE} = V_{GE}$	2.5	4	5.5	V
$V_{CE(sat)}$	Collector to Emitter Saturation Voltage	$I_C = 40 A$ , $V_{GE} = 15 V$	-	1.1	1.4	V
		$I_C = 180 A$ , $V_{GE} = 15 V$	-	1.68	-	V
		$I_C = 180 A$ , $V_{GE} = 15 V$	-	-	-	-
		$TC = 125^\circ C$	-	1.89	-	V

注意：

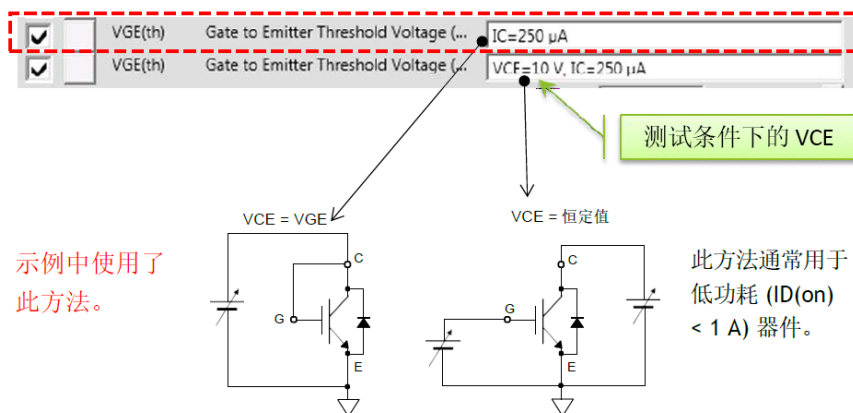
$V_{th}$  测量方法选择：

在数据表表征模式的设置中，有两种  $V_{GE(th)}$  设置，如图 2-31 所示。

- ✓ 第一个设置用于测量  $V_{GE(th)}$ ，条件为  $V_{GE} = V_{CE}$ 。因此，没有  $V_{CE}$  的条件。使用此设置时，DUT 的栅极和集电极通过 B1506A 测试夹具中的开关进行物理连接。
- ✓ 第二个设置用于通过施加来自 SMU 的恒定集电极电压来测量阈值电压。

图 2-31

B1506A 的两种  $V_{th}$  测量方法。



要测量此部分中使用的 DUT 的  $V_{GE(th)}$ ，请使用第一个测量方法，如图 2-31 所示。

修改测试条件（图 2-32）

- ✓ 单击参数区域进入编辑模式。
- ✓ 根据数据表修改测试条件和额定值。

图 2-32 示例中使用的  $V_{GE(th)}$  测试条件。

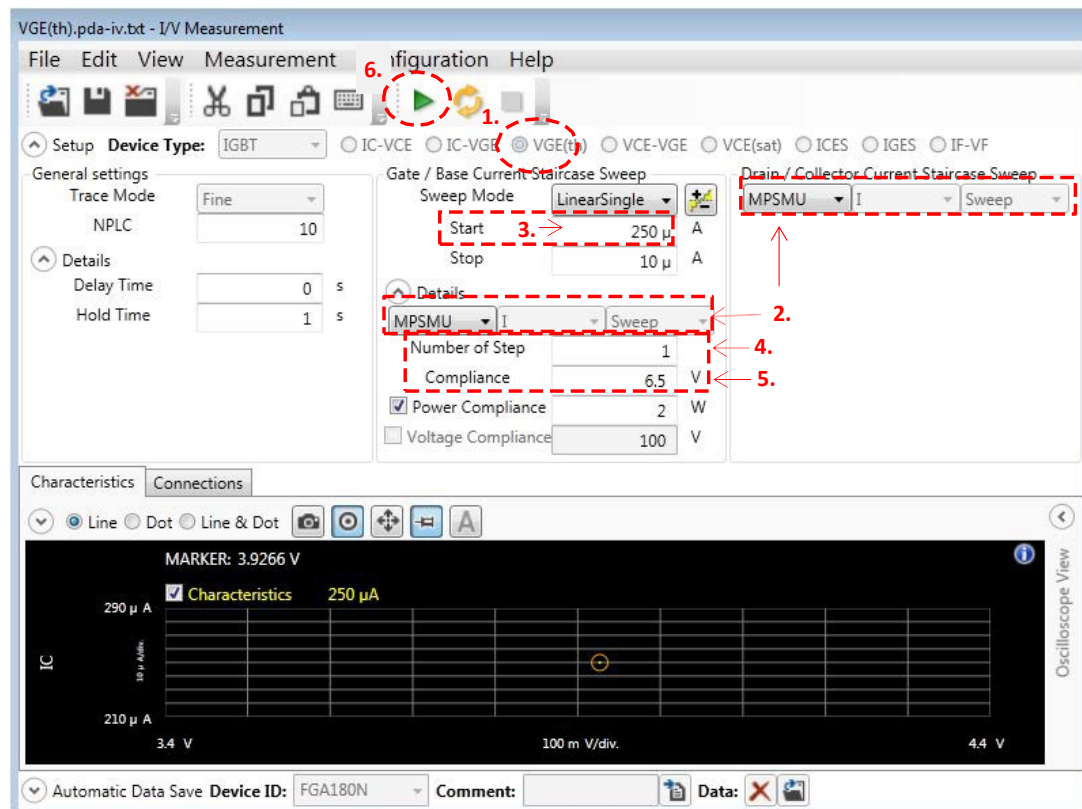
	Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Act.	Max.	Unit	Note
<input checked="" type="checkbox"/>	$V_{GE(th)}$	Gate to Emitter Threshold Voltage (...)	$I_C=250 \mu A$	2.5	3.87	5.5	V	Typ. 4.0 V

注意：如果数据表中列出了典型值，则将值输入 **Note** 部分作为参考会很有用。

- ✓ 打开 ICES I/V 测量设置面板。（图 2-33）
- ✓ 下文解释了  $V_{GE(th)}$  I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。
  1. 此测量使用 IV 测量的  $V_{GE(th)}$  模板。
  2. 栅极/基极电流阶梯扫描和漏极/集电极电流阶梯扫描使用相同的 MPSMU。
  3. 使用 MPSU 电流输出模式，电流扫描的起始值继承自数据表模式中的测试条件。
  4. 通过强制指定的电流，可以使用单点测量来测量  $V_{GE(th)}$ 。
  5. 合规电压是根据数据表模式中定义的最大电压定义的。

注意：由于合规电压是由数据表模式中定义的最大限值决定的，因此不允许将其删除。要更改/删除最大限值与合规电流之间的关联，请参考“提示：如何更改测试条件与测量设置之间的关联”。

图 2-33 VGE(th) 测试设置。



### VGE(th) 测量设置的验证

完成详细的 I/V 测量设置后，建议对测量设置进行验证。请参考图 2-33 中的编号，按照下述步骤操作

6. 单击 Measure 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
- ✓ 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置。



### 5.5 VCE 恒定时的 VGE(th)

由于示例 DUT 的数据表中未定义 VCE 恒定时的 VGE，因此，此部分在不参考数据表的情况下描述了参数的设置过程。

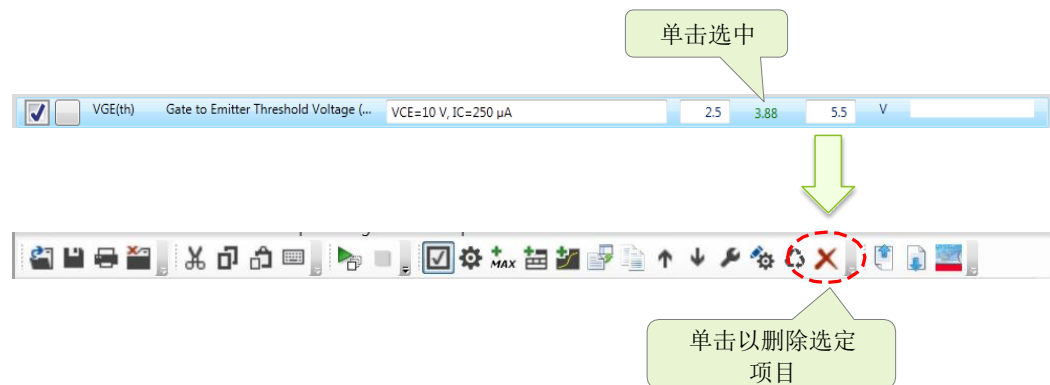
如何删除现有项目

如需删除现有项目，请右键单击该项目并从弹出菜单中选择 Delete（图 2-34），或者选中该项目，然后单击功能区菜单中的 Delete 按钮（图 2-35）。

图 2-34 通过右键单击测试定义删除 VGE(th) 测试设置。



图 2-35 使用设置功能区菜单删除 VGE(th) 测试设置。



可以按住 Ctrl 键并单击或按住 Shift 键并单击来选择多个项目，将其一次性删除。

如何设置 VCE 测量恒定时的 VGE(th) 测量

图 2-36 显示此部分中 VCE 恒定时的 VGE(th) 的测试条件。

图 2-36 示例中使用的 VCE 恒定时的 VGE(th) 测试条件。

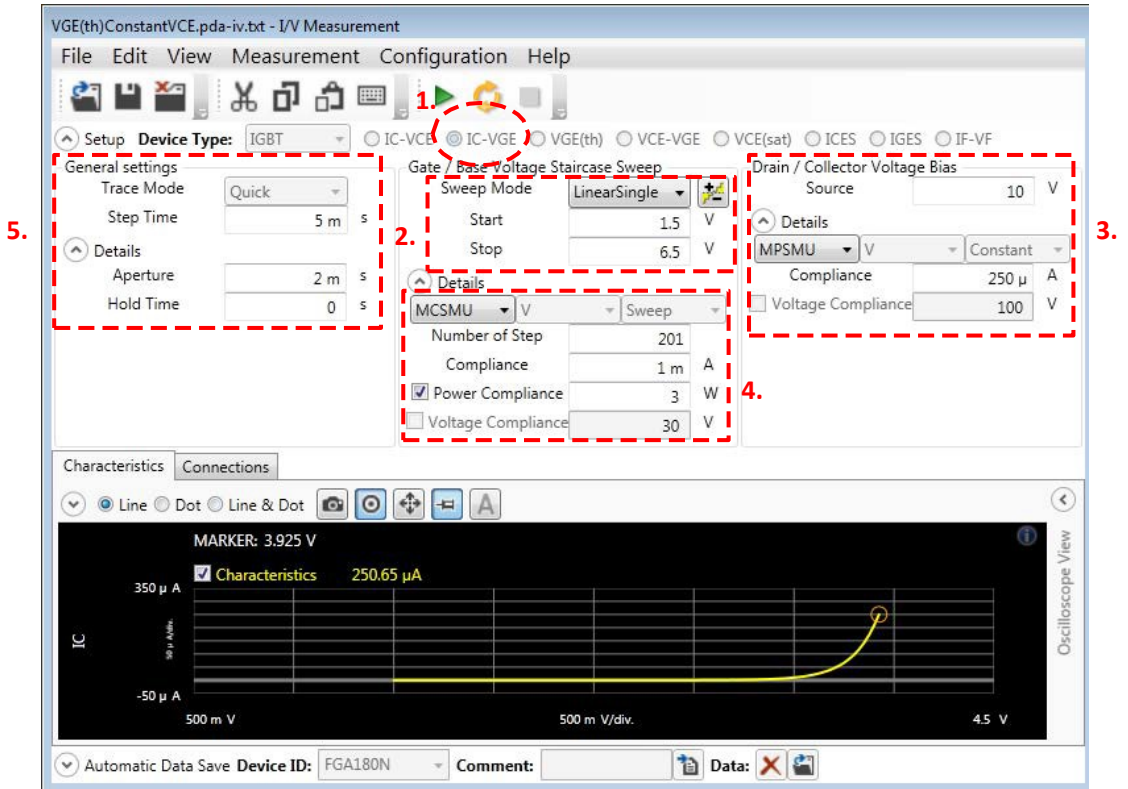


✓ 打开 ICES I/V 测量设置面板。（图 2-37）

下文解释了 VGE(th) I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。

1. 此测量使用 IV 测量的 IC-VGE 模板。
2. 栅极电压以恒定阶跃（阶梯扫描）从 1.5 V 扫描至 6.5 V。扫描的起始值和停止值根据数据表级别中定义的最小限值和最大限值自动确定。默认情况下，最小限值 -1 V 用作起始电压，最大限值 +1 V 用作停止电压。它们之间的关联在参数的属性中定义。
3. MPSMU 用于施加合规电流为 250  $\mu$ A 的恒定 VCE = 10 V。
4. 栅极电压扫描的阶跃数应足够大，以使栅极电压阶跃达到足够的精确度，可以测量 VGE(th)。
  - ✓ 合规电流应足够大，以便能够相当快速地为栅极电容充电。
  - ✓ 必须选中合规功率以启用 STOP AT ANY ABNORMAL 功能，以便在集电极电流达到合规电流 (250  $\mu$ A) 时停止扫描。
5. IV 测量会自动读出最后一个扫描点的值。
  - ✓ 201 个阶跃的快速扫描使用 5 ms 阶跃时间和 2 ms 孔径时间（等待时间 = 5 ms - 2 ms = 3 ms）。

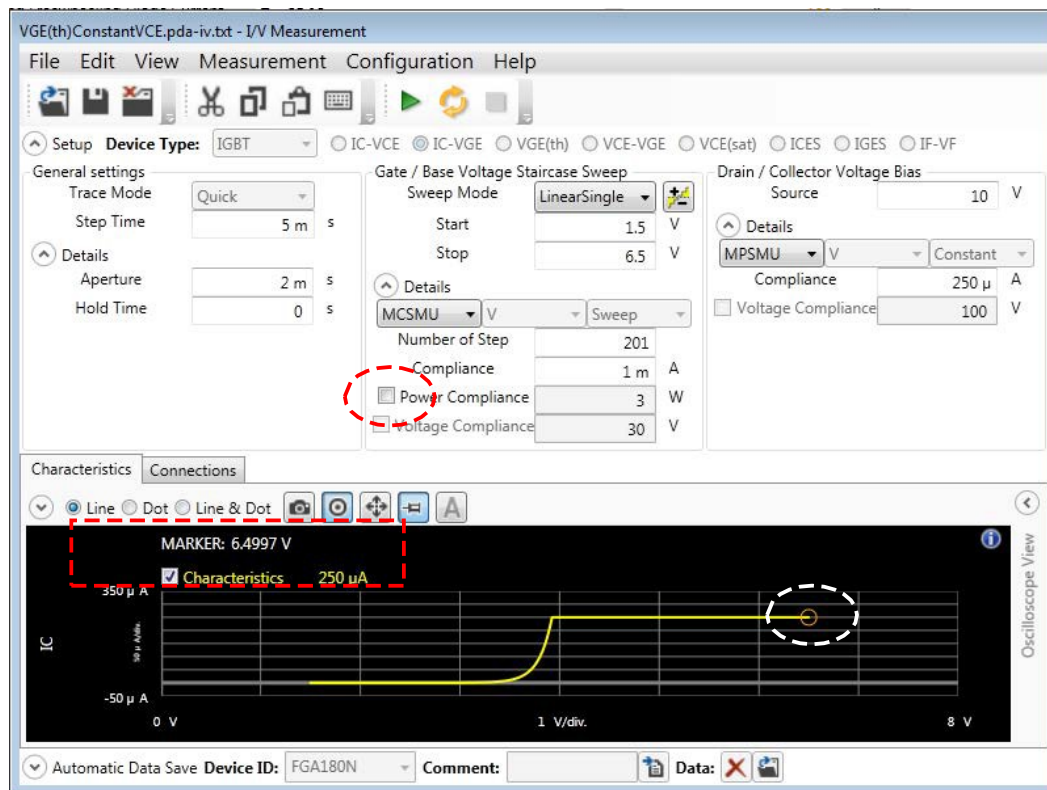
图 2-37 示例中使用的 VCE 恒定时的 VGE(th) 测试设置。



**注意：** 由于栅极电压扫描的起始电压和停止电压是由数据表模式中定义的最小限值和最大限值决定的，因此不允许将其删除。要更改/删除最小/最大限值与起始/停止电压之间的关联，请参考“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“提示：如何更改符号名称和描述”。

**注意：** 切勿在栅极/基极电压阶梯扫描设置中取消选中合规功率。如果未启用合规功率，即使集电极电流达到合规电流且从扫描读出的 VGE(th) 不正确，扫描也不会停止（图 2-38）。

图 2-38 取消选中合规功率后提取的  $V_{GE(th)}$  不正确



### 5.6 VCE(sat)

VCE(sat) 是指当指定的集电极电流在指定的栅极电压下流过时的集电极-发射极电压。该参数通常用于估计 IGBT 的传导损耗。

如何设置 VCE(sat) 测量参数

通常，VCE(sat) 在两个不同的集电极电流条件下定义，如图 2-39 所示。

在此演示中，VCE(sat) 的定义条件为 IC = 40 A 和 180 A。

在本例中，复制现有 VCE(sat) 的设置并按照数据表参数修改测试条件。

图 2-39 IC = 40 A 和 180 A 这两种条件下定义的 VCE(sat)。

导通特性						
VGE(th)	G-E Threshold Voltage	IC = 250uA, VCE = VGE	2.5	4	5.5	V
VCE(sat)	Collector to Emitter Saturation Voltage	IC = 40A, VGE = 15V	-	1.1	1.4	V
		IC = 180A, VGE = 15V	-	1.68	-	V
		TC = 125°C	-	1.89	-	V

IC = 40 A 的 VCE(sat) 测试条件

按照下述步骤设置第一个 VCE(sat) 测试（图 2-40）。

- ✓ 输入与数据表中相同的测试条件（VGE = 15 V 和 IC = 40 A）。
- ✓ 必须谨慎选择脉冲宽度，以免因超过器件的安全工作区 (SOA) 限制而导致器件损坏（请参阅 VCE-VGE 测量）。对于示例中使用的器件，200 μs 已足够。

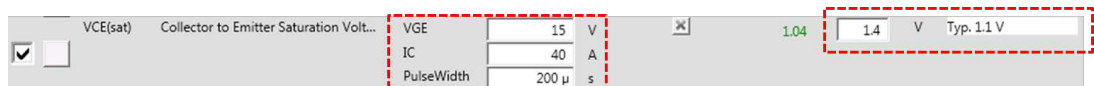
注意：

使用 UHCU 的 SOA 限制：

有关使用 UHCU 的 SOA 限制，请参考“Qg 测试中的 SOA 和电流负载 FET”部分。

- ✓ 输入与数据表中相同的最大限值和典型值。

图 2-40 IC = 40 A 时定义的 VCE(sat) 测试条件。



- ✓ 打开 VCE(sat) I/V 测量设置面板。（图 2-41）

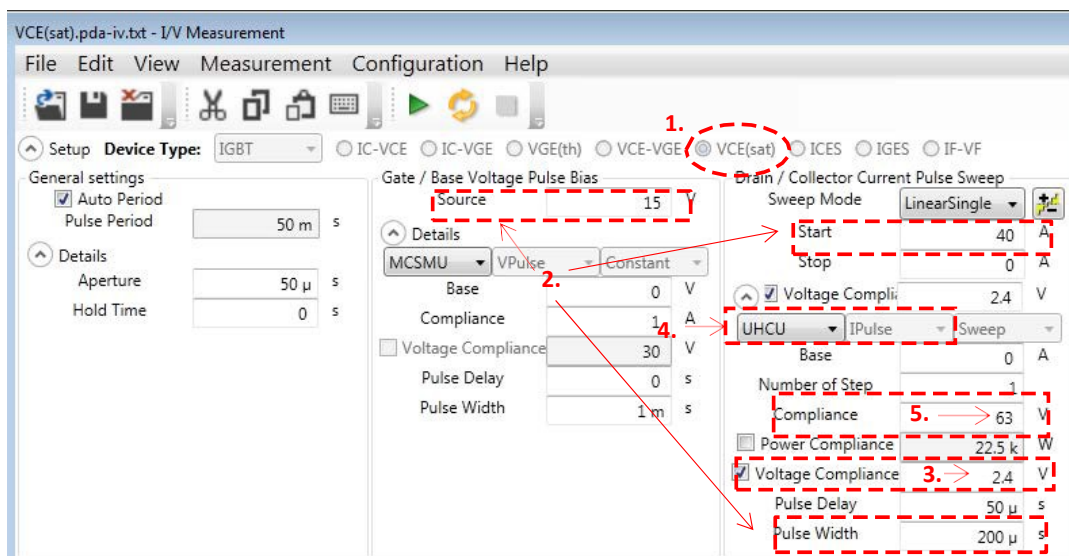
VCE(sat) I/V 设置：

下文解释了 VCE(sat) I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。

1. 使用基于 VCE - VGE 测量的 VCE(sat) 测量模板。此设置输出指定的脉冲恒定集电极电流并测量集电极电压。
2. Gate/Base Voltage Pulse Bias 参数的 Source 值、Drain/Collector Current Pulse Sweep 参数的 Start 值和 Pulse Width 继承自数据表模式中定义的测试条件。
3. 漏极/集电极偏置的合规电压由数据表模式中定义的最大限值 (+1 V) 自动确定。
4. 在 VCE-VGE 测量中，UHCU 在电流脉冲模式 (IPulse) 下使用，该模式施加具有指定电流值的脉冲。
5. 漏极/集电极偏置设置中指定的合规电压是 UHCU 中电压源的最大电压限值。

注意：在 UHCU 中，输出电流由内部偏置源的设置电压 (Vset)、输出电阻器和 DUT 的电阻决定。有关 UHCU 设置提示的详细信息，请参考“UHCU 详细信息和测量”部分。

图 2-41 IC = 40 A 时电流脉冲的 VCE(sat) 测试测量设置。



VCE(sat) 脉冲参数设置：

图 2-42 显示脉冲设置参数和脉冲计时。

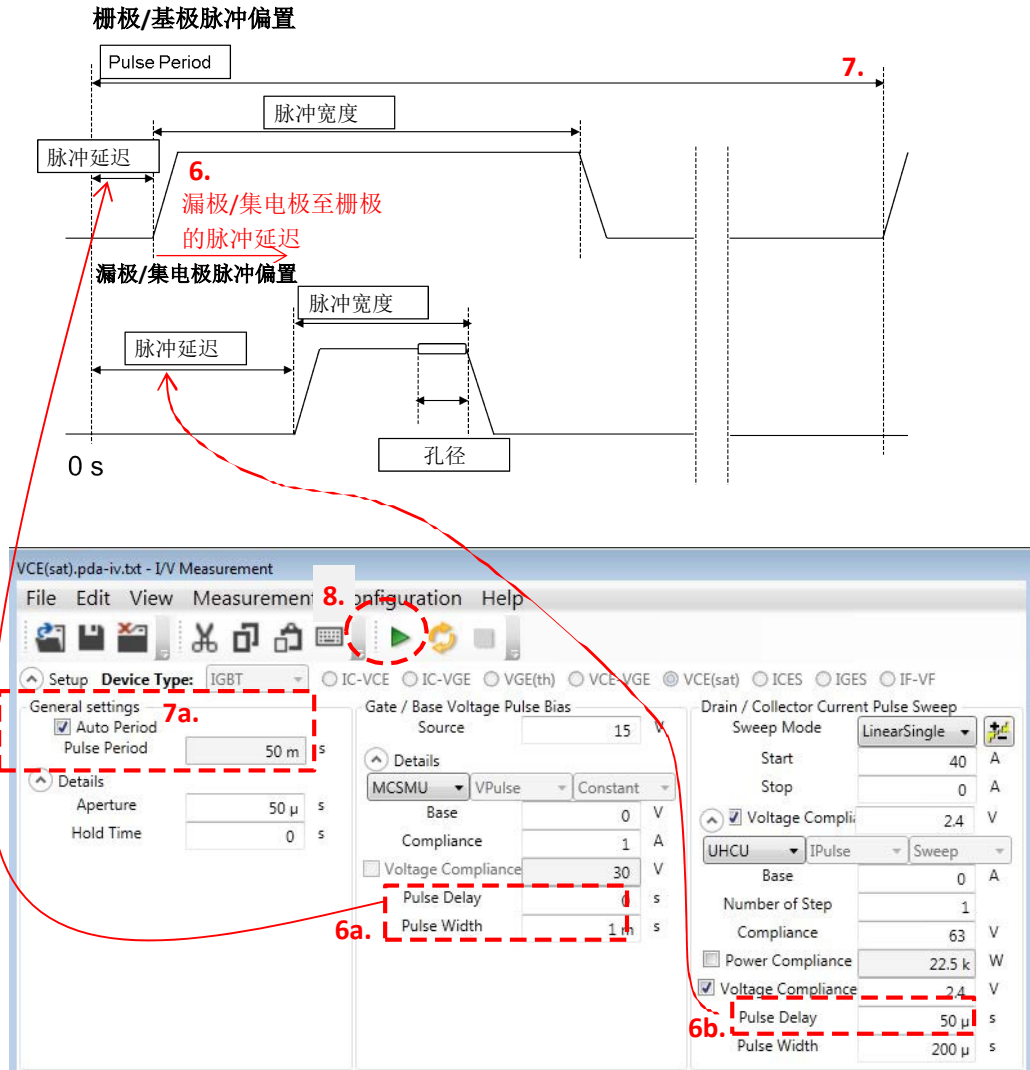
6. 有以下两个参数可以设置脉冲起始计时。
  - 6a. 栅极/基极脉冲延迟时间。
  - 6b. 漏极/集电极脉冲延迟时间。

通常，栅极/基极偏置设置为在漏极/集电极偏置之前开始，以便在施加漏极/集电极偏置之前打开 DUT。

7. 脉冲周期设置

脉冲周期是两个测量脉冲之间的时间。当启用 **Auto Period**（请参考编号 7a.）时，脉冲周期将自动确定以实现最大占空比。如果计时没有特定要求，通常使用 **Auto Period**。

图 2-42 VCE(sat) 脉冲测试参数和脉冲计时。



注意：

对于 UHCU，500 A 范围的最大占空比是 0.4%，1500 A 范围的最大占空比是 0.1%。

对于 HCSMU (B1506A-H21)，最大占空比取决于输出电流范围（请参考 B1506A 的数据表）。

### VCE(sat) @ IC = 40 A 测量设置的验证

完成详细的 I/V 测量设置后，建议在设置第二个 IC 测试条件之前对测量设置进行验证。请参考图 2-42 中的编号，按照下述步骤操作。

8. 单击 Measure 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
- ✓ 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置。



### IC = 180 A 的 VCE(sat) 测试条件

在确定第一个 VCE(sat) 测试条件后，通过复制第一个设置来重新使用第一个 VCE(Sat) IV 测量设置中定义的经验证设置，从而设置 IC = 180 A 的 VCE(sat) 测试条件，即第二个条件。

如何复制现有测试设置：

有以下两种方法可以复制现有的测试设置。通过以下两种方法之一复制现有的 VCE(sat) 测量设置。

方法 1：从弹出菜单中复制设置：

- ✓ 右键单击除输入参数外的待修改参数。（请参考图 2-43。）
- ✓ 从弹出菜单中选择 Duplicate。

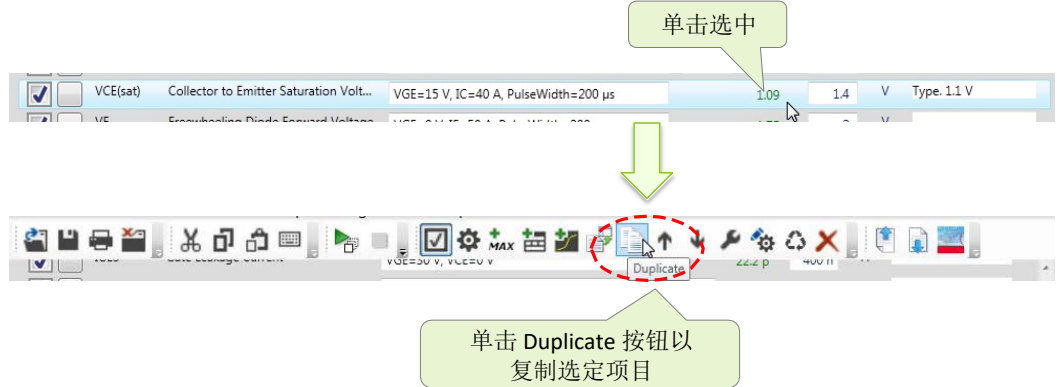
图 2-43 从弹出菜单中选择 Duplicate。



方法 2: 从数据表表征模式面板的功能区菜单中复制设置。

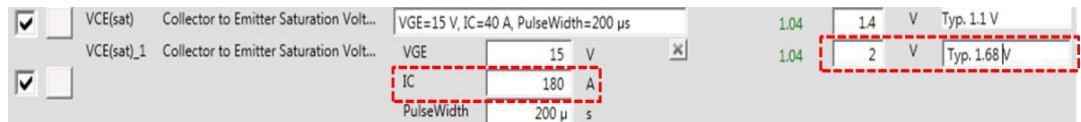
- ✓ 单击除输入参数外的待修改参数，然后选择测量设置。（请参考图 2-44。）
- ✓ 单击功能区菜单中的 Duplicate 按钮。

图 2-44 从功能区菜单中选择 Duplicate。



- ✓ 将创建 VCE(sat) 设置的副本 VCE(sat)\_1。然后根据数据表参数修改它们的测试条件。

在 VCE(sat) 示例中，输入 IC = 180 A，如下图所示。



## 注意

数据表中仅定义了 IC 为 180 A 时的典型值。但是，最大限值可用于确定详细设置中的合规电压。最大限值无法删除。因此，设置一个足够大的值作为最大值通过标准，并将典型值写入 **Note** 字段中作为备忘。

## VCE(sat) @ IC = 180 A 测量设置的验证

- ✓ 完成详细的 I/V 测量设置后，建议对测量设置进行验证
- ✓ 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 **File --> Save** 来保存设置。



## 5.6 跨导 (gfs)

### 注意

只有在使用 B1506A-H20/H21 型号时，跨导才会出现在特性参数列表中。由于 gfs 是指导通状态下具有恒定 VCE 的  $dI_C/dV_{GE}$ ，因此必须使用 B1506A-H20/H21 的 HCSMU 对其进行测量（B1506A-H50/51/H70/H71 具有 UHCU 而不是 HCSMU，而且当输出集电极电流时，由于其输出电阻器处的压降，无法保持 VCE 恒定）。

本示例中使用的 DUT 是 2SK3745 高压 MOSFET，其具有以下特性。

- ✓ V<sub>DSS</sub>: 1500 V
- ✓ V<sub>GSS</sub>: +/- 20 V
- ✓ I<sub>DPM</sub>: 4 A
- ✓ R<sub>ds(on)</sub>: 10 Ω

器件的 gfs 为典型值 14.S，条件为 V<sub>DS</sub> = 20 V 且 I<sub>D</sub> = 1 A（图 2-45）。

图 2-45 2SK3745 的 gfs 测试条件



下文解释了 gfs I/V 测量设置。请参考图 2-46 中所示的相应编号。

1. 此测量使用 IV 测量的 IC-VGE 模板。
2. 在 gfs 测量中，gfs 用作 Y 轴值而不是 ID（图 2-47）。
3. 栅极电压以恒定阶跃（阶梯扫描）从 0 V 扫描至 10 V。需要定义起始值和停止值，使漏极电流足够大，以便测量 gfs。漏极电流应大于 ID 才能够测量 gfs。
4. HCSMU 用于在脉冲模式下施加漏极偏置。源极电压继承自数据表模式中定义的 V<sub>DS</sub>。合规电流也继承自 ID，用于测量数据表中的 gfs。
5. 要在漏极电流达到定义的合规电流 1 A 时停止 IV 扫描，请启用合规功率。
6. 标记会自动置于最后一个扫描点处，以读出指定电流下的 gfs 值。

图 2-46 gfs 测试设置

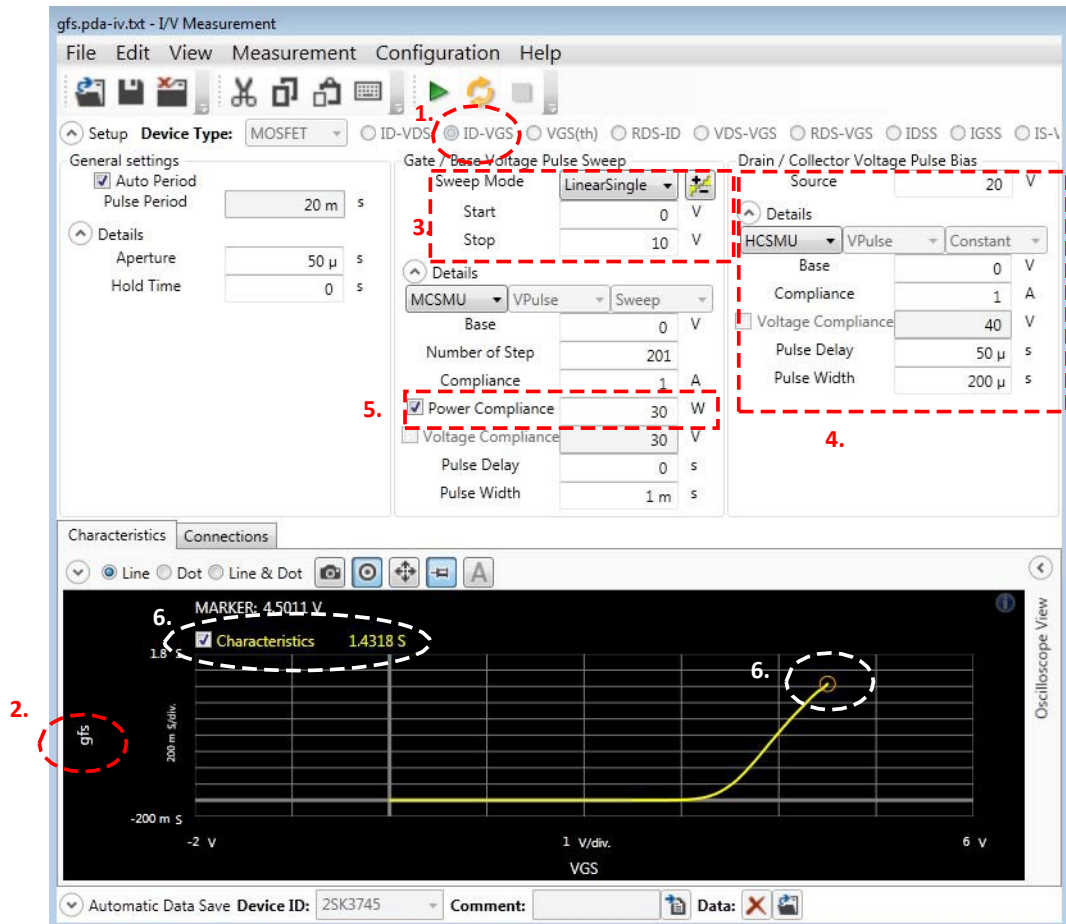
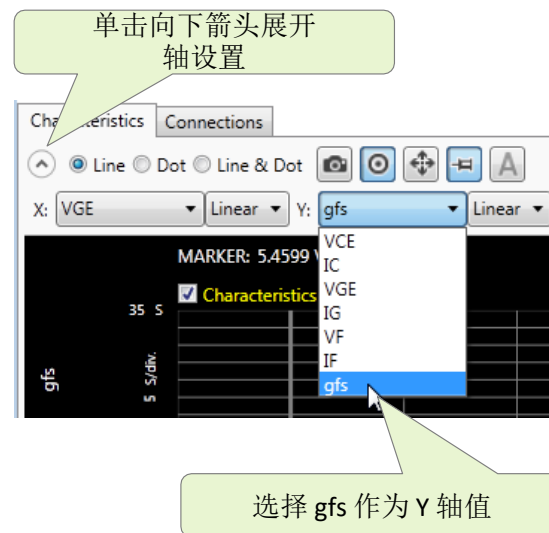


图 2-47 如何更改轴值



### 5.7 续流二极管 VF

VF 是指 IGBT 封装内部的续流二极管或功率 MOSFET 的内置二极管在指定正向电流下的正向电压。

如何设置 VF 测量参数

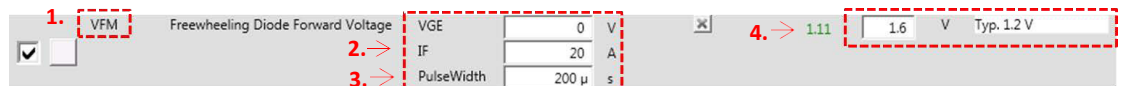
根据数据表中描述的条件修改测试条件。例如，以下是数据表中 VFM 的描述。二极管正向电压的定义条件为  $I_F = 20\text{ A}$ 。

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max	Units	
V <sub>FM</sub>	Diode Forward Voltage	I <sub>F</sub> = 20A	T <sub>C</sub> = 25°C	-	1.2	1.6	V
			T <sub>C</sub> = 125°C	-	1.04	-	

如何修改测试条件（请参考图 2-48）

- ✓ 单击参数区域进入编辑模式。
  - ✓ 根据数据表修改测试条件和额定值。
1. 根据数据表将符号的名称从 VF 更改为 VFM
  2. 输入与数据表中相同的测试条件（VGE = 0 V 和 IF = 20 A）。
  3. 必须谨慎选择脉冲宽度，避免因超过器件的 SOA 限制而导致器件损坏（请参阅 VCE-VGE 测量）。  
（对于本示例中使用的器件，200 μs 已足够）。
  4. 输入与数据表中相同的最大限值和典型值。

图 2-48 VFM 测试条件。

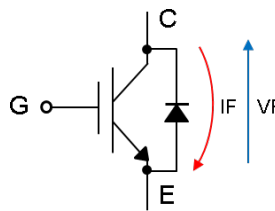


- ✓ 打开 IF-VF I/V 测量设置面板。（图 2-49）

下文解释了 IF-VF I/V 测量设置。请参考图中所示的相应编号。

5. IV 测量模式的 IF-VF 模板用于测量 VF。
6. 此设置在 DUT 中强制使用单阶跃电流脉冲并测量电压。  
由于 VF 的极性与 VCE 的极性相反（如下图所示），因此 VF 测量的起始电流设置为

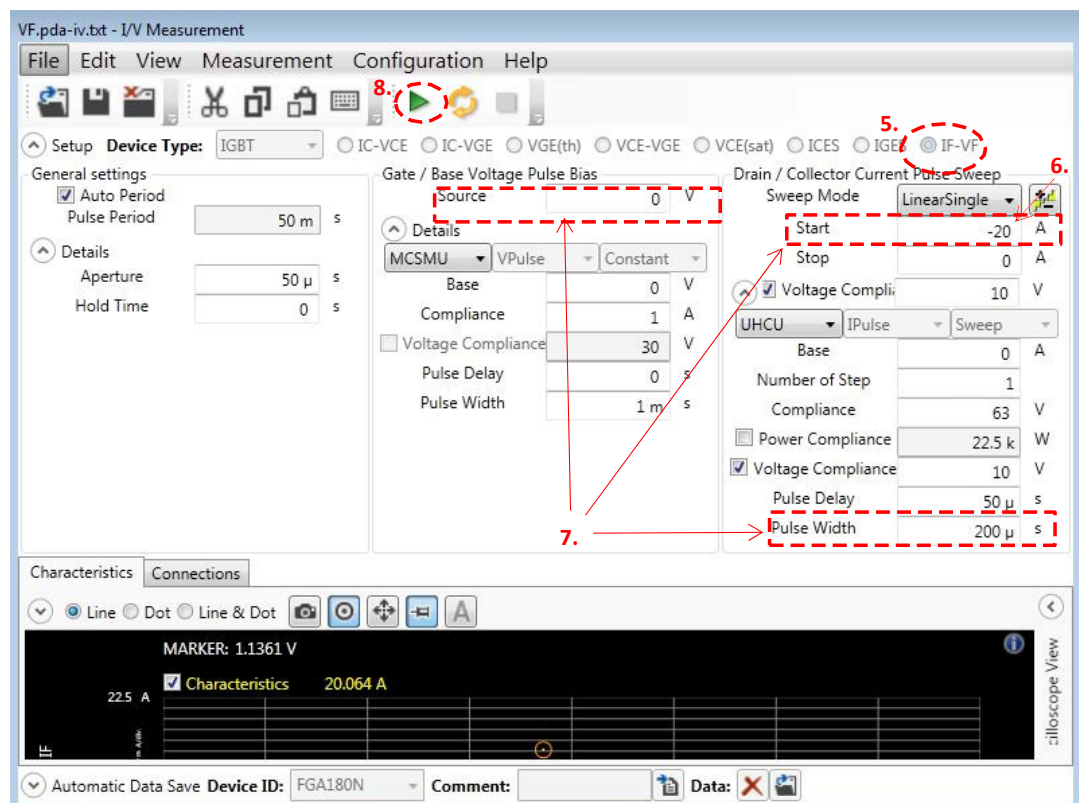
指定 IF 的负极性值。



7. Gate/Base Voltage Pulse Bias 的 Source 值、Drain/Collector Current Pulse Sweep 的 Start 值和 Pulse Width 继承自数据表设置中定义的测试条件。

注意：通常，在 VF 测量中，应仅修改 IF 值。在某些情况下，根据器件特性，可能还需要修改脉冲宽度。在这种情况下，基本上使用与 IC-VCE 测量中相同的脉冲宽度。

图 2-49 VFM 测试设置。



### VFM 测量设置的验证

完成详细的 I/V 测量设置后，建议对测量设置进行验证

8. 单击 **Measure** 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
- ✓ 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 **File --> Save** 来保存设置。



## 5.9 其他 IV 参数

有关功率 MOSFET 的  $R_{ds(on)}$  等其他 IV 参数的测量信息，请参考“第 3 章. I/V 测量”。

## 5.10 内部栅极电阻 (Rg)

FGA180N33ATD 的数据表中未列出内部栅极电阻 (Rg)。此部分参考了设置 Rg 的过程。

如需删除某个项目，请右键单击该项目并从弹出菜单中选择 Delete (图 2-50)，或者选中该项目，然后单击功能区菜单中的 Delete 按钮 (图 2-51)。

图 2-50 通过右键单击测试定义删除 Rg。



图 2-51 使用设置功能区菜单删除 Rg。



### 如何设置 Rg 测量参数

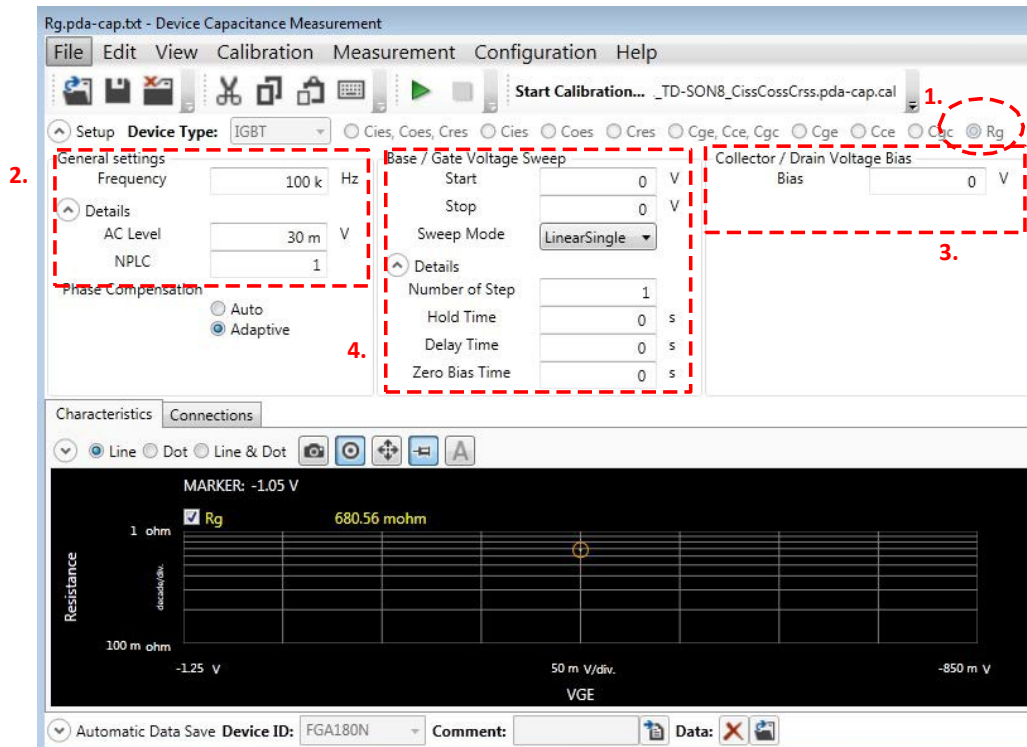
- ✓ 单击参数区域进入编辑模式。
- ✓ 输入栅极偏置电压和测量频率。由于 Rg 测量使用 Cs-Rs 模式下的 MFCMU，并将 Rg 提取为栅极电容的串联电阻，因此必须指定测量频率（图 2-52）

图 2-52 Rg 测试条件



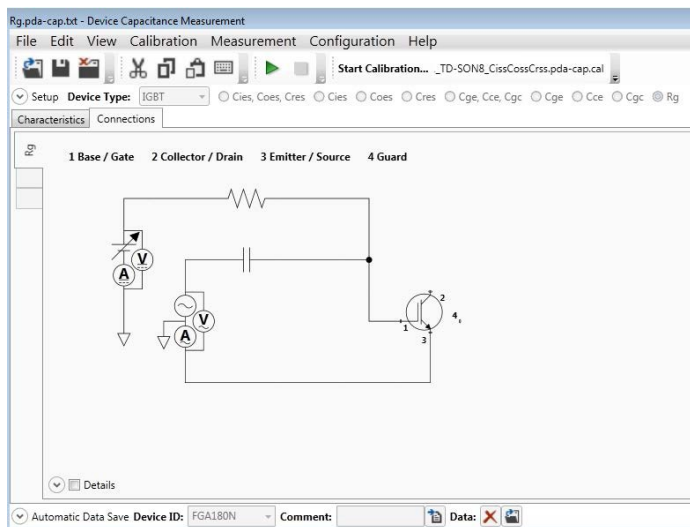
- ✓ 打开 Rg 测量设置面板，参考图 2-53 中的相应编号，按照下述步骤设置 Rg 测量。
  1. 在 ICES 测量后台，使用 IV 测量模式的 ICES 测量模板。
  2. 在常规设置中，使用的测量频率为 100 kHz。该值继承自数据表模式中定义的频率。
  3. 30 mV 的交流电平值通常用于半导体器件的电容测量以保持热平衡条件。
  4. PLC 模式用于精确测量。如果测得的 Rg 有噪声，增加 NPLC 的数量（4、8、16 或更多）可有效减少测量变化。

图 2-53 Rg 测量设置。



- ✓ 默认测试条件下，器件的集电极端子开路（图 2-54）。因此，改变集电极电压是无效的。
- ✓ 单阶跃 0V 设置为起始电压（仅测量具有起始电压的第一个阶跃）。该值继承自数据表模式中定义的 VGE。

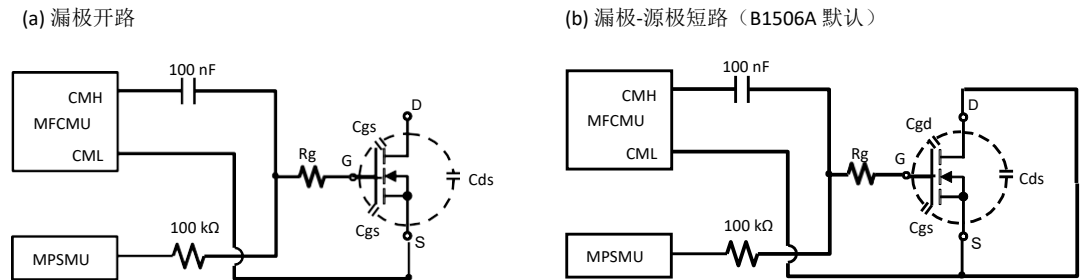
图 2-54 Rg 测量的简化电路示意图



**注意：** **R<sub>g</sub> 测量电路**

通常，在漏极开路条件下测量 MOSFET 的 C<sub>gs</sub> 时，将 R<sub>g</sub> 作为串联电阻进行测量，如图 2-55(a) 所示。

图 2-55 功率 MOSFET 的 R<sub>g</sub> 测量电路



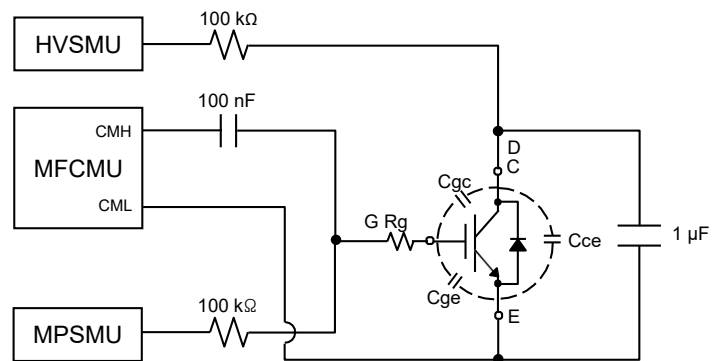
MOSFET R<sub>g</sub> 测量模板的 Easy Test Navigator 软件的默认设置是漏极和源极短接，如图 2-55(b) 所示。

漏极和源极短接用于将与“器件电容开关”相关的误差降至最低。因此，除非有特殊原因，否则建议您使用默认的漏极-源极短路条件。

要更改 R<sub>g</sub> 测量的漏极和源极连接，请参考本章末尾标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“如何更改 R<sub>g</sub> 测量的连接”部分。

**注意：** **VCE ≠ 0 V 时 IGBT 的 R<sub>g</sub> 测量**

在 IGBT 的数据表中，有时 R<sub>g</sub> 使用集电极上的 VCE 偏置条件来定义。在这种情况下，可以使用与 C<sub>ies</sub> 测量相同的连接（图 2-56）。

图 2-56 集电极偏置条件下 IGBT 的  $R_g$  测量电路

如何向集电极施加偏置电压：

要施加如图 2-56 所示的偏置电压，请参考本章末尾标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“如何更改  $R_g$  测量的连接”部分。

### 5.11 电容 (Cies、Coes、Cres)

数据表模式下的电容表征支持以下参数。

IGBT: Cies、Coes 和 Cres

MOSFET: Ciss、Coss 和 Crss

如何设置电容测量参数

电容测量相当简单。

✓ 指定与数据表中相同的测试条件，这适用于相对较小的器件。

注意:

若要进行大电容测量或要提高测量精度，请参考本章末尾标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“电容测量提示”部分。

如何修改测试条件 (图 2-57。)

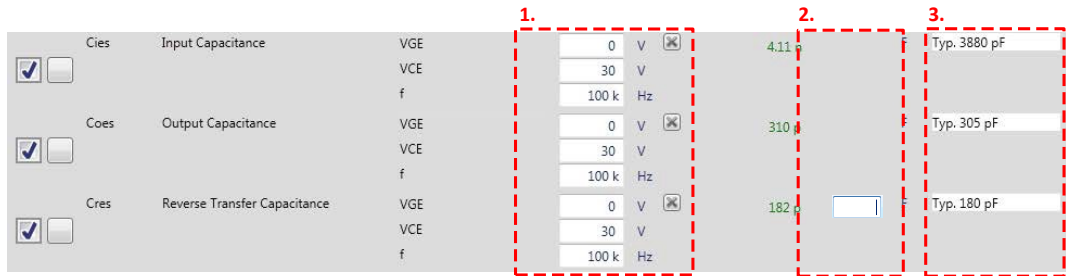
可以根据数据表中描述的条件修改测试条件。例如，以下是数据表中电容器元器件动态特性的描述。

动态特性						
符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
Cies	Input Capacitance	VCE = 30V, VGE = 0V, f = 1MHz	-	3880	-	pF
Coes	Output Capacitance		-	305	-	pF
Cres	Reverse Transfer Capacitance		-	180	-	pF

请参考图中的编号，按以下步骤设置各参数的测试条件。

1. 输入 VGE、VCE 和测量频率的测试条件。使用 B1506A 时，由于其器件电容开关的附加误差，建议使用 100 kHz 测量频率。
2. 如果数据表中定义了最大测试限值，请输入这些值。如果未定义，可以通过将最大测试限值留空来删除最大值或最小值。
3. 当数据表中未描述最大值时，建议输入典型值。

图 2-57 电容测试条件。



电容测量设置的详细信息

电容参数测量采用电容测量方式。

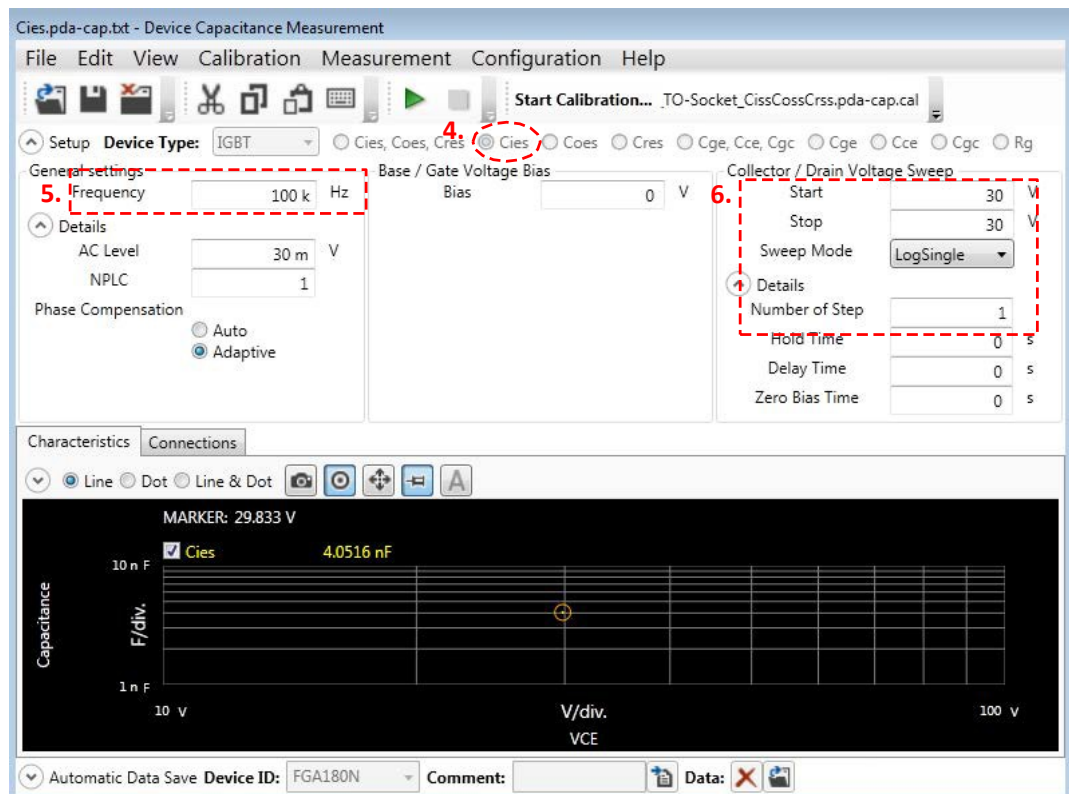
4. 对于 Cies 测量，使用电容测量模式的 Cies 模板，如图 2-58 所示。Coes 和 Cres 相同，在设置窗口中并未显示。
5. 用于测量电容的测量频率、VGE 和 VCE 继承自数据表设置中定义的测试条件。
6. 起始和停止电压继承自数据表设置中的测试条件。通过指定 1 作为阶跃数来定义单点测量。

无需更改电容测量设置中的测量参数。

可用选项有 AC Level（测量信号电平）和 NPLC（电源周期数）测量时间。

器件电容开关中直流阻断/交流短路电容器等待充电的保持时间和延迟时间会在内部加到指定值上

图 2-58 Cies 电容测量示例。



- 注意:** 在电容测量模式下，偏置三通、交流阻断电阻器和交流短路电容的连接会自动改变，以分别测量每个电容参数。
- 参考:** 请参考本章末尾标题为“关于使用数据表表征模式的有用信息”部分中的“电容测量技术”部分，了解包含交流短路电容器的测量电路的详细信息。

#### Cies 电容测量设置的验证

完成电容测量设置后，建议对测量设置进行验证。

- ✓ 单击 **Measure** 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
- ✓ 要将测试设置和测试结果保存在数据表中，请选择 **File --> Save** 来保存设置。



#### Coes、Cres 电容测量设置的验证

按照与 Cies 设置相同的方式重复 Coes 和 Cres 验证。

### 5.12 栅极电荷 (Qg、Qge、Qgc)

栅极电荷 (Qg) 测量用于测量输入到栅极端子的电荷，以通过有限的栅极电流提高栅极电压，并将器件从关断状态切换到导通状态。

参考：有关测量电路的详细信息，请参考“栅极电荷测量基础知识”部分。

如何设置栅极电荷测量参数

根据数据表中描述的条件修改测试条件，如图 2-59 所示。例如，以下是数据表中 Qg 特性的描述。

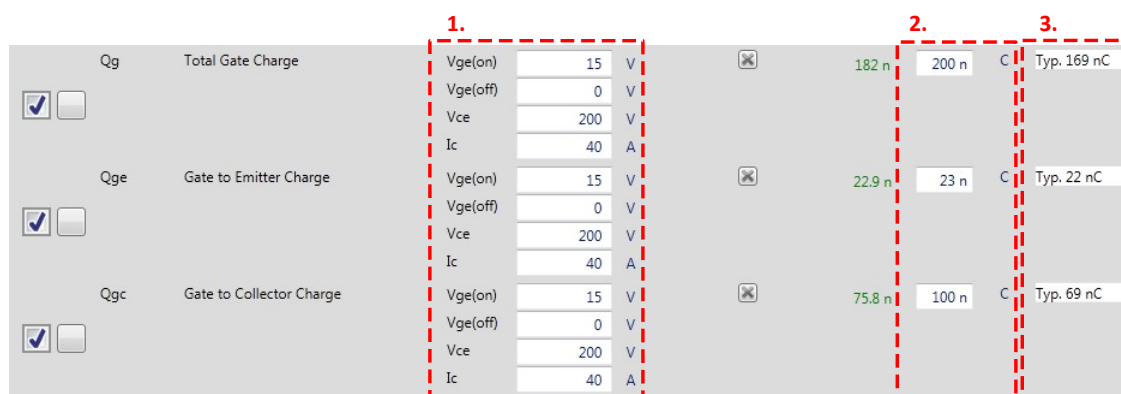
切换特性						
符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
Qg	Total Gate Charge	VCE = 200V, IC = 40A, VGE = 15V	-	169	-	nC
Qge	Gate to Emitter Charge		-	22	-	nC
Qgc	Gate to Collector Charge		-	69	-	nC

如果栅极电荷参数是用恒定集电极电流（或漏极电流）定义的（如示例所示），则 Qg 测量的设置简单明了。只需在数据表中的测试条件字段中输入指定参数即可。

请参考图中的编号，按照下述步骤设置各参数的测试条件。

1. 为参数 Qg、Qge 和 Qgc 输入 Vg(on)、Vg(off)、Vce 和 Ic 的测试条件。
2. 输入最大测试限值。虽然数据表中未指定最大值，但还是建议输入一些较大的值，以便软件进行通过/失败判断。如果最大值小于测量值，则测量值显示为红色，如图底部的红色箭头所示。
3. 当数据表中无最大值时，建议输入典型值。

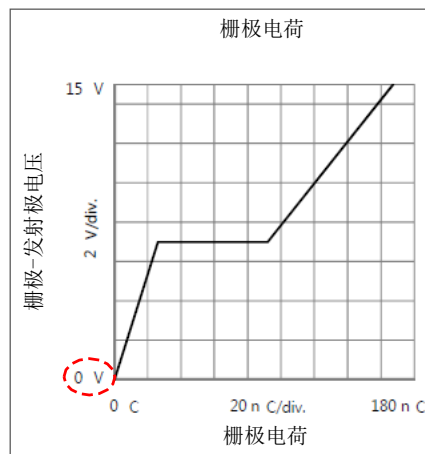
图 2-59 Qg 测试条件设置。



**注意** 当数据表中指定了负载电阻以测量  $Q_g$  时，建议使用以下转换公式将电阻值转换为电流值： $I = VCE/\text{电阻值}$ 。  
这是因为 B1506A 的  $Q_g$  测量使用不同的方法（即，恒流负载而非电阻）。有关  $Q_g$  设置的更多详细信息，请参考“第 5 章栅极电荷测量”部分。

**提示** 对于  $V_{ge(off)}$ （或  $V_{gs(off)}$ ），通常在数据表图形部分的  $Q_g$  曲线中使用 0 V。（图 2-60）

图 2-60 栅极电荷特性示例。



### 如何选择电流负载 FET

通常，可以使用与 DUT 相同的器件作为电流负载 FET。但是，由于与传统  $Q_g$  测量设备相比，使用 B1506A 进行  $Q_g$  测量期间的切换时间相对较长，因此如果测试条件超过电流负载 FET 的安全工作区 (SOA)，电流负载 FET 可能存在损坏的风险。

**提示：** 由于电流负载 FET 在其饱和区（恒定漏极电流区）使用，因此器件可能会因其 SOA 限制而存在击穿的风险。所以，如果可能，建议您选择 SOA 比 DUT 更宽的器件。有关更详细的说明，请参考“ $Q_g$  测试中的 SOA 和电流负载 FET”部分。

在 B1506A 演示中，通常使用 IXTX200N10L2 N 沟道 MOSFET 作为标准电流负载。

它具有以下特性。

- ✓ VDSS: 100 V
- ✓ IDM(pulse): 500 A
- ✓ RDS(on): 11 mΩ
- ✓ SOA 限值：如果器件消耗 UHCU 的最大 60 V 电压，则该器件可用作最高 200 A 的电流负载。

### Qg 设置

要测量数据表中的 Qg，请使用 Easy Test Navigator 的栅极电荷测量模式。

- ✓ 打开栅极电荷测量设置面板。（图 2-61）
- 以下参数来自数据表设置中的测试条件设置，它们继承自数据表设置中定义的测试条件。（对应项目请参考图中的编号。）
1.  $V_{ds(off)} = V_{ce(off)}$
  2.  $I_{d(on)} = I_c(on)$
  3.  $V_{gs(off)} = V_{ge(off)}$
  4.  $V_{gs(on)} = V_{ge(on)}$
  5. 在 Qg 曲线的定义区域中，将来自 VGE(th) (VGS(th) 用于 MOSFET) 的 Vth 输入到 Vgs(th)。

图 2-61 栅极电荷测量窗口。

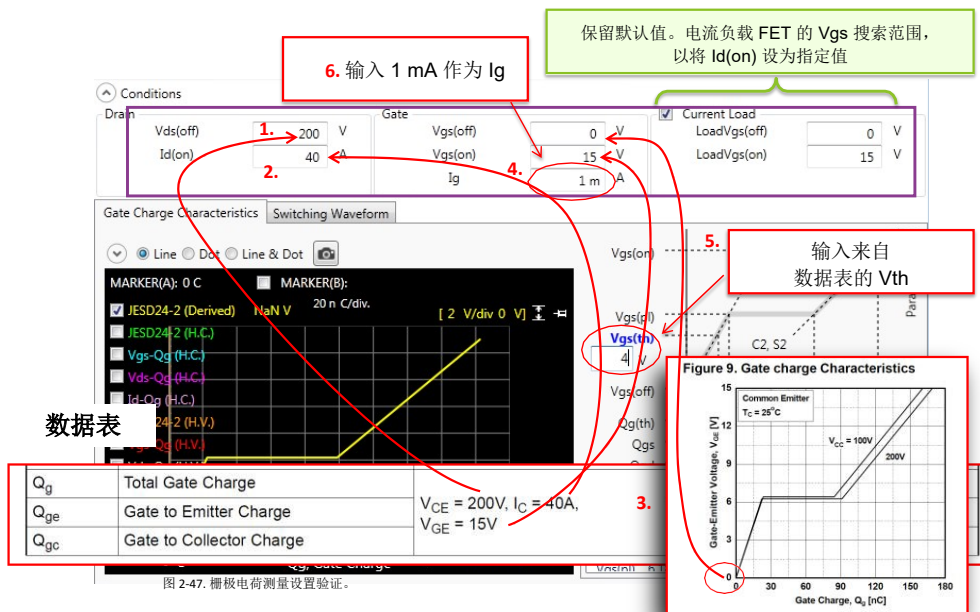


图 2-47. 栅极电荷测量设置验证。

6. 栅极电流 ( $I_g$ ) 通常并不从数据表中获取。B1506A 中使用的  $I_g$  参数由以下步骤确定。

使用以下公式计算驱动栅极所需的电荷 ( $R_q$ ):

$$- R_q = (Q_g \text{ (来自数据表)}) / V_{GE} \text{ (测试条件)} + 1.6 \text{ nF} \times ((V_{GE} \text{ (测试条件)} + 3.5) \times (1.5 \sim 2))$$

使用示例参数,  $R_q$  可以计算为:

$$\begin{aligned} - R_q &= (169 \text{ nC}) / 15 \text{ (V)} + 1.6 \text{ (nF)} \times (15 \text{ (V)} + 3.5) \times (1.5 \sim 2)^* \\ &= 238 \times (1.5 \sim 2) \text{ nC} \\ &= 357 \sim 476 \text{ nC}。 \end{aligned}$$

注意: 该电荷必须在一个栅极脉冲宽度周期内强制施加至栅极。乘以系数 (1.5 ~ 2) 是为了补偿 MCSMU 的实际电流。短时瞬态期间的 MCSMU 电流通常低于设定值, 建议增加该系数。

- a) 计算在默认 400  $\mu\text{s}$  栅极脉冲下为  $R_q$  充电所需的最小  $I_g$ 。
  - 最小  $I_g = R_q / 400 \mu\text{s}$使用上一步中所需的电荷计算如下,
  - 最小  $I_g = (357 \sim 476) \text{ nC} / 400 \mu\text{s} = 0.89 \text{ mA} \sim 1.19 \text{ mA}$
- b) 确定  $Q_g$  测量中使用的  $I_g$ 。
  - 使用上一步中计算得出的最小  $I_g$ , 在示例  $Q_g$  测量中使用 1 mA。

注意: 有关后台确定  $I_g$  的更多详细信息, 请参考“如何确定  $I_g$  以测量栅极电荷”部分, 获取更详细的说明。

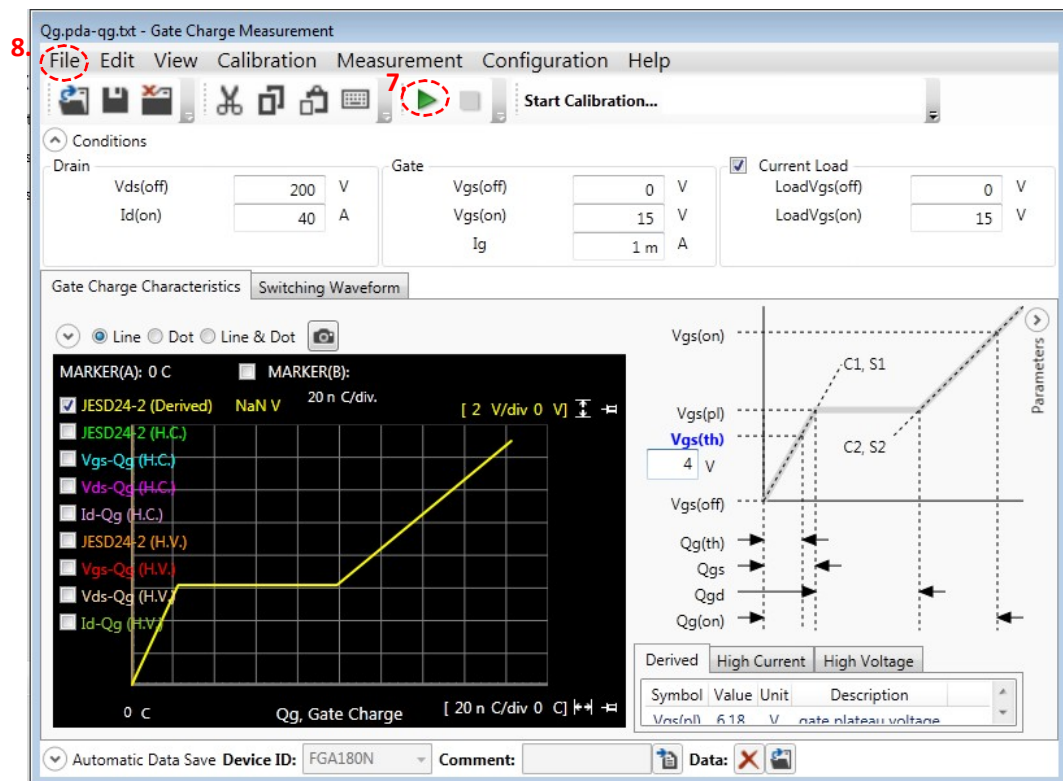
注意: 某些数据表描述了用于  $Q_g$  测量的  $I_g$ , 但此  $I_g$  将以实际切换速度驱动栅极。对于 B1506A, 无法使用此  $I_g$ , 因为实际切换速度对于 B1506A 而言过快。

## Qg 测量设置的验证

完成详细的 Qg 测量设置后，建议对测量设置进行验证。（请参考图 2-62）

7. 单击 Measure 按钮，测量结果将显示在图形区域中。
8. 要将设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置，或者单击功能区菜单中的 Save 按钮。

图 2-62 Qg 测量设置验证。



## Qge、Qgc 设置

针对 Qge 和 Qgc 设置及设置验证，重复与 Qg 设置相同的步骤。

### 如何删除栅极平台电压 $V_{ge(pl)}$

由于缺少栅极平台电压的定义，即示例器件数据表中的  $V_{ge(pl)}$ ，因此可以删除此测试。

如需删除  $V_{ge(pl)}$  的设置，请右键单击该项目并从弹出菜单中选择 **Delete**（图 2-63），或者选中该项目，然后单击功能区菜单中的 **Delete** 按钮（图 2-64）。

图 2-63 使用弹出菜单从数据表中删除  $V_{ge(pl)}$  参数。



图 2-64 使用功能区菜单从数据表中删除  $V_{ge(pl)}$  参数。



## 步骤 6

### 为特性图部分创建设置

此步骤演示如何为以下器件创建图形表征的每个测量设置。

6.1 IC-VCE 特性

6.2 IC-VGE 特性

6.3 VCE-VGE 特性

6.4 VF（续流二极管）特性

6.5 其他 IV 特性

6.6 CV 特性

6.7 栅极电荷特性

特性图部分位于数据表表征面板的底部。要设置测量和图形显示参数，请将鼠标光标放在图形或图形参数的顶部，然后单击要编辑的项目。

## 6.1 IC-VCE 特性

如何设置 IC-VCE 图形测量参数

IC-VCE 输出特性的 FGA180N33ATD 测量条件:

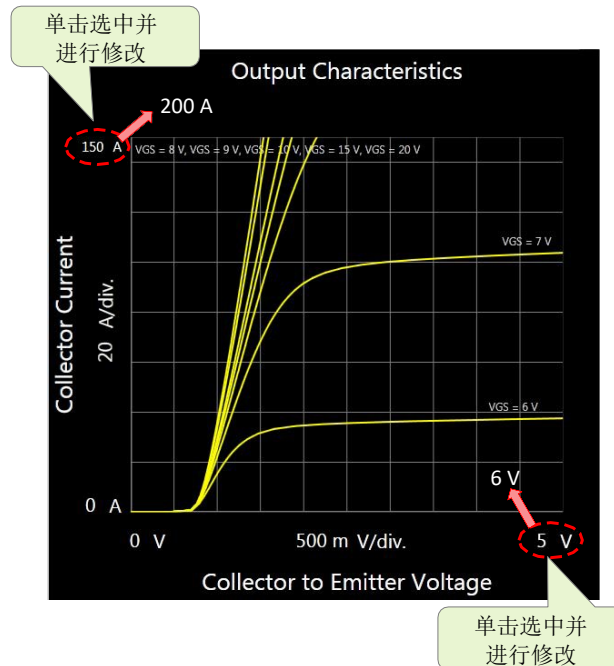
- ✓ IC: 0 - 200 A
- ✓ VGE: 0 - 6 V
- ✓ VGE: 6、7、8、9、10、12、15、20 V

按照下述步骤设置参数。

### 1. 图形标度设置

使用与数据表相同的方法修改图形的纵轴和横轴范围（请参考图 2-65）。

图 2-65



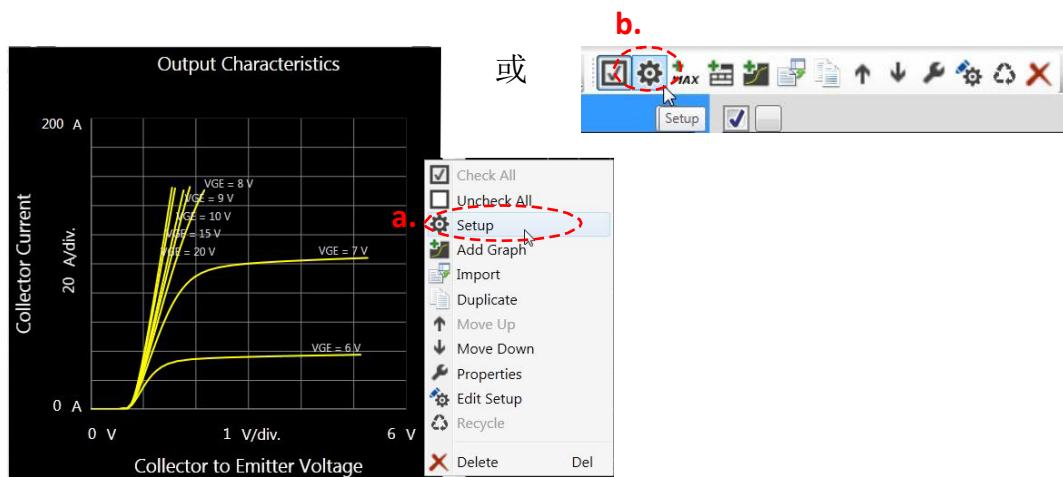
- ✓ 设置集电极电流: 0 - 200 A
- ✓ 设置集电极电压: 0 - 6 V
- ✓

### 2. 栅极电压阶跃

请参考图 2-66，通过打开 IC-VCE 测量的设置来修改栅极电压阶跃。

- ✓ 使用以下两种方法之一打开设置窗口:
  - a) 右键单击项目并从弹出列表中选择 **Setup**，或者
  - b) 选中项目并单击功能区菜单中的 **Setup** 按钮。

图 2-66 打开 IC-VCE 设置。



- ✓ 打开的 IC-VCE 设置窗口如图 2-67 所示。
- ✓ 单击阶跃列表的列表编号，将编号列表展开为编辑模式。（图 2-67(a)）
- ✓ 修改与数据表相同的栅极扫描电压列表（6 V、7 V、8 V、9 V、10 V、12 V、15 V、20 V）。

图 2-68 展示如何更改栅极阶跃电压。请参考图中的编号，按照下述步骤操作。

列表中已有 6、7、8、9、10、15、20 V，需要添加缺少的 12 V。

1. 单击 15 V
2. 单击 Insert 图标。
3. 随即会插入 0 V。
4. 将插入的 0 V 更改为 12 V。

- ✓ 将集电极电压扫描的停止电压修改为 30 V，以涵盖图表的整个区域，如图 2-67(b) 所示。

停止电压使用以下公式确定： $V_{set} > (V_{out \text{ 最大值}}) + (\text{合规电流}) \times R_{out}$

$$6 \text{ V} + 200 \text{ A} \times 120 \text{ m}\Omega = 30 \text{ V}$$

其中，120 m $\Omega$  是超高电流单元 (UHCU) 在 500 A 范围下的输出电阻值。

有关 UHCU 运算的详细说明，请参考“如何为 VCE(sat) 设置 UHCU 的 V/I 参数”部分。

图 2-67 IC-VCE 设置窗口。

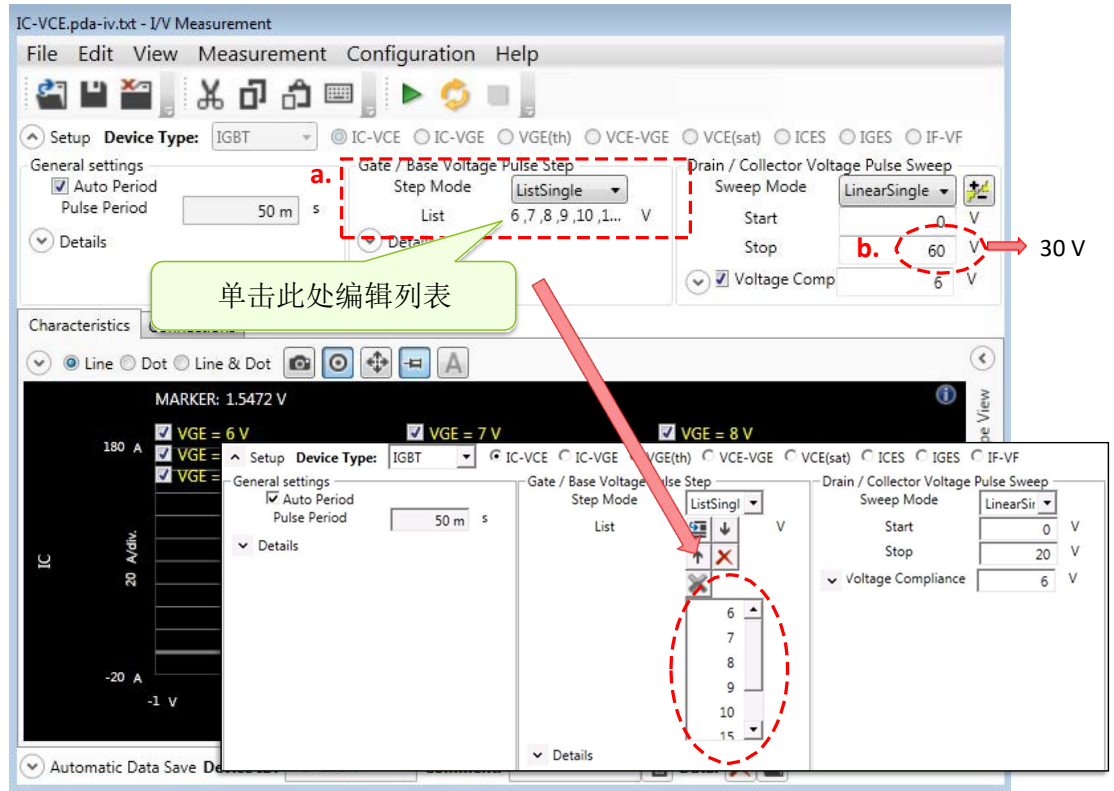
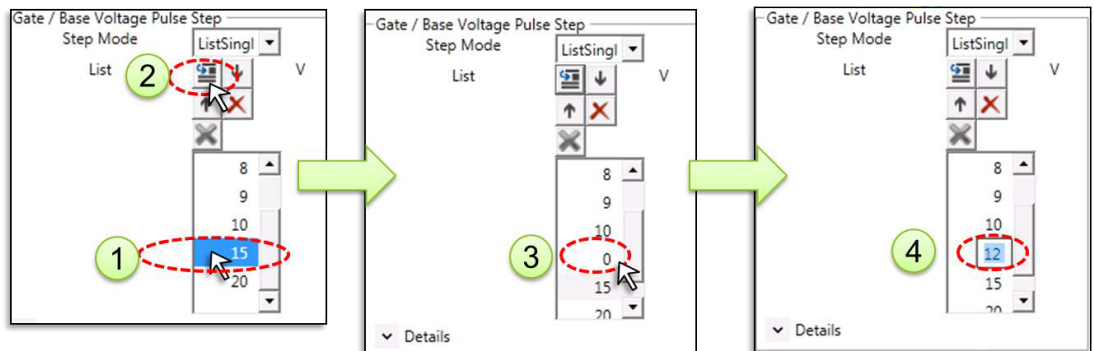


图 2-68 栅极阶跃电压修改。



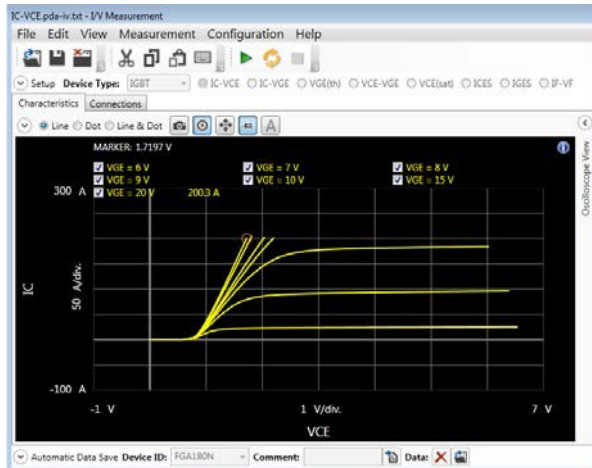
### IC-VCE 测量设置的验证

完成详细的测量设置后，建议对测量设置进行验证。

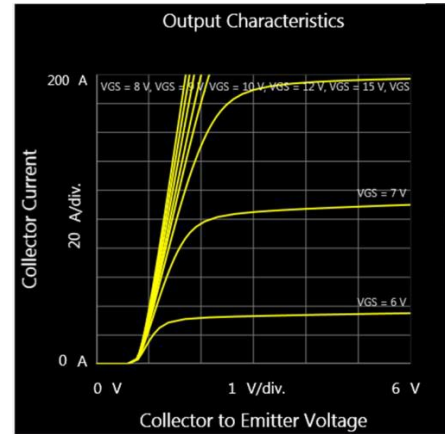
- ✓ 单击 IV 测量设置的 Measure 按钮以确认设置。（请参考图 2-69(a)。）

图 2-69 IC-VCE 测量结果

a) IC-VCE 设置和输出。



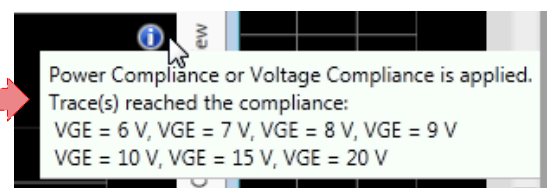
b) 更新的数据表图形。



注意：

测量完成后，有时右上角会出现感叹号（图 2-70）。它表示在测量过程中报告了某种异常状态。进行 IC-VCE 测量时，由于超过指定合规电压和合规电流的电压或电流测量被跳过，因此会出现感叹号。单击标记可以查看报告状态的详细信息。

图 2-70 测量状态通知



## 数据表表征

- ✓ 要将设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置，  
或者单击功能区菜单中的 Save 按钮。



- ✓ 数据表中的图形即会更新，如图 2-69(b) 所示。

## 6.2 IC-VGE 传输特性

IC-VGE 传输特性通过扫描固定集电极电压条件下的栅极电压来测量集电极电流。

在要求  $V_{ce}$  固定的测量中，必须使用 SMU。B1506A-H51/H71 型号使用 MPSMU，而 B1506A-H21 使用 HCSMU。

这种测量中使用的最大输出电流如下所示。

- MPSMU: 100 mA
- HCSMU: 20 A

IC-VGE 传输特性的 FGA180N33ATD 测量条件:

- ✓ VCE: 20 V
- ✓ ICE: 0 - 200 A
- ✓ VGE: 0 - 10 V

**注意:** B1506A-H51/H71 中的 UHCU 在输出电流因 UHCU 输出电阻引起的压降而变化时无法保持固定电压。因此，测量结果可能与预期的测试结果不同。有关此问题的详细信息，请参考“如何设置电压强制模式设置”部分。

**注意:** 要在较高电流下测量 IC-VGE（或 ID-VDS），EasyEXPERT 的 Ic-Vge for Expanders（或 Id-Vgs for Expanders）应用非常有用。

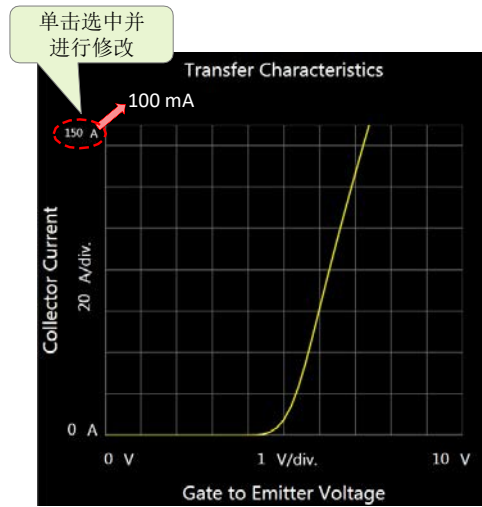
如何设置 IC-VGE 图形测量参数

在测量示例中，MPSMU 用作集电极电源，最大电流为 100 mA。按照下述步骤设置参数。

### 1. 图形标度设置

请参考图 2-71，将图形的纵轴和横轴的范围修改为与数据表一致。

图 2-71



- ✓ 将最大集电极电流更改为 100 mA。

## 2. IC-VGE 测量设置

通过打开 IC-VGE I/V 测量设置窗口来修改测量设置。（请参考图 2-66 IC-VCE 示例，打开测量设置窗口。）

- ✓ 打开的 IC-VGE 设置窗口如图 2-72 所示。

按照下述步骤设置 IC-VGE I/V 测量，其中的数字编号与图中的对应数字一致。

1. 对于 IC-VGE I/V 测量，使用 I/V 测量的 IC-VGE 模板。
2. 单击驱动单元按钮（UHCU 处于选定状态），驱动选择下拉菜单即会打开。
3. 单击 MPSMU。
4. MPSMU 即被设为漏极/集电极电压源，同时输入字段会针对 MPSMU 设置参数而更改。
5. 将集电极脉冲偏置源改为 20 V。
6. 将合规电流改为 100 mA。
7. 请注意，脉冲宽度设为 500  $\mu$ s。
8. 确认栅极扫描停止电压为 10 V。
9. 单击 Start Measurement 按钮。  
随即会进行 IC-VGE 测量（图 2-73(a)）。
10. 按 Save 图标保存设置和测量数据。（图 2-73）。
11. 数据表图形即会更新（图 2-73(b)）。

图 2-72 MPSMU 的 IC-VGE I/V 测量设置。

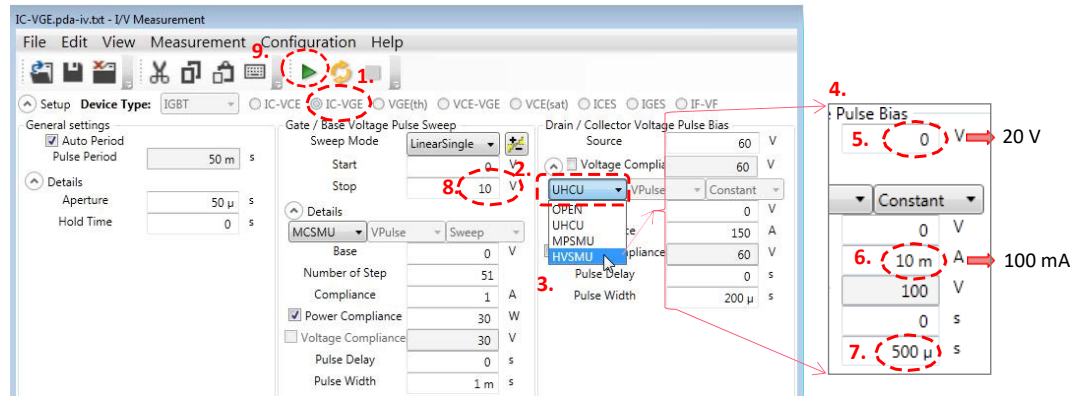
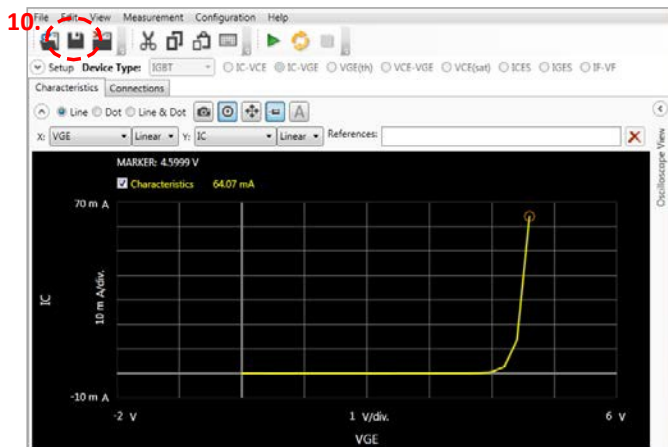
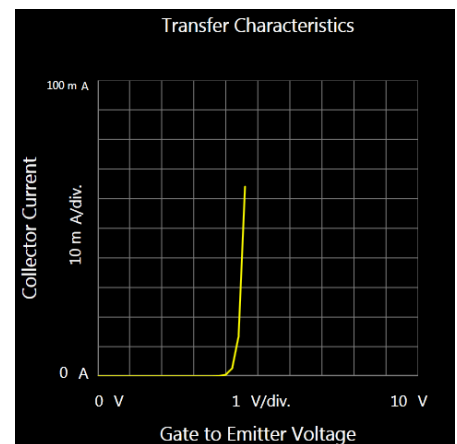


图 2-73

a) Ic-VGE 设置和输出。



11. b) 更新后的数据表图形。



参考:

使用 UHCU 的高电流 IC-VGE 测量:

您可能对使用 UHCU 测量超过 100 A 电流的 IC-VGE 测试结果感兴趣。  
“使用 UHCU 的 IC-VGE 输出特性测量”部分介绍使用 UHCU 的 IC-VGE 测量。

### 如何测量阈值区的 IC-VGE 特性

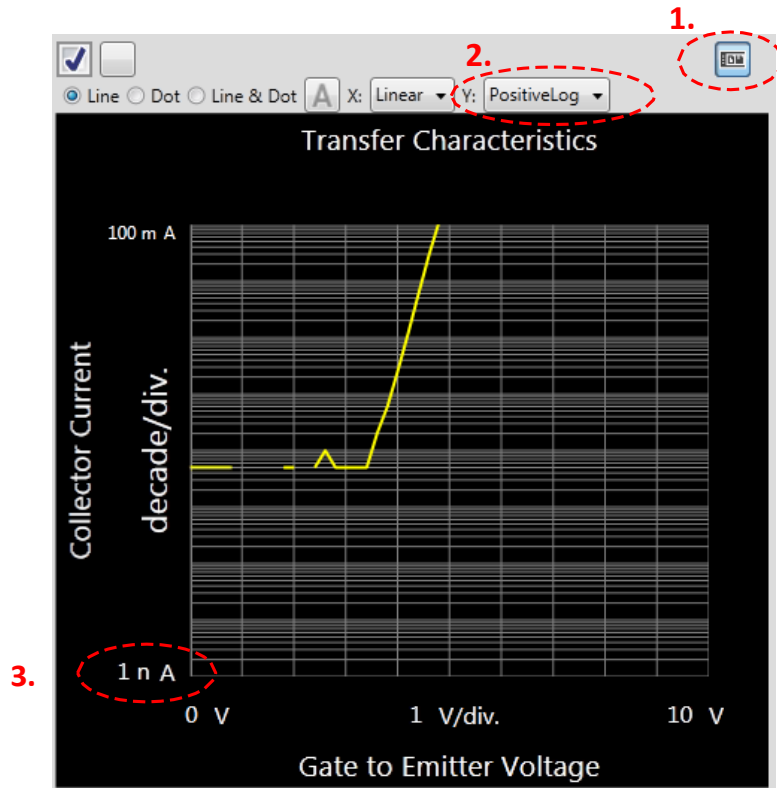
由于 IC-VGE 测量的默认设置使用脉冲模式，因此电流测量分辨率由合规电流定义。合规电流为 100 mA 时，电流测量分辨率为 5  $\mu$ A，不能测量低于此值的特性。

图 2-74 显示测得的 IC-VGE 曲线（采用对数标度）。

要更改图形的定标模式，请执行以下操作：

1. 单击图形右上角的图形图标以显示绘图和轴设置，
2. 将 Y 轴定标模式更改为 PositiveLog，
3. 将 Y 轴的最小值更改为 1 nA。

图 2-74 IC-VGE 特性的低电流区域

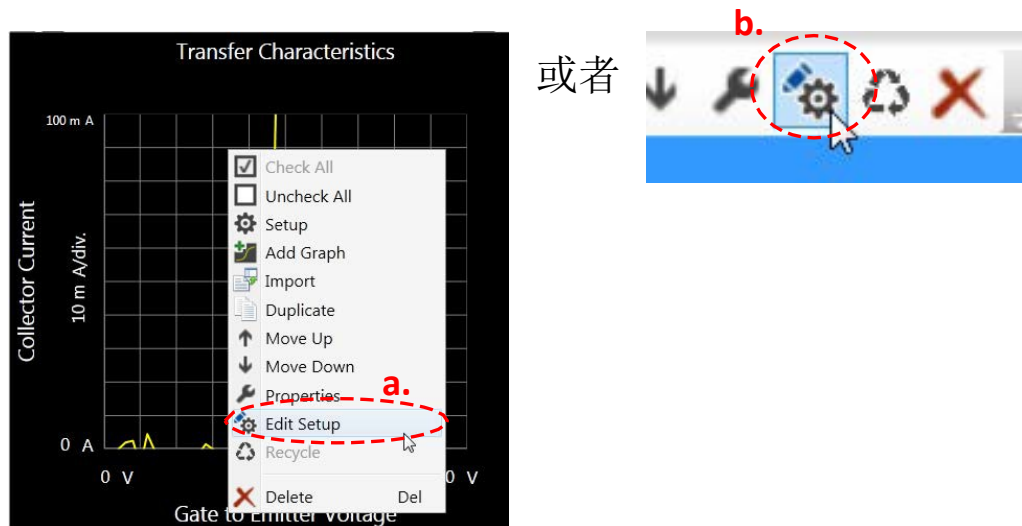


要以较低的电流范围（如阈值电压附近）测量 IC-VGE 特性，必须使用 Fine 模式，并使用 V 模式（直流模式）下的 MPSMU。但是，如果 IC-VGE 被优化为使用 UCHU 或 HCMU 测量高电流下的特性，则默认设置为脉冲模式。在设置中，对测量至关重要的参数已锁定，以避免由于设置不当而引起的测量误差。

要修改锁定的参数，必须使用 Edit Setup，如图 2-75 所示，

- a) 右键单击项目并从弹出列表中选择 Setup，  
或者
- b) 选中项目并单击功能区菜单中的 Setup 按钮

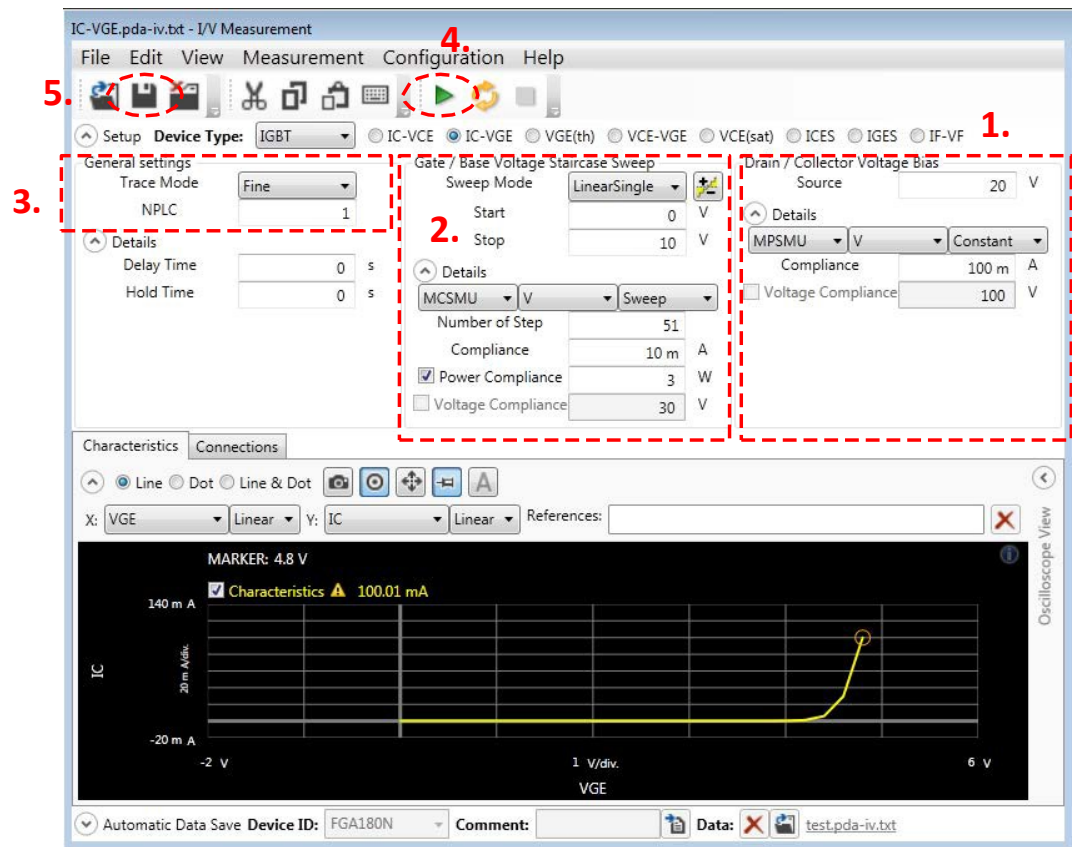
图 2-75 更改设置中的锁定参数



按照下文所述更改设置：

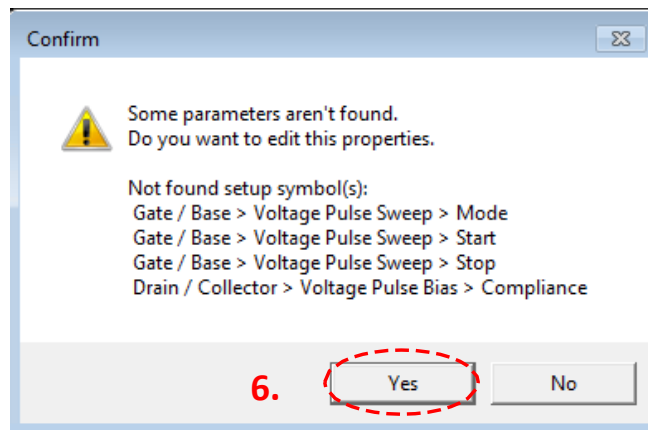
1. 将输出模式从 Vpulse 更改为 V。  
将源电压设为 20 V，合规电流设为 100 mA。
2. 将输出模式从 Vpulse 更改为 V。  
将起始电压设为 0 V，停止电压设为 10 V。将阶跃数设为 51。  
选中 Power Compliance。
3. 将 Trace Mode 更改为 Fine。
4. 单击 Start Measurement 按钮。
5. 单击 Save 按钮将更改反映到数据表级别。

图 2-76 低电流区的 IC-VGE 设置



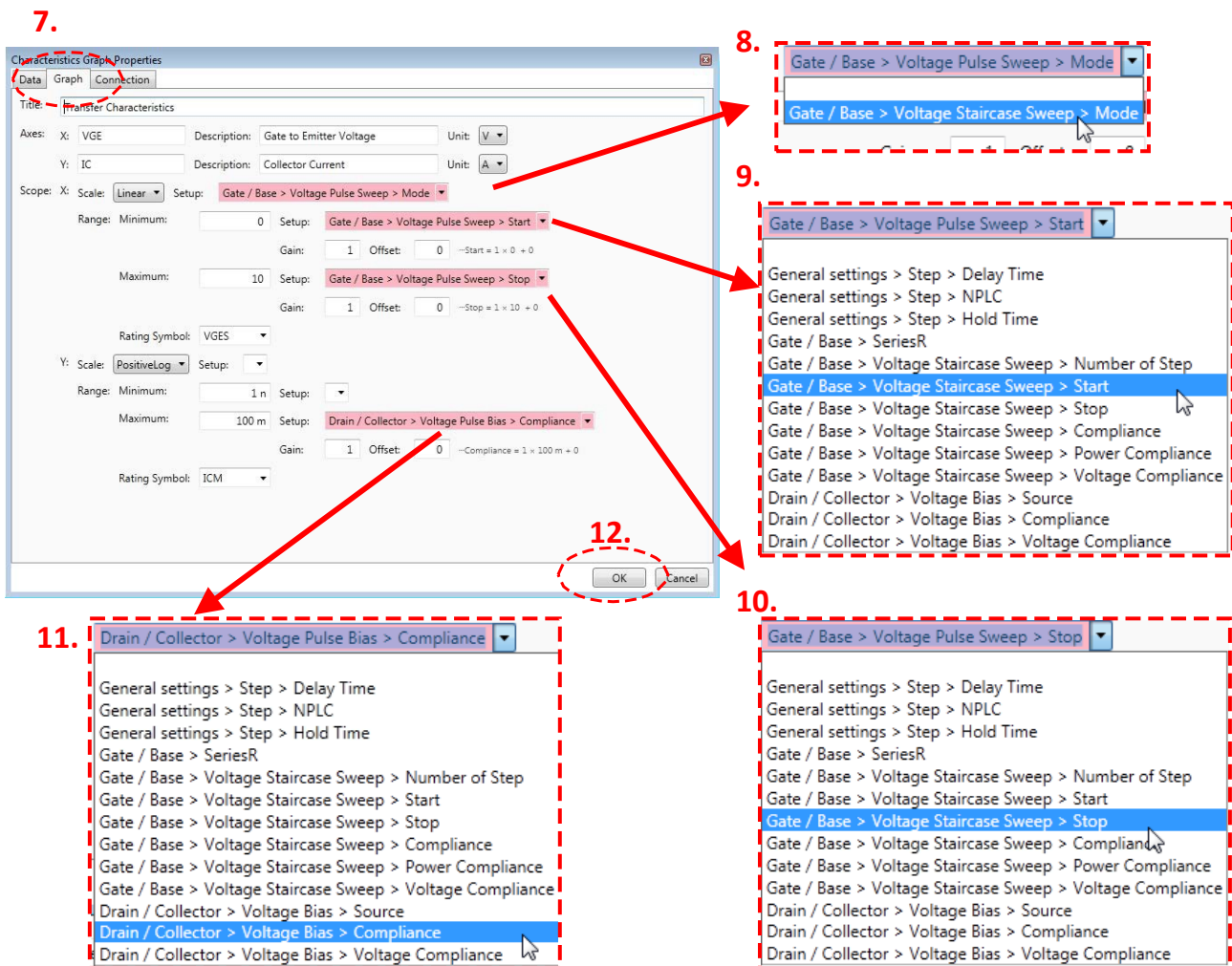
- 6. 保存设置后，会出现一个窗口，警告设置与数据表属性不匹配（图 2-77）。
- ✓ 单击 Yes 转到属性编辑器。

图 2-77 IV 测量设置与数据表设置不匹配警告



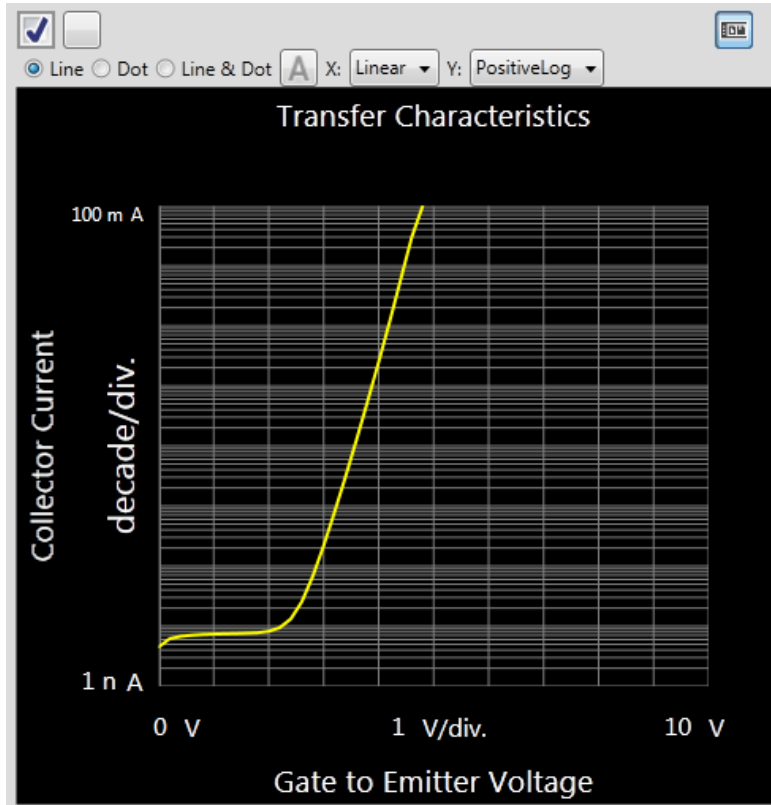
7. 选择 Graph 选项卡。在图形窗格中，不匹配的参数以粉色标出。
8. 将与 X 轴定标模式相关的设置更改为 Gate / Base > Voltage Staircase Sweep > Mode。
9. 将与 X 轴最小值相关的设置更改为 Gate / Base > Voltage Staircase Sweep > Start。
10. 将与 X 轴最大值相关的设置更改为 Gate / Base > Voltage Staircase Sweep > Stop。
11. 将与 Y 轴最大值相关的设置更改为 Drain / Collector > Voltage Bias > Compliance。
12. 单击 OK 使这些更改生效。

图 2-78 修改 IC-VGE 测量属性



更新图形属性后，图形会用 nA 范围内的较低电流进行更新（图 2-79）。

图 2-79 在精细模式下测得的 IC-VGE 结果。



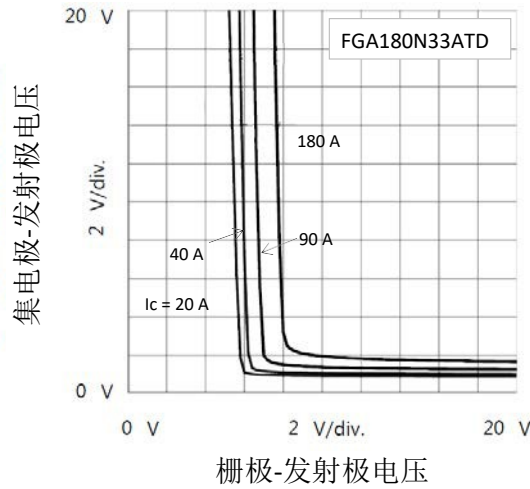
### 6.3 VCE-VGE 特性 - VCE(sat)

VCE-VGE 特性被称为集电极饱和电压特性 VCE(sat)。

VCE-VGE 传输特性的 FGA180N33ATD 测量条件：

图 2-80 显示典型的 VCE(sat) 与 VGE 特性。

图 2-80 AVCE-VGE 饱和电压特性。



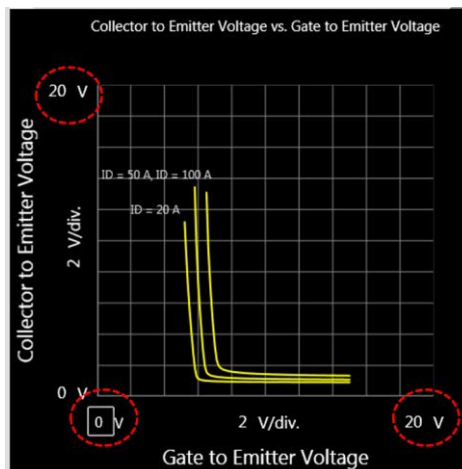
如何设置 VCE-VGE 图形测量参数

按照下述步骤设置参数。

#### 1. 图形标度设置

请参考图 2-81，将图形轴的范围修改为与数据表一致。

图 2-81



- ✓ 集电极-发射极电压：0 - 20 V
- ✓ 栅极-发射极电压：0 - 20 V

## 2. VCE-VGE I/V 测量步骤

通过打开 VCE-VGE I/V 测量设置窗口来修改测量设置。（请参考图 2-66 IC-VCE 示例，打开测量设置窗口。）

- ✓ 打开的 VCE-VGE 设置窗口如图 2-82 所示。

按照下述步骤设置 VCE-VGE I/V 测量，其中的数字编号与图中的对应数字一致。

1. 对于 VCE-VGE I/V 测量，使用 I/V 测量的 VCE-VGE 模板。
2. 将集电极电流的列表修改为与数据表一致，即修改为 20、40、90 和 180 A（请参考图 2-82）。
3. 栅极/基极偏置扫描范围和合规电压继承自数据表设置中定义的测试条件。
4. 将漏极/集电极电流脉冲设置的脉冲宽度从 500  $\mu\text{s}$  修改为 300  $\mu\text{s}$ 。（图 2-83）。
5. 单击 Start Measurement 按钮。随即会进行 VCE-IGE 测量（图 2-84）。
6. 按 Save 图标保存设置和测量数据。（图 2-84）。数据表图形即会更新，如图 2-85 所示。

图 2-82 VCE(sat) 测量的 VCE-VGE I/V 测量设置。

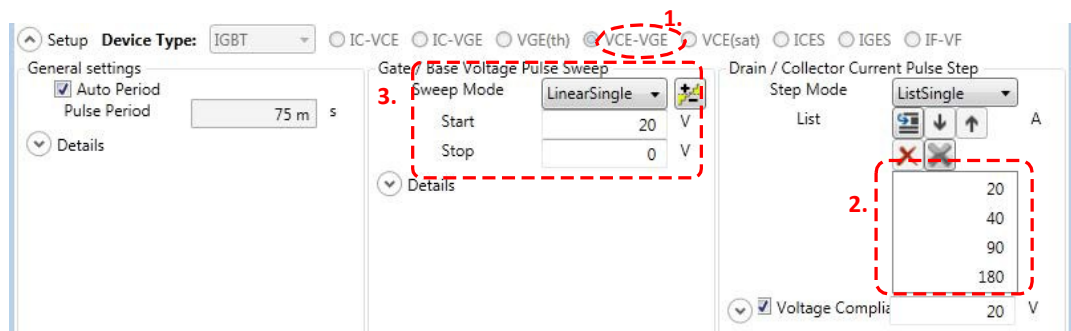
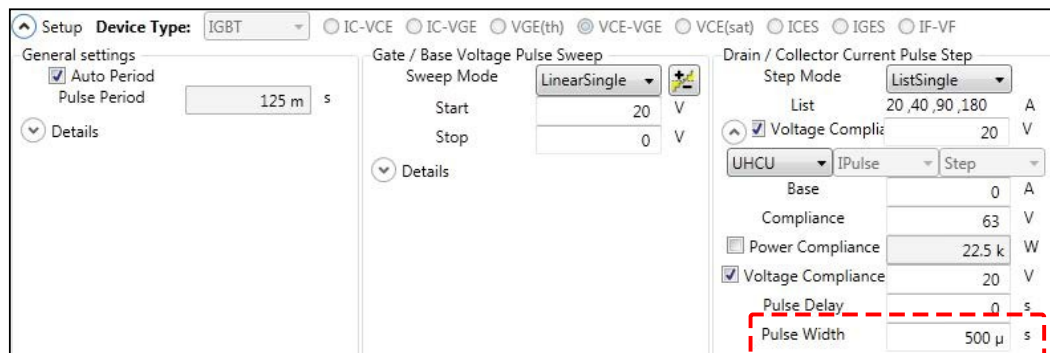


图 2-83 脉冲设置。



4.

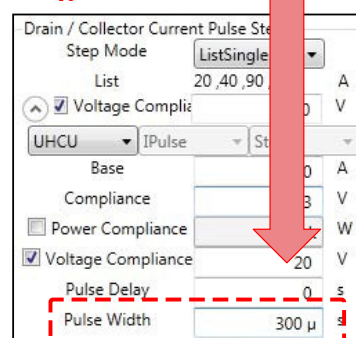


图 2-84 VCE-VGE 测量结果。

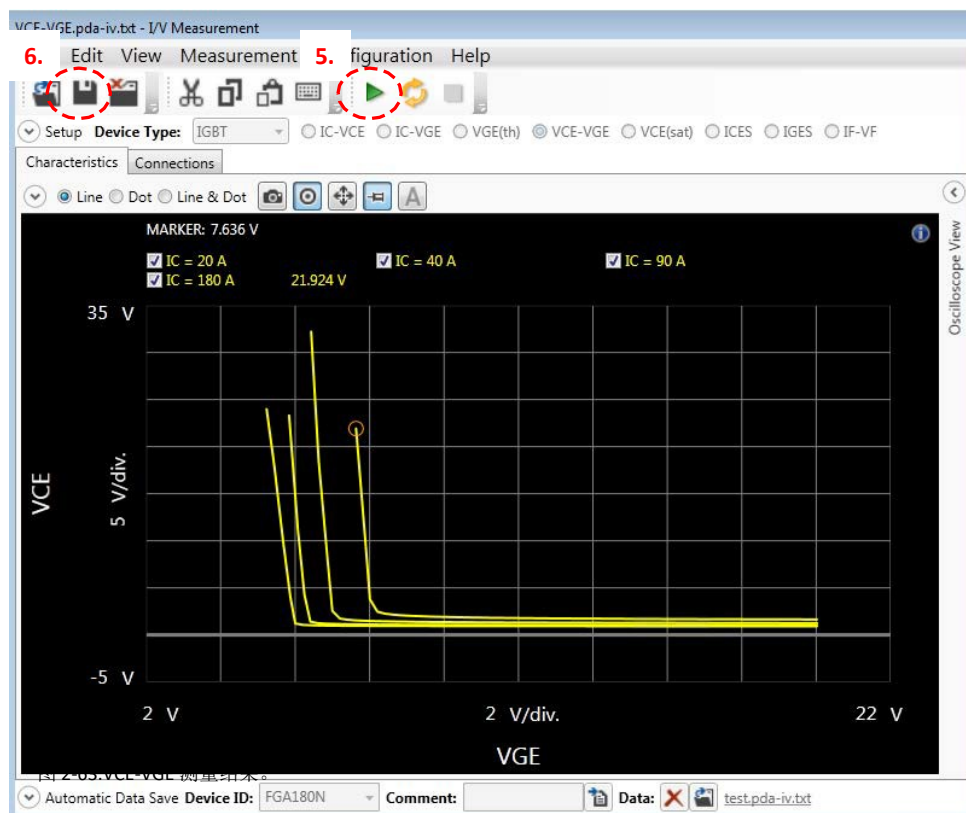
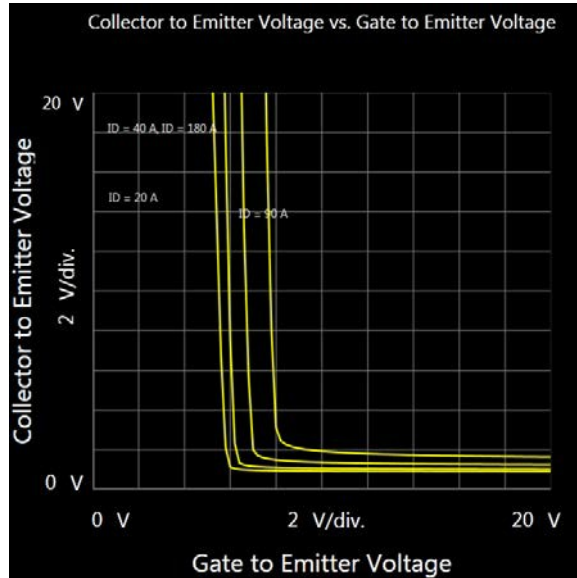




图 2-85 数据表表征面板中更新后的 VCE-VGE 图形。



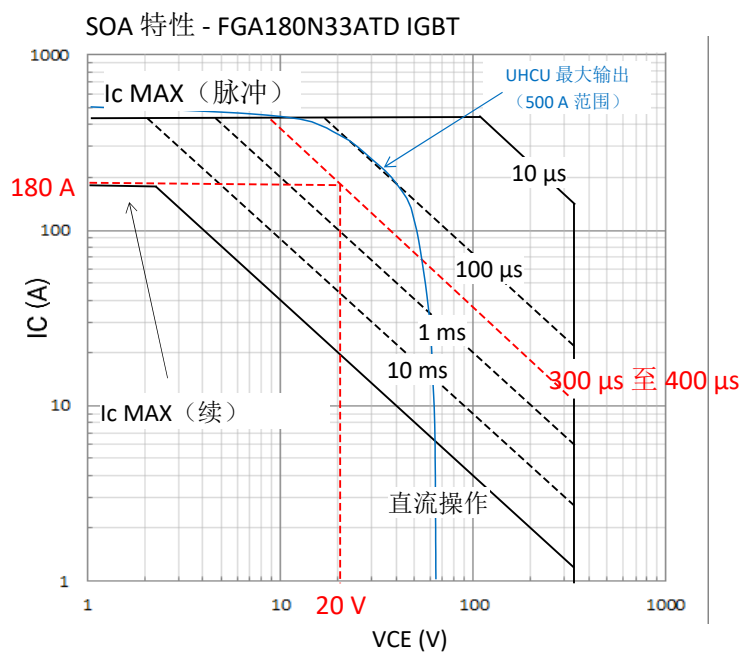
注意：

必须谨慎选择在 VCE-VGE 测量中使用的脉冲宽度，切勿超过器件的 SOA 限制。

在本示例中，最大集电极电流和集电极电压分别为 180 A 和 20 V。图 2-86 显示器件的 SOA 特性、U<sub>HCU</sub> 在 500 A 范围内的最大输出范围以及 180A - 20 V 线。根据 FGA180N33ATD 的 SOA 特性，允许的最大脉冲宽度确定为 300  $\mu$ s 至 400  $\mu$ s。

通过将合规（电压）设置降低到约 45 V（此值满足 500 A 范围内的 180A 和 20 V 输出），还可以限制 HCU 的绝对输出功率。

图 2-86 SOA 限制和脉冲宽度设置。



提示： 如何确定合适的脉冲宽度  
 较短的脉冲（如脉冲宽度为 200  $\mu\text{s}$ ）有时会使  $V_{CE}(\text{sat})$  曲线在关断状态下失真，并且可能不适用于像 20 A 这样  $I_C$  较小的情况，20 A 是示例中使用的  $I_{CE}(\text{sat})$  的规格参数。

例如，当使用 200  $\mu\text{s}$  的脉冲宽度时，用 20 A 集电极电流测得的  $V_{CE}-V_{GE}$  曲线会出错，如图 2-87 所示。 $V_{CE}$  曲线显示  $V_{GE}$  较低（即器件接近关断状态）时，电压平坦。

这种现象是由于当 UHCU 用于电流脉冲模式 (Ipulse) 时，在相对较小的电流下电压上升时间较慢或响应时间较长所致。

图 2-87 脉冲宽度为 200  $\mu\text{s}$  的  $V_{CE}(\text{sat})$ 。

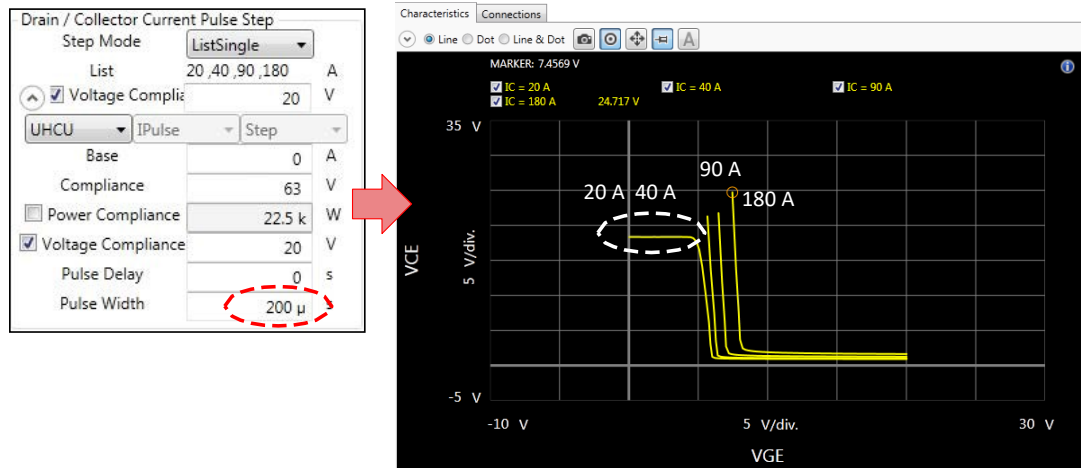
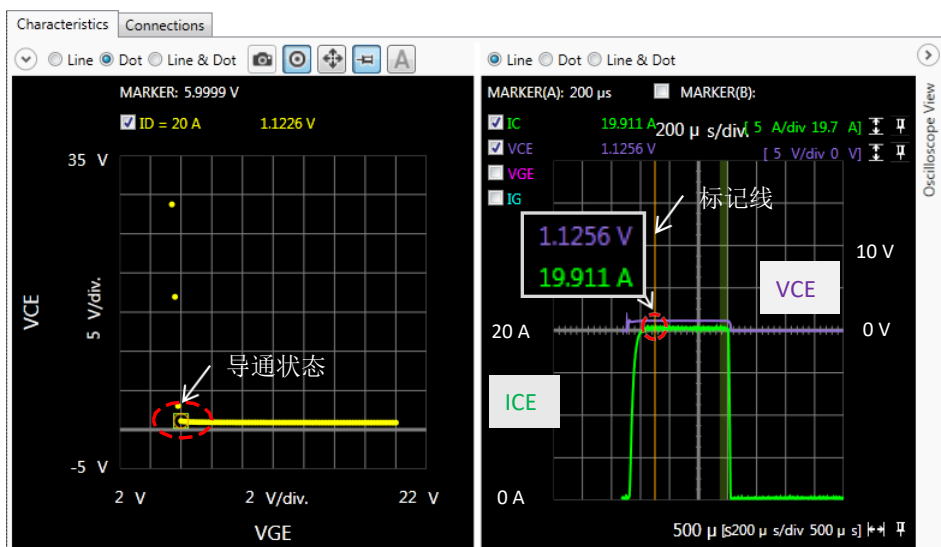


图 2-88 显示  $I_C$  设置为 20 A，脉冲宽度为 1 ms 时， $V_{CE}$  和  $I_{CE}$  在导通和关断状态下的  $V_{CE}(\text{sat})$  脉冲波形。

图 2-88(a) 显示导通状态的  $V_{CE}-V_{GE}$  曲线（左）和脉冲波形（右），其中  $I_{CE}$  脉冲在电压为 1.1256 V 时上升到指定的电流 (20 A)（请参考 200  $\mu\text{s}$  脉冲位置  $V_{CE} = 1.1256 \text{ V}$  和  $I_C = 19.91 \text{ A}$  时的脉冲形状和标记读数）。

图 2-88 导通和关断状态的 VCE(sat) 示波器视图。  
(a) 导通状态脉冲



(b) 关断状态脉冲

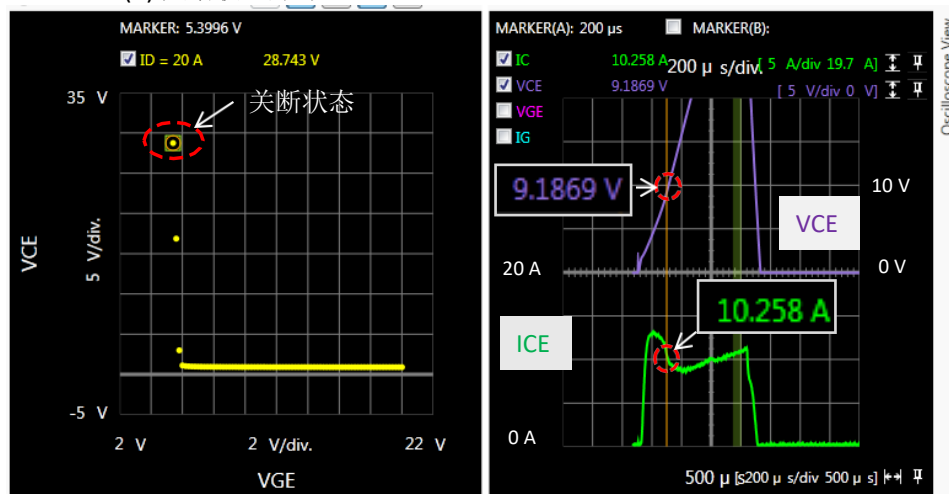


图 2-88(b) 显示脉冲计时为 1 ms 的关断状态 VCE-VGE 曲线（左）和 0 到 1ms 跨距的脉冲波形（右）示例。

由于器件处于关断状态，实际上可能不会强制使用指定的 ICE 电流 (20 A)。在图中所示的例子中，电压脉冲波形仍处于电压上升过程的中间，试图强制使用指定的 20 A 电流。因此，在脉冲计时为 200 μs 时，标记读数为 10.258 A 和 9.1869 V，考虑到电压波形仍在上升，该电压读数略低于预期电压。

(请注意，关断状态电压测量的读数实际受测试设置中的合规电压设置限制。)

因此，要在各种 VGE 设置的恒定电流模式下测量 VCE(sat)-VGE 曲线，必须选择适当的脉冲宽度，以获得与数据表一致的预期 VCE-VGE 曲线。

必须满足以下两个条件才能得到满意的结果

- ✓ 脉冲足够短，以便不损坏器件。
- ✓ 脉冲足够长，以让电压上升到足够大的值。

注意：实际上，在示例器件中，对于集电极电流为 180 A 的 VCE-VGE 测量，不允许脉冲宽度为 1 ms，因为该值超出了 SOA 限制。即便示例中使用了 300  $\mu$ s 这样的短脉冲宽度，测得的关断状态电压仍低于预期值。但是，测量 VCE-VGE 曲线的一个关键点就是要知道 VCE 状态从导通变为关断时的 VGE 电压。关断状态下的 VCE-VGE 斜率不是很重要，关断状态下的测量电压较低也不是问题。

注意：有关使用示波器视图的信息，请参考“测量理论和测量功能的详细说明”部分中的“如何使用示波器视图”部分。

## 6.4 VF 续流二极管正向特性

如何设置 VF 图形测量参数

按照下述步骤设置参数。

### 1. 图形标度设置

在此器件的数据表中，IV-VF 图表的纵轴采用对数标度。

按照下述步骤操作。

1. 首先修改图表的标度模式。（图 2-89。）单击图表右上角的图标以显示定标设置。
2. 将 Y 轴的标度模式从 Linear 更改为 PositiveLog。
3. 根据数据表中的图形修改纵轴和横轴的范围。（图 2-90）

图 2-89 更改 Y 轴定标模式。

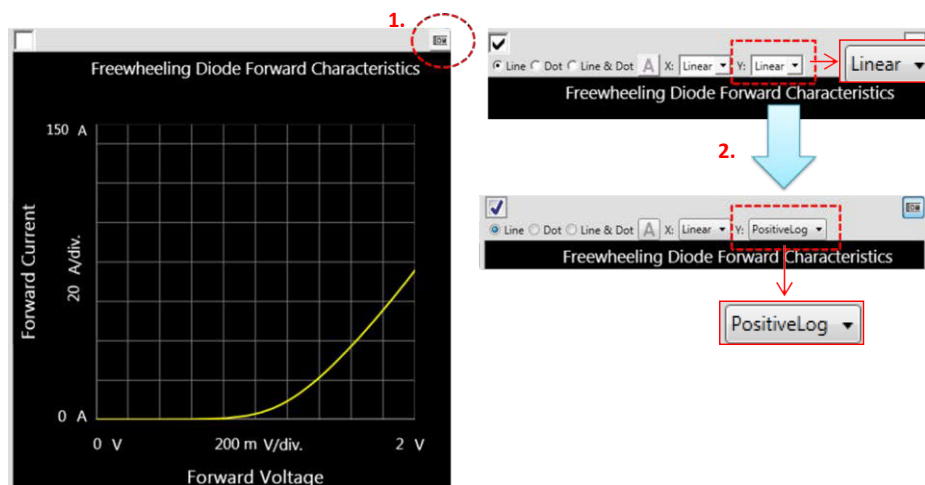
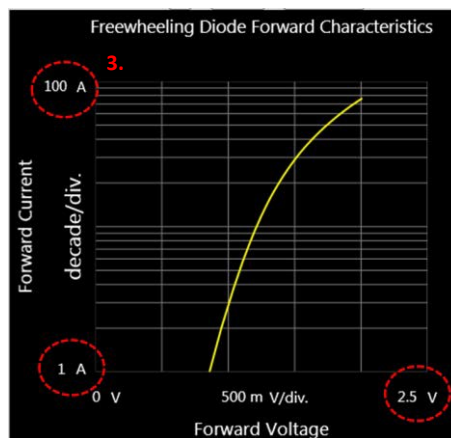


图 2-90 更改 X 和 Y 轴定标。



## 2. VF 测量设置

通过打开 IF-VF I/V 测量设置窗口来修改测量设置。（请参考图 2-66 IC-VCE 示例，打开测量设置窗口。）

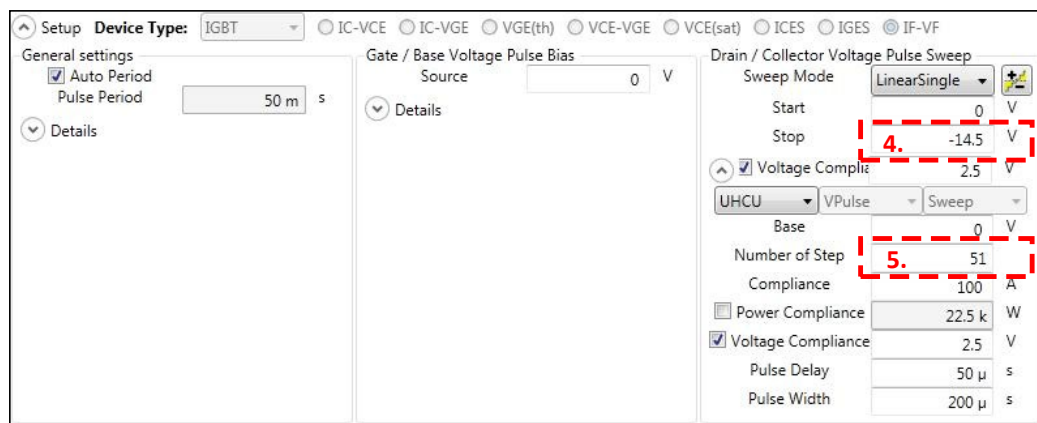
请参考图 2-91，按照下述步骤操作。

4. 打开设置并将停止电压修改为足够高，以涵盖最大电流和电压，即二极管的最大导通电压和 UHCU 输出电阻器的压降，如下所示：

$$2.5 \text{ V} + 100 \text{ A} \times 120 \text{ m}\Omega = 14.5 \text{ V}$$

5. 设置适当的阶跃数，以使测量更快，同时保持适当的电压阶跃。

图 2-91 IF-VF I/V 测量设置。



## IF-VF 测量设置的验证

完成详细的测量设置后，建议对测量设置进行验证。

- ✓ 运行测量。
- ✓ 要将设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 或单击功能区菜单中的 Save 图标来保存设置。

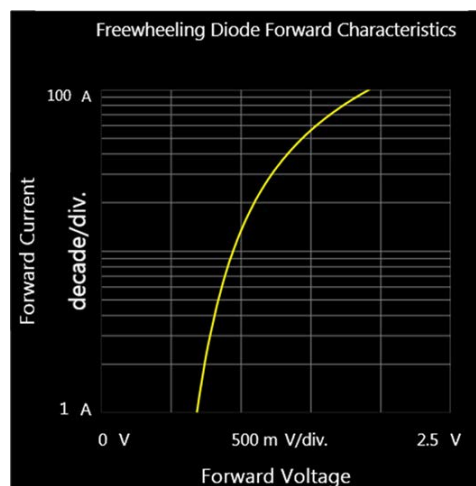


数据表中的 IF-VF 图形即会更新，如

✓ 图 2-92 所示。

图 2-92

IF-VF 续流二极管正向特性。



## 6.5 其他 IV 特性

有关测量其他 IV 特性（如  $R_{ds(on)}-I_d$ 、 $R_{ds(on)}-V_{gs}$  或功率 MOSFET 的  $V_{ds}-V_{gs}$ ），请参考“[I/V 测量](#)”。

## 6.6 CV 特性

如何设置 CV 图形测量参数

按照下述步骤设置参数。

### 1. 图形标度设置

将定标模式修改为 Linear，并根据数据表中显示的 CV 图形修改纵轴和横轴的范围。

按照下述步骤操作。

1. 首先修改图表的标度模式。（请参考图 2-93。）单击图表右上角的图标以显示定标设置。
2. 将 Y 轴的标度模式从 PositiveLog 更改为 Linear。
3. 根据数据表中的图形修改纵轴和横轴的范围。（图 2-94）

图 2-93

更改定标模式。

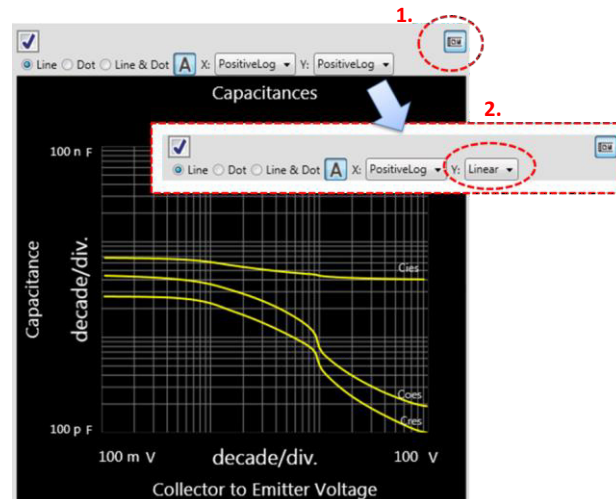
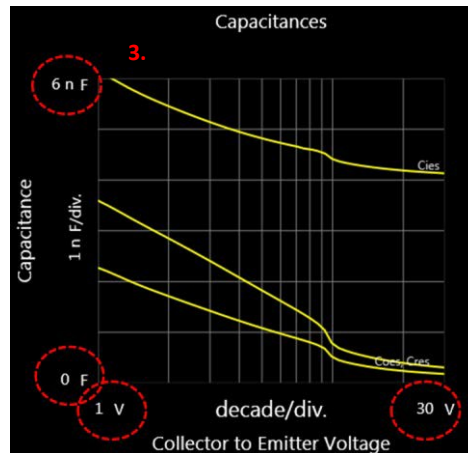


图 2-94 更改 X 和 Y 轴定标。



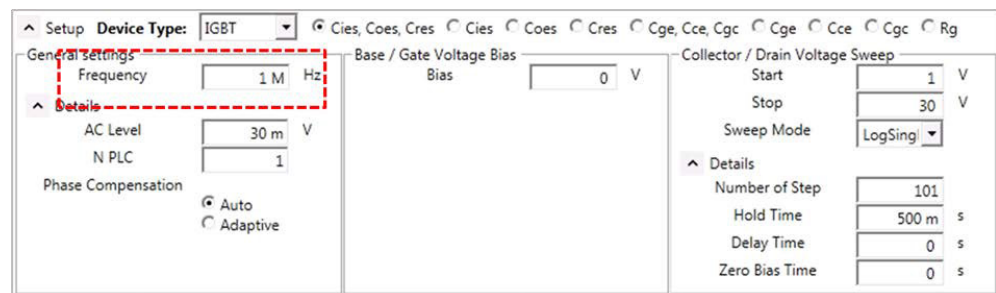
### 2. CiesCoesCres-VCE CV 测量设置

通过打开 CiesCoesCres-VCE 测量设置窗口来修改测量设置。（请参考图 2-66 IC-VCE 示例，打开测量设置窗口。）

- ✓ 根据数据表中定义的条件修改测量频率。（请参考图 2-95。）

注意：如果测得的 CV 曲线与数据表中的曲线不一致，请尝试将频率更改为 100 kHz，以降低开关系统的残余电感、电阻和杂散电容的影响。

图 2-95 CiesCoesCres-VCE 测量设置



### CV 测量设置的验证

完成详细的测量设置后，建议对测量设置进行验证。

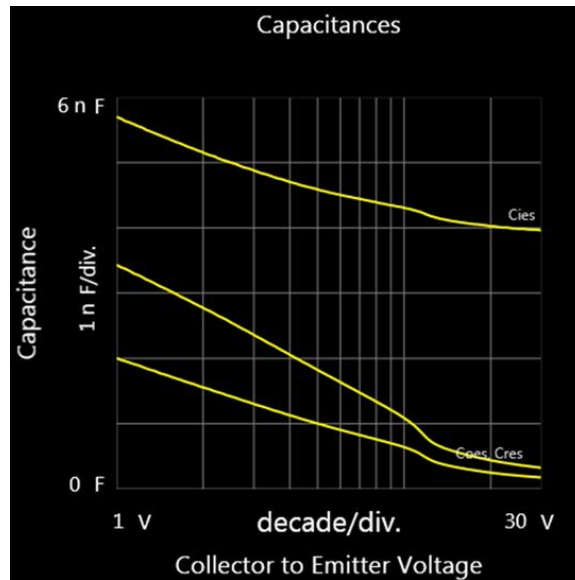
- ✓ 运行测量。
- ✓ 要将设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置。



- ✓ 数据表中的 CV 图形如图 2-96 所示。

图 2-96

Cies、Coes、Cres-VCE 数据表特性图。



## 6.7 Vge-Qg 栅极特性

根据市场上的器件，不同测量条件下的多条 Qg 曲线呈现在同一特性图中，例如在两种不同的 Vcc 测试条件下得到的曲线。

数据表模式的 Qg 图形只能显示单一测量条件下的曲线。因此，需要复制设置来显示不同测试条件下的多个 Qg 图形。

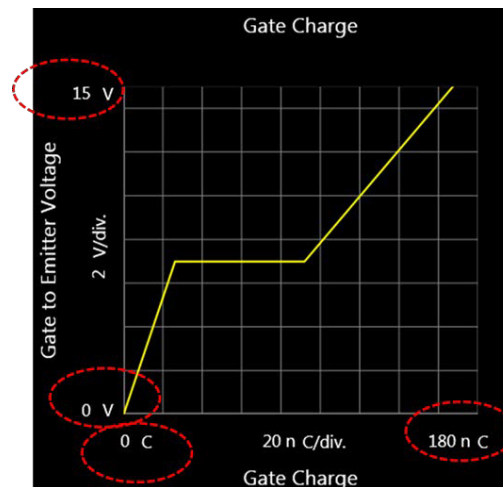
如何设置 Qg 图形测量参数

按照下述步骤设置参数。

### 1. 图形标度设置

根据数据表修改 Qg 图形的纵轴和横轴的范围（图 2-97）。

图 2-97 Qg 图形定标（IC = 40 A，VCE = 100 V）。

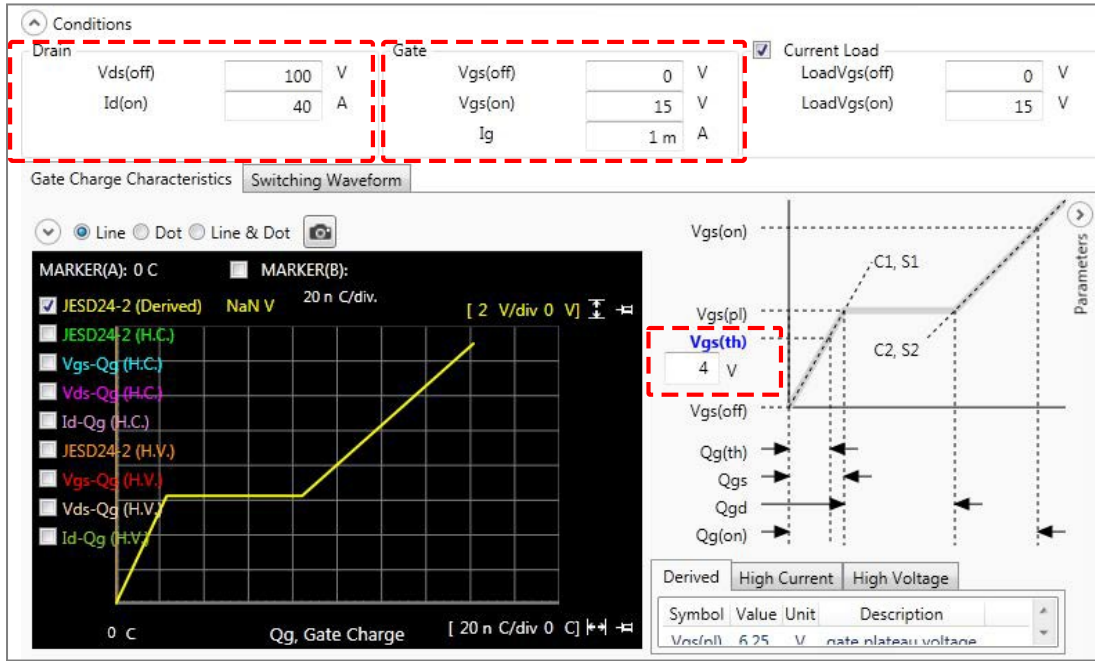


### 2. VGE-Qg 测量设置

通过打开 VGE-Qg 栅极电荷测量设置窗口来修改测量设置。（请参考图 2-66 IC-VCE 示例，打开测量设置窗口。）

- ✓ 按照图 2-98 所示的相同方式修改测试设置。  
使用与 Qg 数据表参数相同的集电极电流来测量 VCE-Qg 图形。

图 2-98 Vge-Qg 栅极电荷测量设置。



### Qg 测量设置的验证

完成详细的测量设置后，建议对测量设置进行验证。

- ✓ 运行测量。
- ✓ 要将设置和测试结果保存在数据表中，请选择 File --> Save 来保存设置。



- ✓ 完成测量后，数据表中的 Qg 图形即会更新

### 如何设置第 2 个 Qg 图形测量

- ✓ 复制修改的设置，并修改复制的 VGE-Qg 图形的关断电压。

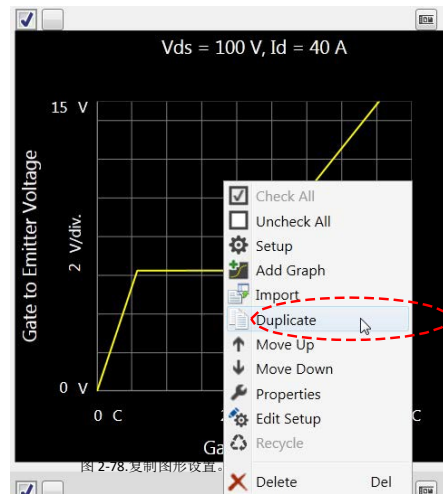
如何复制图形：

图 2-99 显示两种复制图形的方法。

- (a) 直接右键单击图形，然后单击弹出菜单中的 Duplicate，(b) 选择图形之后，单击功能区菜单中的 Duplicate 按钮。

图 2-99 复制图形设置 (IC = 40 A, VCE = 200 V)。

(a) 单击鼠标右键，然后从弹出菜单中进行选择。



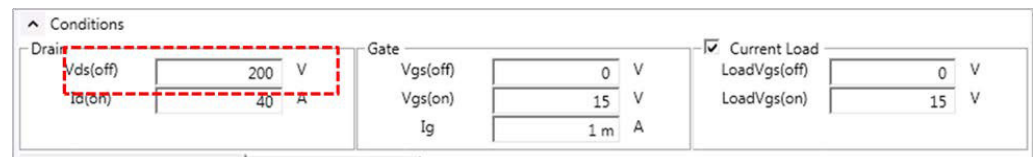
(b) 从菜单栏中进行选择。



如何设置关断电压

✓ 设置第 2 个 Vds(off) 测试条件 (图 2-100)。

图 2-100 不同 Vds 的第 2 个 Vge-Qg 栅极电荷测量设置。



第 2 个 Qg 测量设置的验证

按照与第一个参数测量相同的方式验证测量并保存设置。

### 步骤 7 更新整个设置

要更新整个测量修改之后的设置，请选择 **Save** 以更新电流设置，或选择 **Save as** 以不同的文件名另存。

步骤 8

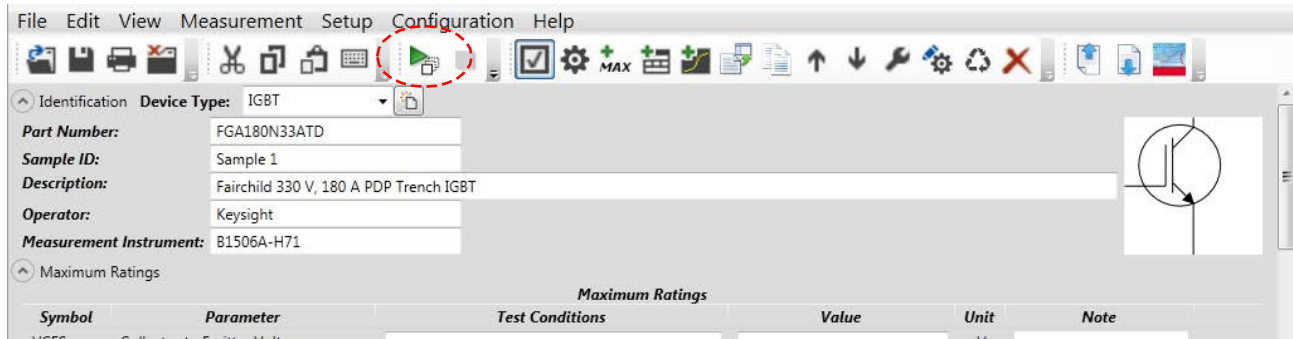
运行整个参数和图形的测试

要运行整个测量，请确认所有测量项目均处于选中状态，然后单击 Measure 按钮。

1. 如何开始测试

- ✓ 单击 Measure 按钮。  
Measure 按钮如图 2-101 所示。

图 2-101 启动 Measure 按钮。



测量选项

数据表测量模式具有三个选项，如图 2-102 和图 2-103 所示。

- ✓ Without data cleared 选项在开始测量时会保留现有数据，完成新的测量后会更新现有结果。（请参考图 2-104。）
- ✓ With data cleared 选项会清除所有现有数据，然后开始新测量。（请参考图 2-105。）
- ✓ Stop if an actual value is out of range 选项会在实际测量值超过指定的最小值/最大值后跳过后续测量（请参考图 2-106）。将弹出一个指示测量停止的窗口。

注意：

如果测量是由 Easy Test Navigator 的热监测/控制功能自动触发的，则不会弹出指示测量停止的窗口

图 2-102 Start Options。

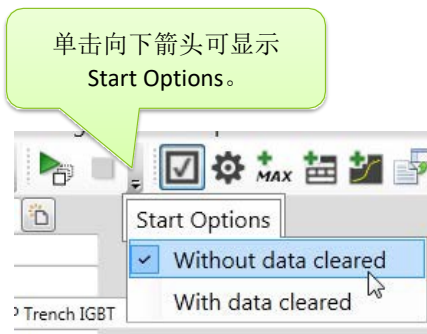


图 2-103 测量值超出范围时中止后续测量的选项。

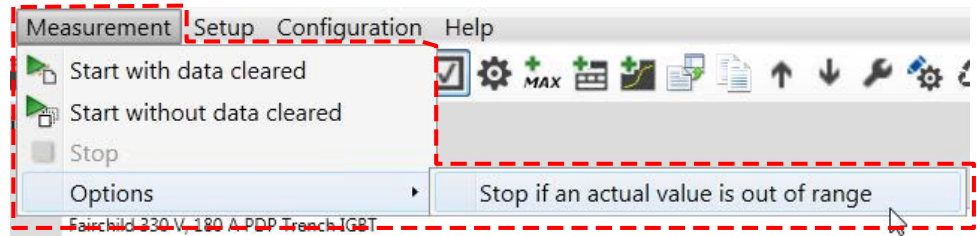


图 2-104 使用 Without data cleared 选项时的测量。

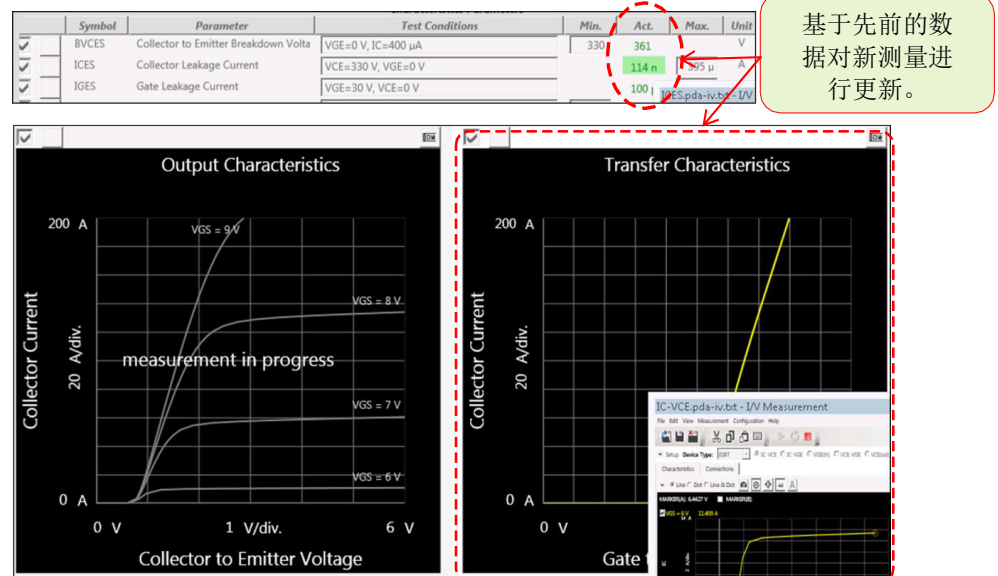


图 2-105 使用 With data cleared 选项时的测量。

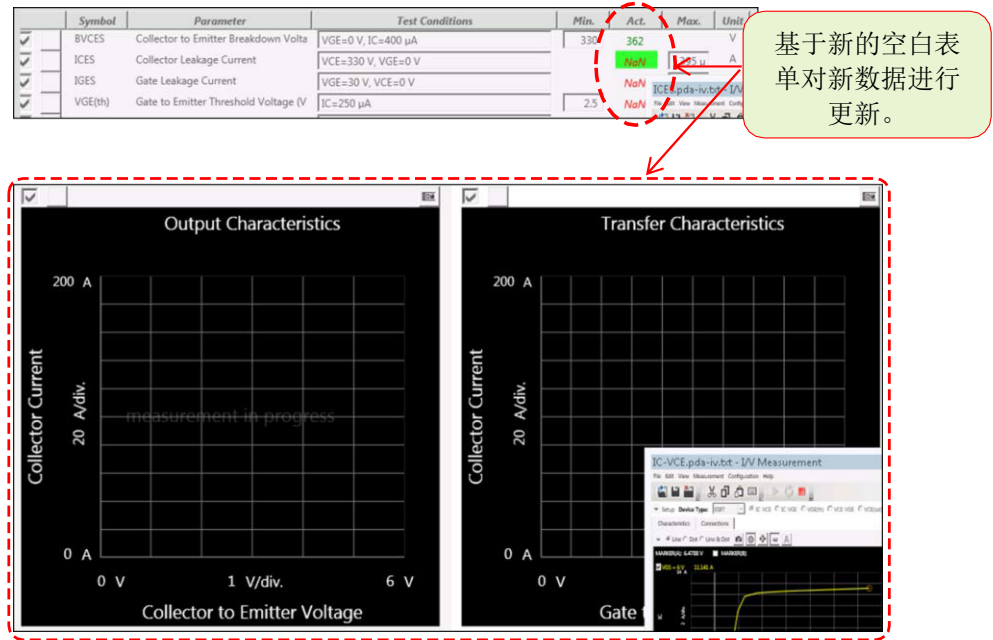
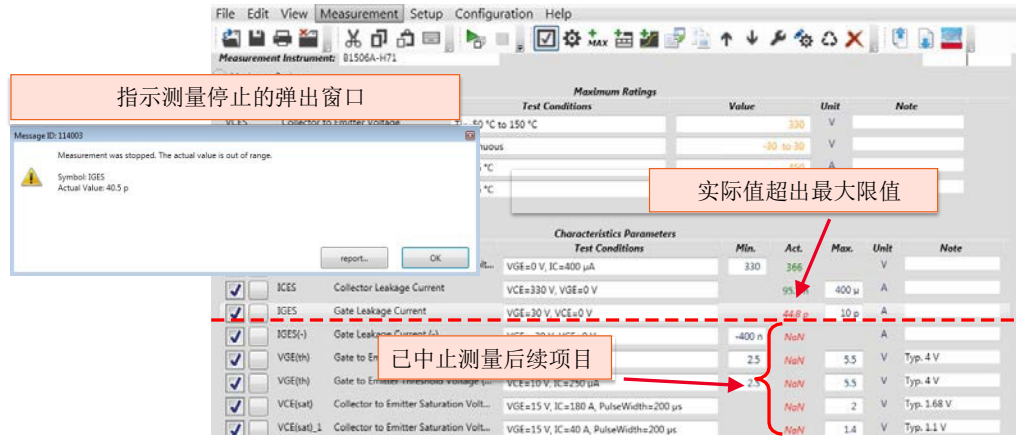


图 2-106 使用 Stop if an actual value is out of range 选项时的测量。

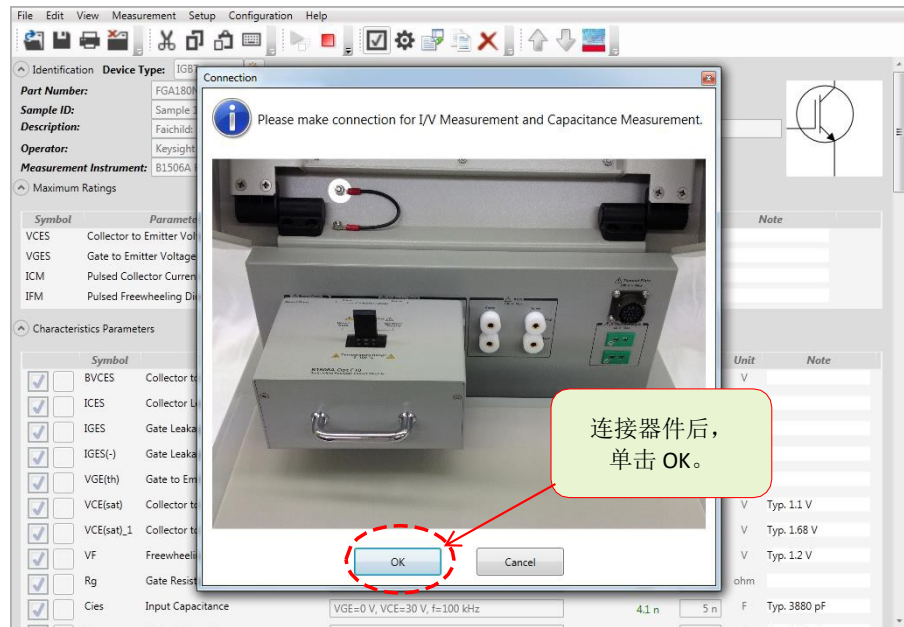


## 2. I/V 和 CV 测量的器件设置确认

- ✓ 在开始测量时，会出现如图 2-107 所示的对话框。
- ✓ 该对话框指示检查 IV/CV 测量的连接。
- ✓ 确认连接后，单击 OK 开始测量。

图 2-107

确认 I/V 和 CV 测量连接的对话框。

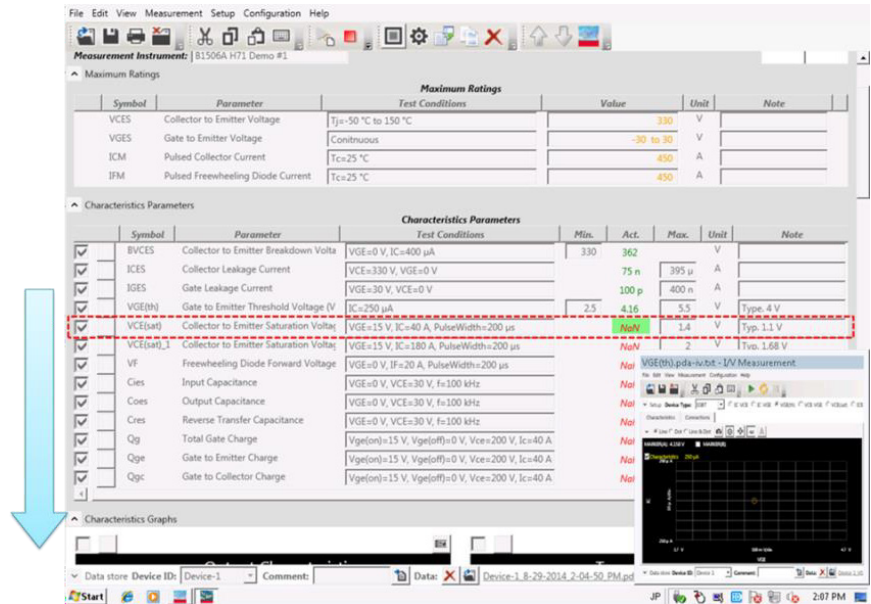


- ✓ 随即会按顺序执行除  $Q_g$  测量之外的所有器件参数和图形表征测量。
- ✓ 测量在列表中基本上是采用自上而下的顺序执行，如图 2-108 所示。

注意：

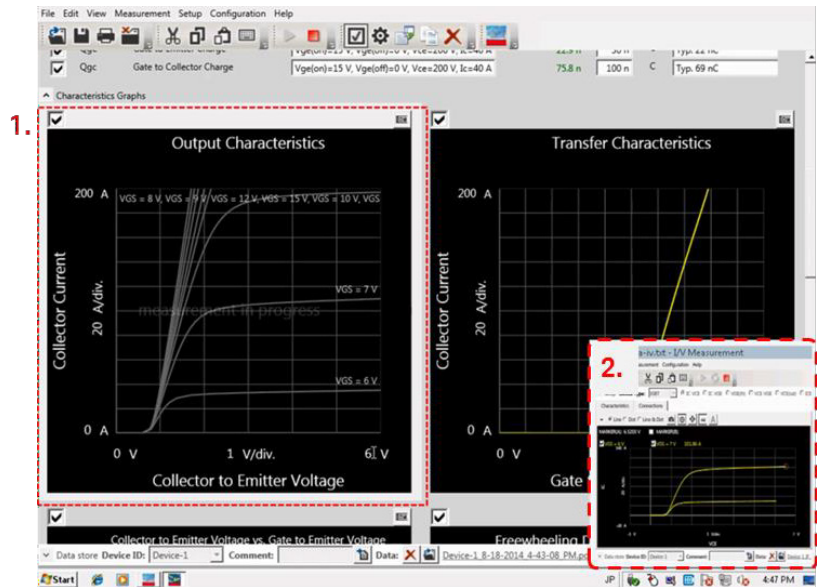
完成 IV 和 CV 项目的所有测量后，会出现指示检查  $Q_g$  测量连接的对话框

图 2-108 测试自上而下进行。



- ✓ 完成 IV 和 CV 参数测量后，测试会继续进行图形特性测量。
- ✓ 测量期间（请参考图 2-109）
  1. 当前测量的图形会闪烁
  2. 屏幕右下方会出现每种测量模式的小窗口。

图 2-109 图形特性测量。



### 3. Qg 测量的器件设置确认

- ✓ 完成 IV 和 CV 项目的所有测量后，会出现指示检查 Qg 测量设置连接的对话框，如图 2-110 所示。
- ✓ 确认连接后，单击 OK 开始测量。
- ✓ 完成整个测量后，结果会自动保存在预定义的目录中，如图 2-111 所示。

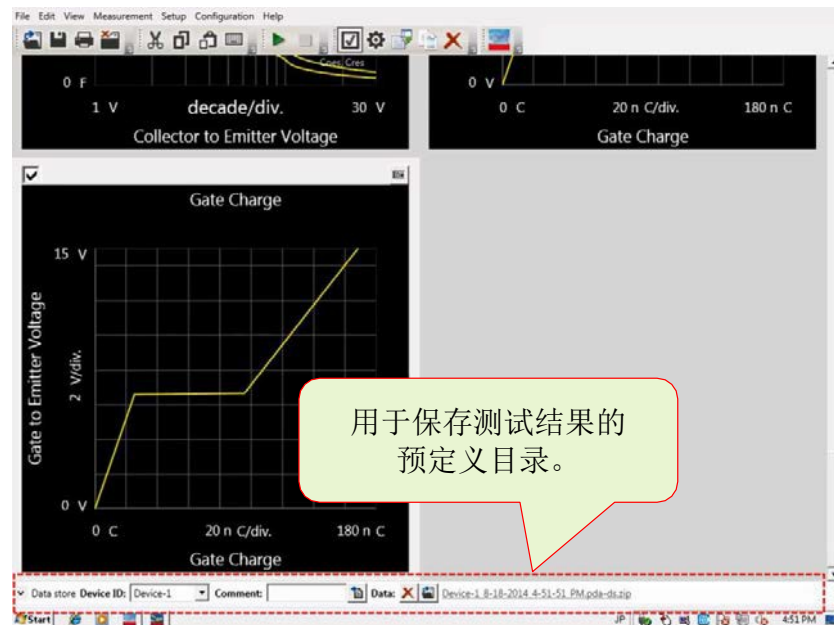
图 2-110

确认 Qg 测量连接的对话框。



图 2-111

将结果自动保存到预定义的目录。



提示:

如何更改测量顺序

方法 1: 使用优先级组进行序列控制

可以对每个测量项目进行优先级排序。

- ✓ 共有三种优先级，第一、第二和第三。



- ✓ 可通过单击按钮更改优先级。

单击此按钮可  
切换优先级

Symbol	Parameter
<input checked="" type="checkbox"/>	BVCES Collector to Emitter Brn
<input checked="" type="checkbox"/>	ICES Collector Leakage Curr
<input checked="" type="checkbox"/>	IGES Gate Leakage Current
<input checked="" type="checkbox"/>	VGE(th) Gate to Emitter Thresh
<input checked="" type="checkbox"/>	VCE(sat) Collector to Emitter Sa
<input checked="" type="checkbox"/>	VCE(sat)_1 Collector to Emitter Sa
<input checked="" type="checkbox"/>	VF Freewheeling Diode Fc
<input checked="" type="checkbox"/>	Cies Input Capacitance
<input checked="" type="checkbox"/>	Coes Output Capacitance
<input checked="" type="checkbox"/>	Cres Reverse Transfer Capas
<input checked="" type="checkbox"/>	Qg Total Gate Charge

- ✓ 测量从第一优先级组中的顶部项目开始。
- ✓ 然后转到第二优先级组中的顶部项目。
- ✓ 第二优先级组完成后，开始测量第三优先级组。

可以通过从列出的项目中去除复选标记来跳过特定的项目。

<input type="checkbox"/>	VCE(sat)
<input type="checkbox"/>	VCE(sat)_1
<input checked="" type="checkbox"/>	VF

- ✓ 您可以添加/去除所有项目的复选标记。

注意:

即使将 **Qg** 测量的优先级设置为第一优先级，**Qg** 测量仍然在完成包括参数和图形项目在内的整个 **IV** 和 **CV** 测量后才开始。

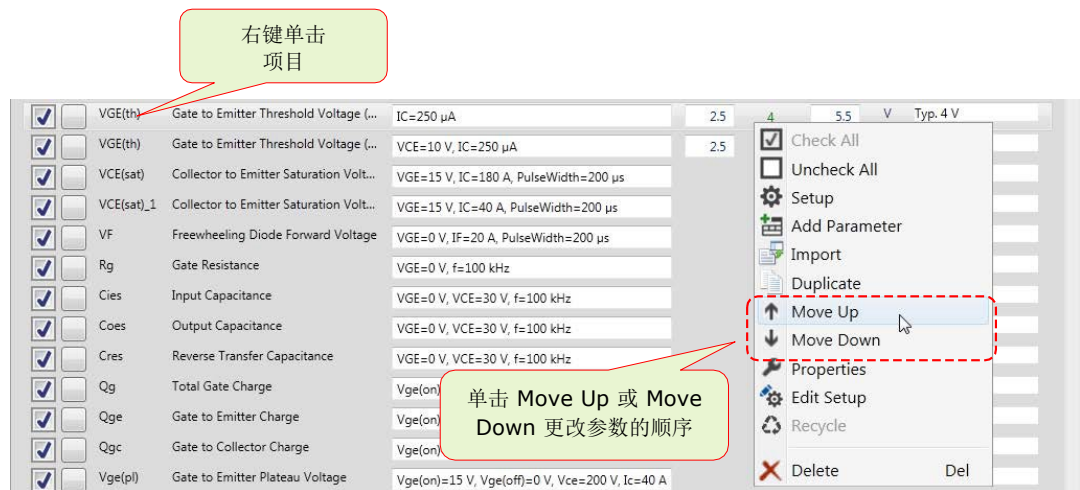
注意:

即使通过指定优先级更改了测量顺序，打印报告中项目的顺序也不会更改。

### 方法 2：更改项目的顺序

要更改打印报告中项目的顺序，或更改相同优先级的测量顺序，必须更改设置中项目的顺序。可以按照图 2-112 所述通过上移/下移选定项目来更改项目的顺序。

图 2-112 更改项目的顺序



或者



### 方法 3：更改连接的图片

项目的优先级还由连接确认窗口（图 2-113）中使用的图决定。默认情况下，使用标准 TO 插座适配器的图片作为连接图。

图 2-113 IV 和 CV 测量的默认连接确认窗口



连接确认窗口中使用的图是在项目属性的 Connection 选项卡中定义的。要更改该图，请打开项目的属性（图 2-114），选择 Connection 选项卡并导入用于项目的图片（图 2-115）。

图 2-114 打开项目的属性

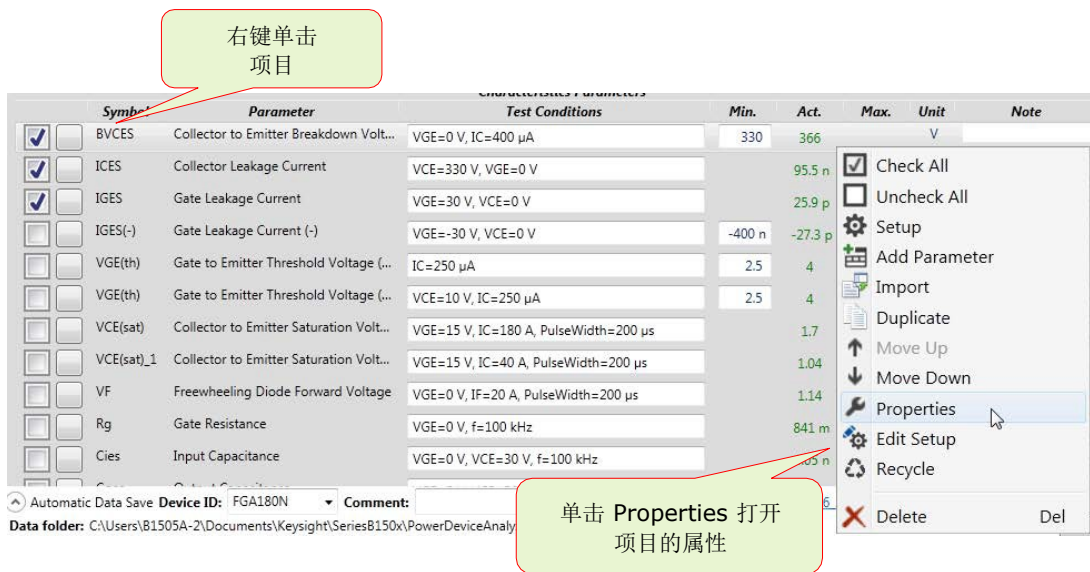
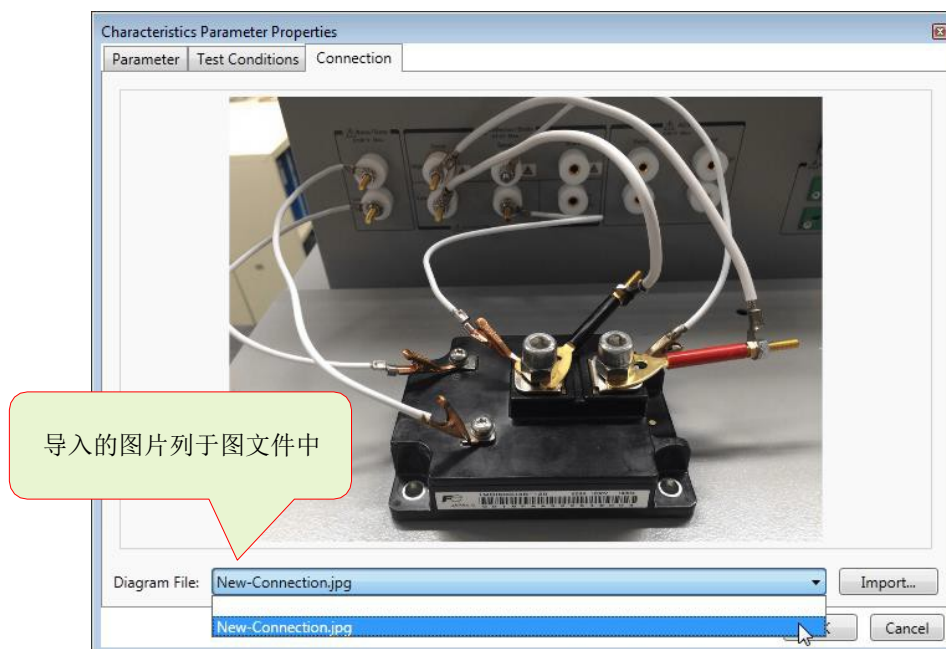


图 2-115 导入连接图



支持的图格式为 BMP、GIF、JPG、PNG 和 TIF。导入的文件内置于数据表设置和结果文件中。要降低结果的大小，建议调整图片的大小以适应图画布（640 x 360 像素）。

图 2-116 IV 和 CV 测量的默认连接确认窗口



图导入完成后，即会显示在图列表中。要对同一数据表设置中的其他项目使用相同图，请从列表中选择它。

注意： 要使用默认图片，请从图文件列表中选择空白项。

使用自定义连接图图片的测量的优先级按以下顺序确定。

- IV 和 CV 测量的优先级高于 Qg 测量。
- 由优先级组功能定义的优先级高于由连接图图片定义的优先级。
- 使用默认图片的项目的优先级高于使用自定义连接图图片的项目的优先级。

例如，先执行第一优先级组中使用自定义连接图图片的项目，然后再执行第二优先级组中使用默认图片的项目。

在测量使用不同连接图图片的项目之前，会弹出连接确认窗口。

## 步骤 9 审查和检查测量结果的打印图像

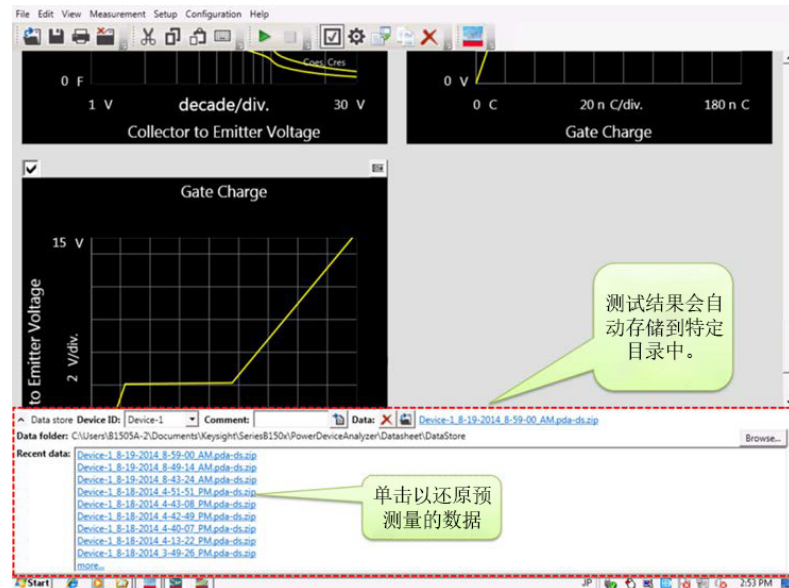
如何审查测试结果：

要审查测试结果，请单击屏幕左下角的向下箭头以展开测试结果查看器。该区域展开后，您可以看到测试数据文件。



如何调用测试结果：

要调用测试结果，请单击最近数据区域中结果的名称，或者单击最新测试结果文件左侧的 File 图标。



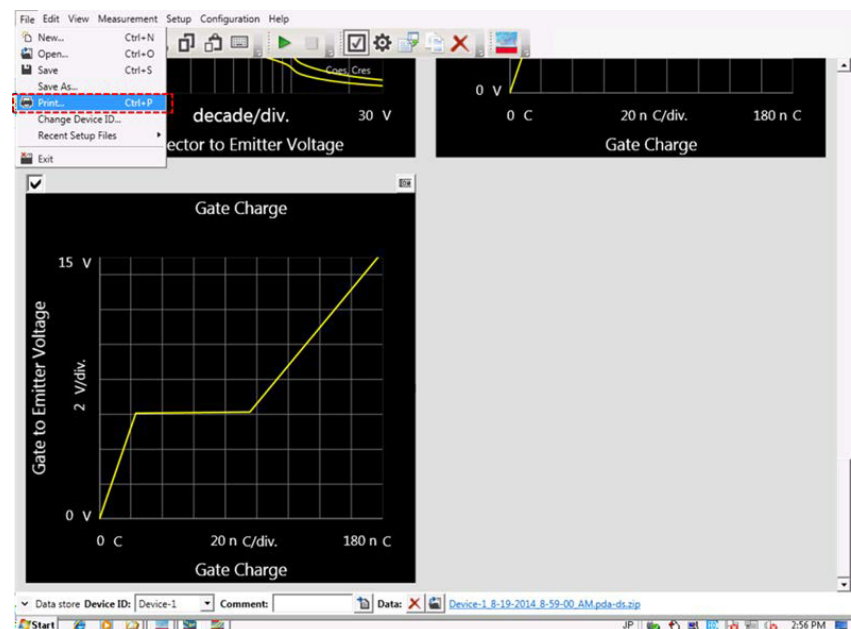
如何在数据表图像中显示测试结果：

测试结果可打印为与数据表相同的图像。

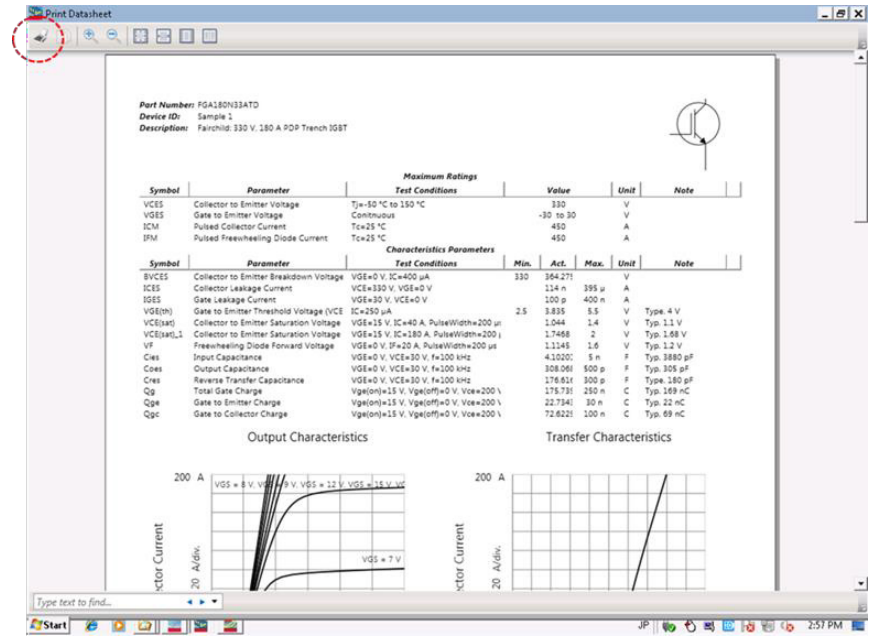
单击 File -> Print（数据表表征下拉菜单）

或者

单击数据表表征面板功能区菜单中的 Printer 图标。



打印预览面板随即打开。



## 步骤 10

## 打印数据表

要打印数据表，请单击上一页中所示的预览面板中的 Printer 图标。

## 注意：

如何以电子格式打印

- ✓ 可以通过安装打印机驱动程序以 PDF 格式进行保存，该驱动程序可以打印 PDF 格式的文档。
- ✓ 操作系统支持 XPS (XML Paper Specification)，也可以使用此功能。
- ✓

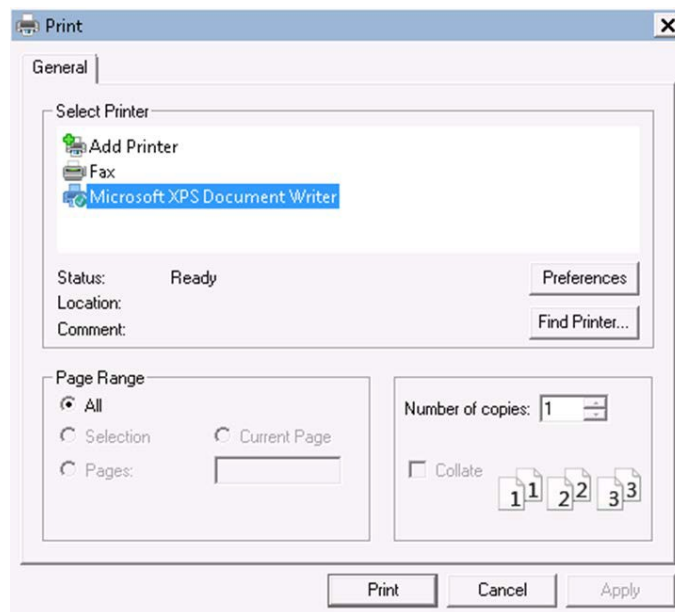
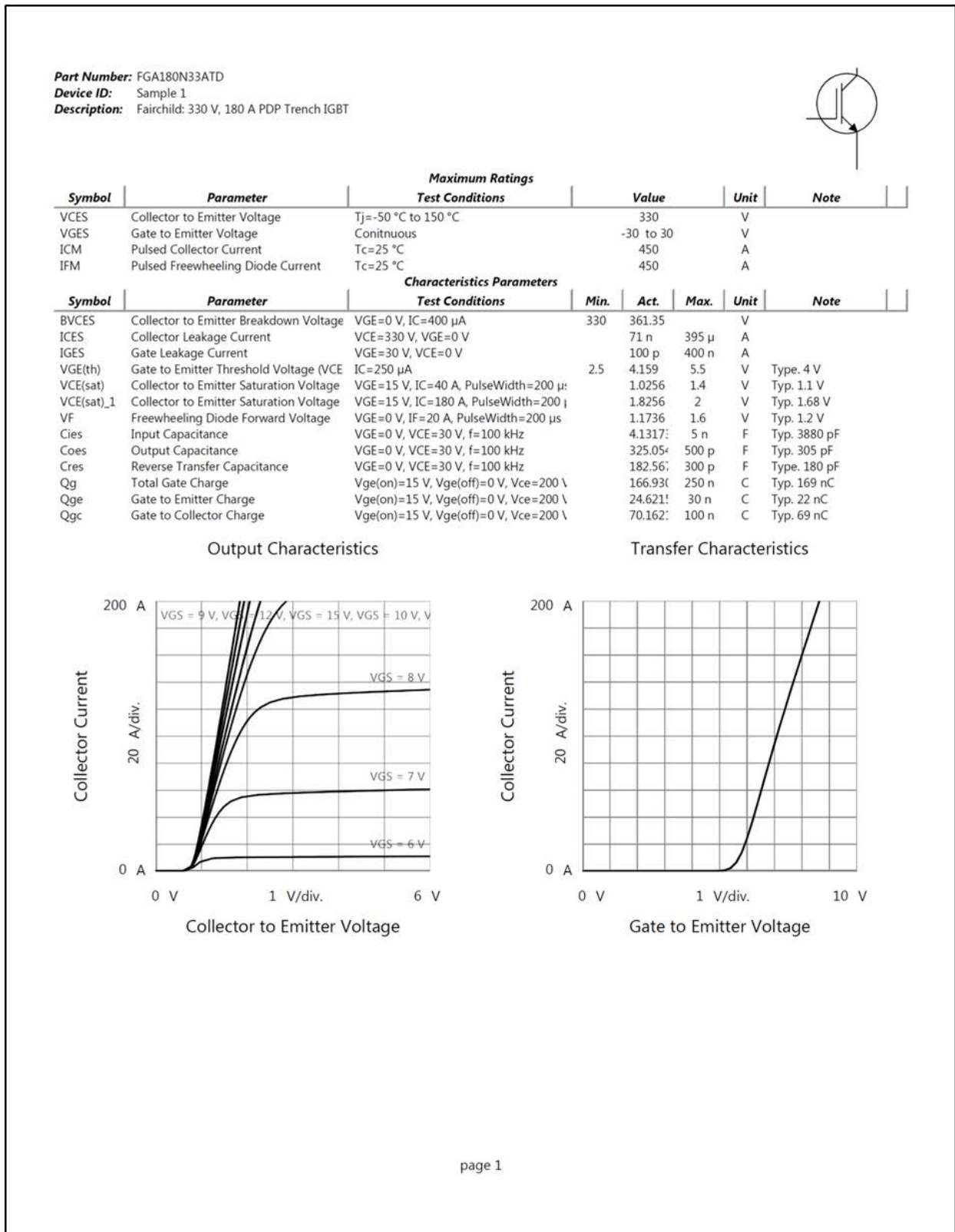
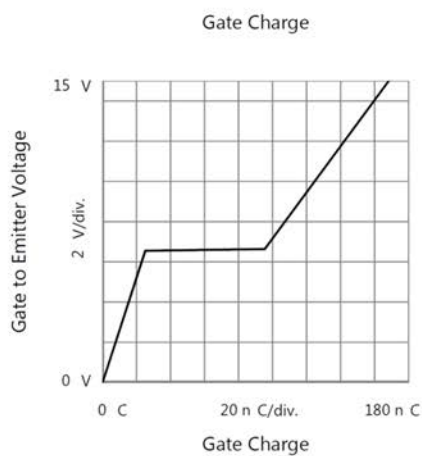
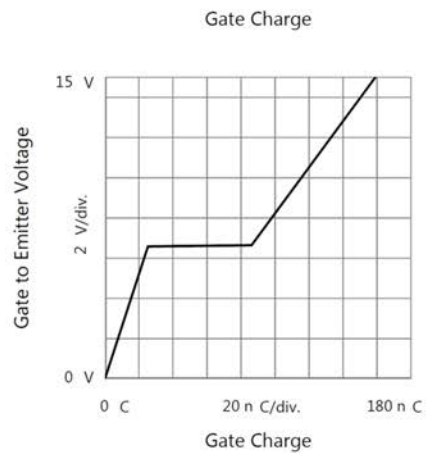
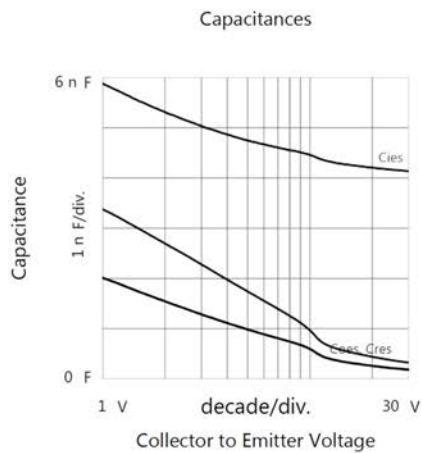
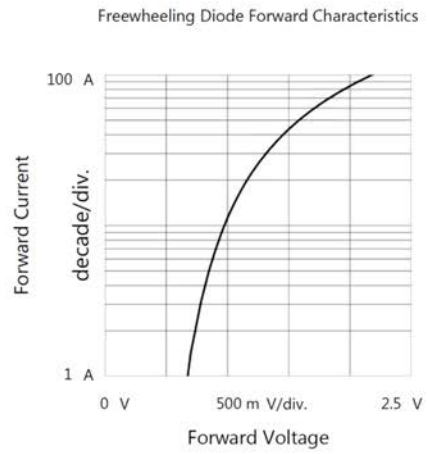
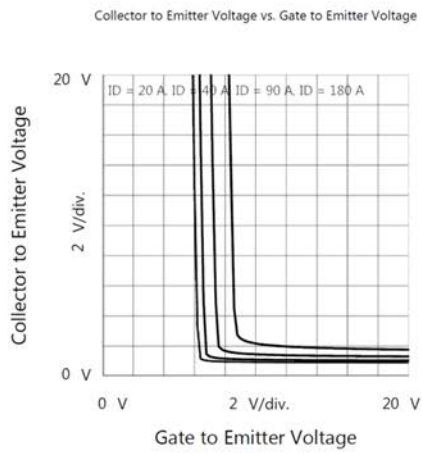


图 2-117 显示数据表表征模式的打印测试结果的示例图像。

图 2-117 数据表表征打印示例。





步骤 11

从多个测试结果文件创建摘要报告

Easy Test Navigator 提供一种从多个测试结果的特性参数创建摘要报告的功能，称为 **Datasheet Reporter**。报告以制表符分隔格式进行保存。**Datasheet Reporter** 中有一个选项，用于添加数据表设置中所述的最小值、最大值以及测量值单位（请参考图 2-120）。

图 2-120 显示导入到电子表格应用程序中的报告的示例。

图 2-118 导入到电子表格应用程序中的摘要报告。

DeviceID	PartNum	SampleID	BVCS	ICES	IGES	IGES[-]	VGE(th)	VCE[sat]	VCE[sat]_VFM	Cies	Coes	Cres	Qg	Qge	Qgc	File
Device-1	FGA180N3	Sample1	371.4	8.80E-08	5.00E-11	0	3.882	1.0409	1.7031	1.1342	4.07E-09	3.13E-10	1.76E-10	1.75E-07	2.30E-08	7.15E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample2	363.003	9.50E-08	5.00E-11	5.00E-11	3.894	1.0444	1.7113	1.1309	4.03E-09	3.15E-10	1.76E-10	1.70E-07	2.27E-08	6.98E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample3	367.992	9.80E-08	5.00E-11	0	3.947	1.0385	1.6978	1.1335	4.03E-09	3.19E-10	1.76E-10	1.70E-07	2.28E-08	6.94E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample4	372.894	9.00E-08	5.00E-11	0	3.872	1.0428	1.7158	1.1369	4.08E-09	3.11E-10	1.77E-10	1.78E-07	2.32E-08	7.33E-08 C:\Users\Public\Document
Device-1	FGA180N3	Sample5	372.756	9.40E-08	5.00E-11	0	3.835	1.0422	1.7123	1.1342	4.08E-09	3.11E-10	1.77E-10	1.78E-07	2.32E-08	7.33E-08 C:\Users\Public\Document

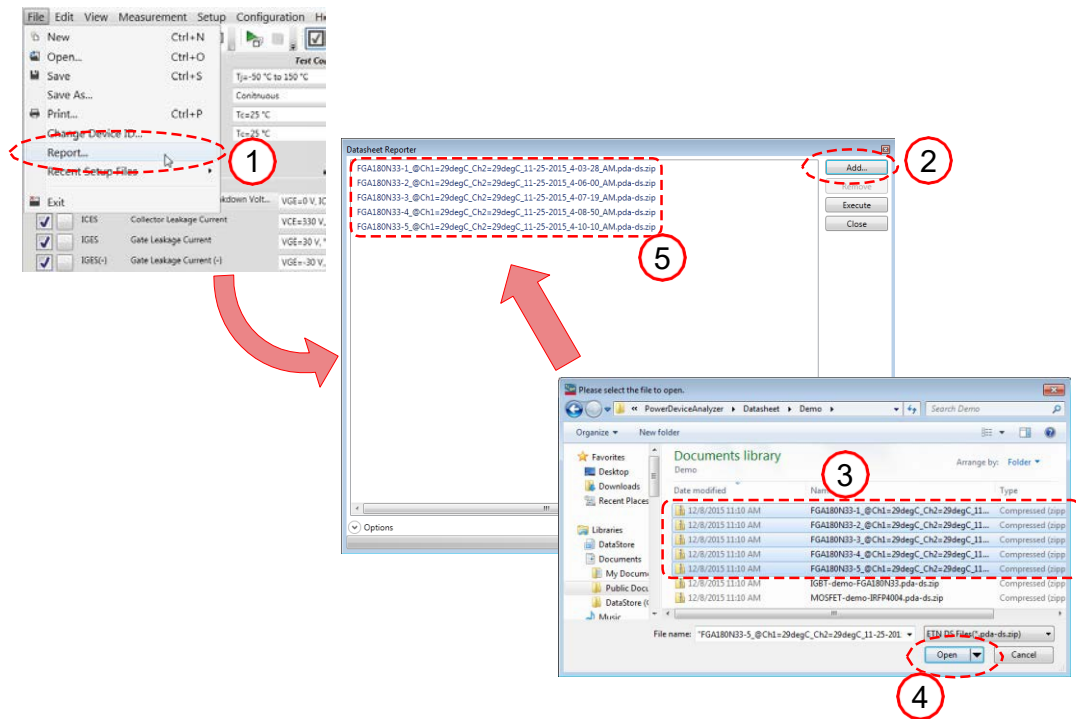
除了测得的特性参数外，报告中还包含器件 ID、部件号、示例 ID 和每个数据表设置的文件名。

要创建摘要报告，请按下述步骤操作并参考图 2-119。

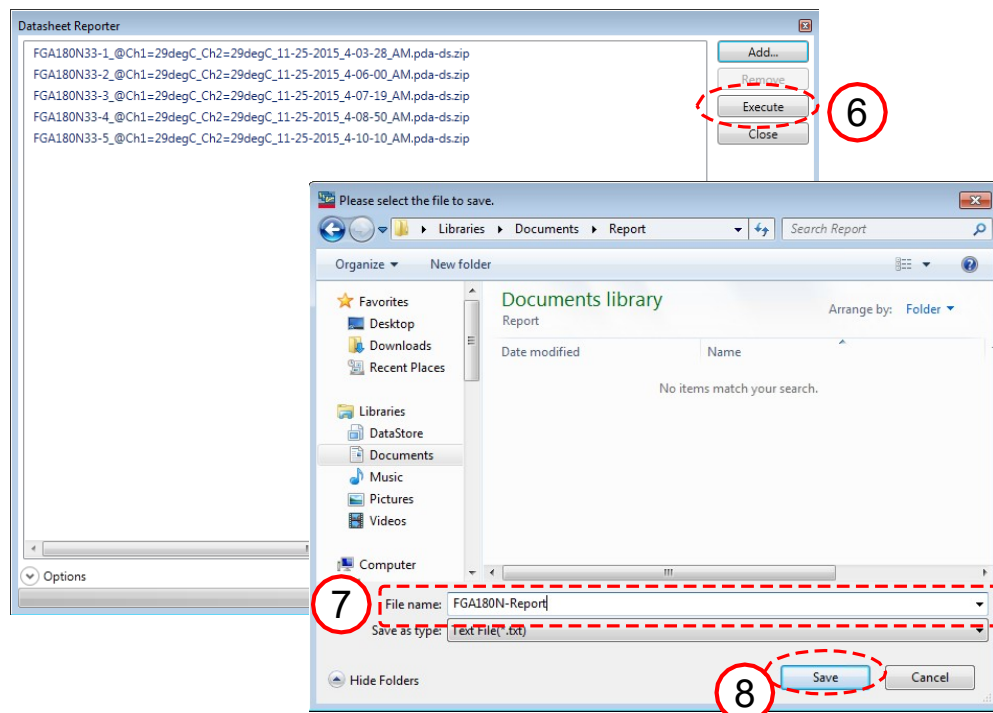
1. 从菜单中选择 **Report** 以启动 **Datasheet Reporter**
2. 单击 **Add** 按钮
3. 选择数据表结果文件
4. 单击 **Open** 按钮
5. 测试结果文件即会导入到 **Datasheet Reporter** 中
6. 单击 **Execute** 按钮
7. 输入要创建的报告的文件名
8. 单击 **Save** 按钮

图 2-119 使用 Datasheet Reporter 创建摘要报告。

(a) 将测试结果文件导入到 Datasheet Reporter 中



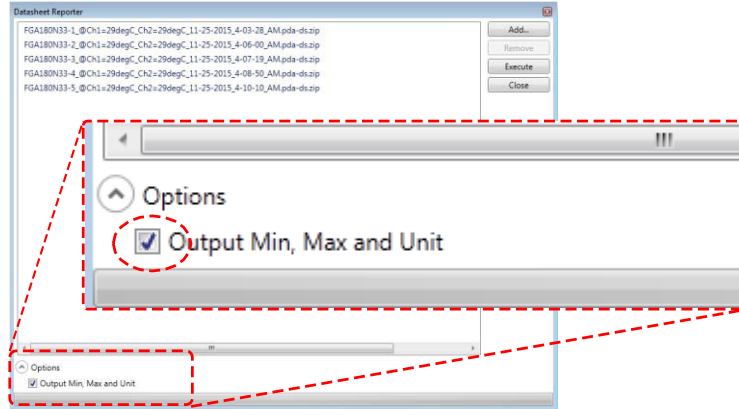
(b) 从导入的测试结果创建报告



Datasheet Reporter 中有一个选项，用于添加数据表设置中所述的最小值、最大值以及测量值单位（请参考图 2-120）。

图 2-120 Datasheet Reporter 选项

(a) 用于添加最小值、最大值以及测量值单位的报告选项



(b) 输出报告

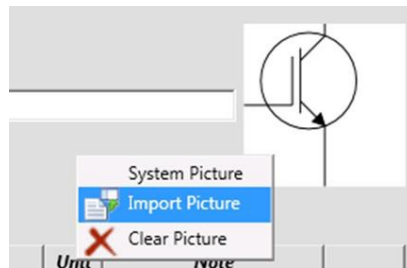
DeviceID	PartNum	SampleID	BVCES	ICES	IGES	IGES(-)	VGE(th)	VCE(sat)	VCE(sat)	VFM
		Min	330			-4.00E-07	2.5			
		Max		0.0004	4.00E-07		5.5	1.4	2	1.6
		Unit	V	A	A	A	V	V	V	V
Device-1	FGA180N3	Sample1	371.4	8.80E-08	5.00E-11	0	3.882	1.0409	1.7031	1.1342
Device-1	FGA180N3	Sample2	363.003	9.50E-08	5.00E-11	5.00E-11	3.894	1.0444	1.7113	1.1309
Device-1	FGA180N3	Sample3	367.992	9.80E-08	5.00E-11	0	3.947	1.0385	1.6978	1.1335
Device-1	FGA180N3	Sample4	372.894	9.00E-08	5.00E-11	0	3.872	1.0428	1.7158	1.1369
Device-1	FGA180N3	Sample5	372.756	9.40E-08	5.00E-11	0	3.835	1.0422	1.7123	1.1342

如果将不同器件的测试结果文件导入到 Datasheet Reporter 中，则以第一个文件的最小值和最大值作为报告的最小值和最大值。

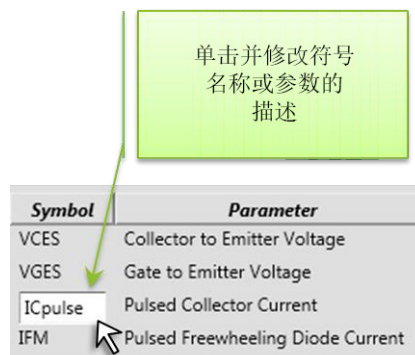
## 关于使用数据表表征模式的有用信息

### 自定义数据表设置的相关提示

- 提示：** 如何更改器件的图片  
器件的图片可以替换或移除。右键单击图像，然后从弹出菜单中选择一项操作。
- ✓ 打印输出测量结果时会使用导入的图片。可以导入 PNG、BMP 和 JPEG 格式。



- 提示：** 如何更改符号名称和描述  
如果参数的符号名称或描述与数据表中不同，并且必须使用与数据表相同的符号，则可对其进行修改。
- ✓ 单击符号名称或参数字段，然后对其进行修改。

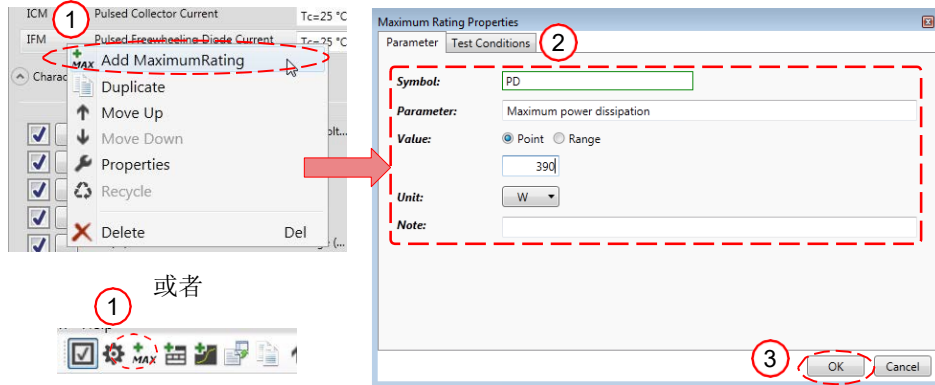


提示:

如何向最大额定值中添加新项目

要向最大额定值的列表中添加新项目，请执行以下操作：

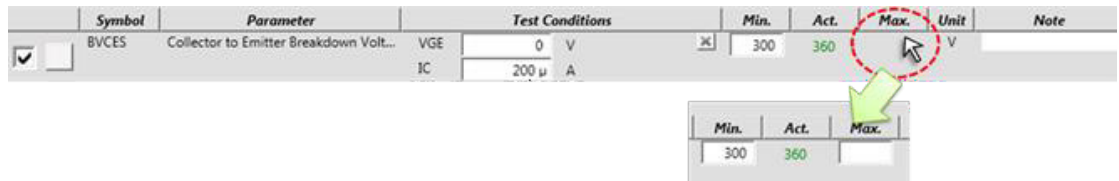
1. 单击鼠标右键并从弹出菜单中选择 **Add MaximumRating**，或者在功能区菜单中选择用于添加最大额定值的图标。
2. 定义项目的符号、值类型（点或范围）、值和单位。
3. 单击 **OK** 保存项目。



提示:

如何向特性参数中添加最小/最大限值

可以向参数中添加最小/最大限值。例如，通常，数据表中的 **BVCES** 仅定义了最小值。但是，除了最小限值外，还可以添加最大限值。要添加最大或最小限值，请单击 **Max.** 或 **Min.** 标签下的空白区域，随即会出现输入框。



注意:

- ✓ 如果最大和最小额定值均未定义，则在测量时不会进行通过/失败判断。
- ✓ 某些参数不允许 **Min.** 和 **Max.** 值同时留空（例如，**Vce(sat)**），因为这些值与测量的详细设置（例如，合规电流或电压）相关联。
- ✓ 要删除与详细设置关联的限值，必须解除限值和设置之间的关联（请参考“提示：如何更改测试条件与测量设置之间的关联”）。

提示:

如何更改测试条件与测量设置之间的关联

测试条件、特性参数的最小和最大限值通过每个项目的属性与测量设置相关联。对于特性图，X 和 Y 轴的范围及定标模式通过其属性与测量设置相关联。

要访问项目的属性，请右键单击项目并在弹出菜单中选择 **Properties**，或者选择项目并在功能区菜单中单击 **Properties** 图标。

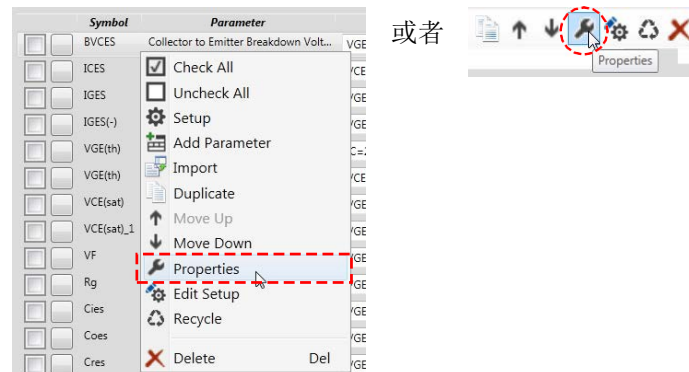
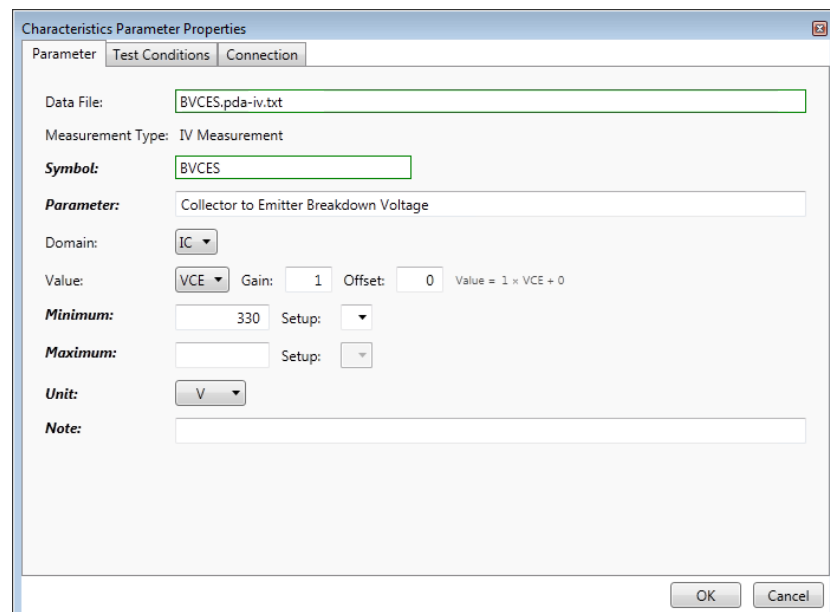


图 2-121 显示 BVCES 测量的各个属性中的参数

图 2-121

属性的基本参数



**Data File:** 数据表设置文件中包含的 BVCES 测量的设置文件名。

- ✓ **Symbol:** 项目的符号
- ✓ **Parameter:** 项目的描述
- ✓ **Domain:** 设置的主扫描参数。在 BVCES 测量中, 指定的集电极电流施加于要测量 BVCES 的器件。
- ✓ **Value:** 设置中的返回值
- ✓ **Minimum:** 项目的最小限值。关联在 **Setup:** 处加以描述。在本例中, **Setup** 为空白, 表示与设置之间不存在关联。如果需要限制施加于器件的最大电压, 请在 **Setup:** 中指定测量设置中的参数。例如, 要将施加于器件的电压限制在最小限值 1.5, 请选择 **Drain / Collector > Current Staircase Sweep > Compliance** 作为与最小值相关联的设置, 并将 **Gain** 设置为 1.5 (图 2-122)。

图 2-122 最大/最小值与设置间的关联示例

The screenshot shows a control panel for a 'Minimum' parameter. It includes a text input field with the value '330', a dropdown menu for 'Setup' currently showing 'Drain / Collector > Current Staircase Sweep > Compliance', a 'Gain' input field with '1.5', and an 'Offset' input field with '0'. Below these fields, a formula is displayed:  $-Compliance = 1 \times 330 + 0$ .

在本例中, 测量设置中的合规值设置为 495 V。如果已定义关联, 则无法从项目的数据表设置中移除限值。要移除关联, 请从 **Setup:** 处的下拉列表中选择空白项。

- ✓ **Maximum:** 项目的最大限值。
- ✓ **Unit:** 值的单位

图 2-123 显示测试条件与测量设置之间的关联。

通过与最大额定值部分中描述的 VGES 相关联, 将 VGE 的可能输入值限制在 VGES。要移除对输入值的限制, 请从额定值符号的下拉列表中选择空白项。

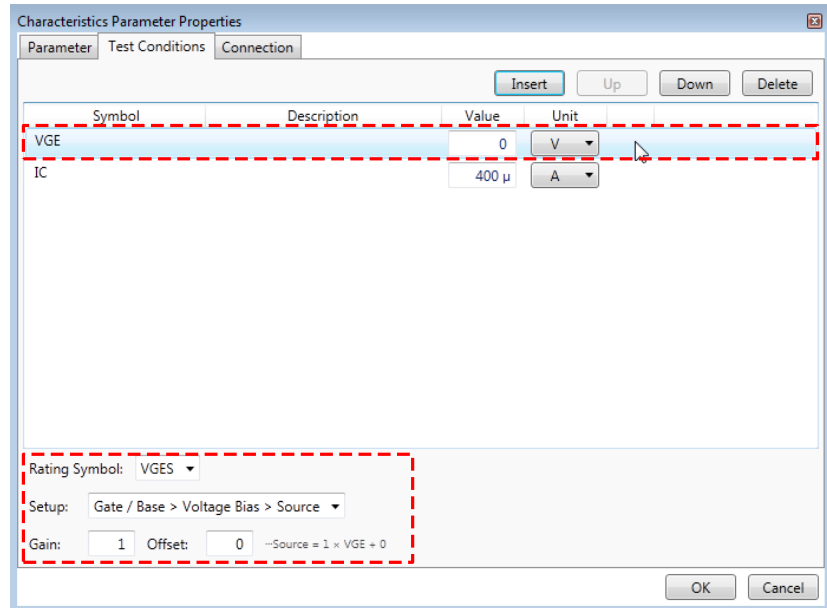
指定的 VGE 按原样作为测量设置栅极源值的输入 (图 2-123 (a))。

此外, 指定的 IC 作为集电极电流强制值的输入 (图 2-123 (b))。

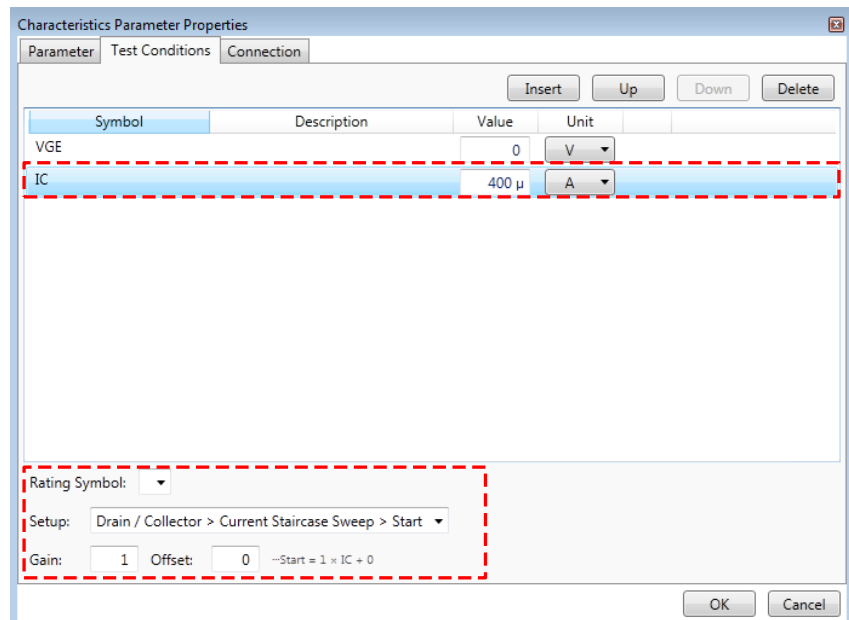
图 2-123

测试条件与测量设置之间的关联示例

(a) VGE 在测试条件中的关联



(b) IC 在测试条件中的关联



有关特性图中的项目，请参考“提示：如何通过修改现有项目创建新项目”。

**提示：** **如何删除项目**  
 可以删除不必要的项目，使数据表设置与被测器件的确切数据表相同。有关更多详细信息，请参考“5.5 VCE 恒定时的 VGE(th)”部分中的“提示：如何删除现有项目”。

**提示：** **如何还原已删除的项目**  
 删除的项目存储在回收站中。要还原它们，请打开回收站，右键单击数据表并从弹出菜单中选择 **Recycle**，或者单击功能区菜单中的 **Recycle** 标记（图 2-124）。

图 2-124 显示回收站中存储的项目



或者



然后选择要还原的项目，单击 **Restore selected item** 按钮，项目将会还原到其原始位置（图 2-125）。

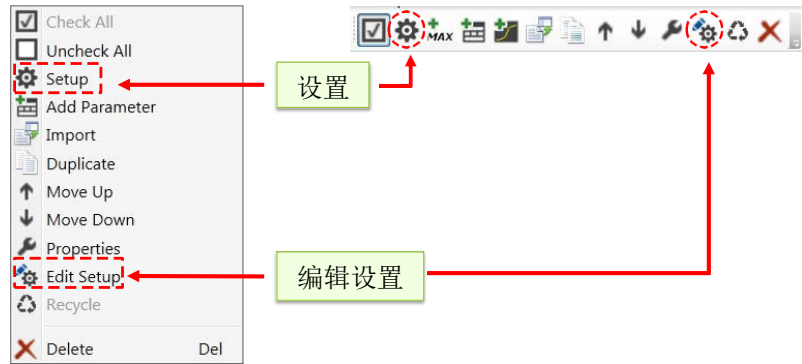
图 2-125 还原回收站中的已删除项目



删除的项目存储在回收站中。在创建新设置、导入现有设置或清空回收站之前，回收站中的项目会一直保留。

**提示：** 如何复制现有设置  
可以复制现有设置，以添加在不同测试条件下测量的项目。有关更多详细信息，请参考“**IC = 180 A 的 VCE(sat) 测试条件**”部分中的“**提示：如何复制现有测试设置**”。

**提示：** 如何更改设置中的锁定参数  
IV、CV 或 Qg 测量中的某些参数无法更改，以防止由于用法不匹配而导致的意外测量错误。要更改这些锁定的参数以修改现有设置，请使用 **Edit Setup** 而非 **Setup**。有关更多详细信息，请参考“**提示：如何测量阈值区的 IC-VGE 特性**”。



修改设置后，通常需要更改数据表设置中项目的属性（请参考“提示：如何更改测试条件与测量设置之间的关联”）。

提示：

如何通过修改现有项目创建新项目

可以添加每个器件类型初始模板中未包含的参数。有两种方法可以向数据表设置中添加新参数。

- ✓ 复制并修改现有参数
- ✓ 创建新参数

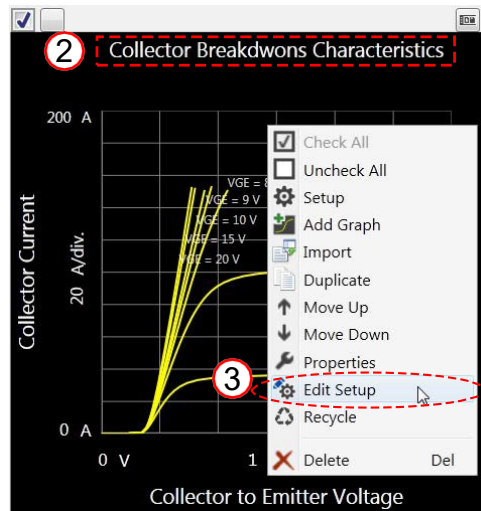
如果已经存在类似的参数，则第一种方法更容易。例如，可以通过修改 IC-VGE 模板的现有设置来创建 gfs 特性，如“5.6 跨导 (gfs)”部分中所述。

再例如，要添加集电极击穿特性图，可以将 IC-VCE 输出特性图的设置用作模板。根据 IC-VCE 输出特性的设置创建集电极击穿特性的设置步骤如下：

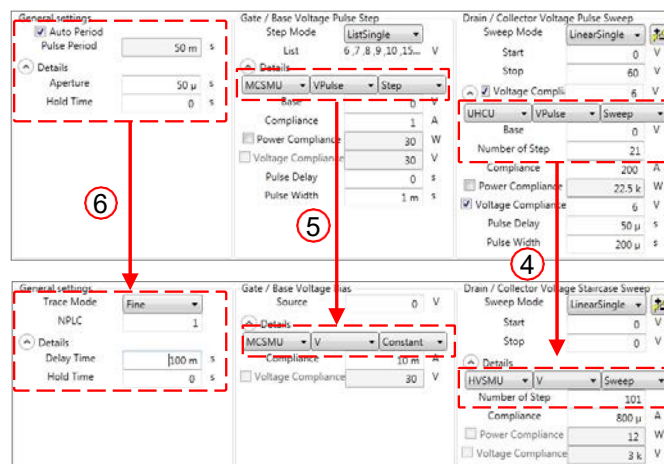
1. 复制 IC-VCE 特性的设置。



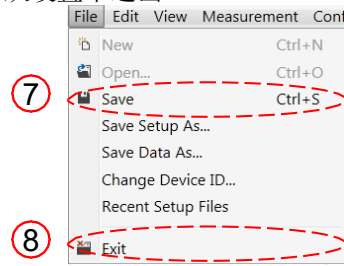
2. 将所复制设置的标题修改为 Collector Breakdown Characteristics。
3. 选择 Edit Setup，打开设置。



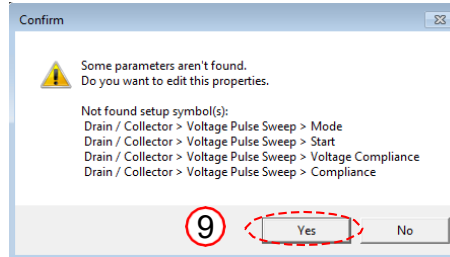
4. 更改集电极偏置设置。
  - ✓ 模块: UHVC 至 HVSMU
  - ✓ 输出模式: VPulse 至 V
  - ✓ Number of Step: 21 至 101
5. 更改栅极偏置设置。
  - ✓ 输出模式: VPulse 至 V
  - ✓ 输出顺序: Step 至 Constant
6. 设置 General settings。
  - ✓ Trace mode: Fine
  - ✓ NPLC: 1
  - ✓ Delay Time: 100 ms



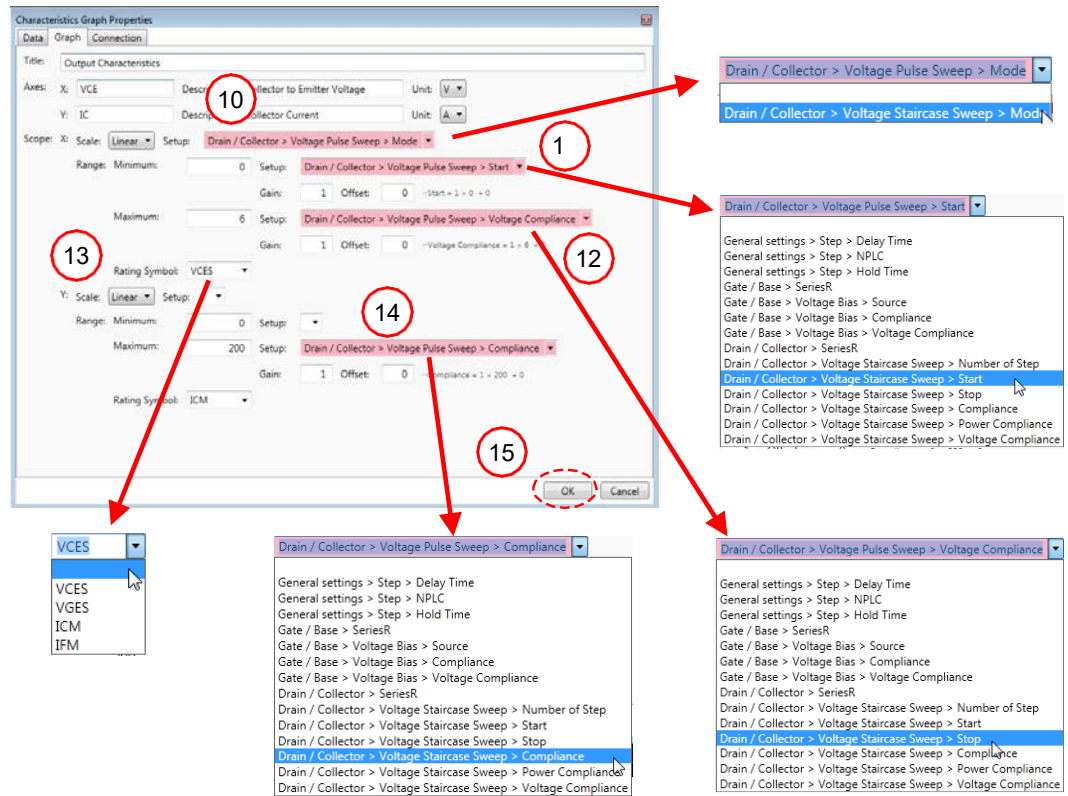
- 退出设置之前进行保存。
- 从设置中退出。



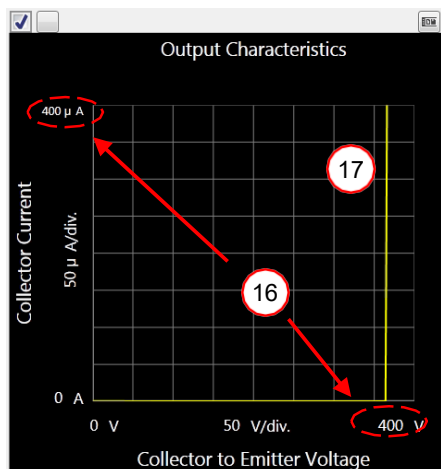
- 单击确认窗口中的 Yes 按钮修改设置的属性，以修复属性和测量设置之间不匹配的情况。



- 将与 X 轴定标模式相关联的设置更改为 Drain / Collector > Voltage Staircase Sweep > Mode。
- 将与 X 轴最小值相关联的设置更改为 Drain / Collector > Voltage Staircase Sweep > Start。
- 将与 X 轴最大值相关联的设置更改为 Drain / Collector > Voltage Staircase Sweep > Stop。
- 将与 X 轴相关联的额定值符号更改为空白项，以解除 X 轴的限制。
- 将与 Y 轴最大值相关联的设置更改为 Drain / Collector > Voltage Staircase Sweep > Compliance。
- 单击 OK 按钮。



16. 将 X 轴的最大值更改为 400 V, Y 轴最大值更改为 400  $\mu$ A.
17. 运行设置, 图形将会更新.



注意: 如果不解除额定值符号 (VCES) 与 X 轴之间的关联, 可能的最大值受最大额定值部分 (例如, 330 V) 限制。

提示:

如何从测量设置创建新项目

可以使用 Add Parameter 或 Add Graph 从单个 IV、CV 或 Qg 测量设置创建新项目。

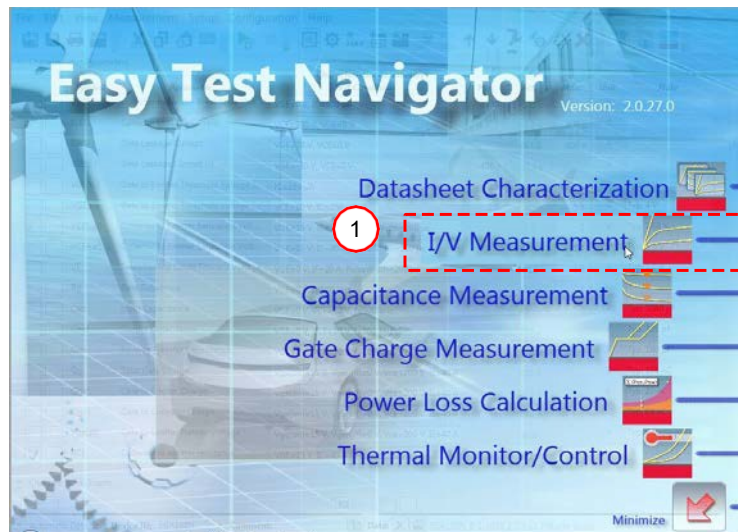
从测量设置创建新项目的步骤如下:

- ✓ 使用 IV、CV 或 Qg 测量模式创建测量设置
- ✓ 使用数据表模式中的 Add Parameter 或 Add Graph 功能导入测量设置。
- ✓ 定义新添加的项目的属性

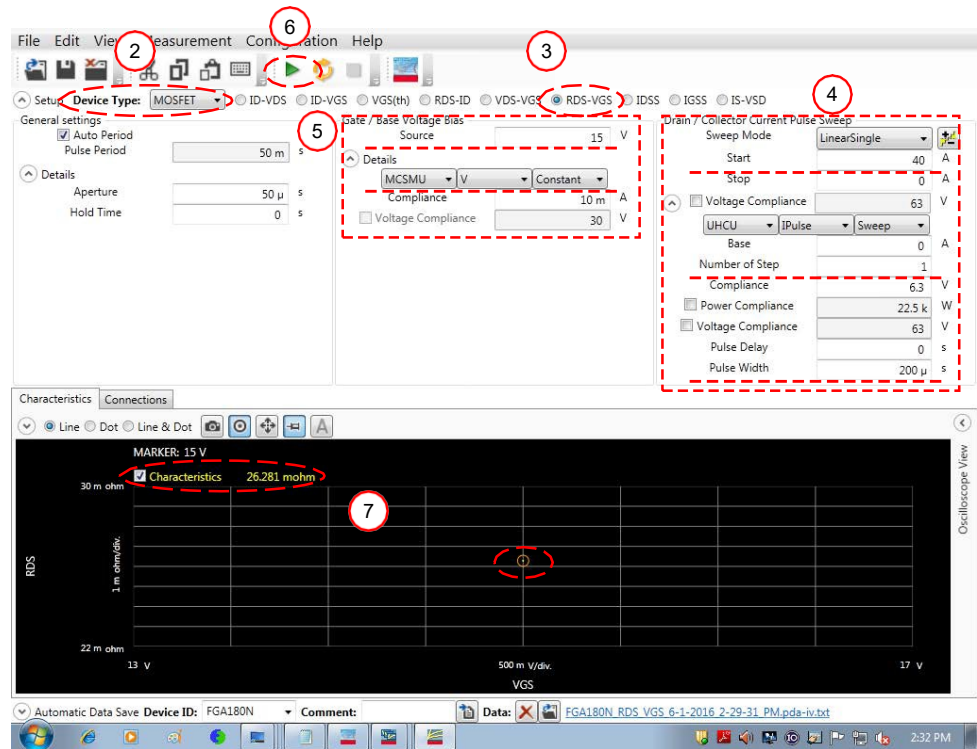
此时, 尝试将 RCE、集电极-发射极电阻添加到特性参数部分中。

创建单点 RCE 测量的测量设置

1. 启动 IV 测量模式。

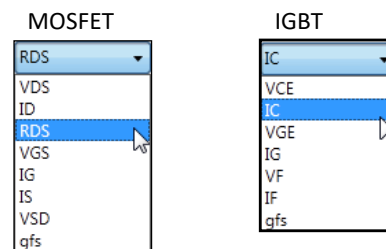


2. 选择 MOSFET 作为器件类型, 因为导通电阻测量不可用于 IGBT 器件类型。
3. 选择 RDS-VGS 模板
4. 按照以下方式修改漏极/集电极电流脉冲扫描设置:
  - ✓ Number of Step: 1
  - ✓ Pulse Width: 200  $\mu$ s
  - ✓ Start: 40 A (用于检查目的)
5. 按照以下方式修改栅极/基极偏置设置:
  - ✓ 输出模式: V
  - ✓ 输出顺序: Constant
  - ✓ Source: 15 V (用于检查目的)
6. 单击 Measure 按钮检查设置。
7. 确认测量值是否合理。

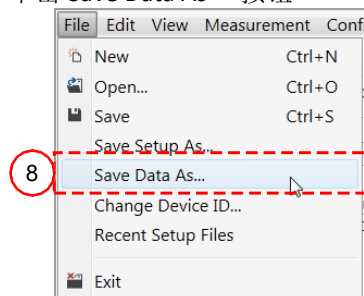


注意： 只有每个器件类型支持的参数才能用作输出值（请参考图 2-126）。

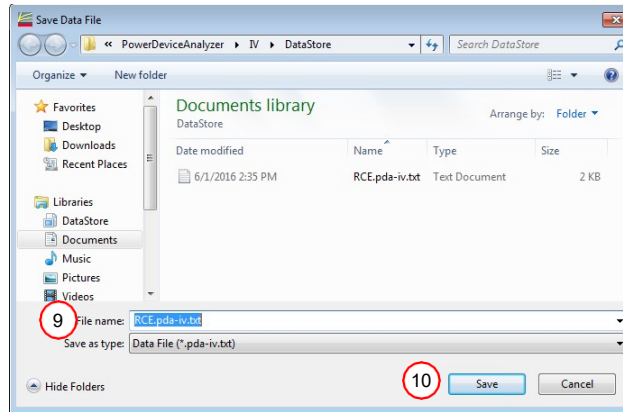
图 2-126 MOSFET 和 IGBT 的可用测量参数



8. 单击 Save Data As... 按钮

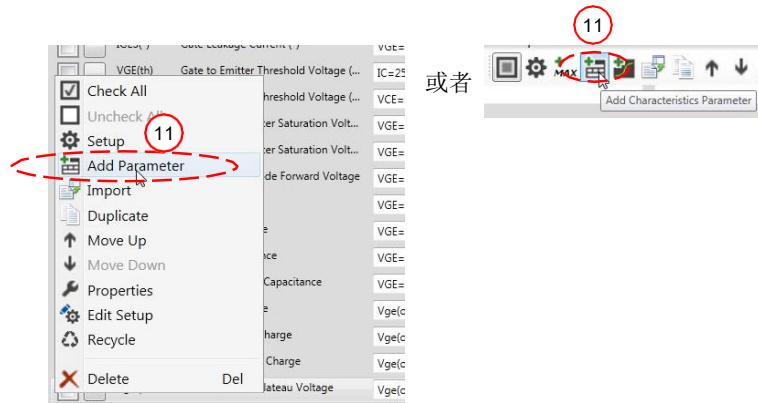


- 9. 键入设置的文件名
- 10. 单击 Save 按钮保存设置

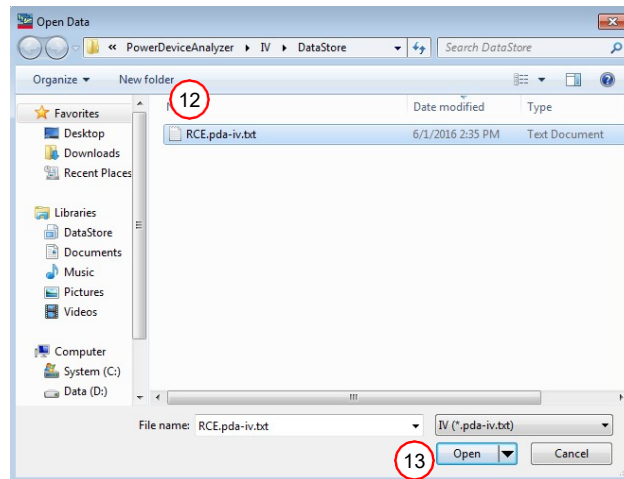


将 RCE 的设置导入到数据表

- 11. 右键单击特性参数区域并选择 **Add Parameter**，或者单击功能区菜单中的 **Add Characteristics Parameter** 图标。

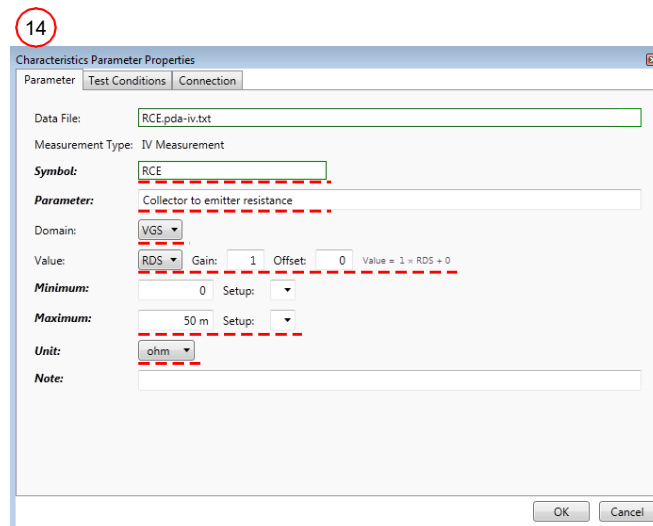


12. 选择 RCE 测量的设置文件。
13. 单击 Open 按钮。

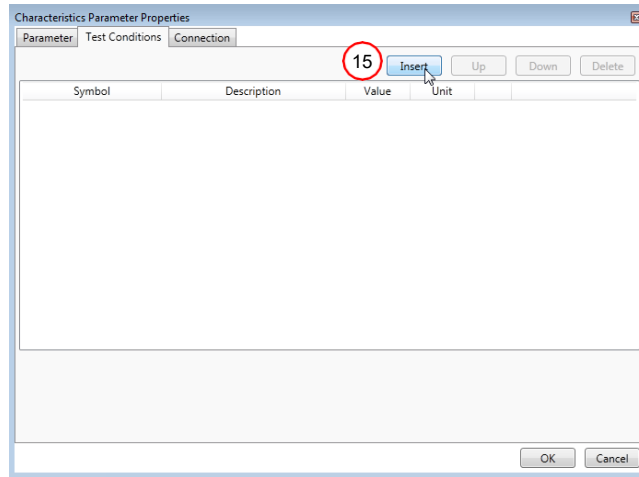


#### 定义 RCE 测量的属性

14. 按照以下方式编辑属性参数中的项目；
  - ✓ Symbol: RCE
  - ✓ Parameter: Collector to emitter resistance
  - ✓ Domain: VGS
  - ✓ Value: RDS
  - ✓ Gain: 1
  - ✓ Offset: 0
  - ✓ Maximum: 50 m
  - ✓ Unit: ohm

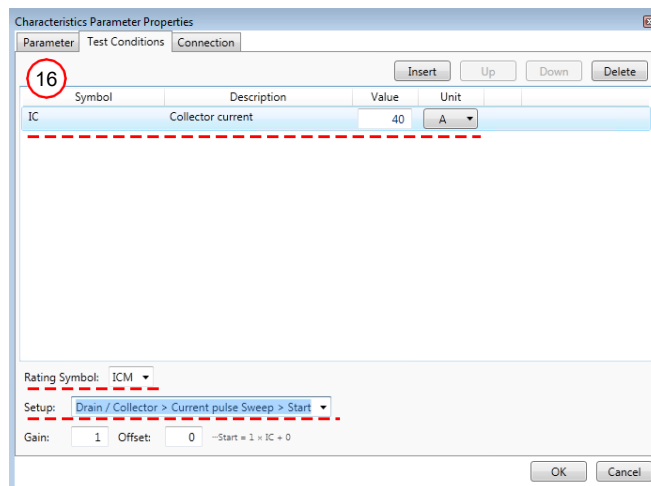


15. 单击 Test Conditions 选项卡中的 Insert 按钮，插入测试条件。



16. 按照以下方式编辑添加的测试条件：

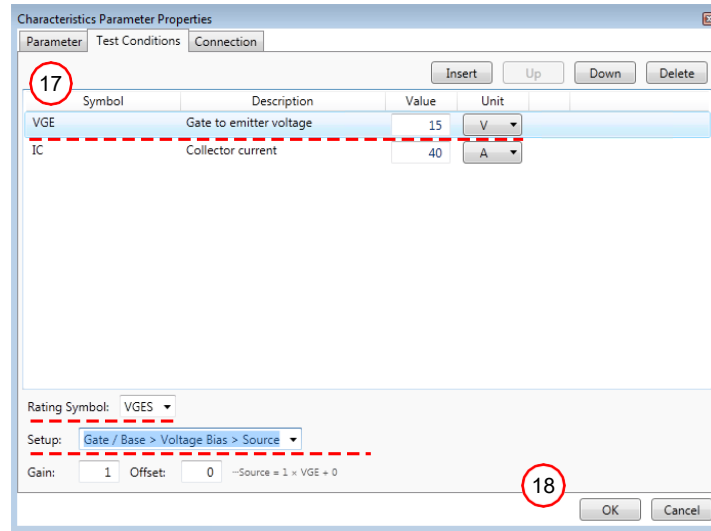
- ✓ Symbol: IC
- ✓ Description: Collector current
- ✓ Value: 40 A
- ✓ Unit: A
- ✓ Rating Symbol: ICM
- ✓ Setup: Drain / Collector > Current pulse Sweep > Start



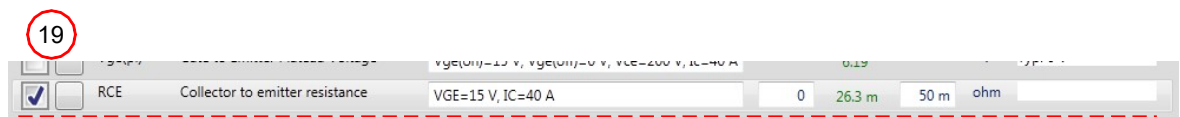
17. 插入另一个测试条件，然后按照以下方式对其进行编辑：

- ✓ Symbol: VGE
- ✓ Description: Gate to emitter voltage
- ✓ Value: 15
- ✓ Unit: V
- ✓ Rating Symbol: VGES
- ✓ Setup: Gate / Base > Voltage Bias > Source

18. 单击 OK 按钮



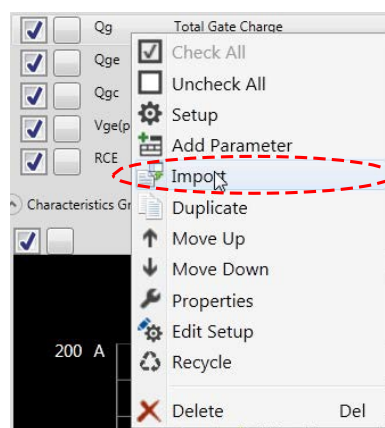
19. RCE 作为新项目添加到特性参数区域中



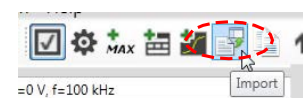
提示:

如何从其他测量设置导入数据

可以将 IV、CV 或 Qg 测量的测量数据作为数据表中现有项目的数据导入。要导入数据，请右键单击项目并从弹出菜单中选择 **Import**，或者选择项目并在功能区菜单中单击 **Import** 图标。

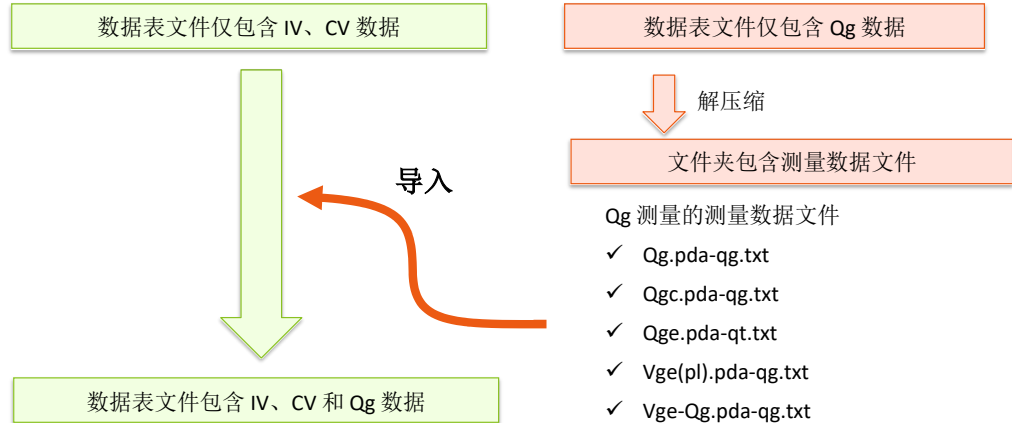


或者



要导入数据，设置的类型和定义应与项目相同。例如，要将数据导入到 BVCS，这些数据也应是使用 BVCS 的设置测量的。

**提示：** 如何合并不同数据表设置的数据  
 使用导入功能可以合并多个数据表。数据表集文件是由 IV、CV 和 Qg 测量数据文件组成的压缩存档。通过解压该存档，可以访问每个项目的数据文件。通过导入其他数据表文件的数据文件，可以将多个数据表文件合并为单个数据表文件。



**提示：** 如何更改连接图  
 可以更改连接确认窗口中显示的图。连接图在每个参数项目的属性中定义。请参考“步骤 8 运行整个参数和图形的测试”部分中的“方法 3：更改连接的图片”。

**提示：** 如何更改测量顺序  
 可以在数据表设置中更改测量顺序。请参考“步骤 8 运行整个参数和图形的测试”部分中的“提示：如何更改测量顺序”。

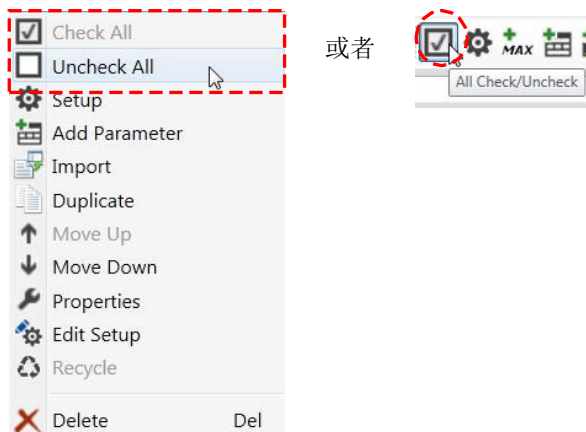
**提示：** 如何跳过指定项目  
 要跳过指定项目的测量，请单击项目的复选框，取消选中项目。

单击该框可切换项目的勾选

	Symbol	Parameter	
<input type="checkbox"/>	BVCES	Collector to Emitter Breakdown Volt...	VGE=0 V
<input checked="" type="checkbox"/>	ICES	Collector Leakage Current	VCE=330
<input checked="" type="checkbox"/>	IGES	Gate Leakage Current	VGE=30 V
<input checked="" type="checkbox"/>	IGES(-)	Gate Leakage Current (-)	VGE=-30

可以按照以下方式一次性选中或取消选中所有项目：

- ✓ 右键单击项目并从弹出菜单中选择 Check All 或 Uncheck All，或者
- ✓ 单击功能区菜单中的 All Check/Uncheck 图标



提示：

如何使用热监测/控制功能在指定温度下测量 IV、CV 和 Qg  
通过组合使用跳过功能和 Without data cleared 测量选项（请参考“步骤 8 运行整个参数和图形的测试”中的“测量选项”），可以将单个数据表设置的测量分为两个阶段。

例如，如果是温度相关性测量（包括 IV、CV 和 Qg 测量），则无法立即进行，因为需要将适配器从 IV 和 CV 切换到 Qg 测量。首先，通过取消勾选指定温度下的 Qg 测量项目，仅执行 IV 和 CV 测量。恢复到室温后，将适配器更改为 Qg 测试适配器，并使用相同的数据表设置和 Without data cleared 选项，仅测量指定温度下的剩余 Qg 项目。完成 Qg 项目的测量后，IV、CV 和 Qg 的测量值存储在单个数据表设置中。

提示：

如何在结果超过限值时停止测量

如果测量结果超过指定的最小/最大限值，则可以跳过后续项目。有关更多详细信息，请参考“步骤 8 运行整个参数和图形的测试”中的“测量选项”。

## UHCU 详细信息和测量提示

### 如何为 VCE(sat) 设置 UHCU 的 V/I 参数

在 UHCU 中，输出电流由内部偏置源的设置电压 (Vset)、输出电阻器和 DUT 的电阻决定，如图 2-127 中所示。

#### VCE(sat) 电流强制模式设置:

图中所示的编号说明成功设置 VCE(sat) 测试参数的关键 UHCU 操作。

1. **Vset > VCE + Rout 的 Vdrop**  
施加于 DUT 的实际电压取决于 IC (图中的 a.)。  
由于输出电阻器 (b.) 处的压降，实际施加于 DUT (VCE - c.) 的电压会随集电极电流 (IC) 的变化而异。  
因此，Vset (d.) 必须将所需的 VCE 加上 Rout 电阻器的压降，因为  $Vset > VCE + Rout$  的 Vdrop
2. **VCE 由 Sense 线路精确测量**  
UHCU 的 Sense 端子具有与内部偏置源分开的电压表，而且 UHCU 在测量期间会测量实际 VCE，以捕获 VCE 和 IC 之间的关系。
3. **电流脉冲准确无误 (满足  $Vset > VCE + Rout$  的 Vdrop)**  
在 I 脉冲模式下操作 UHCU 时，内部偏置源的设置电压会进行调整\*，以使输出电流与 UHCU 中电流表的反馈所指定的值相同。

注意:

调整在单个脉冲内实时进行。没有用于调整电压的多个脉冲输出。

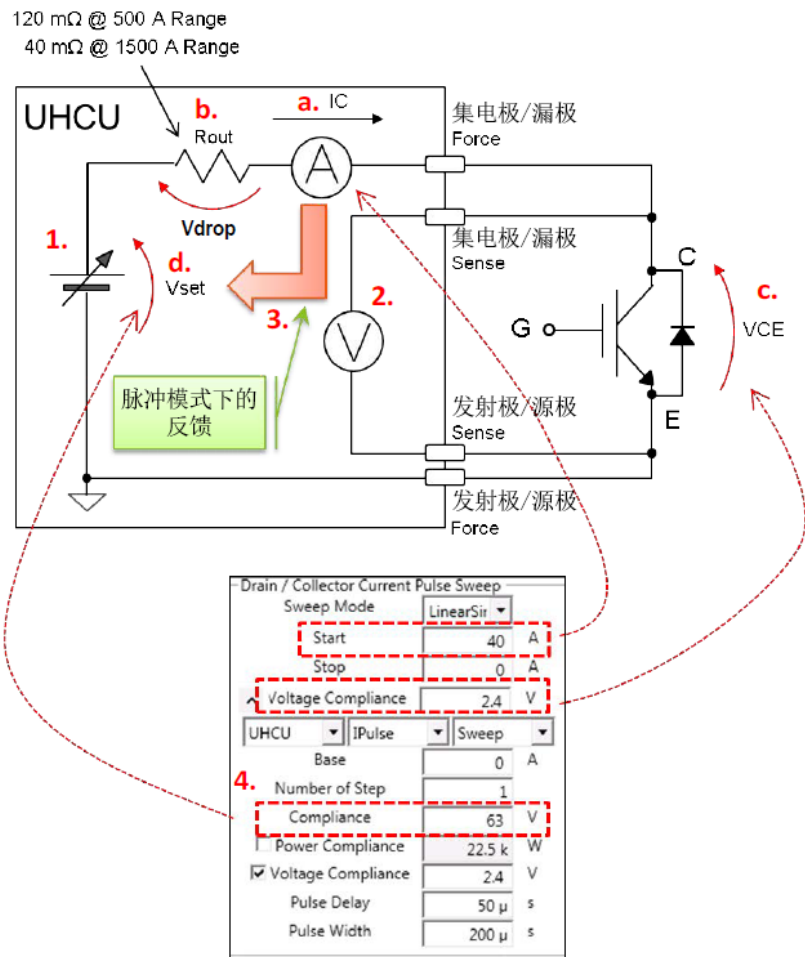
4. **将 Compliance 电压设置为  $> VCE + Rout \times IC$**   
Compliance 电压用于定义电流表到 Vset 反馈期间的设置电压的上限。如果 Compliance 不够高 (即  $Compliance < VCE + Rout \times IC$ )，则输出电流达不到指定电平。  
如果 Compliance 为 20 V 且使用的是 500 A 范围，则在输入电压为 0 V 时，最大电流被限制为  $20 V / 120 m\Omega = 167 A$ 。

注意:

Voltage Compliance 会限制电压强制模式下施加于 DUT (VCE) 的电压。一旦 UHCU 的电压表所测得的电压超过 Voltage Compliance，例如高 Vset 电压输出高电流但实际却是低 IC 条件，则会跳过主扫描的剩余脉冲阶跃以通过施加过电压来保护 DUT。

图 2-127

与简化 UHCU 的内部测量资源和  $I_C = 40\text{ A}$  的  $V_{CE(sat)}$  测试条件之间的关系。



#### 如何设置电压强制模式设置

要针对电压强制模式设置来设置  $V_{set}$ ，使用以下方程式设置最小  $V_{set}$  值。

$$V_{set} > (\text{最大 } V_{out}) + (\text{合规电流}) \times R_{out}$$

例如，在以下条件下，如下所示计算最小  $V_{set}$ 。

#### 示例 1:

- 输出电压: 10 V
- 电流合规性: 1000 A
- $R_{out}$ : 40 m $\Omega$  (当 1000 A 为最大输出电流 (合规电流) 时自动确定)

$$V_{set} > 10 \text{ V} + 1000 \text{ A} \times 40 \text{ m}\Omega = 50 \text{ V}$$

#### 示例 2:

在以下情况下

- 输出电压: 10 V
- 电流合规性: 100 A
- $R_{out}$ : 120 m $\Omega$  (当 100 A 为最大输出电流 (合规电流) 时自动确定)

$$V_{set} > 10 \text{ V} + 100 \text{ A} \times 120 \text{ m}\Omega = 22 \text{ V}$$

## 使用 UHCU 的 IC-VGE 输出特性测量

IC-VGE 基本测量使用恒定的集电极电压。

当 UHCU 用作集电极电源时，由于输出电阻器引起的压降，集电极电压会因集电极电流的不同而异，如图 2-127 中的“b”所示。

要在较高电流下测量 IC-VGE（或 ID-VDS），EasyEXPERT 的 Ic-Vge for Expanders（或 Id-Vgs for Expanders）应用非常有用。这些应用通过使用基于程序的反馈回路将 UHCU 的输出电压保持在恒定电压。

如果是数据表表征模式，则无反馈回路，而且输出电阻器导致的压降直接施加于 DUT。

下一部分解释在不考虑输出电阻器导致的压降的情况下设置 VCE 会发生什么。

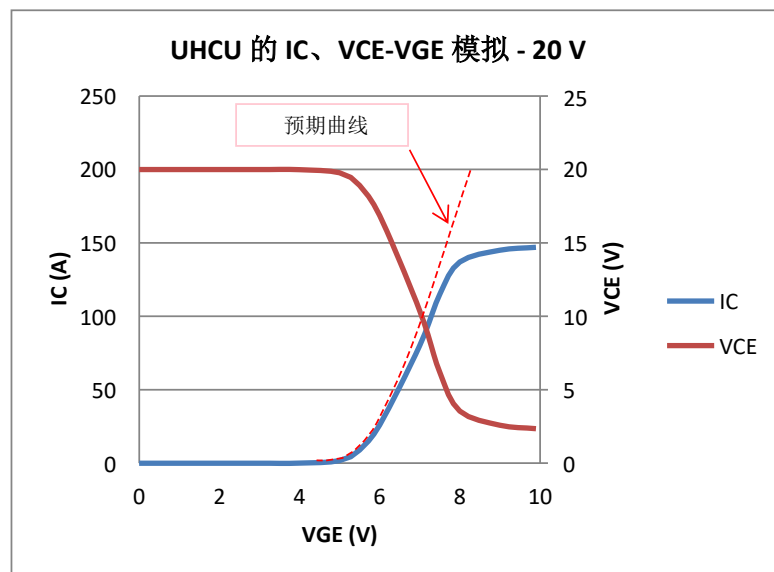
设置  $VCE = 20\text{ V}$ （此为测量条件）时会发生什么：

图 2-128 显示在 UHCU  $V_{set} = 20\text{ V}$  的情况下进行 IC-VCE 测量时，DUT 处的模拟 VCE 的示例。在这种情况下，实际 VCE 变得接近 IGBT 的导通电压，并且 IC 在低得多的 VGE 下饱和，输出特性曲线偏离预期曲线。

UHCU 的 VCE 设定电压必须设置得更高些，如前一部分所示。

图 2-128

UHCU 设置为  $VCE = 20\text{ V}$  时的 IC-VCE 模拟。



如何调整 VCE:

为了测量接近预期曲线的 IC-VGE 曲线，需要按如下所示调整 UHCU 的输出电压。

$$V_{set} = \text{最大 IC} \times R_{out} + V_C,$$

其中

- 最大 IC: 用于测量 IC-VCE 特性的最大电流
- $R_{out}$ : UHCU 的输出电阻
- $V_C$ : 输出特性测量的恒定

VCE 电压 (在 IC = 200 A、VCE = 20 V 的测试情况下)

$$VCE = V_{set} = 200 \text{ A} \times 120 \text{ m}\Omega + 20 \text{ V} = 44 \text{ V}$$

实际施加于集电极端子的集电极电压 VCE 使用典型 IC-VGE (VCE = 20 V 时) 曲线进行模拟，如图 2-129 中所示。

VCE 电压随着 IC 的增加急剧下降，高 VCE 使 IC-VGE 曲线在低电流区略微向上扭曲。

图 2-129

UHCU 的 IC、VCE-VGE 模拟。

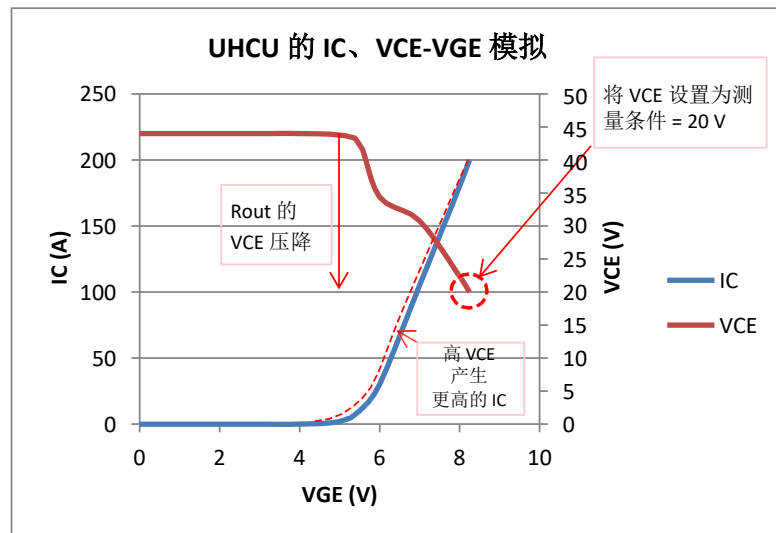


图 2-130 显示采用 UHCU 的 IC-VGE 测试设置。

图 2-131 是使用图 2-129 条件测量的示例 IC-VCE 特性曲线。

图 2-130 UHCU 的 IC-VGE 设置。

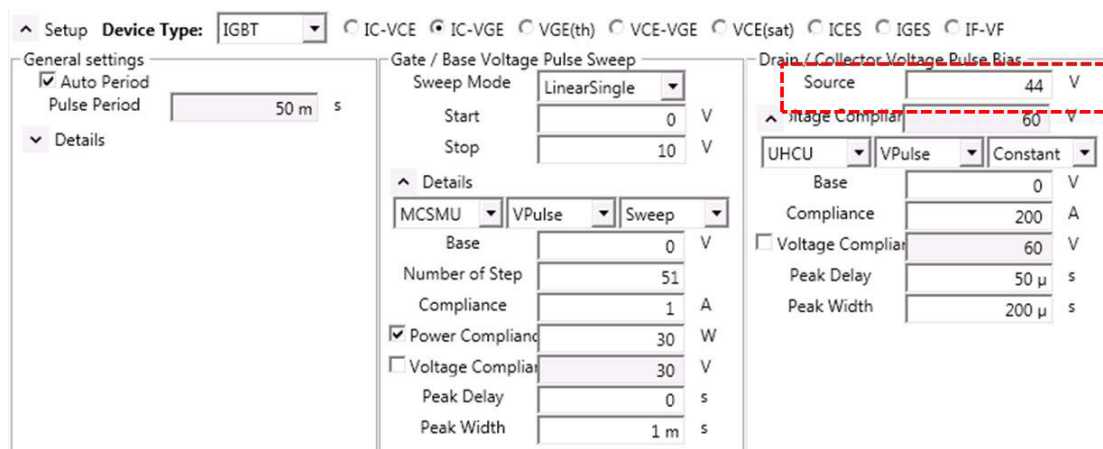
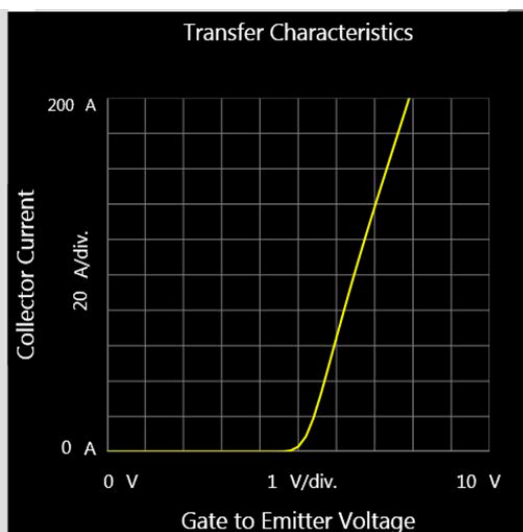


图 2-131 UHCU 的 IC-VGE 示例 (IC = 200 A 时, VCE 约为 20 V)。



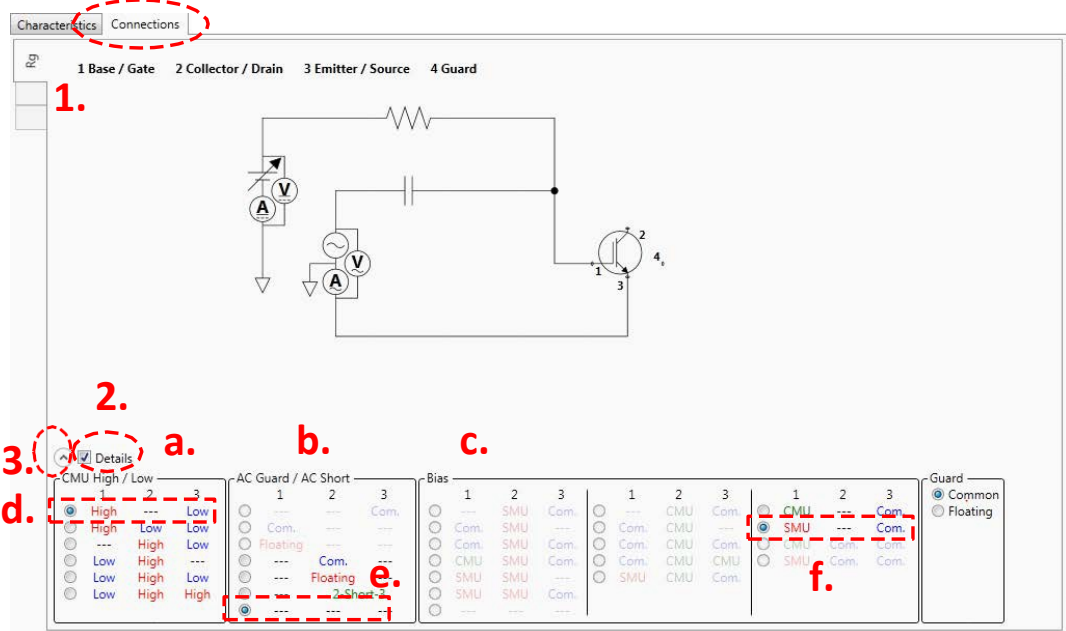
## 如何更改 Rg 测量的连接

集电极/漏极开路状态的连接

要查看 Rg 测量的连接，请按照下述步骤操作。

1. 单击 **Connections** 选项卡。  
随即会显示当前连接的简化框图。
2. 选中 **Details**。
3. 单击向下箭头。连接设置面板在连接框图下打开，如图 2-132 中所示。
  - a. 此框设置 CMU 连接。
  - b. 此部分设置交流保护连接。
  - c. 此部分定义哪些偏置电压施加于每个器件端子。  
此行中每一列的 1、2 和 3 编号表示在同一图中显示的器件端子的相应引脚编号。
  - d. 这表示 CMU High 端子连接到栅极，漏极和源极均连接到 CMU Low 端子。
  - e. 此框表示没有交流保护端子连接到 DUT。
  - f. 此框表示栅极端子偏置电压施加自 SMU，且无任何项连接到集电极端子。

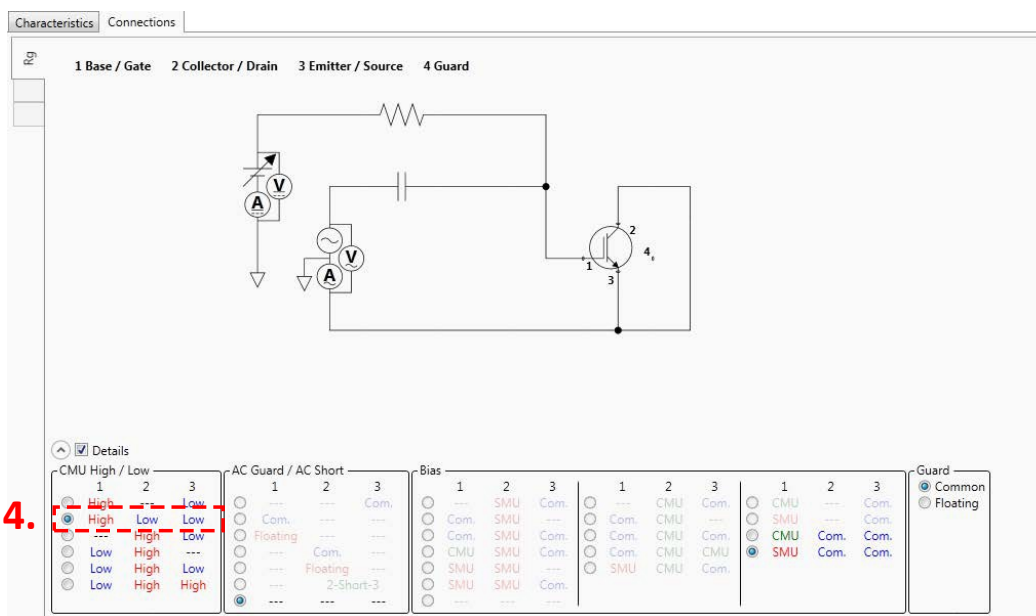
图 2-132 Rg 测量的连接图



集电极/漏极和发射极/源极短路状态的连接

- 在 CMU High/Low 部分中选择 High Low Low。此选择会将集电极和发射极都连接到 CMU 的低端口（图 2-133）

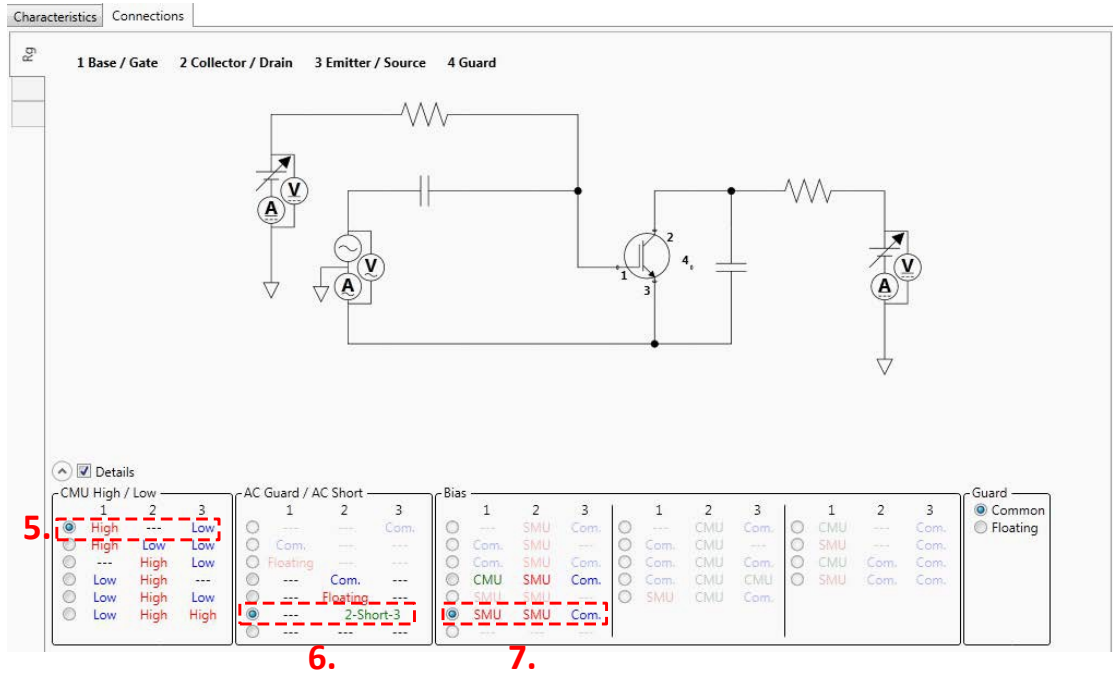
图 2-133 集电极/漏极和发射极/源极短路的 R<sub>g</sub> 测量的详细设置。



集电极/漏极和发射极/源极短路状态的连接

- 在 CMU High/Low 部分中选择 High --- Low。此选择将 CMU 高端口连接到栅极，低端口连接到源极。
- 在 AC Guard/AC Short 部分中选择 2-short-3。此选择通过交流短路电容器来连接集电极/漏极和发射极/源极。
- 在 Bias 部分中选择 SMU SMU Com.。此选择将 MPSMU 连接到栅极，HVSMU 连接到集电极/漏极，CMU 低端口连接到发射极/源极（图 2-134）

图 2-134 集电极/漏极偏置条件下的  $R_g$  测量的详细设置



## 电容测量提示

**提示：** 如何测量大电容

如果测得的电容超过指定限值，请尝试将测量频率更改为 100 kHz。

**提示：** 如何提高测量精度

由于 B1506A 中器件电容开关的残余电感，使用 1 MHz 得到的结果会出错，尤其是大型 IGBT 模块或 Crss 极小、Cds 又极大的超结 MOSFET。在这些情况下，请尝试将测量频率更改为 100 kHz。

请参考标题为“关于使用电容测量模式的有用信息”部分中的“超结 FET 的 Crss 测量”部分。

**提示：** 降低测量频率时的电容数据相关性

即使通过降低频率使测量频率低于限值，器件也必须良好。

当测量规模相对较大的器件或与 Cies（或 Ciss）相比 Cres（或 Crss）

非常小的器件时，由于开关系统的残余电感、电阻和杂散电容的影响，1 MHz 下的测量误差在许多情况下就变得不可忽略。

通常，在物理点的测量频率小于 1 MHz 的情况下，功率器件的电容并不表现出明显的频率相关性。

## 测量理论和测量功能的详细说明

### 电容测量技术

高压电容通过使用高压偏置三通电路、交流阻断电阻器和交流短路电容器来测量。

这些元器件根据要测量的电容参数自动更改。

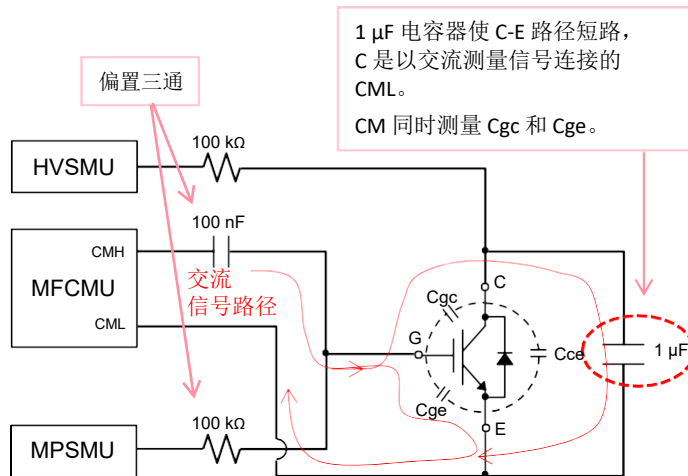
下面介绍针对每个电容参数使用这些元器件的连接。

Cies 测量:

图 2-135 显示简化的 Cies 测量电路框图。1  $\mu\text{F}$  电容器使 C-E 交流路径短路，Cgc 和 Cge 被视为在 CMH 和 CML 测量端子之间并联连接。因此，可以测量  $C_{ies} = C_{ge} + C_{gc}$ 。

图 2-135

Cies 测量的简化连接图。

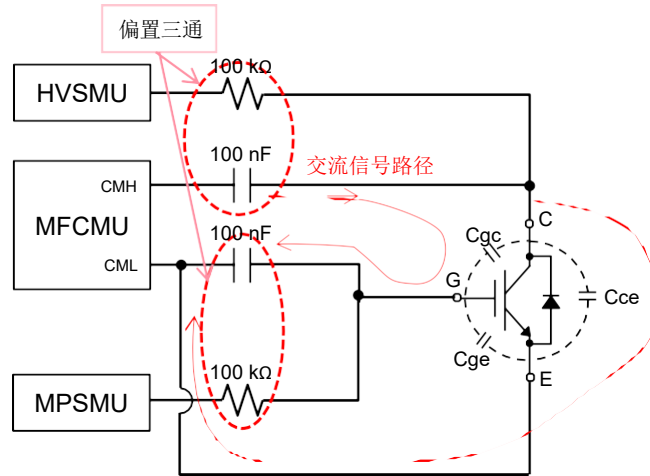


Coes 测量:

图 2-136 显示简化的 Coes 测量电路框图。测量的是输出电容，即与 Cgc 并联连接的 Cce。

图 2-136

Coes 测量的简化连接图。



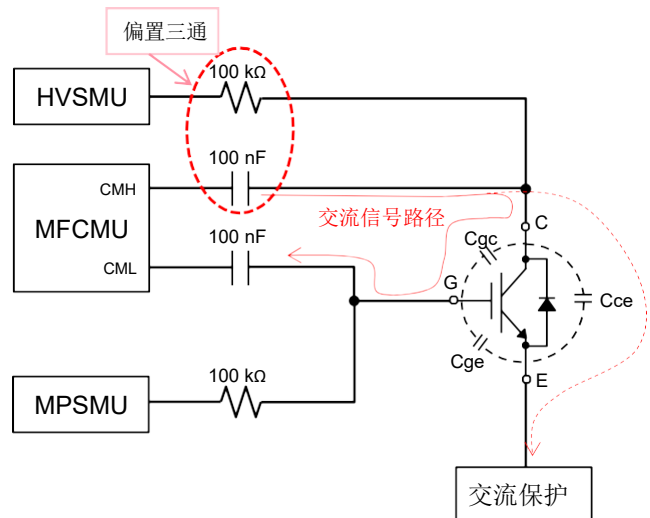
Cres 测量:

图 2-137 显示简化的 Cres 测量电路框图。反向传输电容 Cge 在 CML 输入中进行测量。由于流经 Cce 的所有交流信号都流入与 CML 电势相同的交流保护端子（低端口屏蔽），因此仅测量从 Cge 流向 CML 端子的电流。

在 B1506A 中，MPSMU 用于向器件施加栅极电压，0 V 用于常闭器件，负电压也用于常闭器件。

图 2-137

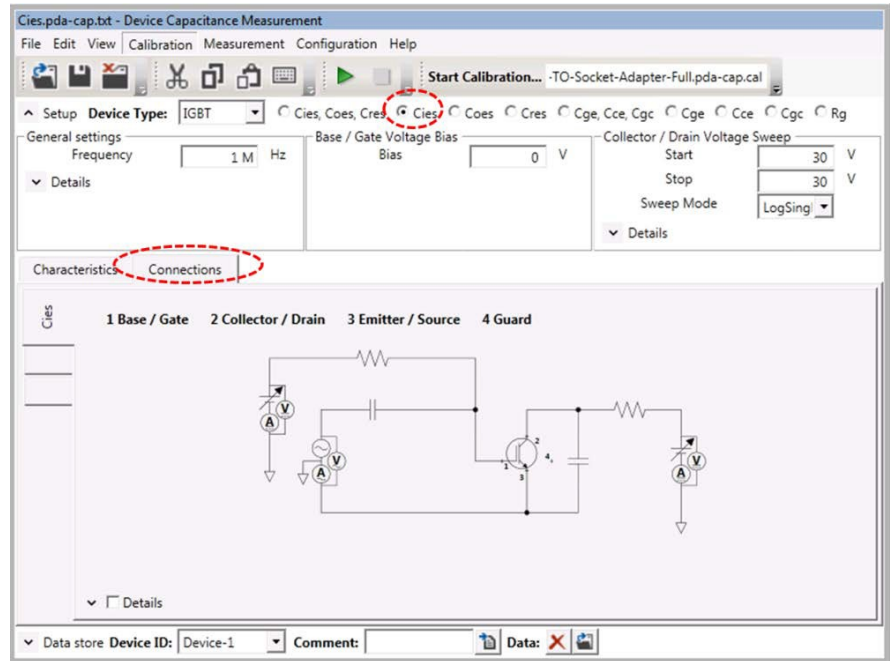
Cres 测量的简化连接图。



连接图:

通过选择图 2-138 中显示的 Connections 选项卡，可以确认每个测量模式的连接图。

图 2-138 每个测量模式的连接图。



充电等待时间：

- ✓ 对于 Cies 测量，要为  $1 \mu\text{F}$  交流短路电容器充电，至少需要 500 ms 的等待时间（ $100 \text{ k}\Omega$  和  $1 \mu\text{F}$  电容器恒定为 5 倍的 CR 时间）。
- ✓ 对于 Coes 和 Cres，需要 50 ms 的等待时间（ $100 \text{ k}\Omega$  和  $1 \text{ nF}$  电容器恒定为 5 倍的 CR 时间）。

注意：

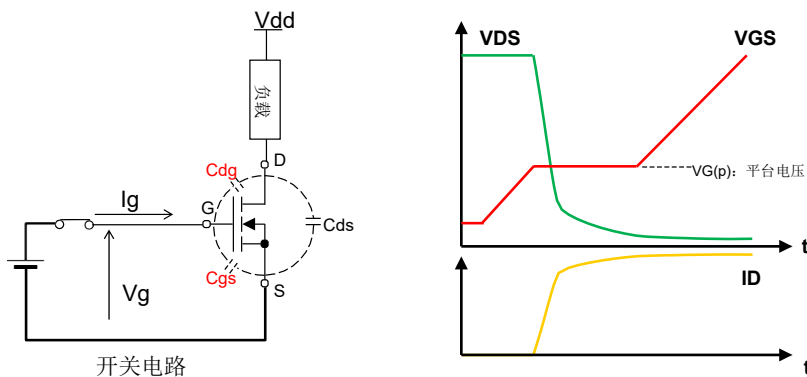
这些等待时间为内置时间，由 Easy Test Navigator 软件自动选择，因此如果 DUT 特性本身不需要它，则无需指定延迟时间。

## 栅极电荷测量基础知识

以功率 MOSFET 为例，栅极电荷是一种通过恒定栅极电流提高栅极电压的电荷，如图 2-139 中所示。栅极电荷是以下电荷的总和：

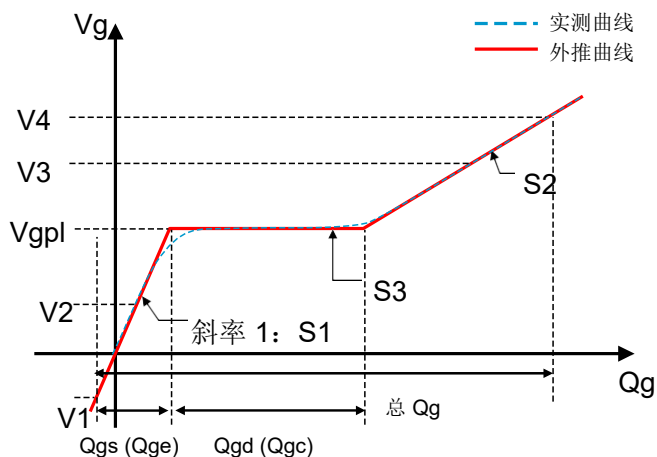
- 由  $V_g$  驱动的  $C_{gs}$  电荷
- 由  $V_g$  驱动的  $C_{gd}$  电荷
- 由  $V_{DS}$  驱动的  $C_{gd}$  电荷

图 2-139 基本栅极电荷测量图和波形。



JEDEC 标准 24-2 定义了栅极电荷 ( $Q_g$ ) 定义，如图 2-140 中所示， $Q_g$  测量基于此定义进行。

图 2-140 JEDEC 标准 24-2 的  $Q_g$  参数定义。



- S1: 由关断状态的  $C_{gs}$  决定
- S2: 由导通状态的  $C_{iss}$  决定
- S3: 由从关断状态到导通状态的瞬态期间的镜像电容 ( $C_{gd}$ ) 决定。
- $V_{gpl}$ : 栅极平台电压。使漏极电流达到指定值的栅极电压。 $I_d$  越高  $\rightarrow V_{gpl}$  越高

### Qg 测试中的 SOA 和电流负载 FET

电流负载 FET 在其饱和区（恒定漏极电流区）使用。超过器件的 SOA 限制存在击穿器件的潜在风险，因为电流负载 FET 在高电压和高电流工作区使用。

此部分介绍如何确定所需的 SOA，以选择满足 Qg 测量要求的电流负载 FET。

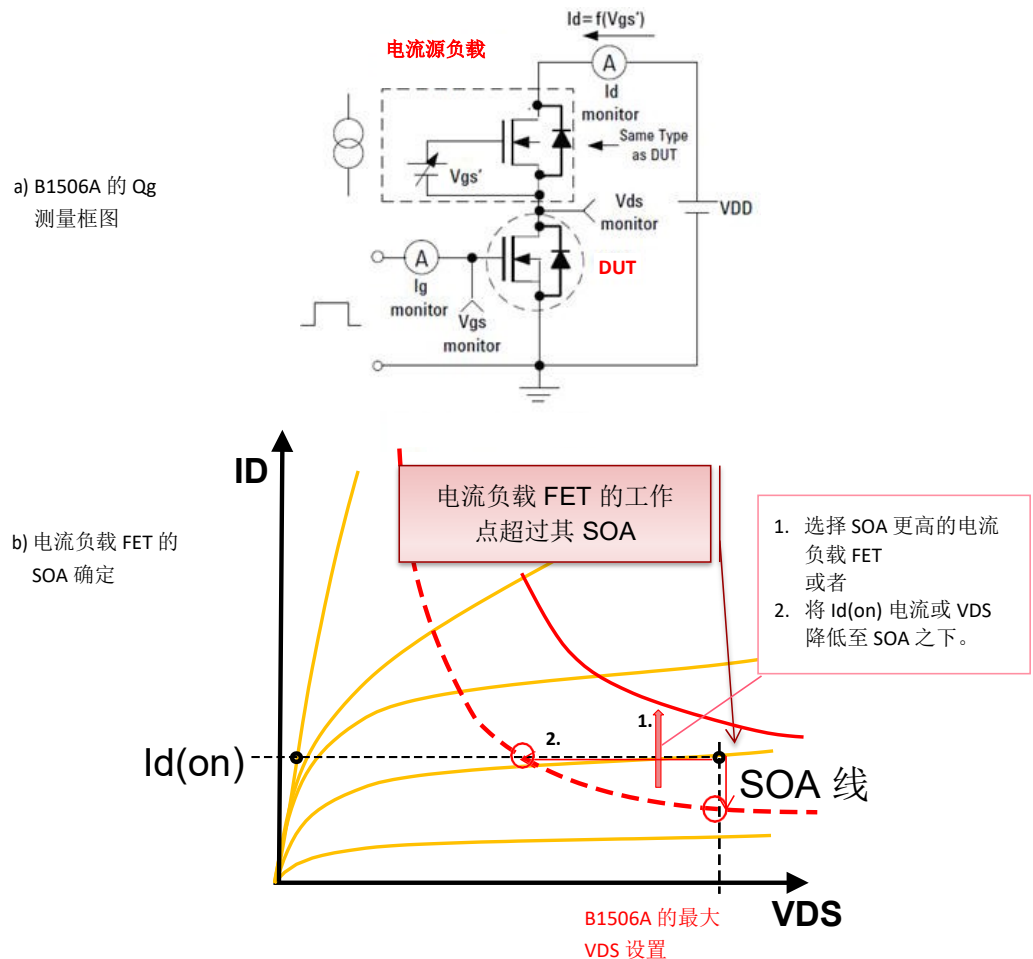
图 2-141 显示 B1506A 的 Qg 测量框图

(a) 和电流负载 FET 的 SOA 确定图 (b)。

电流负载 FET 的最大负载设置为  $I_{d(on)}$  测试条件，B1506A 的最大 VDS 电压设置通常设置为更高的电压，以涵盖 B1506A UHCU 的内置输出电阻器的压降。

所需的 SOA 由指定 UHCU 的电流脉冲宽度中的  $SOA = I_{d(on)} \times (\text{UHCU 的最大 VDS})$  决定。电流负载 FET 的 SOA 必须超过指定电压、电流和脉冲宽度中的这个 SOA 值。

图 2-141 电流负载 FET 选择标准。



在示例（图 2-141(b)）中，虚线形式的 SOA 限制线位于所需的 SOA 值（=  $I_d(on) \times UHCU$  的最大  $V_{DS}$ ）之下。

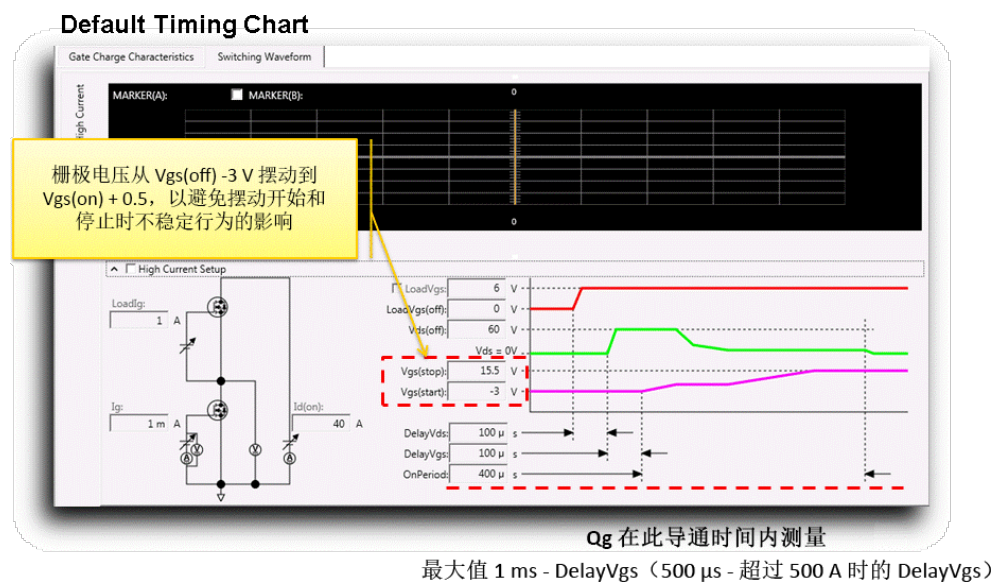
以下四种方法可能可解决此 SOA 问题。

- ✓ 选择 SOA 更高的电流负载 FET
- ✓ 将  $I_d(on)$  电流降低至 SOA 曲线之下
- ✓ 将 UHCU 设置的最大  $V_{DS}$  降低至 SOA 曲线之下
- ✓ 减少脉冲宽度以提升 SOL 线

### 如何确定 $I_g$ 以测量栅极电荷

$I_g$  被确定为测量周期内栅极电压从  $V_{GS(off)}$  摆动到  $V_{GS(on)}$  所需的电流。图 2-142 显示采用 UHCU 的  $Q_g$  测量脉冲序列。

图 2-142  $Q_g$  测量的时序图。



## 如何使用示波器视图功能

示波器视图用于监测测量或输出电压及电流的脉冲波形。电流波形监测尤其有用，因为即使使用示波器也无法监测电流。

此部分以 VCE(sat) 为例，说明电压和电流脉冲波形监测中的简单示波器视图操作。

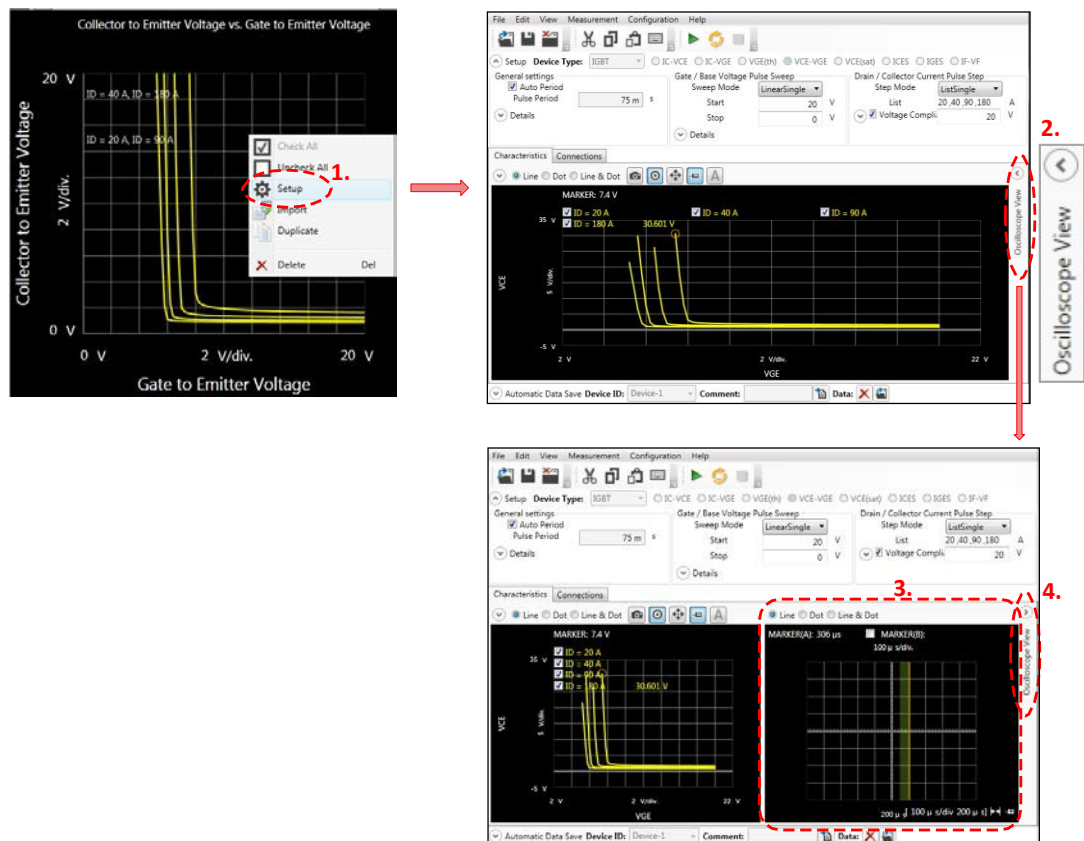
按照下述步骤监测脉冲波形。

打开示波器视图

图 2-143 显示从 VCE(sat) VCE-VGE 图形测量中打开示波器视图的步骤。请参考图中的相应编号，按照编号打开示波器视图。

1. 单击 Setup，VDE-VGE I/V 测量窗口即会打开。
2. 单击 < Oscilloscope View。
3. 示波器视图面板随即打开。

图 2-143 打开示波器视图。



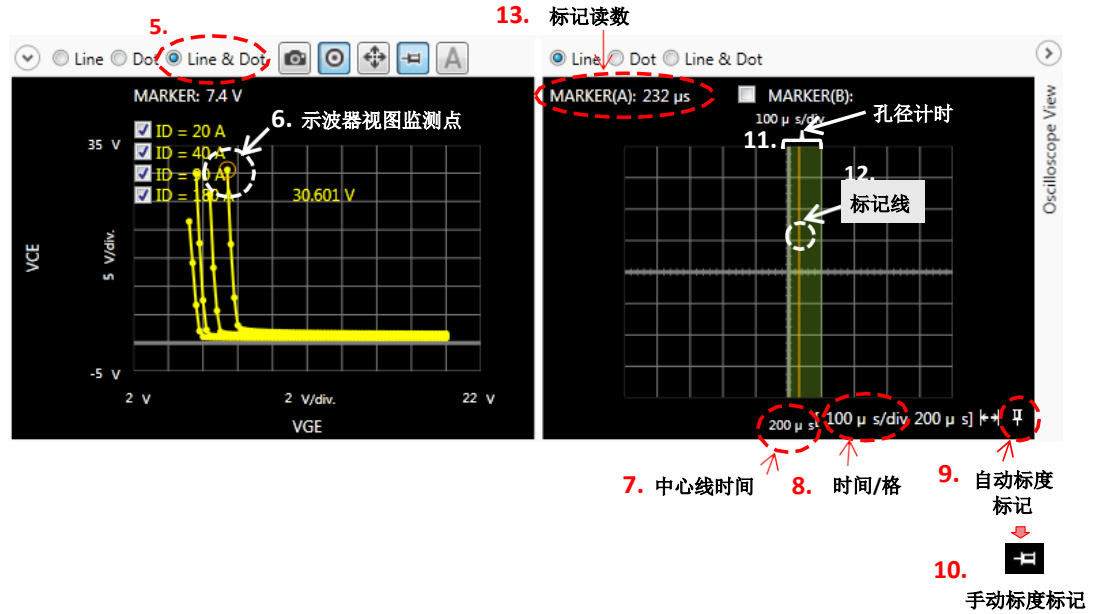
4. 关闭示波器视图  
再次单击 > Oscilloscope View 会关闭示波器视图面板。

#### 如何设置示波器视图

图 2-144 显示设置示波器视图的关键位置。下述步骤解释每个设置点的功能。请参考图中的编号，按照步骤操作。

5. VCE-VGE 图形以 Line & Dot 格式显示，以方便指示测量位置。
6. 单击测量点，放置标记。标记位置是在示波器视图面板中测量波形的点。
7. 显示标度中心处的时间。
8. 指定或显示每格的时间标度。
9. 垂直针标记表示自动标度模式。
10. 单击该针可在自动/手动定标模式之间切换。水平针标记表示手动标度模式。  
在自动标度模式下，每个测量计时中的标度会自动更改。
11. 绿色垂直条表示测量孔径计时。
12. 橙色垂直线显示标记读数线。可以通过单击横向中心线位置或拖动线来移动线位置。
13. 标记时间和数据显示在此区域中。

图 2-144 示波器视图设置。

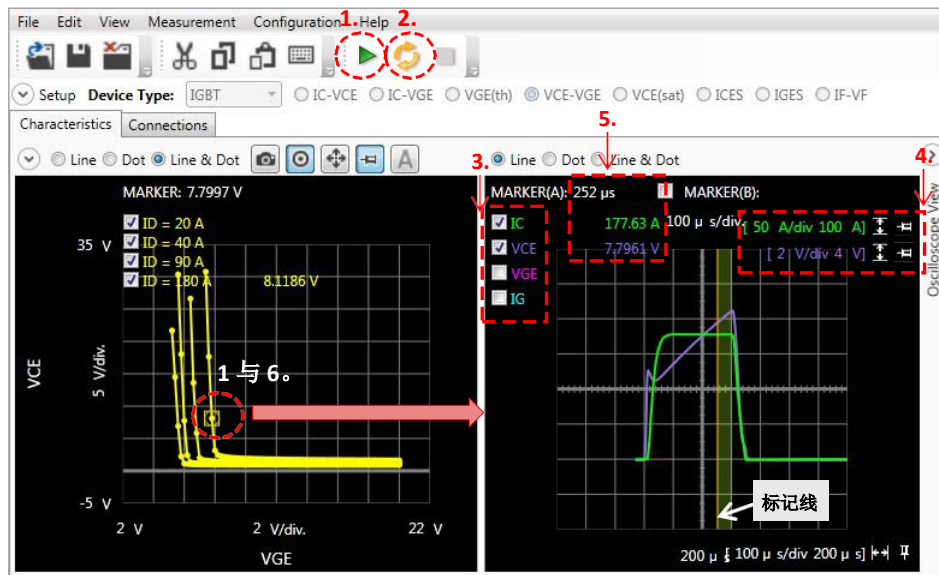


### 如何测量脉冲波形

图 2-145 显示示波器视图测量示例。以下是示波器测量步骤。

1. **Start measurement** 会测量针对所有测量点的一个扫描以及指定测量 IV 点的波形。
2. **Repeat measurement** 会重复 I/V 扫描测量和波形。  
如果在重复测量过程中 I/V 图形的 I/V 标记位置发生变化，则下一个计时会在新的 I/V 标记位置处进行波形测量。
3. 随即会显示监测参数，并在示波器视图中显示选中的参数。
4. 显示选定参数的纵向标度。显示自动/手动定标和标度。在手动定标模式下，可以修正纵向标度（标度和中心线）。在比较不同测量点的数据时，首选手动定标。
5. 显示示波器视图标记（标记线位置处每个参数的时间和幅度）数据。
6. 在重复测量过程中，移动 I/V 标记位置会在下一个测量计时测量新 I/V 点中的新波形。

图 2-145 示波器视图中的测量。





# 3. I/V 测量

概述.....	180
器件类型的测量参数.....	181
演示示例.....	183
如何打开 I/V 测量模式.....	184
IV 测量示例.....	185
1. IC-VCE IGBT 特性.....	185
2. ID-VDS 功率 MOSFET 特性.....	192
3. ID-VGS 功率 MOSFET 特性.....	196
4. Vgs(th) 功率 MOSFET 特性.....	198
5. RDS-ID 功率 MOSFET 特性.....	200
6. VDS-VGS、RDS-VGS 功率 MOSFET 特性.....	202
7. IDSS 功率 MOSFET 特性.....	206
8. IGSS 功率 MOSFET 特性.....	210
9. IS-VSS 功率 MOSFET 特性.....	212
10. IGBT 模块测量.....	215
与 B1506A 的连接.....	215
IGBT 模块测量示例.....	217
关于使用 I/V 测量模式的有用信息.....	219
快速模式和精细模式的区别.....	219
如何避免器件振荡.....	222
使用窄脉冲进行准确测量.....	223
超结 MOSFET 示例.....	223

## 概述

I/V 测量模式用于测量功率器件的静态电气特性，如  $I_d$ - $V_{ds}$ 、 $I_d$ - $V_{ge}$ 、 $V_{th}$ 、 $I_{dss}$  或  $I_{gss}$  测量。

I/V 测量模式的功能和操作与数据表表征模式的特性图基本相同，单击目标特性图时，预定义的测量设置即会打开。

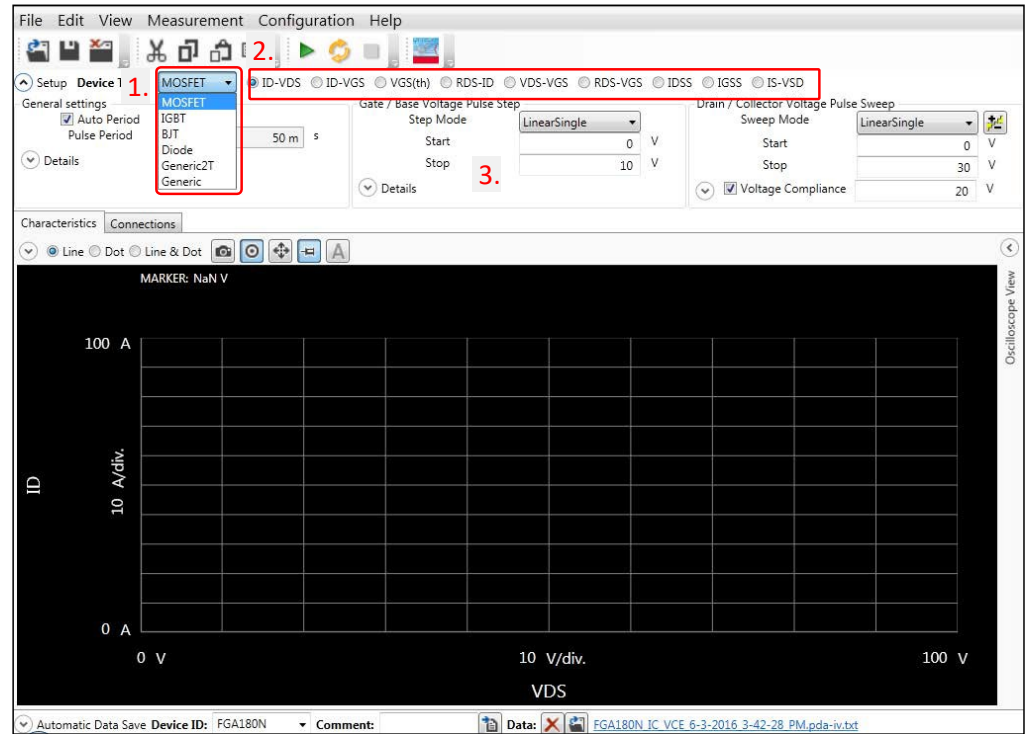
图 3-1 显示 I/V 测量设置模板示例。有关模板的以下说明，请参考图中的相应编号。

1. 器件类型共有 6 种选择。
  - MOSFET
  - IGBT
  - BJT
  - Diode
  - Generic2T
  - Generic
2. 每种器件类型都有几个测量模板选项。  
图中所示为 MOSFET 测量模板选项。  
有关支持的测量模板，请查看表 3-1 至 3-5。
3. 在 I/V 测量模式下，可以使用所有测量设置参数，必须自行设置所有必要的测量参数。

**注意：**

在数据表表征模式下，当 I/V 测量设置窗口打开时，与器件最大额定值相关的一些参数会自动受限。

图 3-1 I/V 测量模板的示例。



## 器件类型的测量参数

### I/V 测量参数

IV 测量模式支持以下器件类型和器件特性图表。

表 3-1 MOSFET 的 I/V 可测量参数

图形	描述
ID-VDS	VGS 变化时的 ID-VDS 特性
ID-VGS	VDS 恒定时的 ID-VGS 特性
VGS(th)	栅极阈值电压
RDS-ID	VGS 变化时的 RDS(on)-ID 特性
VDS-VGS	ID 变化时的 VDS-VGS 特性
RDS-VGS	ID 变化时的 RDS(on)-VGS 特性
IDSS	漏极漏电流的 ID-VDS 特性
IGSS	栅极漏电流的 IG-VGS 特性
IS-VSD	体二极管正向电压的 IS-VSD 特性

表 3-2 IGBT 的 I/V 可测量参数

图形	描述
IC-VCE	VGE 变化时的 IC-VCE 曲线
IC-VGE	VCE 恒定时的 IC-VGE 曲线
VGE(th)	栅极阈值电压特性
VCE-VGE	VCE(sat) 集电极饱和电压与 VGE 曲线
VCE(sat)	VCE(sat) 集电极饱和电压与 IC 曲线
ICES	IC-VCE 集电极漏电流特性
IGES	IG-VGE 栅极漏电流特性
IF-VF	续流二极管正向特性

表 3-3 BJT 的 I/V 可测量参数

图形	描述
IC-VCE	IB 变化时的 IC-VCE 曲线
hFE	VCE 恒定时的 hFE-IC 曲线
VBE(on)	VCE 恒定时的 VBE-IC 曲线
ICEO	IC-VCE 集电极漏电流特性 (基极开路)
ICES	IC-VCE 集电极漏电流特性 (基极公用)
IEBO	IB-VBE 发射极漏电流特性 (集电极公用)

表 3-4 Diode 的 I/V 可测量参数

图形	描述
IF-VF	正向特性
IR-VR	反向特性

表 3-5 Generic2T 器件的 I/V 可测量参数

图形	描述
Conduction	集电极/漏极-发射极/源极传导电阻与电流特性
Isolation	集电极/漏极-发射极/源极漏电流与电压特性

表 3-6 Generic 器件的 I/V 可测量参数

图形	描述
I-V	集电极/漏极-发射极/源极 I-V 特性

## 演示示例

下列测量示例在以下部分中用于演示 I/V 测量模式。

1. IC-VCE IGBT
2. ID-VDS 功率 MOSFET
3. ID-VGS 功率 MOSFET
4. Vgs(th) 功率 MOSFET
5. RDS-ID 功率 MOSFET
6. VDS-VGS、RDS-VGS 功率 MOSFET
7. IDSS 功率 MOSFET
8. IGSS 功率 MOSFET 特性
9. IS-VSS 功率 MOSFET 特性
10. IGBT 模块

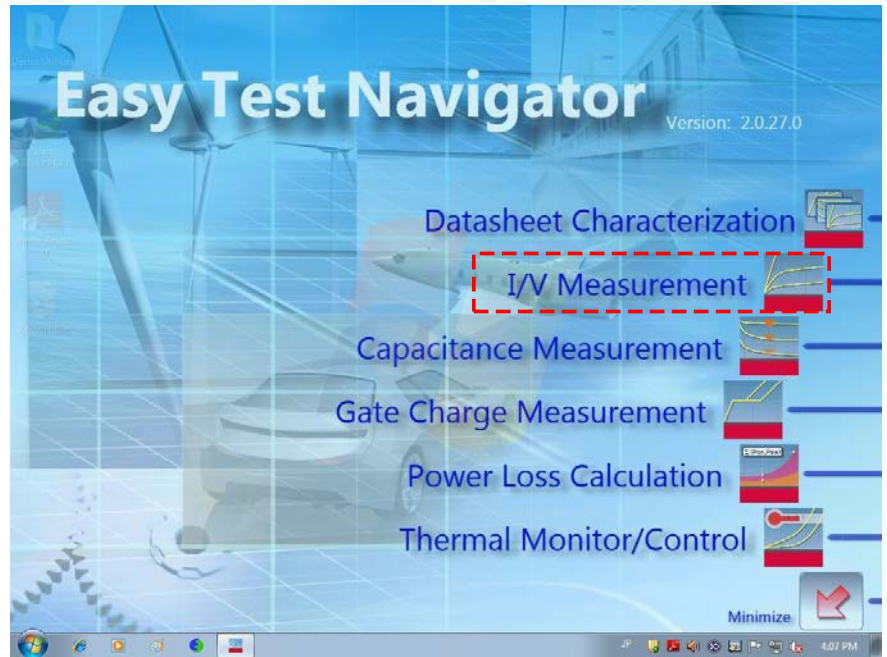
## 如何打开 I/V 测量模式

可以从 Easy Test Navigator 启动 I/V 测量模式，如图 3-2 所示。

- ✓ 单击 I/V Measurement 启动该模板。
- ✓ 随即会打开图 3-1 所示的 I/V 测量模板。

图 3-2

从 Easy Test Navigator 启动 I/V 测量模式。



## IV 测量示例

### 1. IC-VCE IGBT 特性

在本示例中，测试器件以数据表表征中所用的分立式 IGBT FGA180N33ATD 为例。  
该器件具有以下基本特性。

- ✓ VCES: 330 V
- ✓ VGES: +/-30 V
- ✓ IC: 180 A (直流), 450 A (脉冲)



FGA180N33ATD  
IGBT

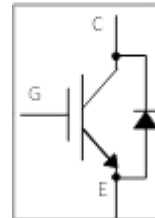
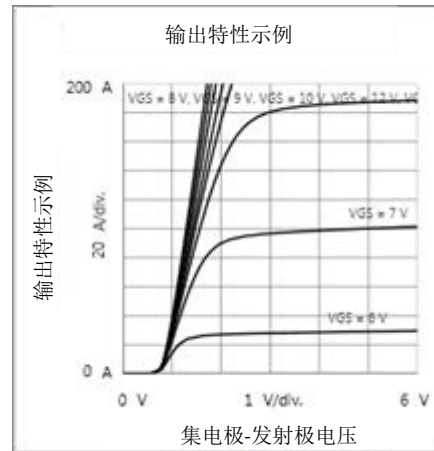


图 3-3

FGA180N33ATD 的输出特性。



- ✓ 按图 3-4 所示，将测试器件安装在夹具上。

图 3-4

B1506A Opt.F10 3 针直插式封装插座模块，插座上安装 IGBT。

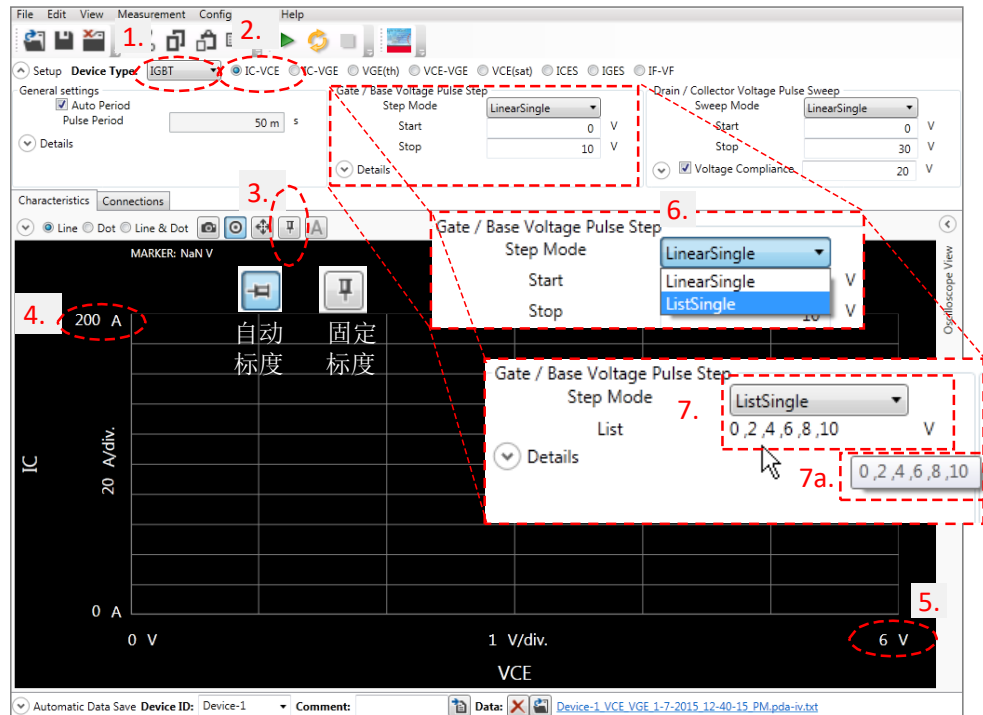




请参考图 3-5 中的相应编号，按照下述步骤设置 IGBT 的 IC-VCE。

1. 选择 IGBT 作为器件类型。
2. 选中 IC-VCE
3. 单击 Push pin 图标，将定标模式设置为固定标度。
4. 将纵轴最大值设置为 200 A
5. 将横轴最大值设置为 6 V
6. 选择 ListSingle 作为栅极/基极电压脉冲设置的阶跃模式
7. 阶跃模式变为 ListSingle，并显示阶跃电压列表。  
将鼠标光标移动到阶跃电压列表区域时，阶跃电压列表还会显示在弹出窗口中，如列表 7a 所示。  
在阶跃电压列表区域单击鼠标。

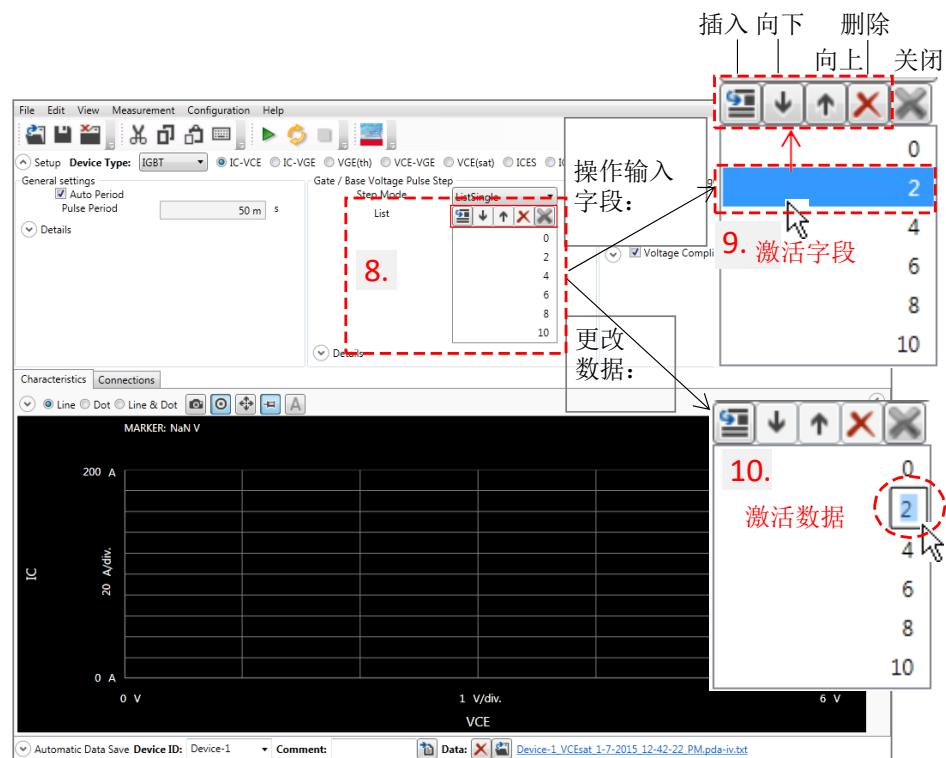
图 3-5 IC-VCE I/V 测量设置。



从步骤 8 起，请参考图 3-6。

8. 随即会显示编辑列表下拉菜单。根据数据表的 IC-VCE 图表创建栅极阶跃电压列表（VGE = 6 V、7 V、8 V、9 V、10 V、12 V、15 V 和 20 V）
9. 可以通过单击列表上方的上下操作按钮向列表中插入新值、从列表中删除值以及更改值的顺序。  
通过单击字段的空白区域来选择并激活编辑行，然后单击所需的操作按钮。
10. 要编辑阶跃电压值，请单击数据以激活数据修改。

图 3-6 栅极阶跃电压的阶跃列表。

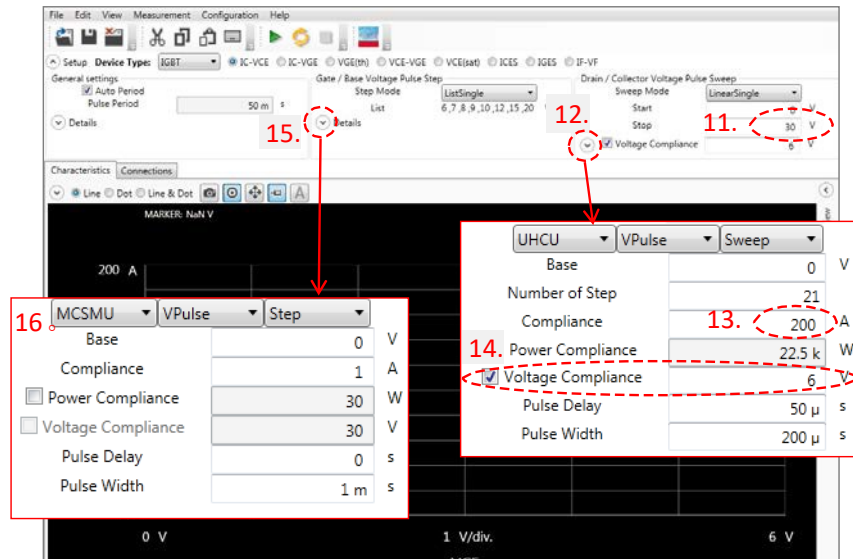


从步骤 11 起，请参考图 3-7。

11. 将停止电压设置为 30 V。该值是 UHCU 内部电压源的停止电压，不是器件端子扫描的停止电压。
12. 单击详细信息标记以显示集电极端子的详细设置。  
随即会显示集电极端子设置的详细信息。  
测试模块可以在详细信息设置中设定。
13. 将合规电流设置为 200 A。它将流入器件的电流限制在纵向标度的上限。

14. 确认已选中 **Voltage Compliance** 并将合规电压设置为 **6 V**。  
该值用于停止横轴边缘的扫描。
15. 可以查看栅极设置的详细信息。  
单击栅极/基极设置的详细信息标记。
16. 随即会显示栅极设置的详细信息。

图 3-7 集电极参数设置。



提示： 如何确定停止电压

由于 UHCU 的负载线影响，实际施加到器件上的电压由设置电压、输出电流和器件端电压决定。

从数据表的 IC-VCE 特性来看（相当于图 3-3），最大电压和电流点在图表的右上角，即 200 A 和 6 V。要绘制整个区域的 IV 图表，UHCU 的最大设置电压变为：

$$6 + 200 \text{ A} \times 120 \text{ m}\Omega = 30 \text{ V}$$

注意：

有关设置停止电压的基本步骤，请参考第 2 章“UHCU 详细信息和测量提示”中的“如何设置电压强制模式设置”。

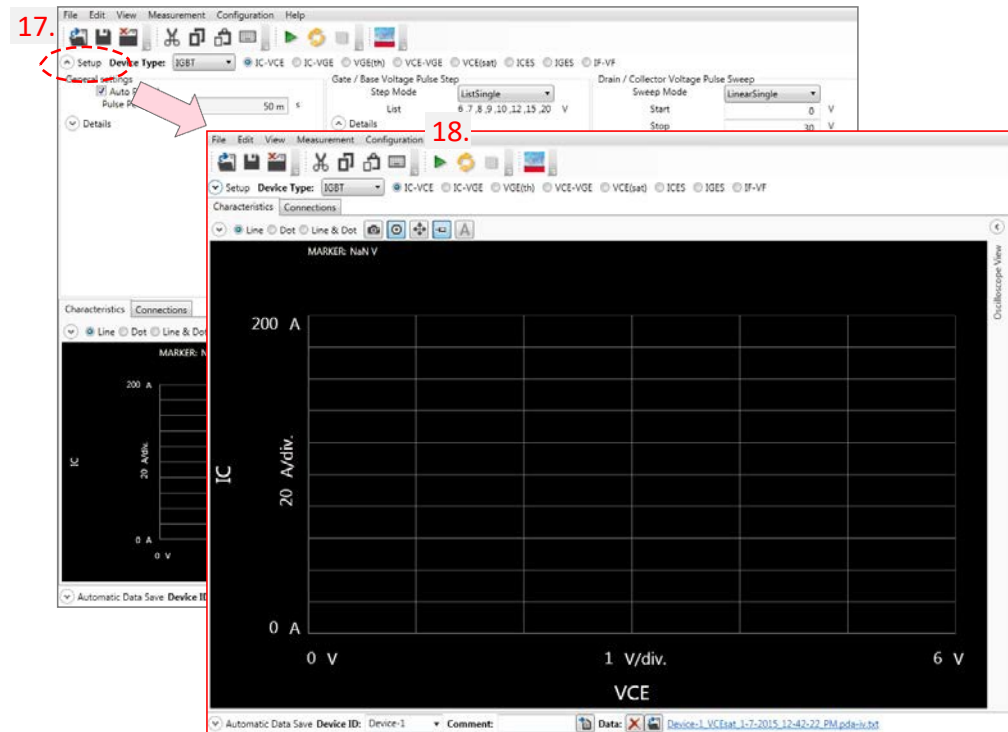
请参考图 3-8，按照下述步骤开始测量。

17. 单击 **Setup** 标记，关闭测量设置并展开图表区域

18. 单击 **Measure** 按钮开始测量。

测量结果如图 3-9 所示。

图 3-8 开始 IC-VCE I/V 测量。



提示：

要显示栅极电压标签，请执行以下操作：

完成测量后，可以在测量的轨迹上显示栅极电压标签。

19. 单击 **View label** 按钮（图 3-9 中的 A 按钮）。

栅极电压标签（即  $V_{GE} = 6\text{ V}$ 、……）。

测量完成后，有时右上角会出现感叹号（图 2-70）。它表示在测量过程中报告了某种异常状态。进行 IC-VCE 测量时，由于超过指定合规电压和合规电流的电压或电流测量被跳过，因此会出现感叹号。单击标记可以查看报告状态的详细信息。

图 3-9

IC-VCE 测量结果。

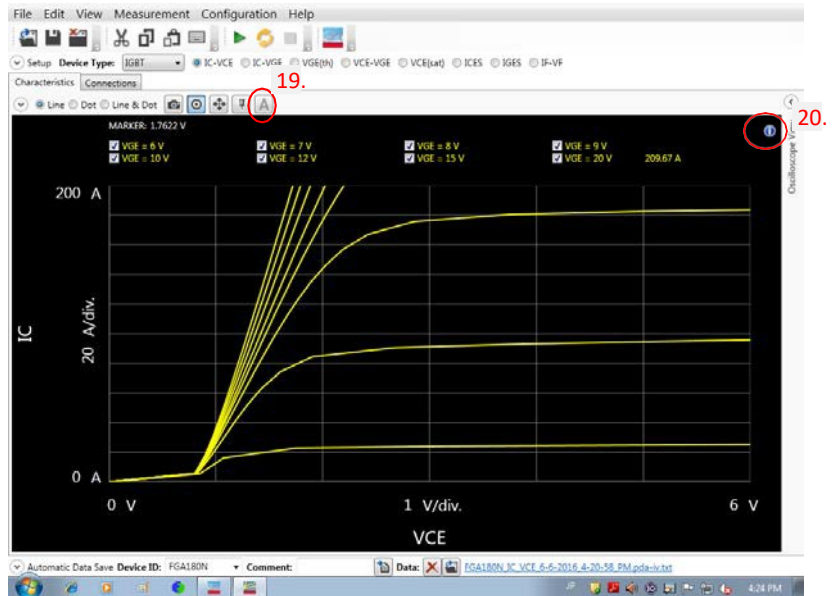
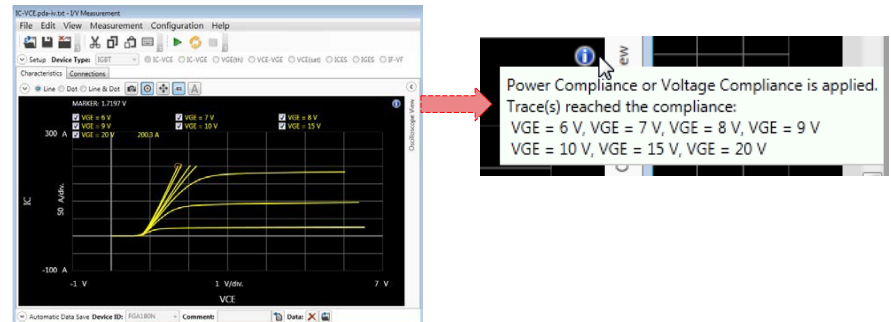


图 3-10

测量状态通知



提示:

自动数据存储:

- ✓ 测量数据会自动保存到特定目录  
“C:\Users\B1505User\Documents\Keysight\SeriesB150x\PowerDeviceAnalyzer\IV\DataStore”。(请参考图 3-11。)
- 保存文件夹路径唯一, 包括外部存储。
- ✓ 文件名根据器件 ID、日期和时间自动分配。可以手动修改文件名。  
(图 3-11, #1)

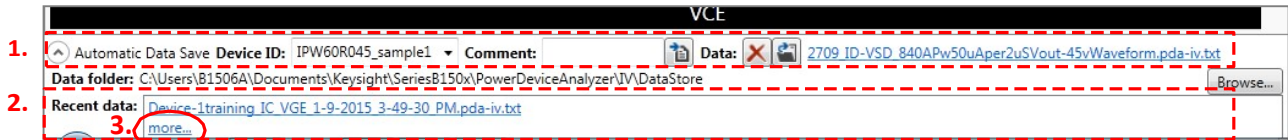
如何访问以前的数据:

- ✓ 可以通过显示最近的数据来访问以前的数据。此列表显示当天的测量数据。(图 3-11, #2)
- ✓ 如果要访问以前的数据, 请单击 more..., 随即会显示资源管理器窗口(图 3-11, #3)。

如何重新加载以前的数据：

- ✓ 单击最近数据中的文件名或打开数据文件，可以重新加载测量数据。系统会调用测量设置和结果，并显示测量数据。

图 3-11 自动数据存储。

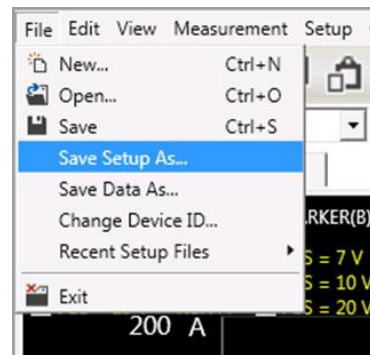


提示：

如何保存测量设置：

可以通过从 File 菜单中选择 Save Setup As... 来保存没有测量数据的设置，如图 3-12 所示。

图 3-12 仅保存设置



提示：

如何添加串联电阻器以防止振荡

为了避免 MOS 和 IGBT 器件的器件振荡，可以在栅极端子插入一个串联电阻器。B1506A 在栅极连接路径中具有内置的可选串联电阻。

有关各主题的更多信息，请参考本章标题为“关于使用 I/V 测量模式的有用信息”部分中的“如何避免器件振荡”。

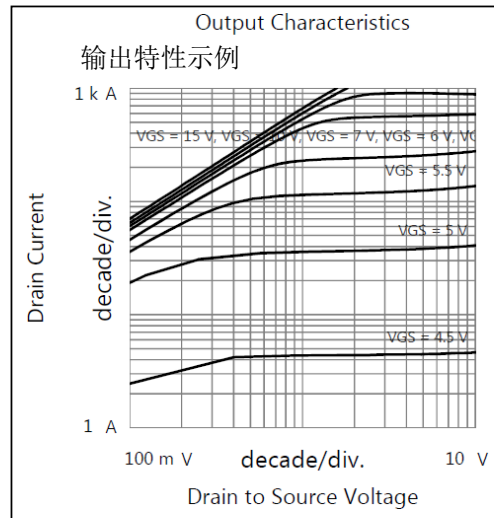
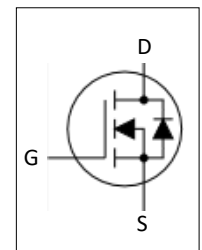
## 2. ID-VDS 功率 MOSFET 特性

在本示例中，测试器件以分立式功率 MOSFET IRFP4004 为例。该器件具有以下基本特性。

- ✓ VDSS: 40 V
- ✓ IDM: 350 A (直流), 1390 A (脉冲)
- ✓ RDS(on): 典型值 1.35 mΩ



IRFP4004  
HC MOS



- ✓ 按照图 3-4 所示的相同方法将测试器件安装到夹具上。

### ID-VDS 设置:

请参考图 3-13 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 ID-VDS。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 ID-VDS。
3. 单击 Push pin 图标，将定标模式设置为固定标度。
4. 将纵轴最大值设置为 500 A。

### 注意:

直插式插座适配器的最大额定电流为 500 A。

由于直插式插座适配器的最大电流限制为 500 A，因此本示例中的最大漏极电流限制为 500 A。

5. 将横轴最大值设置为 10 V
6. 单击箭头打开/关闭示波器视图。
7. 该图显示示波器视图打开时的图表。选择 ListSingle 作为栅极/基极电压脉冲设置的阶跃模式。
8. 根据数据表的 IC-VCE 图表创建栅极阶跃电压列表。这些电压为 4.5、5、5.5、6、7、8、10、15 V。
9. 将停止电压设置为 60 V。该值是 UHCU 内部电压源的停止电压，不是器件端子扫描的停止电压。

**注意：**

理想的停止电压计算方式如下

停止电压（理想）=  $120 \text{ m}\Omega \times 500 \text{ A} + 10 \text{ V} = 70 \text{ V}$ ，

但 UHCU 的最大输出电压被限制为 60 V。

因此，在此设置最大值 60 V。

10. 将合规电流设置为 500A。它将流入器件的电流限制在纵向标度的上限。
11. 确认已选中 Voltage Compliance 并将合规电压设置为 10 V。该值用于停止横轴边缘的扫描。
12. 漏极脉冲设置：  
将漏极 Pulse Width 设置为 100  $\mu\text{s}$ 。  
注意：  
IRFP4004 在 100  $\mu\text{s}$  脉冲下的 SOA 限制约为 350A @ 10 V D-S，或 500 A @ 6 V。因此，100  $\mu\text{s}$  脉冲宽度是允许的最大值。  
将漏极 Pulse Delay 设置为 6  $\mu\text{s}$ 。

**注意：**

我们希望在 UHCU 输出脉冲时将漏极通道设置为开启状态。

这是因为，栅极脉冲的 MCSMU 比 UHCU 的漏极脉冲慢，并且给漏极增加了一些延迟时间以与栅极脉冲相匹配。

13. 栅极脉冲设置：  
将 Pulse Delay 设置为 0  
将 Pulse Width 设置为 200  $\mu\text{s}$ 。

**注意：**

栅极脉冲必须长于漏极脉冲、漏极脉冲延迟与漏极电流关断时间之和（通常小于 50  $\mu\text{s}$ ）。

14. 将孔径时间设置为 30  $\mu\text{s}$ 。  
孔径时间设置为求和规则，  
孔径 < 漏极脉冲宽度 - (漏极和栅极稳定时间)。

- 注意： 必须确认整体脉冲设置，尤其是当脉冲宽度较窄时，使用示波器视图确认至少以下三点：
- 低电流和高电压区。
  - 高电流和高电压区。
  - 最高电流区。
- (通常，低电压是由 UHCU 输出电阻器的压降造成的。)

15. 单击 Single 或 Repeat 测量按钮。

图 3-14 显示 X 和 Y 标度以对数标度显示的测量结果。

图 3-13 ID-VDS 设置。

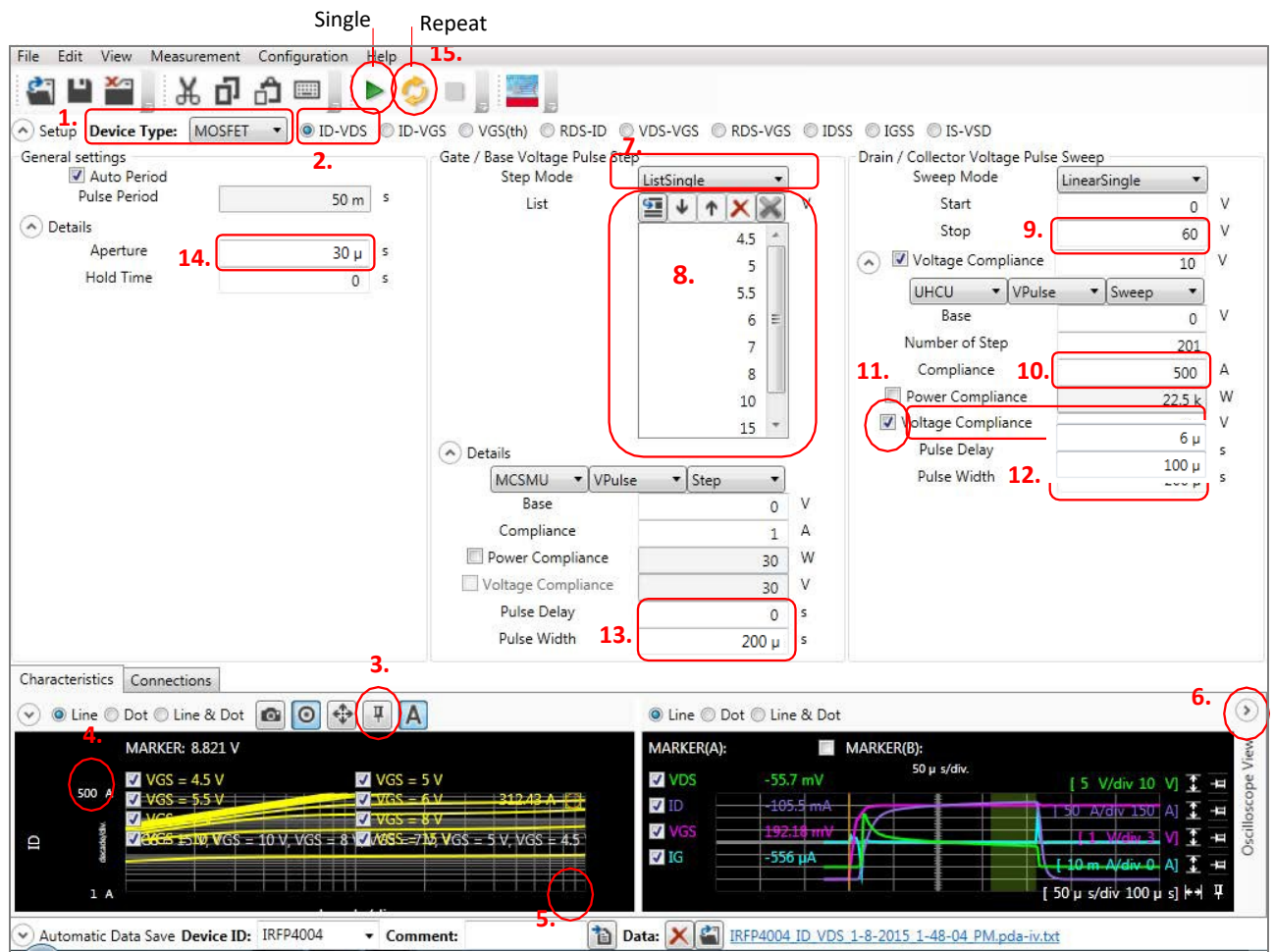
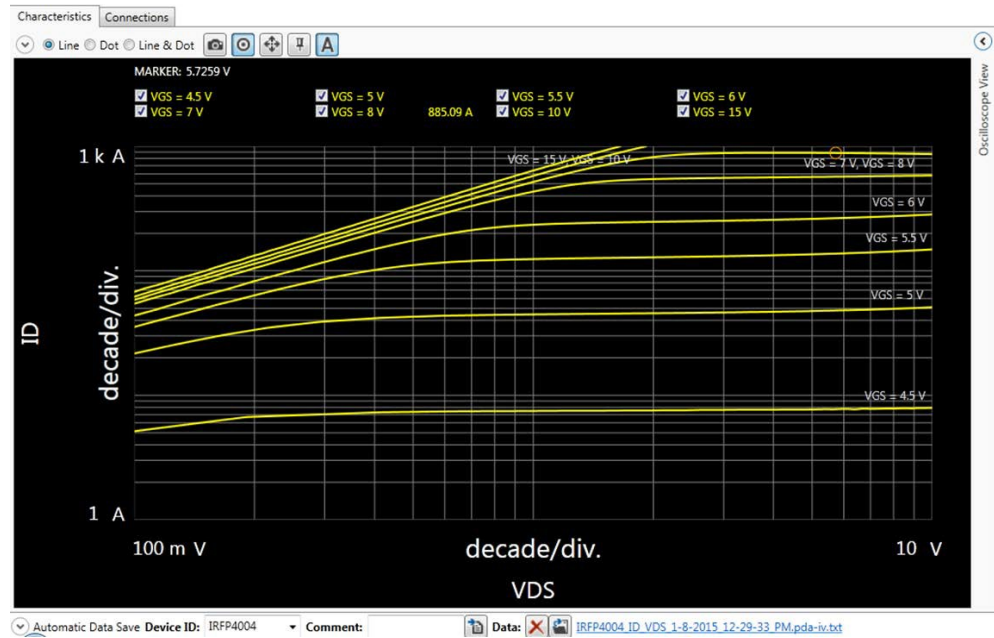


图 3-14 ID-VDS 测试结果。



### 3. ID-VGS 功率 MOSFET 特性

在本示例中，使用分立式功率 MOSFET IRFP4004，与上一个示例中使用的器件相同。

此示例将测量低电流区的 VDS-VGS。

在低电流区，在  $ID = 250 \mu A$  条件下指定  $V_{th}$ ，并且  $V_{th}$  指定为介于 2 V 至 4 V 之间。

在本示例中，我们将查看  $V_{DS} = 5 V$  条件下的  $V_{th}$ 。

由于测量电流较小，本示例采用 MPSMU 作为漏极电源和直流偏置电压。

#### ID-VGS 设置：

请参考图 3-15 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 ID-VGS。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 ID-VGS
3. 打开漏极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MPSMU。
  - 设置 V 模式。
  - 设置 Constant。
4. 将漏极源电压设置为恒定值 5 V。
5. 设置 Compliance: 1 mA，以覆盖 250  $\mu A$ 。
6. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MPSMU。
  - 设置 V 模式。
  - 设置 Sweep 模式。
7. 将栅极电压扫描设置为：
  - Linear single。
  - Start = 1 V。
  - Stop = 4.5 V，以覆盖 2 - 4 V  $V_{th}$  范围。
8. 设置栅极扫描点。
9. 设置如下常规详细设置：
  - 将 Trace Mode 设置为 Fine。
  - NPLC = 1。
10. 单击 Start Measurement 按钮。
11. ID-VGS 图形的绘制如图 3-16 中所示。
12. 单击 Marker 图标可在测量曲线上显示标记。
13. 拖动标记，将标记移动到大约 250  $\mu A$ 。
14. 标记读数显示（举例），
  - ID = 244.62  $\mu A$ 。
  - VD = 3.17 V。

图 3-15 ID-VGS 设置。

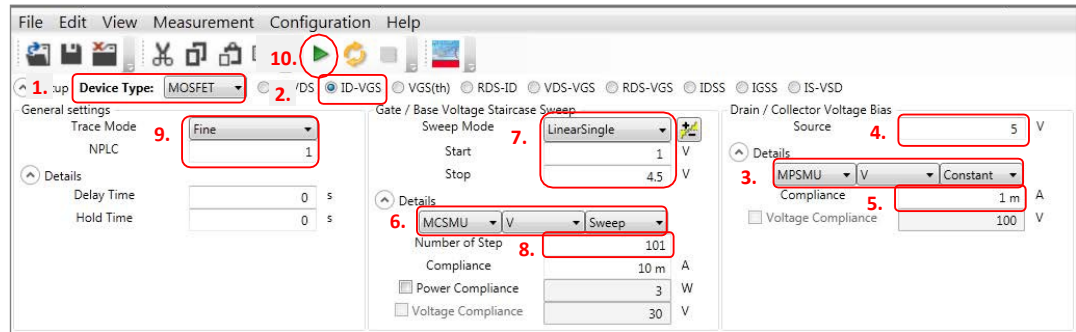
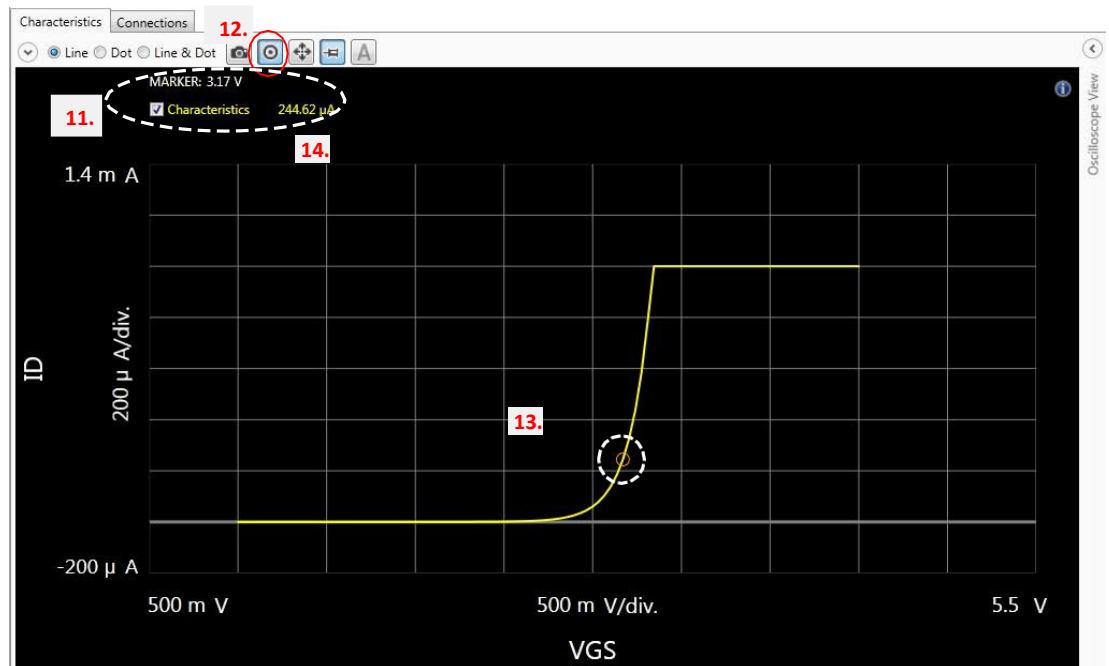


图 3-16 ID-VGS 测试结果。



注意：

要在较低电流范围内测量 ID-VGS 特性，建议使用 Fine 模式。Fine 模式采用有限的自动范围调整，以使用适当的测量范围并利用 PLC 模式测量时间，从而降低来自商用电源的测量噪声。Fine 模式仅在使用直流偏置模式（V 或 I）时才可用。使用脉冲偏置模式（VPulse 或 IPulse）时，使用的是 Quick 模式。Quick 模式是 Easy Test Navigator 1.xx.xx 版中使用的一种测量模式。有关 Quick 模式和 Fine 模式区别的更多详细信息，请参考标题为“关于使用 I/V 测量模式的有用信息”部分中的“快速模式和精细模式的区别”。

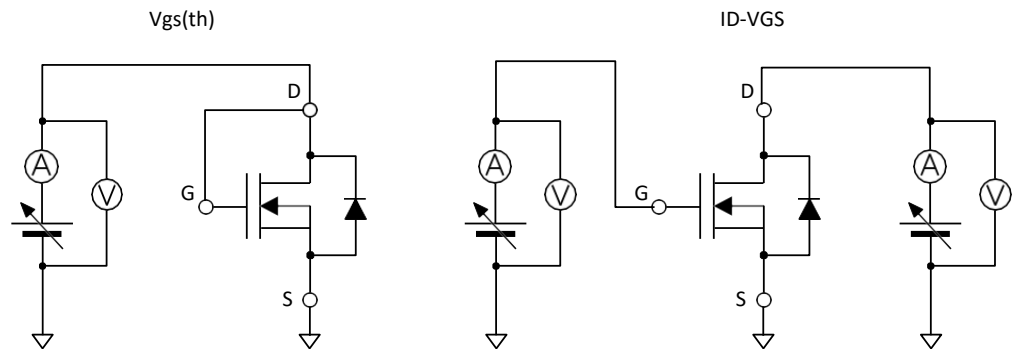
#### 4. $V_{gs(th)}$ 功率 MOSFET 特性

在本示例中，使用了分立式功率 MOSFET IRFP4004，与上一个示例中使用的器件相同。

此示例测量  $V_{DS}$ - $V_{GS}$  特性以提取阈值电压  $V_{gs(th)}$ 。在功率器件的数据表中， $V_{gs(th)}$  是指当指定漏极电流在  $V_{GS} = V_{DS}$  条件下流动时的栅极电压。在  $V_{gs(th)}$  测量设置中，器件的漏极端子和栅极端子在 B1506A 测试夹具内部进行物理连接（图 3-17）。

只有 MPSMU 可以同时连接到漏极端子和栅极端子。

图 3-17  $V_{gs(th)}$  与 ID-VGS 的连接图



在本示例中，我们将查看  $I_D = 250 \mu A$  时的  $V_{gs(th)}$ 。

##### $V_{gs(th)}$ 设置:

请参考图 3-18 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 ID-VGS。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中  $V_{gs(th)}$ 。
3. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MPSMU。
  - 选择 I 模式。
  - 选择 Sweep。
4. Gate / Base Current Staircase Sweep 的设置如下：
  - LinearSingle。
  - Start =  $10 \mu A$ 。
  - Stop =  $250 \mu A$ 。
5. 设置阶跃数
6. 打开常规详细设置，然后进行如下设置：
  - 将 Trace Mode 设置为 Fine。
  - NPLC = 1。
7. 单击 Start Measurement 按钮
8. ID-VGS 图形的绘制如图 3-19 中所示

9. 单击 Marker 图标可在测量曲线上显示标记。
10. 拖动标记，将标记移动到大约 250  $\mu\text{A}$ 。
11. 标记读数显示（举例），
  - ID = 250  $\mu\text{A}$
  - VD = 3.18 V

图 3-18 Vgs(th) 设置。

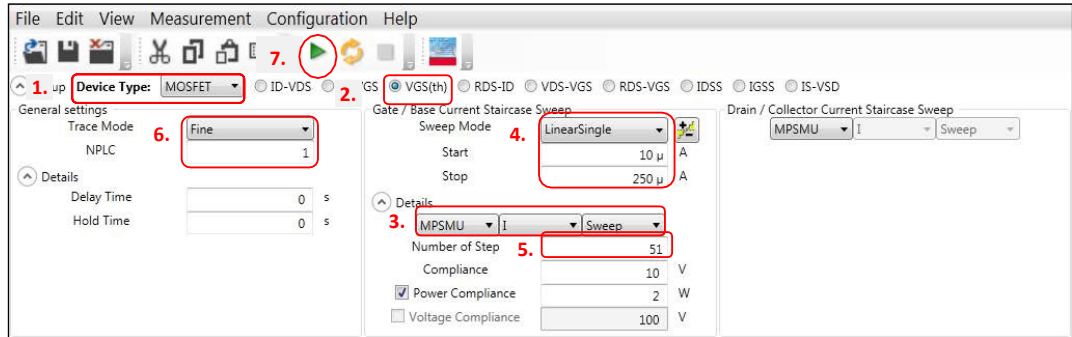
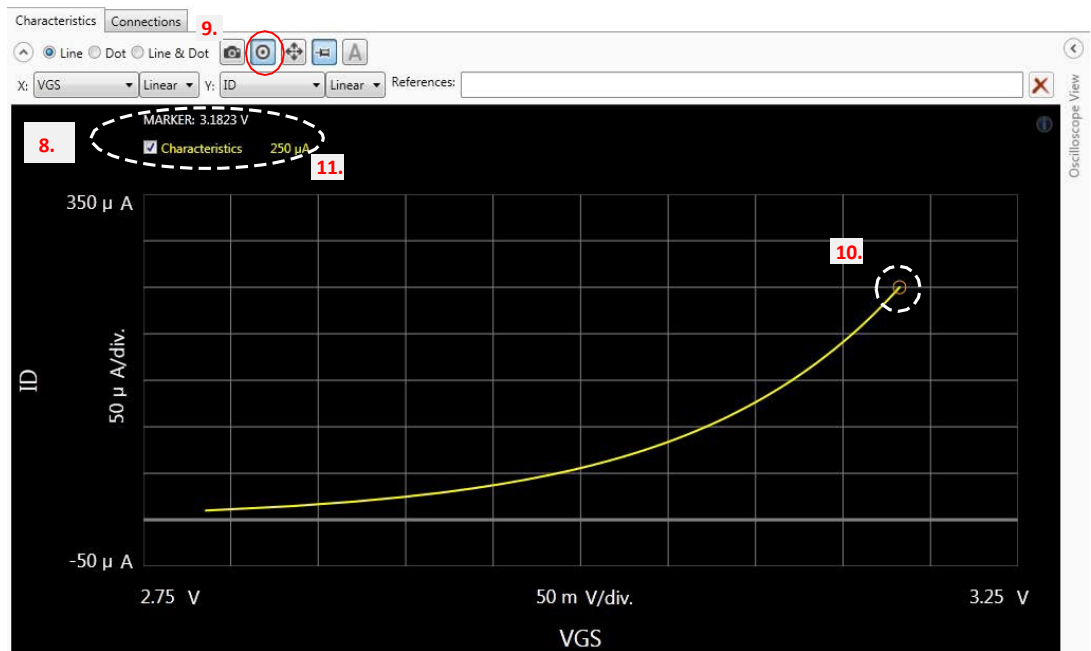


图 3-19 Vgs(th) 测试结果。



## 5. RDS-ID 功率 MOSFET 特性

在本示例中，使用了分立式功率 MOSFET IRFP4004，与上一个示例中使用的器件相同。

在本示例中，我们将通过如下几个 VGS 步骤来测量 RDS-ID 特性：

- ID: 10 A 至 300 A。
- VGS: 6.5 V、10 V、12 V。
- RDS: 最高 3 mΩ。

RDS-ID 设置：

请参考图 3-20 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 RDS-ID。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 RDS-ID。
3. 打开漏极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 UHCU。
  - 设置 IPulse 模式。
  - Sweep。
  - Number of Step = 61。
  - Compliance = 37 V。
  - 选中 Voltage Compliance。
  - Voltage Compliance = 1 V。
  - Pulse Delay = 50 μs。
  - Pulse Width = 200 μs。
4. Drain / Collector Current Pulse Sweep 的设置如下：
  - Start = 10 A。
  - Stop = 300 A。

注意：

Voltage Compliance 是指在最大电流和脉冲宽度下不超过器件 SOA 的电压。

Compliance 取决于要测量的最大电流和最大 RDS，如下所示。

Compliance = (RDS + Rout) x 最大电流

其中，Rout 是 UHCU 的输出电阻（500 A 范围时为 120 mΩ，1500 A 范围时为 40 mΩ）。

5. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MCSMU。
  - 设置 VPulse 模式。
  - 设置 Step 模式。
6. Gate / Base Voltage Pulse Step 的设置如下：
  - ListSingle。
  - 设置 6.5 V、10 V 和 12 V。
7. 选中 Auto Period。

8. 打开常规详细设置，然后进行如下设置：
  - Aperture = 50  $\mu$ s。
  - Hold Time = 0 s。
9. 单击 Start Measurement 按钮。
10. RDS-IDV 图形的绘制如图 3-21 中所示。
11. 单击 Marker 图标可在测量曲线上显示标记。
12. 在 VGS = 12 V 的轨迹上将标记移动到 300 A。
13. 标记读数显示（举例），
  - ID = 300.51 A。
  - RDS = 1.43 m $\Omega$ 。

图 3-20 RDS-ID 设置。

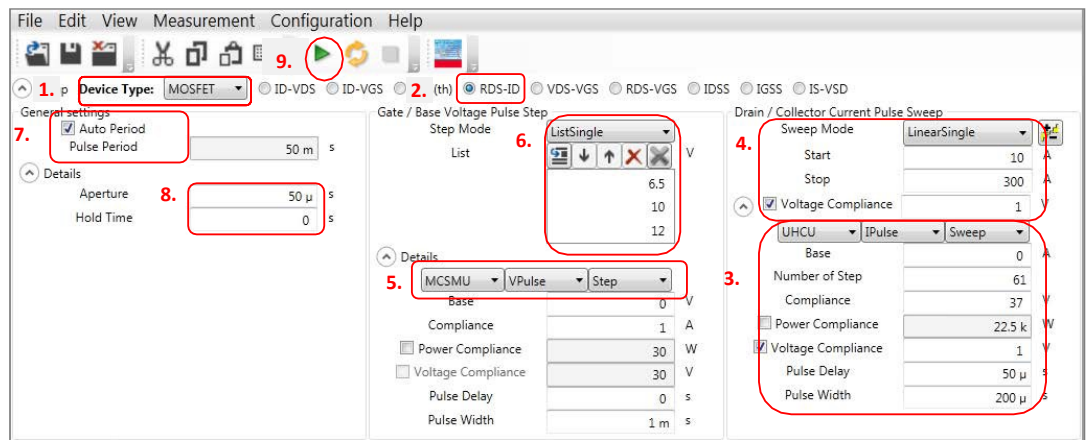
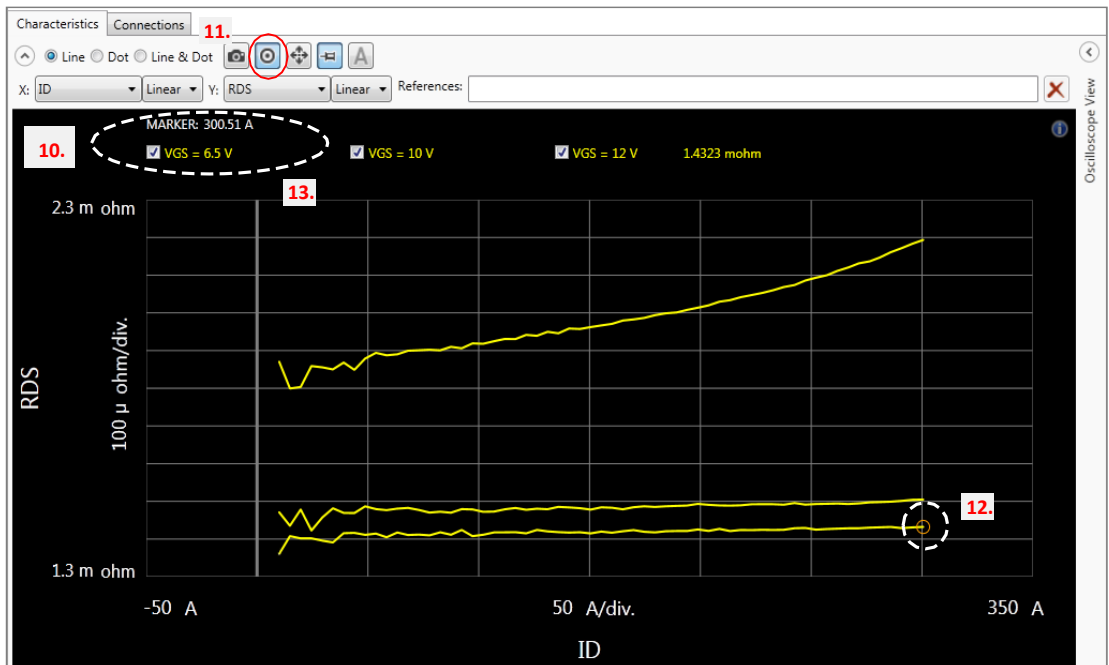


图 3-21 RD-IDS 测试结果。



## 6. VDS-VGS、RDS-VGS 功率 MOSFET 特性

在本示例中，使用了分立式功率 MOSFET IRFP4004，与上一个示例中使用的器件相同。

在本示例中，我们将通过如下几个 ID 步骤来测量 VDS-VGS 特性。

- VGS: 15 V 至 5 V。
- ID: 50 A、100 A、200 A。
- VDS: 最高 2 V。

**注意:** 与 IGBT 的 VCE-VGE 特性相同，VDS-VGS 特性有助于找到最小的 VGS，使传导损耗尽可能小。

**注意:** RDS-VGS 设置使用与 VDS-VGS 几乎相同的设置，但是 Y 轴为 RDS 而不是 VDS (= ID x RDS)。要测量 RDS-VGS 特性，请改为选择 RDS-VGS 作为测量模板，并使用与此部分中描述的 VDS-VGS 相同的设置。

### VDS-VGS 设置:

请参考图 3-22 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 ID-VGS。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 VDS-VGS。
3. 打开漏极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 UHCU。
  - 设置 IPulse 模式。
  - 设置 Step 模式。
  - Compliance = 26 V。
  - 选中 Voltage Compliance。
  - Voltage Compliance = 2 V。
  - Pulse Delay = 50  $\mu$ s。
  - Pulse Width = 200  $\mu$ s
4. Drain / Collector Current Pulse Step 的设置如下：
  - 50 A、100 A、200 A

**注意:** Voltage Compliance 是指在最大电流和脉冲宽度下不超过器件 SOA 的电压。

Compliance 取决于要测量的最大电流和最大 VDS，如下所示。

Compliance = VDS + Rout x 最大电流

其中，Rout 是 UHCU 的输出电阻（500 A 范围时为 120 m $\Omega$ ，1500 A 范围时为 40 m $\Omega$ ）。

5. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MCSMU。
  - 设置 VPulse 模式。
  - 设置 Sweep 模式。
  - Number of Step = 101。
  - Compliance = 1 A。
  - Pulse Width = 1 ms
6. Gate / Base Voltage Pulse Sweep 的设置如下：
  - Linear Single。
  - Start = 15 V。
  - Stop = 5 V。

注意：

栅极电压扫描应从大电压开始到小电压（导通状态到关断状态）。如果从小电压开始，测量的 VDS 在第一个点达到合规电压，然后测量即中止。

7. 选中 Auto Period
8. 打开常规详细设置，然后进行如下设置：
  - Aperture = 50  $\mu$ s
  - Hold Time = 0 s
9. 单击 Start Measurement 按钮。
10. VDS-VGS 图形的绘制如图 3-23 中所示。
11. 单击 Marker 图标可在测量曲线上显示标记。
12. 在 ID = 200 V 的轨迹上将标记移动到角落。
13. 标记读数显示（举例），
  - VGS = 5.8 V。
  - VDS = 713.5 mV。

从结果来看，至少需要 5.8 V 的栅极电压才能以 200 V 的漏极电流启动器件。

图 3-22 VDS-VGS 设置。

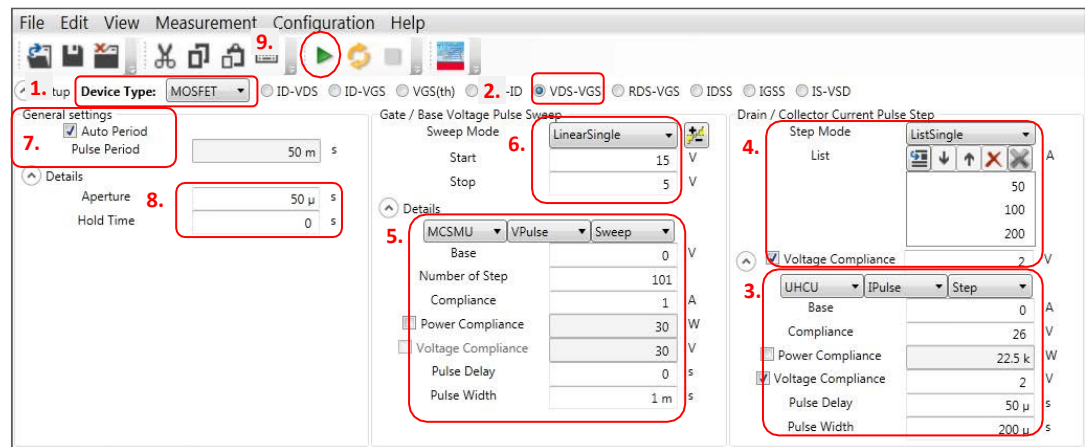


图 3-23 VDS-VGS 测试结果。

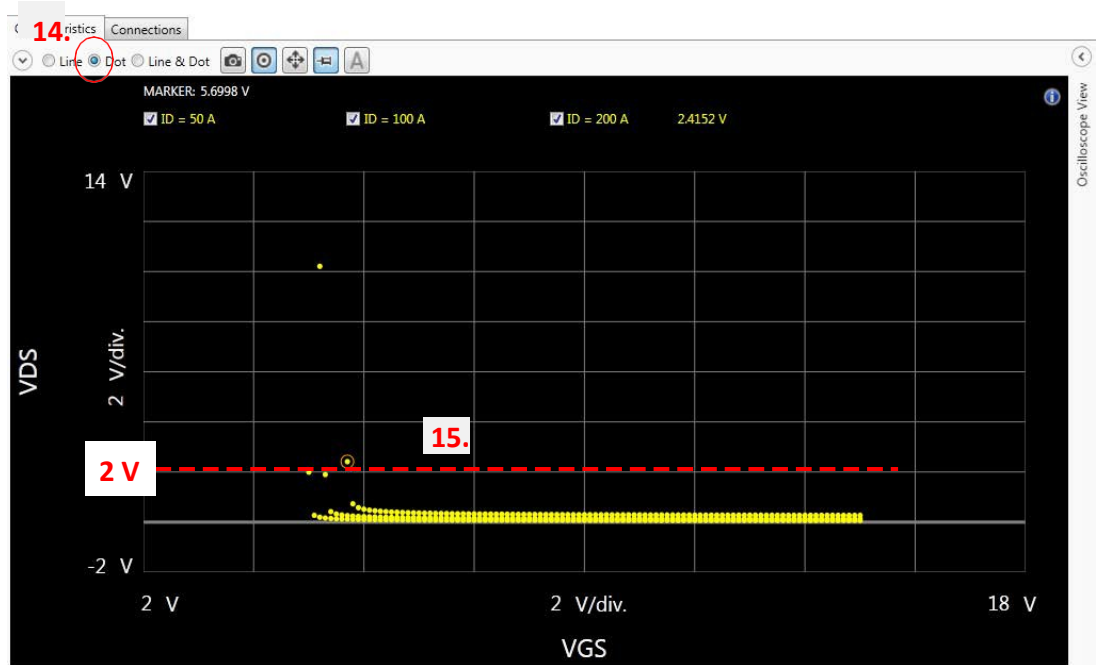


注意：在图 3-23 中，VDS 超出漏极/集电极电流脉冲设置中指定的 Voltage Compliance（步骤 3）。

由于 Voltage Compliance 功能会在 MEASURED 值超出 Compliance 后跳过后续测量，因此至少有一个测量点超出 Compliance。要查看 Voltage Compliance 如何工作，请更改轨迹的显示模式，如图 3-24 所示。

- 14. 选中 Dot 作为轨迹模式，
- 15. Voltage Compliance 的 2 V 线

图 3-24 VDS-VGS 测量的 Voltage Compliance



超出的量取决于轨迹的导数。在 VDS-VGS 特性中，Compliance 附近轨迹的导数非常大，因此测得的 VDS 上升到 10 V。为了减少超限，需要尽可能增加阶跃数。此外，还可以指定适当的 Compliance。

Compliance 限制 UHCU 电压源的输出。在设置中，当实际 ID = 100 A (26 V – 120 mΩ × 100 A) 时，26 V 的 Compliance 会将 VDS 限制在 14 V。120 mΩ 是 UHCSU 在 500 A 范围内的输出电阻值。

## 7. IDSS 功率 MOSFET 特性

在本示例中，使用了分立式功率 MOSFET IRFP4004，与上一个示例中使用的器件相同。

在本示例中，我们将按如下方式扫描漏极偏置，从而测量漏极漏电流特性：

- VDS: 0 V 至 50 V。
- VGS: 0 V。
- ID: Compliance 为 250  $\mu$ A。

IDSS 设置：

请参考图 3-25 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的漏极漏电流测量。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 IDSS
3. 打开漏极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 HVSMU。
  - 设置 V 模式。
  - 设置 Sweep。
  - Number of Step = 51。
  - Compliance = 250  $\mu$ A。
4. Drain / Collector Voltage Staircase Sweep 的设置如下：
  - Sweep Mode: LinearSingle。
  - Start = 0 V。
  - Stop = 50 V。
5. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MPSMU。
  - 设置 V 模式。
  - 设置 Constant 模式。
  - Compliance = 1 mA。
6. Gate / Base Voltage Bias 的设置如下：
  - Source = 0 V。
7. General settings 的设置如下：
  - 将 Trace Mode 设置为 Fine。
  - NPLC = 1。
8. 打开常规详细设置，然后进行如下设置：
  - Delay Time = 0 s。
  - Hold Time = 0 s。
9. 单击 Start Measurement 按钮。
10. ID-VDS 图形的绘制如图 3-26 中所示。
11. 单击 Marker 图标可在测量曲线上显示标记。
12. 将标记移动到轨迹末端。
13. 标记读数显示（举例），
  - ID = 250  $\mu$ A
  - VD = 45.24 V

图 3-25 漏极漏电流测量设置。

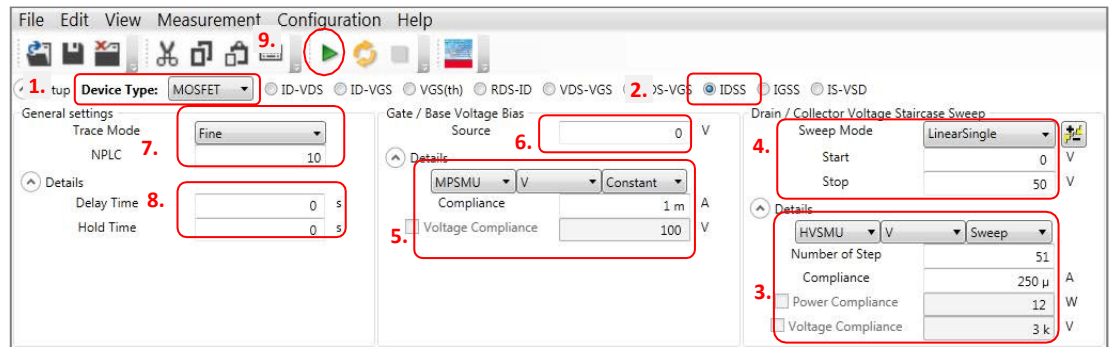
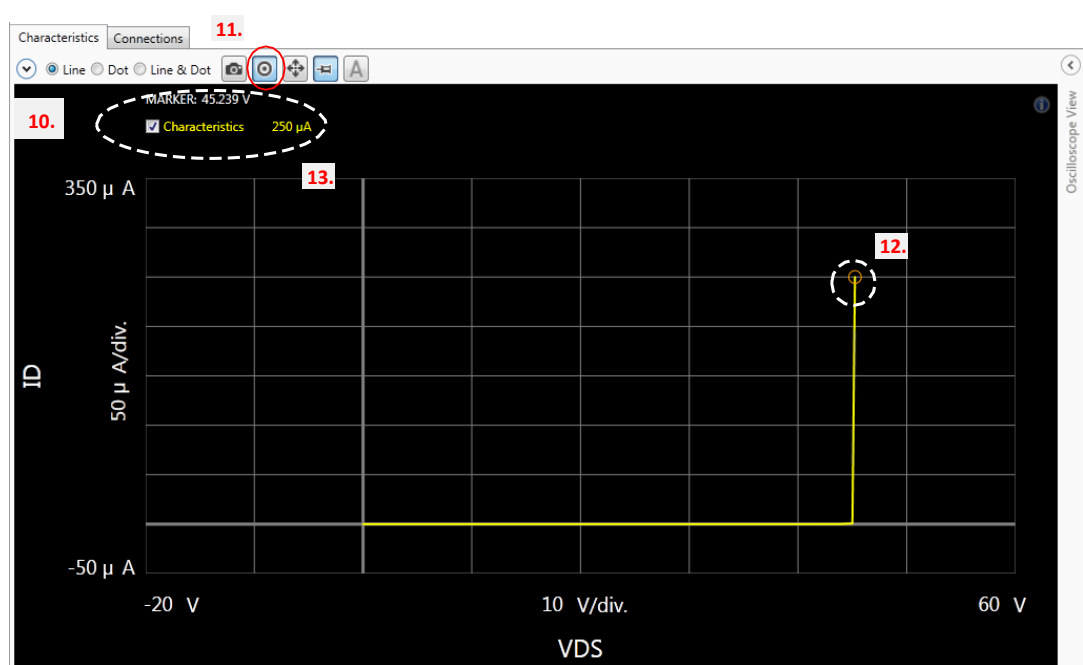


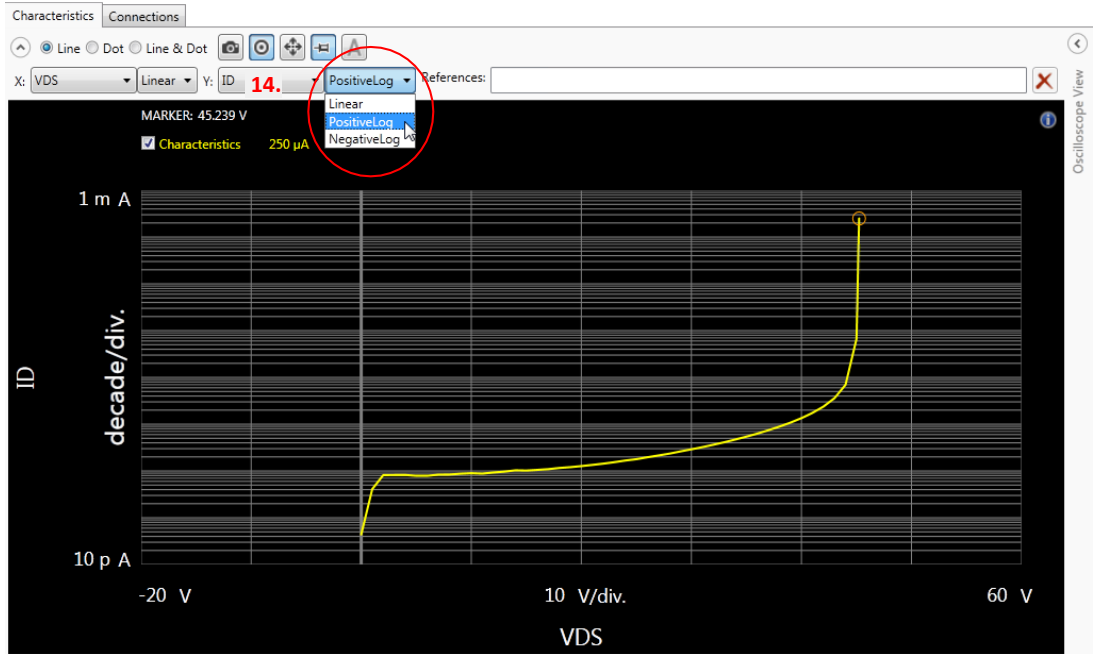
图 3-26 漏极漏电流测试结果。



通过将 Y 轴的定标模式更改为对数标度，可以精确地看到漏极漏电流的微小变化（图 3-27）。

14. 将 Y 轴的显示模式更改为 **PositiveLog**，可以清楚地观察到 1 nA 下漏极电流的微小变化。

图 3-27 漏极漏电流（采用对数标度）。

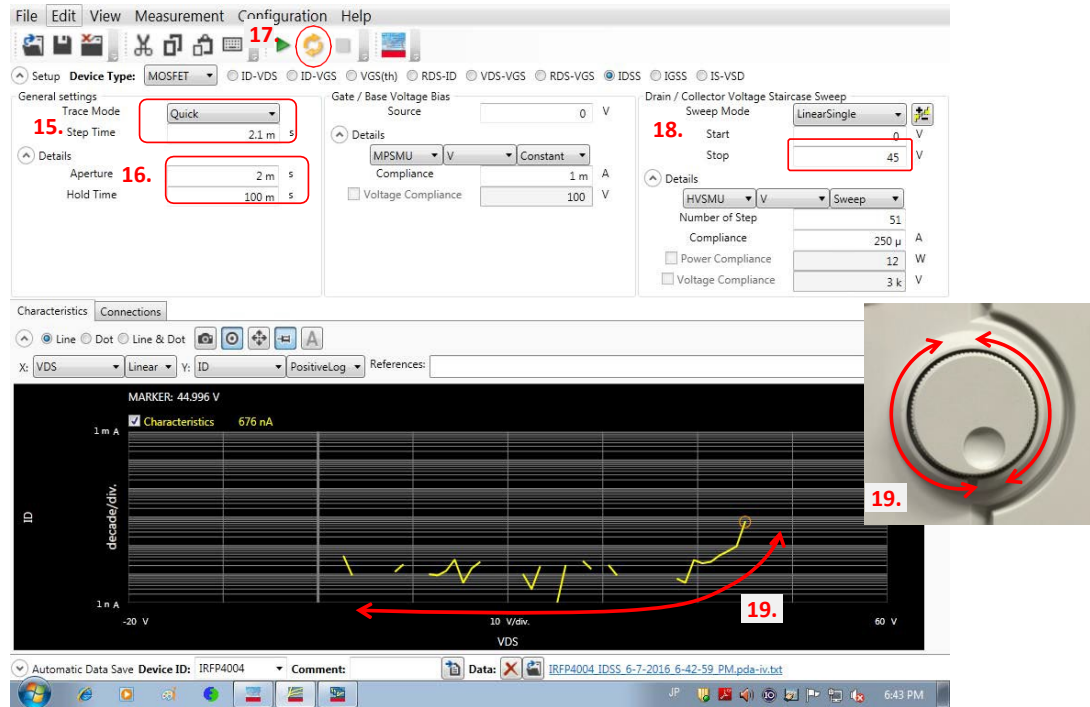


提示：如果器件的击穿电压未知，而且在器件损坏之前停止漏电流测量，则使用 B1506A 前面板上的旋钮进行交互式扫描非常有用。

图 3-28 显示交互运行漏极漏电流测量的步骤。

15. 按如下方式更改 **General settings**:
  - 将 Trace Mode 设置为 Quick 模式。
  - Step Time = 2.1 ms。
16. **General settings** 的详细设置如下：
  - Aperture = 2 ms。
  - Hold Time = 100 ms
17. 单击 Repeat 按钮。
18. 选择 Drain/Collector Voltage Staircase Sweep 的停止电压。
19. 旋转旋钮 - 轨迹的终点随着旋钮的旋转而改变。

图 3-28 交互式漏极漏电流测量



通过旋转旋钮并监测漏极漏电流的变化，可以识别任何击穿迹象，并在器件损坏之前停止增加漏极电压。

## 8. IGSS 功率 MOSFET 特性

在本示例中，使用了分立式功率 MOSFET IRFP4004，与上一个示例中使用的器件相同。

在本示例中，我们将按如下方式测量 IG-VGS 特性：

- VGS: 0 V 至 20 V (VGSS)
- IG: 1  $\mu$ A 合规电流。

IGSS 设置：

请参考图 3-25 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 ID-VGS。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 IGSS
3. 打开漏极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 HVSMU。
  - 设置 V 模式。
  - 设置 Constant 模式。
  - Compliance = 8 mA。
4. Drain / Collector Voltage Bias 的设置如下：
  - Source = 0 V。
5. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MPSMU。
  - 设置 V 模式。
  - 设置 Sweep 模式。
  - Number of Step = 201。
  - Compliance = 1  $\mu$ A。

**注意：** 为了减小在每个阶跃施加电压后稳定所带来的影响，将使用较小的阶跃，例如 100 mV。此外，为了更快地为栅极电容器充电，本示例中使用大于 IGSS (= 200 nA) 的合规电流。使用更小的合规电流时，需要增加延迟时间。

6. Gate / Base Voltage Staircase Sweep 的设置如下：
  - LinearSingle。
  - Start = 0 V。
  - Stop = 20 V。

**注意：** 建议从 0 V 开始扫描，以便精确测量 IG-VGS。如果是从 VGSS 开始，则需要增加相当长的 Hold Time（即第一阶跃的额外延迟时间），以在施加栅极电压之后等待电流稳定。

7. General settings 的设置如下：
  - 将 Trace Mode 设置为 Fine。
  - NPLC = 10。

8. 打开常规详细设置，然后进行如下设置：
  - Delay Time = 500 ms。
  - Hold Time = 1 s。
9. 单击 Start Measurement 按钮。
10. IG-VGS 图形的绘制如图 3-30 中所示。
11. 单击 Marker 图标可在测量曲线上显示标记。
12. 将标记移动到 VGS = 20 V。
13. 标记读数显示（举例）（图 3-30）。
  - VGS = 20 V。
  - IG = 7.48 pA。

图 3-29 IG-VGS 栅极漏电流测量设置。

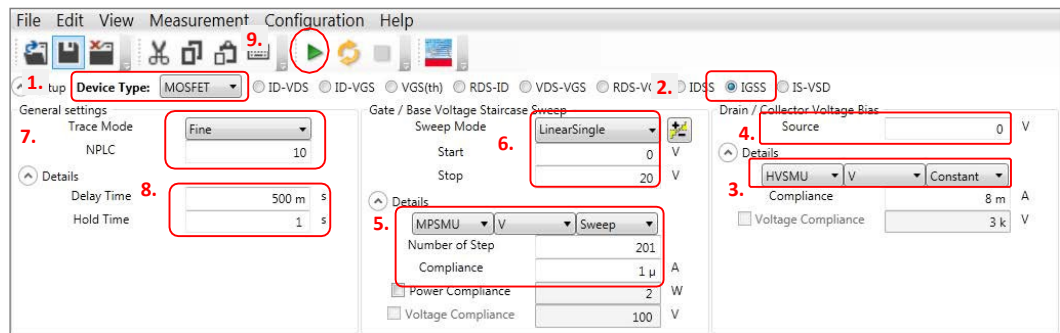
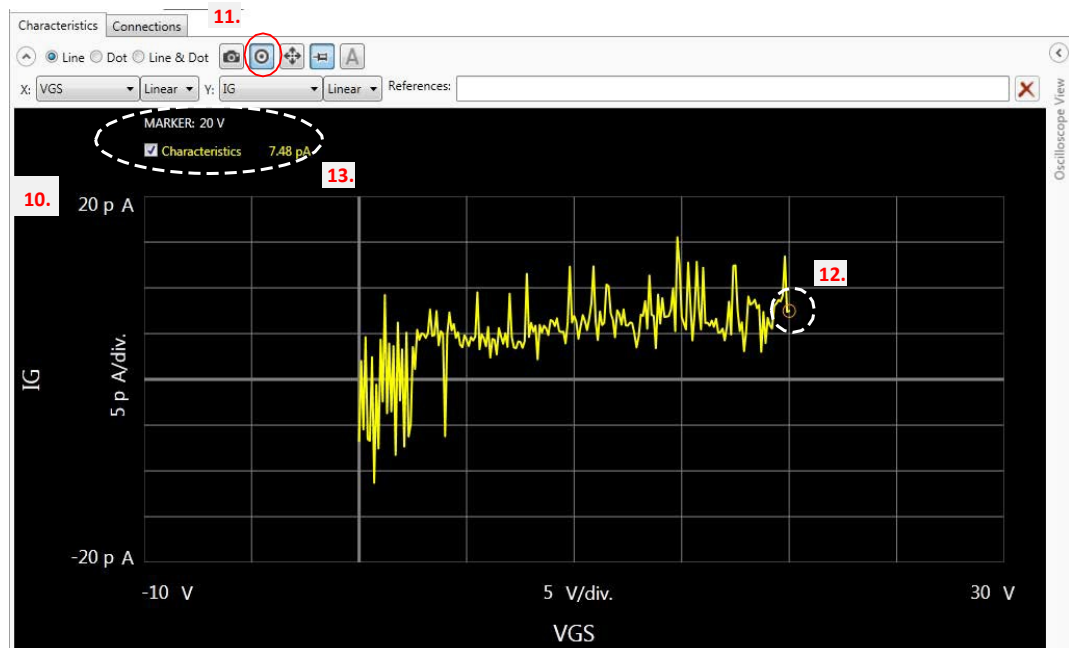


图 3-30 IG-VGS 测试结果。



注意：

图 3-30 中的 IG 噪声被认为来自于  $C_g \times dV/dt$  转换的已施加栅极电压的噪声。要降低该噪声，需要使用更长的积分时间，如 32 PLC 或更多。

## 9. IS-VSS 功率 MOSFET 特性

在本示例中，我们将按如下方式测量体二极管的 IS-VSS 正向特性。

- VSD: 0 V 至 2 V
- IS: 0 A 至 500 A

IS-VS 设置:

请参考图 3-31 中的相应编号，按照下述步骤设置 MOSFET 的 IS-VS。

1. 选择 MOSFET 作为器件类型。
2. 选中 IS-VSD。
3. 打开漏极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 UHCU。
  - 设置 IPulse 模式。
  - Sweep。
  - Number of Step = 101。
  - Compliance = 500 A。
  - 选中 Voltage Compliance。
  - Voltage Compliance = 2 V。
  - Pulse Delay = 50  $\mu$ s。
  - Pulse Width = 200  $\mu$ s。
4. Drain / Collector Voltage Pulse Sweep 的设置如下：
  - Start: 0 V。
  - Stop: 60 V。

注意:

要施加高达 500 A 的源电流，扫描的停止电压应为 60 V，因为 UHCU 的输出电流由以下公式决定

$$\text{输出电流} = \text{设置电压} / (\text{Rout} + \text{VSD})$$

其中，Rout 是 UHCU 的输出电阻（500 A 范围时为 120 m $\Omega$ ，1500 A 范围时为 40 m $\Omega$ ）。在这种情况下，由于合规电流决定了 UHCU 的输出电流范围，因此使用 120 m $\Omega$  的输出电阻器（这是标称值，实际电阻具有一定的裕度，可以在较小的 VSD 下输出 500 A）。

5. 打开栅极详细设置，然后进行如下设置：
  - 测量模块为 MCSMU。
  - VPulse 模式。
  - Constant 模式。
  - Compliance = 1 A。
6. Gate / Base Voltage Pulse Bias 的设置如下：
  - ListSingle。
  - Source = 0 V。
7. 选中 Auto Period。
8. 打开常规详细设置，然后进行如下设置：
  - Aperture = 50  $\mu$ s。
  - Hold Time = 0 s。
9. 单击 Start Measurement 按钮。
10. IS-VSD 图形的绘制如图 3-32 中所示。

图 3-31 IS-VSD 设置。

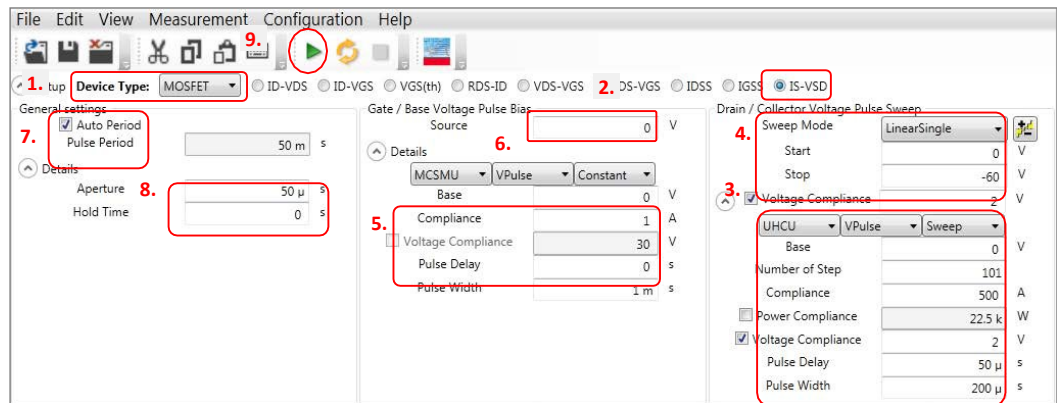
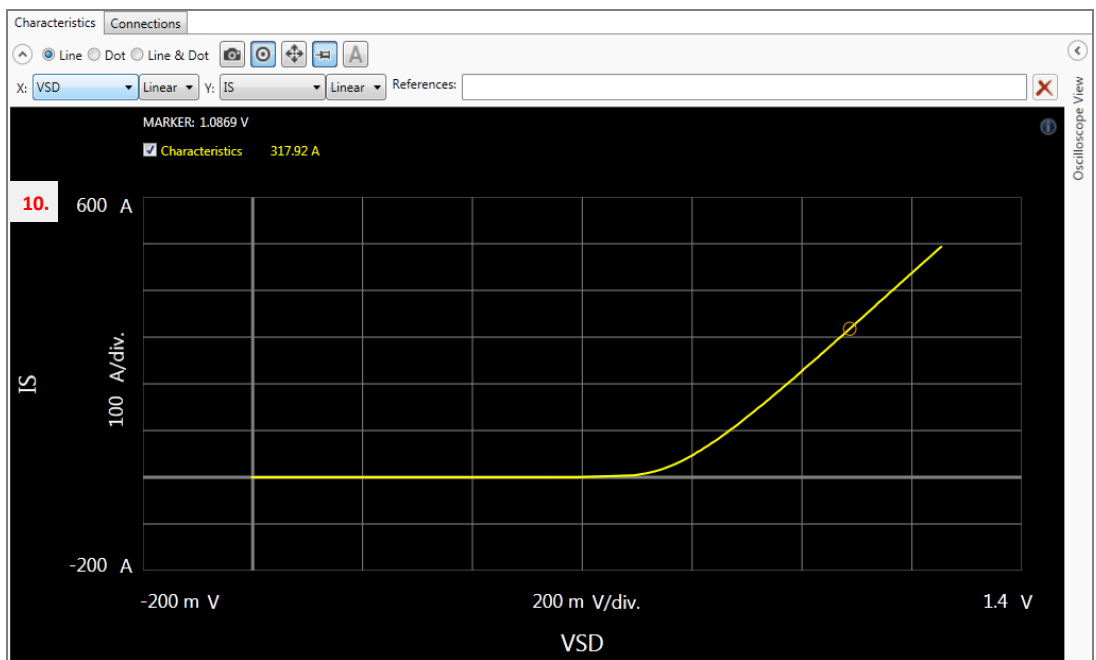


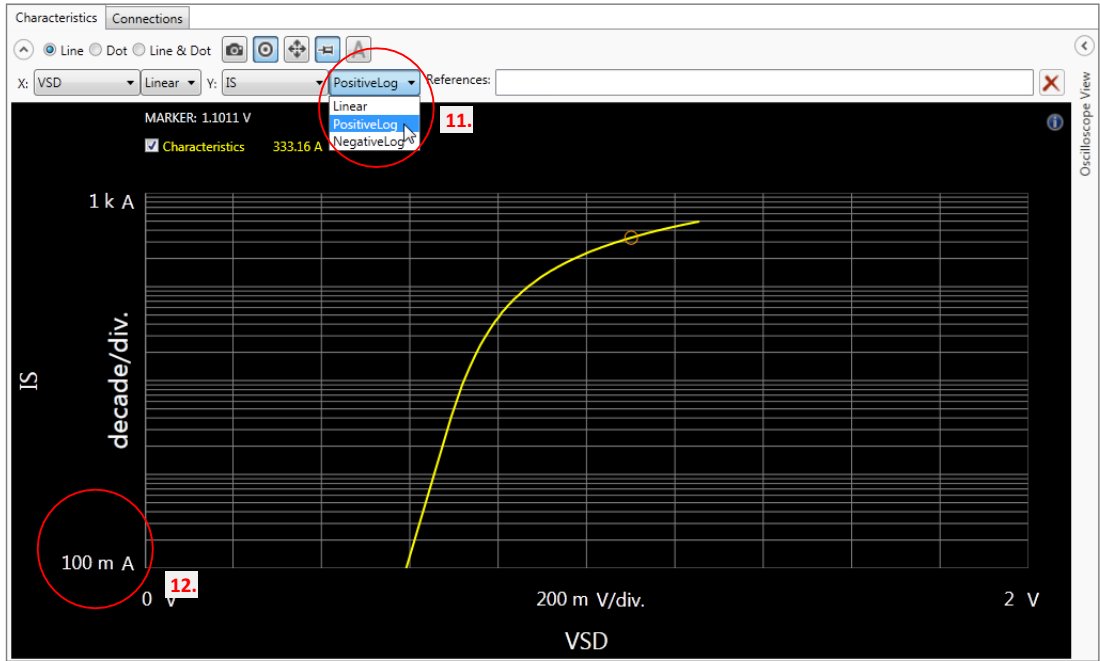
图 3-32 IS-VSD 测试结果。



11. 要以对数标度显示 IS-VSD，请将 Y 轴的定标模式设置为 PostiveLog（图 3-33）。

12. 将 Y 轴的最小值设置为 100 mA。

图 3-33 IS-VSD 测试结果（采用对数标度）



## 10. IGBT 模块测量

某些 IGBT 或 FET 模块封装在大尺寸模块中，并且通常使用螺钉型端子进行连接。

要将这些模块连接到 B1506A，需要使用带有弹簧夹的测试引线，如图 3-34 所示（以 IGBT 模块为例）。

此图片中使用的弹簧夹作为标准配件随 B1506A 提供。

通常，这种模块有一个额外的发射极端子，用于连接栅极偏置通道的低端（图 3-35）。

图 3-34 IGBT 模块连接示例。

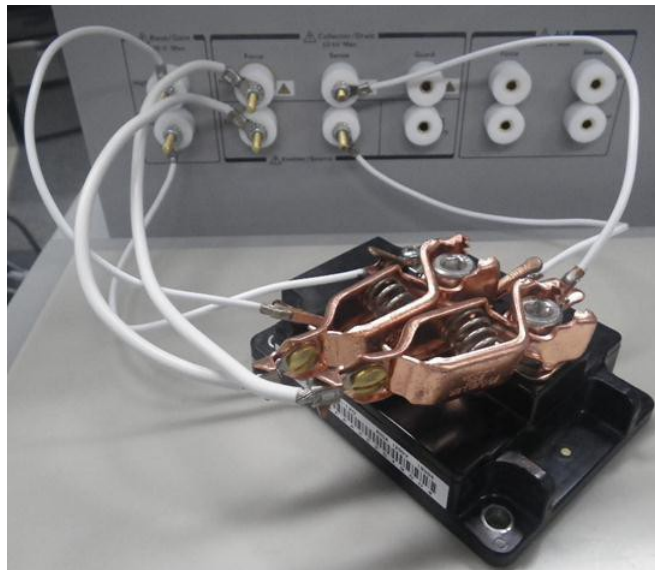
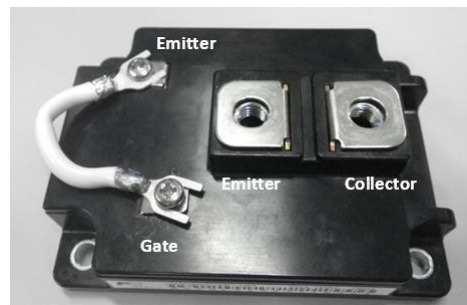


图 3-35 用于与栅极相连的额外发射极端子。



### 与 B1506A 的连接

图 3-36 显示 B1506A 测试夹具的电缆连接。B1506A 测试夹具具有适用于 UHCU 或 HCSMU 的高 Force、高 Sense、低 Force 和低 Sense 输出端子。此外，栅极驱动还有高端子和低端子。

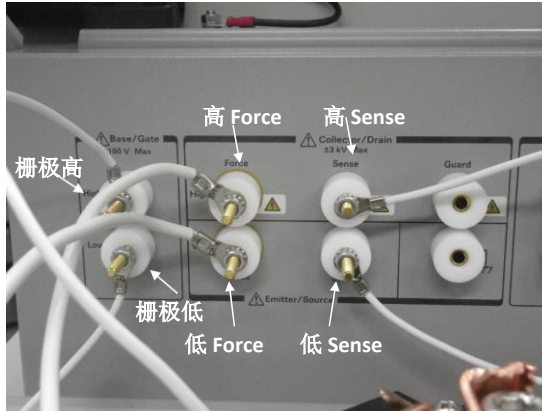
如何连接 B1506A 的输出：

将 B1506A 的输出连接到器件端子：

- ✓ 使用粗电缆和大夹子连接高 Force 与低 Force 端子。
- ✓ 使用细电缆和小夹子连接栅极端子与 Sense 端子。

图 3-36

B1506A 测试夹具连接。



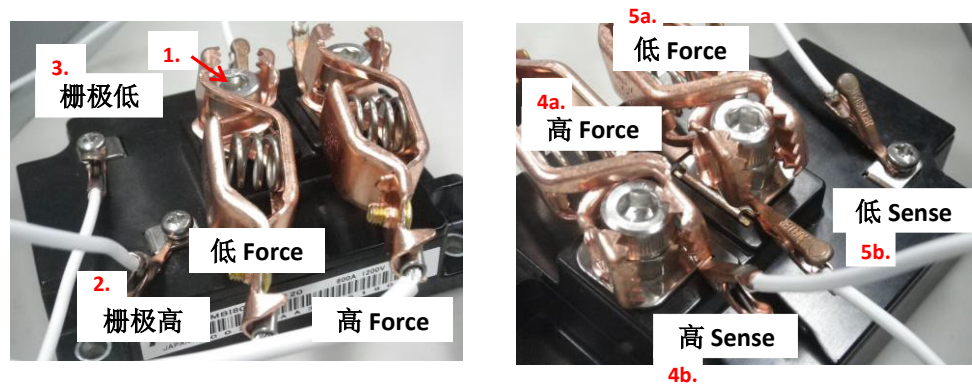
如何将电缆连接到模块：

图 3-37 显示将电缆连接到 IGBT 模块的示例。

1. 将螺钉固定在器件端子上，以夹住端子。
2. 将栅极高端子连接到器件的栅极端子。
3. 将栅极低端子连接到更小的发射极端子。
4. 将高 Force (4a) 和高 Sense (4b) 端子连接到集电极端子。
5. 将低 Force 和低 Sense 端子连接到发射极端子。

图 3-37

与 IGBT 模块的连接。



提示： 如何将高 Sense 和低 Sense 端子连接到器件

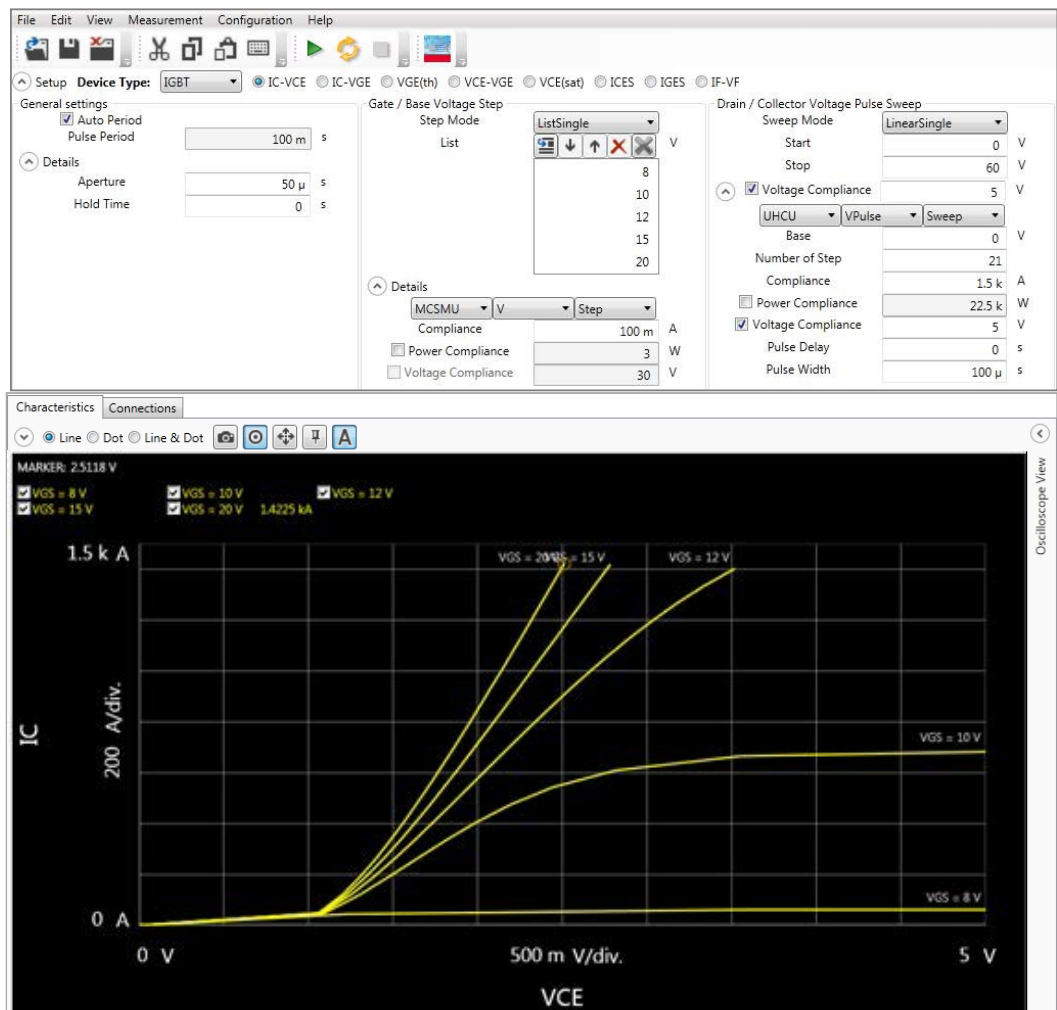
将 Sense 端子连接到器件模块的高端子和低端子时，避开高 Force 和低 Force 电流的流动路径，以此方式将其连接到端子的器件侧。这些连接方法可将连接端子处的压降降至最低，并确保准确度更高。

### IGBT 模块测量示例

图 3-38 显示模块 IGBT 的测量示例。

由于器件的  $V_{CE(sat)}$  为 2.5 V，电缆（和夹子）的残余电阻又导致压降，因此在本示例中，最大电流约为 1.4 kA。

图 3-38 IGBT 模块的测量示例。



提示

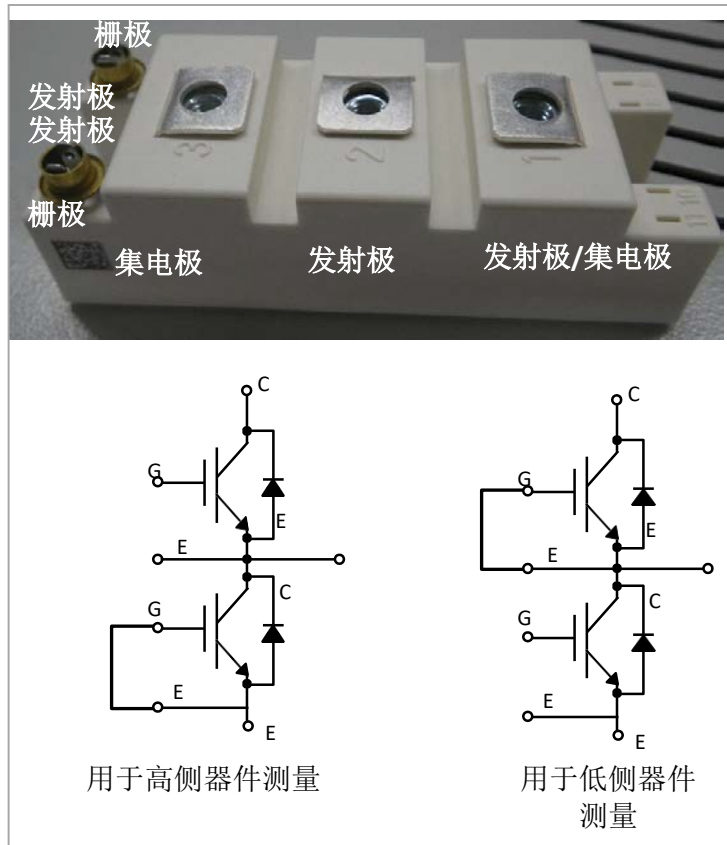
如何测量多个器件模块：

某些 IGBT 模块由模块内部连接的多个器件组成。图 3-39 显示二合一 IGBT 模块的示例。

它包括两个 IGBT，高侧器件的发射极连接到低侧器件的集电极。当其中一个器件未在测量中使用，必须通过短路环或短路棒将未用器件的栅极和发射极短路，以避免静电电击损坏器件。

图 3-39

多个器件模块的测量连接。



## 关于使用 I/V 测量模式的有用信息

### 快速模式和精细模式的区别

在 IV 测量模式下，有两个测量模式可用：快速模式和精细模式。

Easy Test Navigator 2.0 提供了精细模式，而快速模式是以前版本中所使用的模式。

精细模式用于精确测量，例如 MOSFET 的亚阈值电流测量。它使用有限的自动范围调整，以采用适当的测量范围，同时指定更大的合规值。此外，积分时间的最大 100 PLC 模式用于减少来自商用电源的测量噪声（PLC 代表电源周期数。1 PLC 在 50 Hz 区中等于 20 ms，在 60 Hz 区中等于 16.67 ms）。

快速模式使用由指定的合规值定义的固定范围调整。快速模式的测量速度比精细模式快，对使用 B1506A 前面板上的旋转旋钮（如曲线追踪仪）以交互方式改变偏置电压非常有用。

仅当直流偏置模式（V 或 I）用于所有测量资源时，精细模式才可用。

表 3-7 比较快速模式和精细模式的最小电流测量分辨率。

由于精细模式使用有限的自动范围调整模式，因此最小分辨率仅由最小电流测量范围决定。

表 3-7

快速模式和精细模式的最小电流测量分辨率

模块	合规电流	使用快速模式时的最小分辨率	使用精细模式时的最小分辨率
MSPMU	100 mA	5 $\mu$ A	10 fA
	10 mA	500 nA	
	1 mA	50 nA	
	100 $\mu$ A	5 nA	
	10 $\mu$ A	500 pA	
	1 $\mu$ A	50 pA	
	100 nA	5 pA	
	10 nA	500 fA	
HVSMU	8 mA	10 nA	100 fA
	1 mA	1 nA	
	100 $\mu$ A	100 pA	
	10 $\mu$ A	10 pA	
	1 $\mu$ A	1 pA	
	100 nA	100 fA	
	10 nA	100 fA	

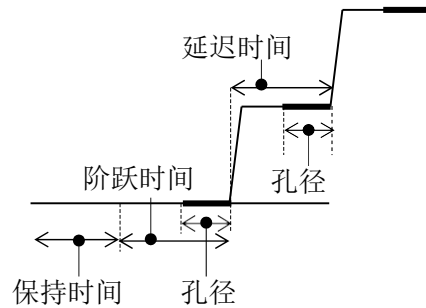
通过自动范围调整，可以使用更大的合规电流进行低电流测量。例如，在栅极漏电流测量中，使用大的合规电流可以缩短电容元件的充电时间，从而使测量速度更快。使用合规电流为电容器充电后，电流测量会降到适当的范围以测量漏电流。如果是快速模式，应指定更小的合规电流来测量低漏电流，但电容器充电将需要更长的时间（例如，要以 1 nA 的合规电流将 1 nF 栅极电容器充电至 20 V，所需时间为 20 秒或更长）。

图 3-40 显示精细模式和快速模式在测量计时控制方面的差异。

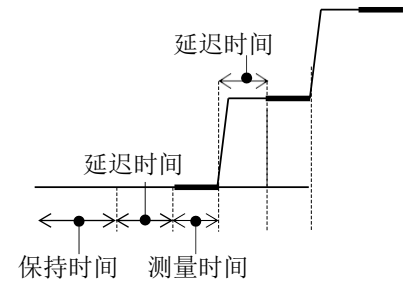
表 3-40

精细模式和快速模式的测量时间定义

(a) 快速模式



(b) 精细模式



快速模式下的源和测量计时定义为阶跃时间和孔径。阶跃时间由固件控制。开始测量之前的延迟时间由 Step Time 下的 Aperture 决定。

在精细模式下，无法精确控制阶跃时间。阶跃时间由“延迟时间 + 测量时间”决定。测量时间包括内置等待时间、范围变化时间和积分时间。由于内置等待时间和范围变化时间因测量条件而异，因此，阶跃时间也因测量条件而异。

精细模式使用测量时间的 NPLC 模式。NPLC 代表电源周期数（1 PLC = 20 ms @ 50 Hz 区，16.67 ms @ 60 Hz 区），可有效降低来自商用电源线的测量噪声。此外，为了降低测量数据的随机噪声，使用多个 NPLC 作为测量时间（例如 8 PLC 或 16 PLC）很有效。

## 如何避免器件振荡

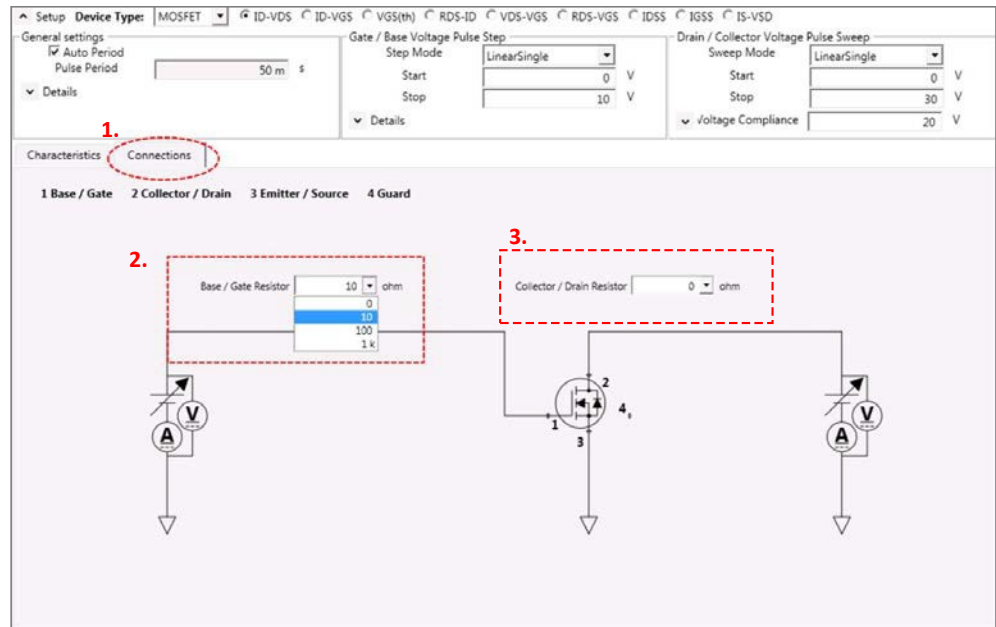
为了避免 MOS 和 IGBT 器件的器件振荡，可以在栅极端子插入一个串联电阻器。B1506A 在栅极连接路径中具有内置的可选串联电阻。

如何选择栅极串联电阻：

图 3-41 显示栅极电阻器设置示例。

1. 通过单击图形区域中的 **Connection** 选项卡显示连接面板。
2. 从列表中选择适当的电阻。可选择 0  $\Omega$ 、10  $\Omega$ 、100  $\Omega$  和 1 k $\Omega$ 。
3. 对于漏极/集电极连接，可选择 0  $\Omega$  和 100 k $\Omega$ 。

图 3-41 选择栅极和集电极串联电阻。



## 使用窄脉冲进行准确测量

当结温越来越高时，MOSFET 通常在特定测试条件下显示出较高的导通电阻和较低的漏极电流。

25 °C 结温下指定的数据表数据通常是使用非常窄的脉冲测量的。

此部分提供如何在 IV 测量中使用窄脉冲减少测试器件自发热的时间和提示，并对数据表中所示的较为接近的数据进行了测量。

### 超结 MOSFET 的注意事项：

通常情况下，默认脉冲宽度过长，无法测量超结 MOSFET 这类器件。超结 MOSFET 是一种新型功率 MOSFET，其电流和电压额定值相对较高。

### 超结 MOSFET 示例

图 3-42 显示使用以下两个不同的脉冲宽度测量的 ID-VDS 测量示例：30  $\mu\text{s}$  和 200  $\mu\text{s}$ 。

在 ID 较小的区域中，两条 ID 曲线显示几乎相同的轨迹，但在较高电流和较高电压下，采用 200  $\mu\text{s}$  脉冲的 ID 曲线明显低于采用 30  $\mu\text{s}$  脉冲的曲线。在 VDS 和 IDS 都很高的区域中，晶体管消耗的功率最大，即  $20\text{ V} \times 60\text{ A} = 1200\text{ W}$ 。施加此高功率后，晶体管芯片的温度急剧升高，ID 曲线从刚施加该功率后就开始下降。

在 60 A ID 区域中，两条 ID 曲线在约 20 V VDS 处的差异反映了此芯片温度升高的影响，采用 200  $\mu\text{s}$  脉冲的 ID 曲线显示出更低的值。

### 示波器视图：

图 3-43 在右侧显示与示波器视图相同的测量，测试点为  $V_D = 20\text{ V}$  和  $V_G = 20\text{ V}$ ，所使用的脉冲宽度为 200  $\mu\text{s}$ 。

可以使用示波器视图监测漏极和栅极的电流及电压脉冲波形。

监测参数可在区域 a. 中设置，相应参数的显示标度可在区域 b. 中设置。

通过监测脉冲波形，可以判断测试参数是否合适等。

图 3-42 超结 MOSFET 的 ID-VDS 测量示例。

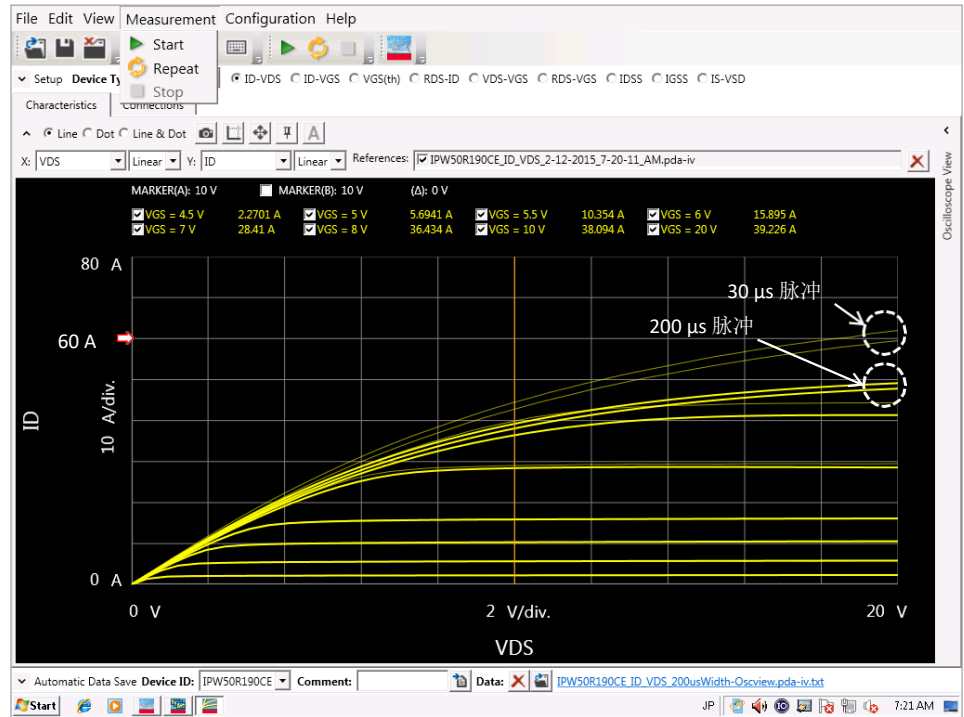
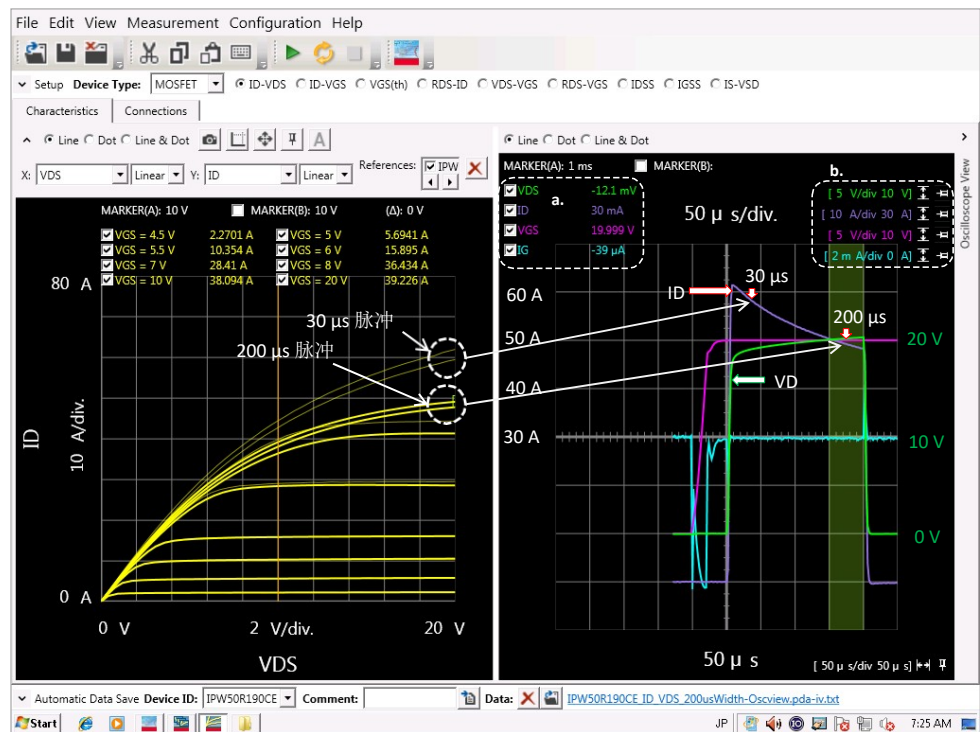


图 3-43 ID-VDS 测量波形和 IV 数据关系。



脉冲宽度确定：

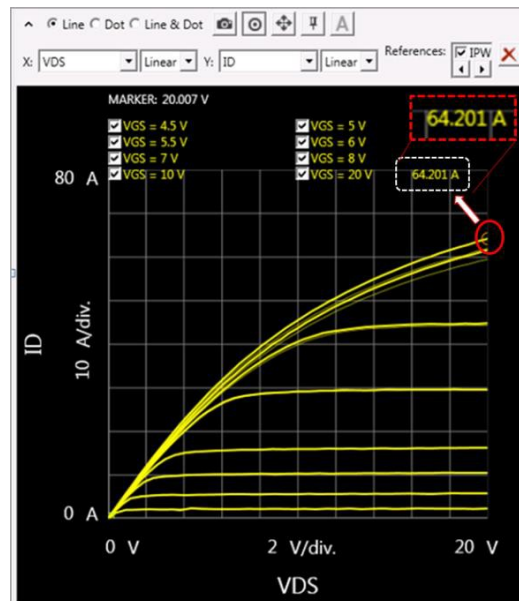
从 200  $\mu\text{s}$  脉冲的 ID 波形可以判断出以下几点：

- ✓ 与 30  $\mu\text{s}$  点相比，200  $\mu\text{s}$  点的电流约低 10 A。注意：在本例中，VD 起始时间设置为 0 秒。
- ✓ 在 30  $\mu\text{s}$  处，ID 波形稳定下降，VD 几乎升至最终的 20 V。因此，可以断定使用 30  $\mu\text{s}$  脉冲比 200  $\mu\text{s}$  脉冲更为合理。
- ✓ 或许也可以考虑一下更短的脉冲宽度。  
注意：使用更短的脉冲进行测量时，需要更加关注其他参数，如孔径时间和延迟时间设置。  
可能存在特定 IV 条件的脉冲参数不适合其他 IV 条件的情况。

图 3-44 显示孔径时间为 2  $\mu\text{s}$  的 20  $\mu\text{s}$  脉冲示例。ID 读数增加到 64 A。

图 3-44

采用 20  $\mu\text{s}$  脉冲的 ID-VDS 测量。



提示：

确定最小脉冲宽度的标准：

VD 的最小上升时间 ( $T_r$ ) 通过以下公式确定。可通过将孔径时间与所获得的  $T_r$  相加来确定最小脉冲宽度，即：

最小脉冲宽度 >  $T_r$  + 孔径时间

$T_r$  由 UHCU 的电流范围和测试器件的  $R_{on}$  决定。

## I/V 测量

✓  $ID < 500 \text{ A}$   
 $Tr = 5 \times 1 \mu\text{H} / (Ron + 120 \text{ m}\Omega)$

✓  $ID \geq 500 \text{ A}$   
 $Tr = 5 \times 1.4 \mu\text{H} / (Ron + 40 \text{ m}\Omega)$

示例:

示例超结 FET 的  $Ron$  为  $170 \text{ m}\Omega$  (典型值)。

$$Tr = 5 \times 1.0 \mu / (170 \text{ m} + 120 \text{ m}) \\ = 17 \mu\text{s}$$

加上  $2 \mu\text{s}$  孔径时间,

最小脉冲宽度 =  $17 + 2 = 19 \mu\text{s}$ 。

从计算可以看出, 示例中使用的  $20 \mu\text{s}$  脉冲宽度比较合适。

注意:

务必使用示波器视图的脉冲波形确定最小脉冲宽度。

通过最小脉冲宽度公式, 可轻松了解最小脉冲宽度的概念。

但是, 若要成功进行脉冲测量 (尤其是寻求最短的脉冲宽度), 查看真实波形不可或缺。

## 4. 电容测量

概述.....	228
电容测量模板.....	230
每种器件类型的测量参数.....	231
测量频率注意事项.....	233
测量误差示例.....	234
如何打开电容测量模式.....	238
电容测量模式示例.....	239
开始测量之前的注意事项.....	239
电容测量校准.....	239
1. Ciss、Coss、Crss MOSFET 特性.....	240
低电压测量.....	241
2. 功率 MOSFET 的 Rg 内部栅极电阻特性.....	243
3. IGBT 模块测量示例和提示.....	246
IGBT 模块连接.....	246
IGBT/MOSFET 模块（多芯片模块）.....	246
关于使用电容测量模式的有用信息.....	248
超结 FET 的 Crss 测量.....	248
Crss 测量中的常见问题.....	248
100 kHz 频率解决出现负 Crss 的测量问题.....	249
电容补偿数据测量.....	251
漏极/集电极开路或带电压偏置下的 Rg 测量.....	255
通过自校准提高 Vgs 精度.....	259

## 概述

电容测量模式用于测量功率器件的静态电容特性。

使用 B1506A 进行电容测量相当简单，可通过以下简单步骤完成测量。

1. 将器件连接到插座适配器或模块选择器的输出端。
2. 设置测量参数。
3. 单击 **Start Measurement** 按钮可测量功率器件的电容参数。

电容测量模式的功能和操作与数据表表征模式的特性图基本相同，单击目标特性图时，预定义的测量设置即会打开。

电容参数：

功率器件的典型电容参数并不始终与器件端子电容的物理参数（例如 Cgd、Cgs、Cds）相同，如下文所示。需要进行一定的解析才能将其转换为数据表参数。例如，Ciss 是 Cgd 和 Cgs 器件端子电容的总和。

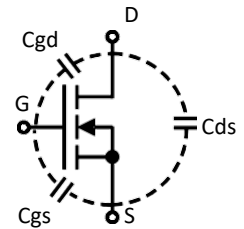
功率 MOSFET：

器件端子电容：

- ✓ Cgs：栅极-源极电容
- ✓ Cgd：栅极-漏极电容
- ✓ Cds：漏极-源极电容

数据表中描述的电容参数：

- ✓ Ciss：输入电容
- ✓ Coss：输出电容
- ✓ Crss：反向传输电容



$$C_{iss} = C_{gd} + C_{gs}$$

$$C_{oss} = C_{gd} + C_{ds}$$

$$C_{rss} = C_{gd}$$

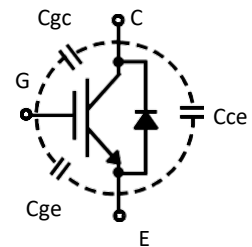
IGBT：

器件端子电容：

- ✓ Cge：栅极-发射极电容
- ✓ Cgc：栅极-集电极电容
- ✓ Cce：漏极-发射极电容

数据表中描述的电容参数：

- ✓ Cies：输入电容
- ✓ Coes：输出电容
- ✓ Cres：反向传输电容



$$C_{ies} = C_{gc} + C_{ge}$$

$$C_{oes} = C_{gc} + C_{ce}$$

$$C_{res} = C_{gc}$$

在 B1506A 中，B1506A 测试夹具内的“器件电容单元”会对连接进行转换，以直接测量数据表参数。

“器件电容单元”由可切换交流阻断电阻和交流短路电容组成，用于测量功率器件的典型电容参数。

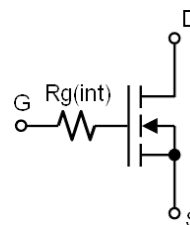
注意：

第 2 章中“测量理论和测量功能的详细说明”部分的“电容测量技术”介绍这些电容测量技术。

栅极电阻参数：

除了上述电容参数外，还可以测量功率 MOSFET 和 IGBT 的内部栅极电阻。内部栅极电阻作为串联电阻进行测量，即功率 MOSFET 测量作为  $C_{gs}$ ，IGBT 测量作为  $C_{ies}$ ，使用的是  $R_g$  参数测量，该测量使用 LCR 仪表的系列型号 (Cs-Rs)。

漏极-源极或集电极-发射极在默认测量设置中短接，但也可以向漏极/集电极端子施加偏置电压。



氧化物电容参数：

要评估栅极氧化物的电容 ( $C_{ox}$ )，请使用  $C_{iss}$  测量

两个偏置供电电压：

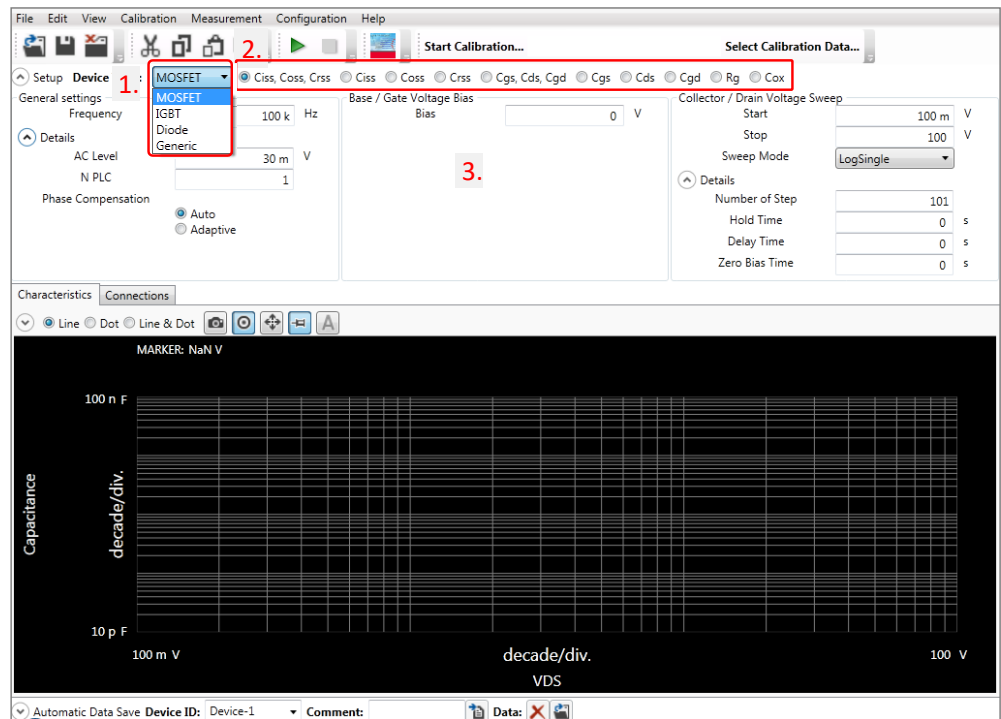
B1506A 器件电容开关通过施加漏极/集电极偏置电压来提供额外的偏置三通，以在电容测量期间施加栅极电压。因为具有此功能，所以也可以测量常开类型的器件。

### 电容测量模板

图 4-1 显示电容测量设置模板示例。有关模板的以下说明，请参考图中的相应编号。

1. 器件类型共有五种选择。
  - MOSFET
  - IGBT
  - Diode
  - Generic
2. 每种器件类型都有几个测量模板选项。  
图中所示为 MOSFET 测量模板选项。  
有关支持的测量模板，请参考以下部分。
3. 在电容测量模式下，可以使用所有测量设置参数，必须自行设置所有必要的测量参数。

图 4-1 电容测量模板的示例。



## 每种器件类型的测量参数

### 电容测量参数

电容测量模式支持以下器件类型和器件特性。

#### 器件类型：MOSFET：

- ✓ Ciss、Coss、Crss
- ✓ Ciss
- ✓ Coss
- ✓ Crss
- ✓ Cgs、Cds、Cgd
- ✓ Cgs
- ✓ Cds
- ✓ Cgd
- ✓ Rg
- ✓ Cox

#### 器件类型：IGBT：

- ✓ Cies、Coes、Cres
- ✓ Cies
- ✓ Coes
- ✓ Cres
- ✓ Cge、Cde、Cgc
- ✓ Cge
- ✓ Cce
- ✓ Cgc
- ✓ Rg

#### 器件类型：二极管：

- ✓ CT（总电容）

#### 器件类型：通用：

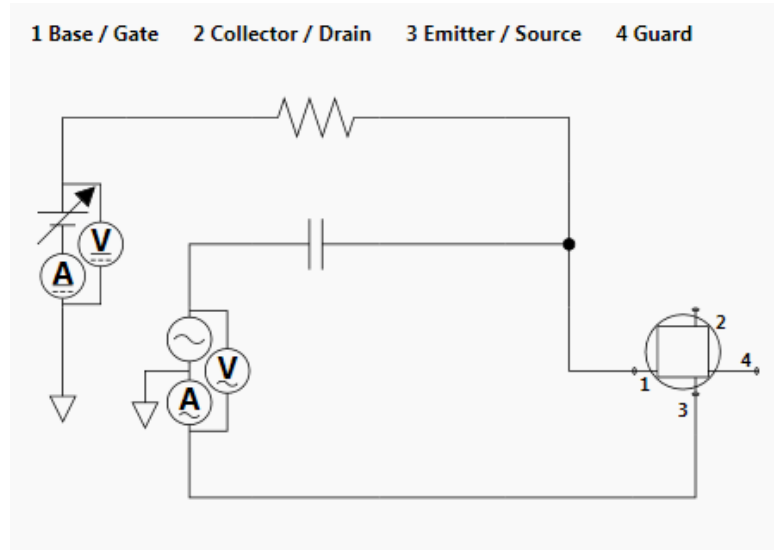
- ✓ 端子 2-3 之间的扫描电压
- ✓ 端子 1-3 之间的扫描电压

图 4-2 显示当在通用类型中选择“端子 2-3 之间的扫描电压”时的连接图。端子 1 至 4 与 B1506A 输出端子的对应情况如下：

- ✓ 端子 1：基极/栅极
- ✓ 端子 2：集电极/漏极
- ✓ 端子 3：发射极/源极
- ✓ 端子 4：保护

电容测量

图 4-2 “端子 2-3 之间的扫描电压”的连接图。



## 测量频率注意事项

下面介绍测量精度和测量频率的关系。

通常，使用 100 kHz 的测试频率可以获得更高的精度，但通过了解此部分中说明的其他误差，也可以采用广泛使用的 1 MHz。

### 注意：

#### 测量频率建议值 100 kHz

建议在使用器件电容开关的 B1506A 中采用 100 kHz 测量频率。由于开关系统的残余电感，在测试频率为 1 MHz 的测量中，测量误差将增加。

尤其是在以下情况下，这种误差增加明显：

- ✓ 大规模器件（例如，IGBT 模块）的  $C_{iss}$  测量。
- ✓  $C_{rss}$  显著低于  $C_{iss}$  时（例如，超结 MOSFET、GaN FET）的  $C_{rss}$  测量。

由于采用 100 kHz 频率测量的测试结果误差更小，而且在频率高达 1 MHz 时 CV 特性与频率的相关性并不大，因此在电容测量模板中将 100 kHz 测量频率设置为默认测量频率。

如果 1 MHz 测试频率下的测试结果与 100 kHz 测试结果没有显著差异，则使用 1 MHz 的测试频率应该也可以。其他情况下，最好使用采用 100 kHz 测试频率测量的测试结果。

### 测量误差示例

下文展示了  $C_{iss}$  和  $C_{gd} (=C_{rss})$  的两种典型误差示例。

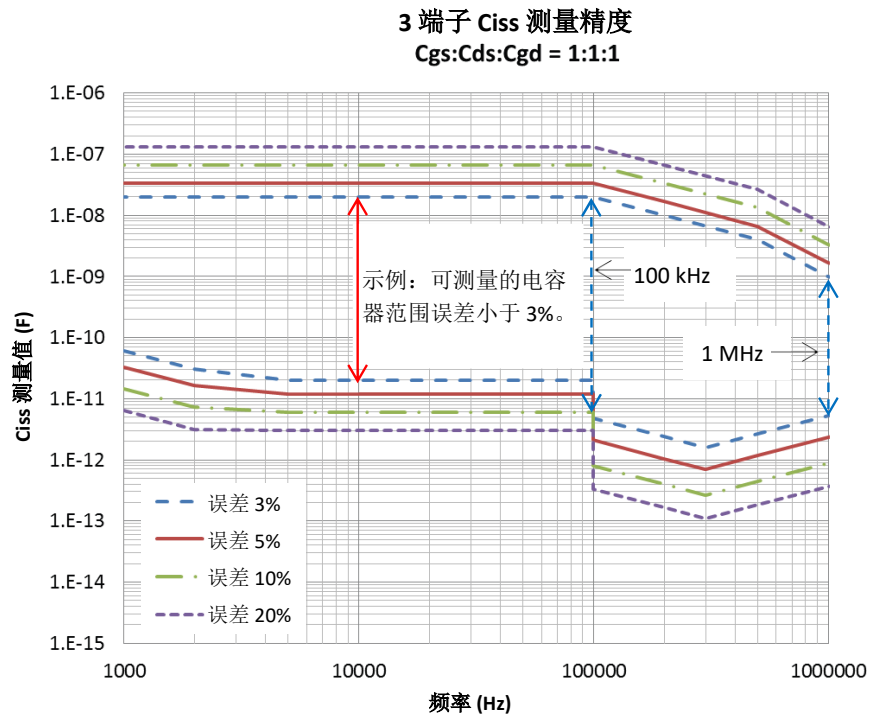
示例 1:  $C_{iss}$  (@  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:1:1$ ),  $V_{ds} = 0\text{ V}$  的情况

图 4-3 显示将误差参数设置为 0.5% 到 20% 的测量误差时,  $C_{iss}$  电容器测量范围与测试频率的关系。电容器元器件的比例设置为  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:1:1$  (所有电容器元器件的值都相同), 此条件模拟的是  $V_{ds} = 0\text{ V}$  的情况。

1 MHz 的误差范围比 100 kHz 的误差范围窄, 但可以用于电容器较宽范围内的两种频率。

图 4-3

$C_{gs}=C_{gd}=C_{gd}$  时的  $C_{iss}$  测量范围

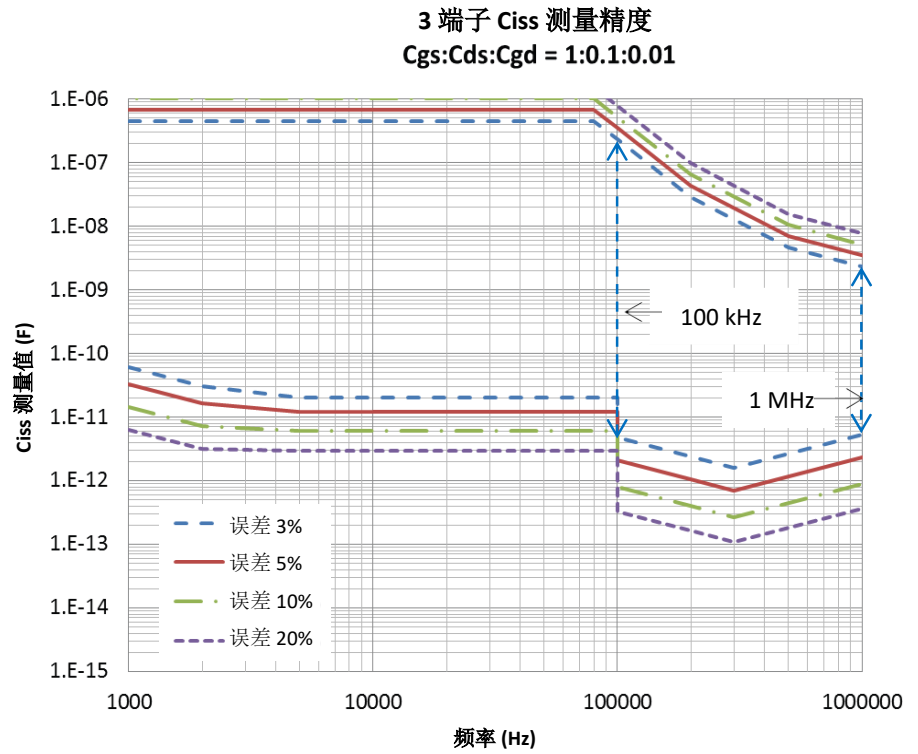


示例 2:  $C_{iss}$  (@  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:0.1:0.01$ ),  $V_{ds}$  = 高电压的情况

图 4-4 显示假设漏极电压很高, 而  $C_{iss} (=C_{gd})$  变得比其他电容器元器件小得多时的  $C_{iss}$  测量范围。 $C_{iss}$  测量范围没有改变, 因为最大的  $C_{gs}$  元器件不随漏极电压而改变。

图 4-4

$C_{gs}:C_{gd}:C_{gd} = 1: 0.1:0.01$  时的  $C_{iss}$  测量范围

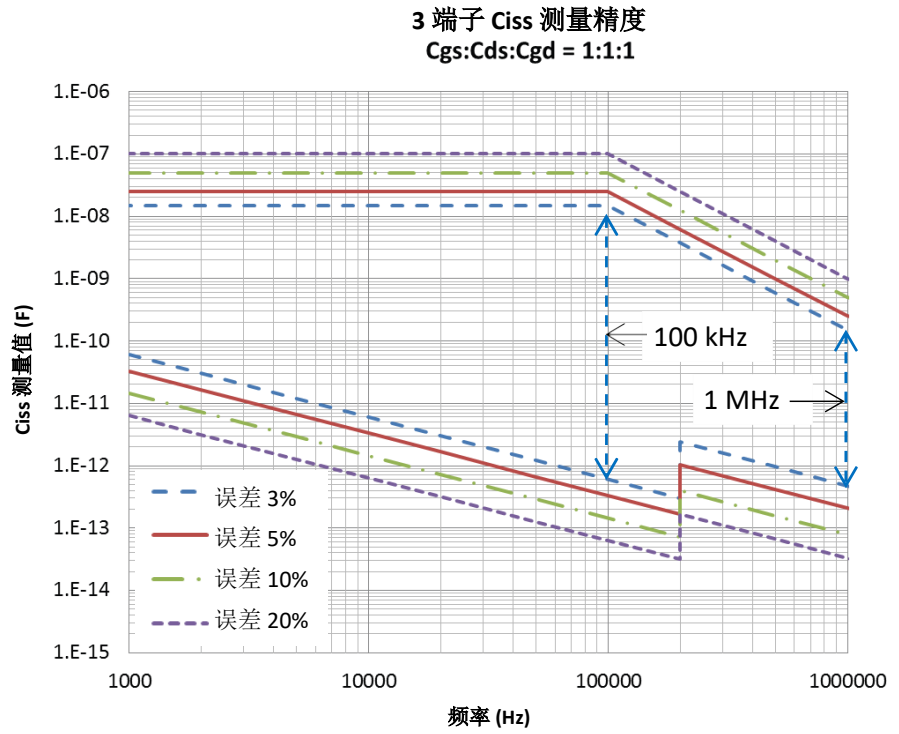


示例 3:  $C_{rss}$  (@  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:1:1$ ),  $V_{ds} = 0\text{ V}$  的情况

图 4-5 显示将误差参数设置为 0.5% 到 20% 的测量误差时,  $C_{res}$  电容器测量范围与测试频率的关系。电容器元件的比例设置为  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:1:1$  (所有电容器元件的值都相同), 此条件模拟的是  $V_{ds} = 0\text{ V}$  的情况。

图 4-5

$C_{gs}=C_{gd}=C_{gd}$  时的  $C_{gd}$  ( $C_{rss}$ ) 测量范围。



示例 4:  $C_{rss}$  (@  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:0.1:0.01$ ),  $V_{ds}$  = 高电压的情况

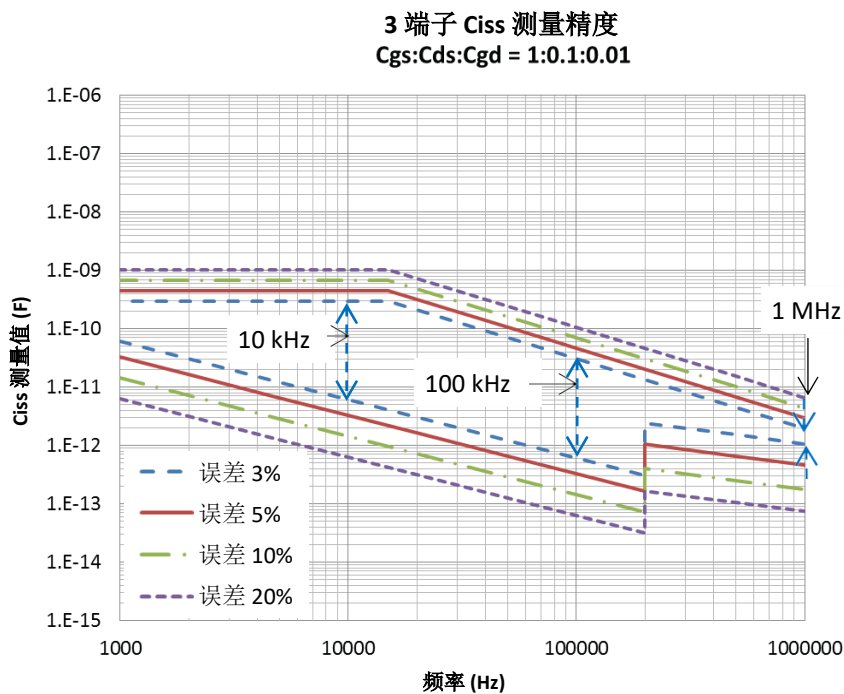
图 4-6 显示假设漏极电压很高, 而  $C_{iss} (=C_{gd})$  变得比其他电容器元器件小得多时的  $C_{res}$  电容器测量范围。

1 MHz 的误差范围太窄, 在频率为 1 MHz 下进行测量对于大多数器件来说并不现实。

100 kHz 也不够宽, 但可以作为默认的 100 kHz 测试频率。对于  $C_{gd}$  较大的器件, 可以考虑使用 10 kHz。

图 4-6

$C_{gs}:C_{gd}:C_{gd} = 1: 0.1:0.01$  时的  $C_{gd}$  ( $C_{res}$ ) 测量范围。



从这些示例误差图可以看出, 当  $V_{ds}$  处于高电压时,  $C_{rss}$  测量对误差要求变得更加严苛。 $V_{ds}$  较高时,  $C_{rss} (= C_{gd})$  变得明显小于  $C_{gs}$ 。在这种情况下, 在  $C_{gs}:C_{ds}:C_{gd} = 1:0.1:0.01$  时估计的误差即表示预期的测量误差。

参考:

电容测量技术

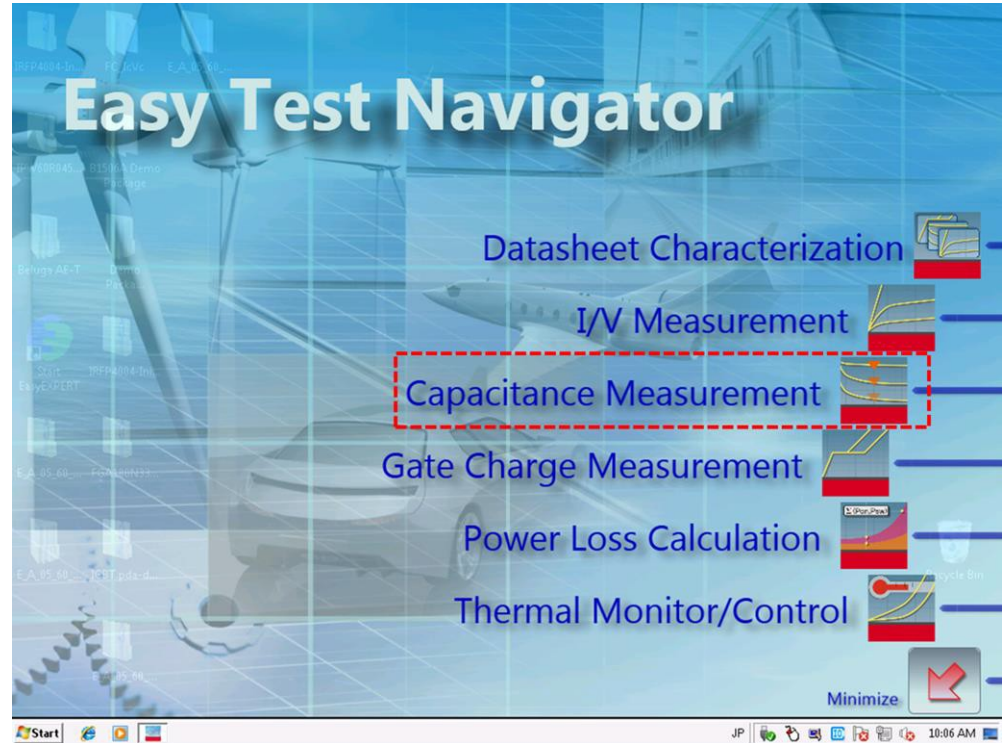
第 2 章的“测量理论和测量功能的详细说明”部分介绍电容测量技术的基本理论。

## 如何打开电容测量模式

可以从 Easy Test Navigator 启动电容测量模式，如图 4-7 所示。

- ✓ 单击 Capacitance Measurement 启动该模板。
- ✓ 随即会打开图 4-1 所示的电容测量模板。

图 4-7 从 Easy Test Navigator 启动电容测量模式。



## 电容测量模式示例

以下示例测量演示电容测量模式。

1. C<sub>iss</sub>、C<sub>oss</sub>、C<sub>rss</sub> MOSFET 特性
2. 功率 MOSFET 的 R<sub>g</sub> 栅极电阻特性
3. IGBT 模块测量

### 开始测量之前的注意事项

如果器件在高电压（超过几百伏）测量时损坏，则有可能损坏 B1506A 中的电容开关或测量模块。

当使用 1  $\mu$ F 的交流短路电容测量 C<sub>iss</sub>、C<sub>gs</sub>、C<sub>ies</sub> 和 C<sub>ge</sub> 时，发生这种情况的风险最高。

### 重要说明：避免损坏 B1506A

请确保电压扫描范围绝不超过测量器件的额定电压。

如果是未知器件，强烈建议先使用 Easy Test Navigator 的 IV 测量功能测量器件的击穿电压（V<sub>DSS</sub> 或 V<sub>CES</sub>）。

### 电容测量校准

系统中预安装了 B1506A 测试夹具输出端子器件电容开关的补偿数据。但是，当将适配器或测试引线连接到测试夹具上时，需要对这些额外零件进行校准，以测量补偿因子，从而实现精确的电容测量。

系统会自动测量可能的开关组合的补偿数据，并将其存储在文件中。将补偿因子加载到程序中后，这些数据将一直有效，直到加载新的补偿数据为止。

请参考本章末尾提供的“电容补偿数据”来测量电容补偿数据。

### 1. Ciss、Coss、Crss MOSFET 特性

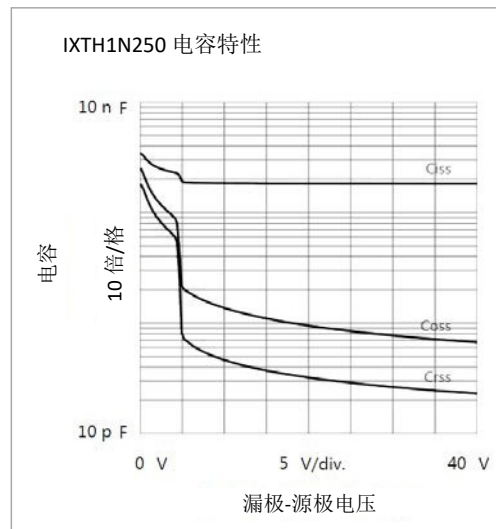
在本示例中，测试器件以分立式功率 MOSFET IXTH1N250 为例。该器件具有以下基本特性。

- ✓ DUT: IXTH1N250
- ✓ VDSS: 2500V
- ✓ ID: 最大 1.5 A (脉冲)



IXTH1N250  
HV MOS

图 4-8 IXTH1N250 的示例电容数据。



- ✓ 在测试夹具中安装测试器件。

图 4-9 B1506A Opt.F10 3 针直插式封装插座模块。



## 低电压测量

请参考图 4-10 中的相应编号，按照下述步骤设置电容测量。

- ✓ **General settings:**
  1. 选择 MOSFET 作为 Device Type
  2. 选中 Ciss, Coss, Crss
  3. 将测量频率设为 1 MHz。
- ✓ **Base/Gate Voltage Bias:**
  4. 确认栅极电压为 0 V，保证器件已关闭
- ✓ **Collector/Drain Voltage Sweep:**
  5. 扫描集电极电压从 0 V 到 40 V。
  6. 选择 LinearSingle 作为 Sweep Mode。
  7. 将 Hold Time 设为 0 将  
Delay Time 设为 0  
将 Zero Bias Time 设为 5 s

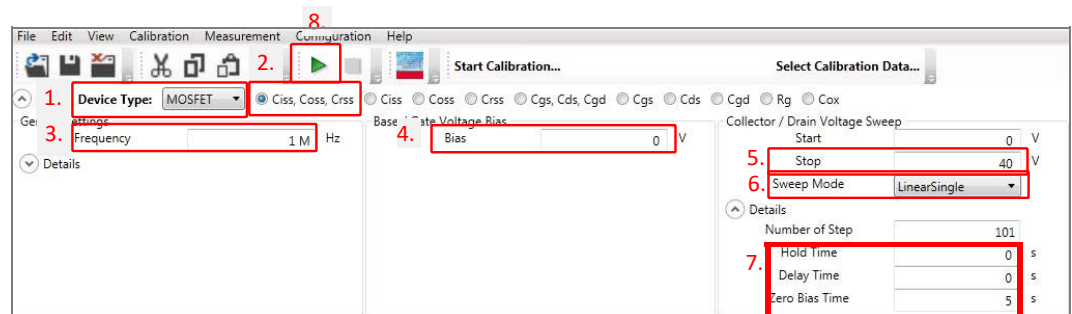
**注意：** Zero Bias Time 是等待从上次测量的高偏置状态恢复的必要时间，例如在 Ciss 测量之后进行 Coss 测量。某些特定的器件需要此设置（根据我们的经验，IXTH1N250 需要此设置）。

**注意：** 即使没有特意指定延迟时间，也会自动包括对电容开关内部电容充电的延迟时间。

- ✓ **如何开始测量：**

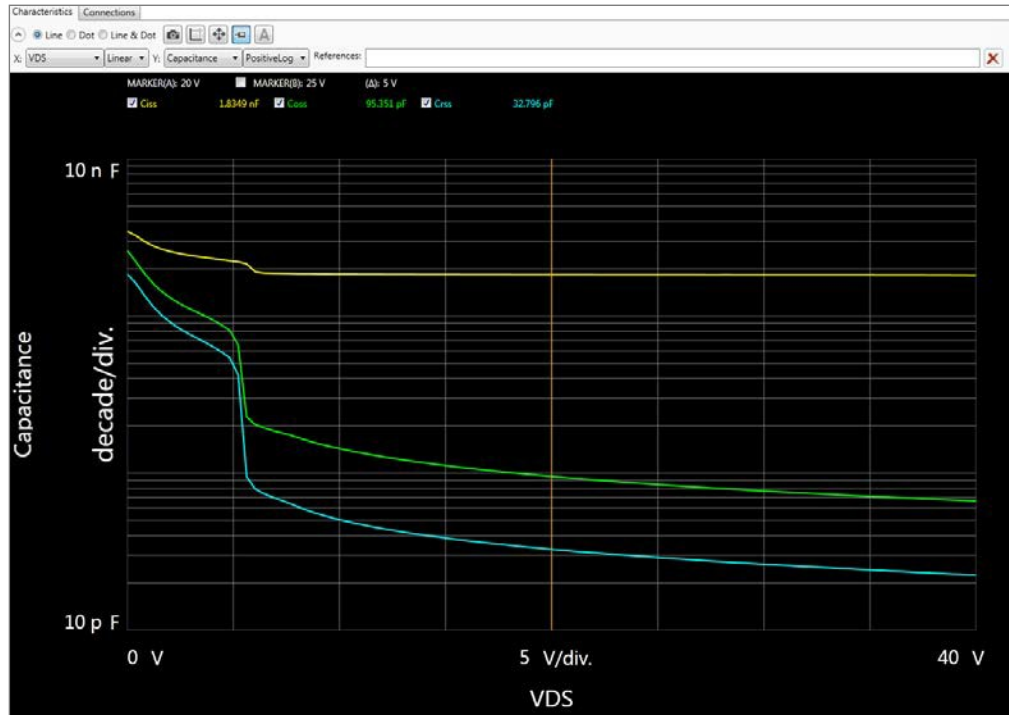
8. 单击 Measure 按钮以开始自动 CV 测量，如图 4-11 所示。  
测量顺序是固定的，从 Ciss 开始。然后测量 Coss，最后测量 Crss。

图 4-10 电容测量设置。



## 电容测量

图 4-11 电容测量结果。



提示:

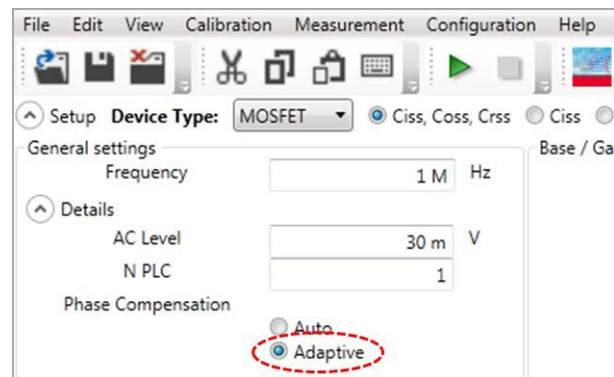
避免 UNBALANCE 状态

测量特定类型的器件时，LCR 仪表有时在特定条件下会返回 UNBALANCE 状态。

在这种情况下，在 General settings 的 Details 中选择 Phase Compensation 下的 Adaptive 可能可以解决此类问题，但是测量速度会变慢。（图 4-12。）

图 4-12

自适应相位补偿设置。



## 2. 功率 MOSFET 的 Rg 内部栅极电阻特性

在本示例中，测试器件以 IRFP4004 LDMOS-FET 为例。

该器件具有以下基本特性。

- ✓ DUT: IRFP4004 LDMOS-FET
- ✓ VDSS: 40 V
- ✓ Rds(on): 典型值 1.35 mΩ @ Vgs = 10 V
- ✓ ID 最大值: 350A @ 100 μs 脉冲, VD = 10V  
1390 A @ Vd = 2.5 V
- ✓ Coss: 2360 pF 典型值 @ Vd = 25 V
- ✓ Rg(int): 典型值 6.8 Ω



IRFP4004  
HC MOS

请参考图 2-53 中的相应编号，按照下述步骤设置 Rg 测量。

- ✓ Setup
  1. 选择 MOSFET 作为 Device Type
  2. 选中 Rg。
- ✓ General settings
  3. 将测量频率设为 100 kHz
  4. 设置 16 PLC 以便进行精准测量
- ✓ Base / Gate Voltage Sweep
  5. 保留原始设置 (-3 V 到 3 V, LinearSingle)
- ✓ Collector / Drain Voltage Bias
  6. 保留原始设置 (0 V)
- ✓ 单击 Measure 按钮，随即会立即测量 Rg。（请参考图 4-14）  
在 VGS = 0 V 时，测得的 Rg 为 5.48 Ω。

图 4-13 Rg 测量设置。

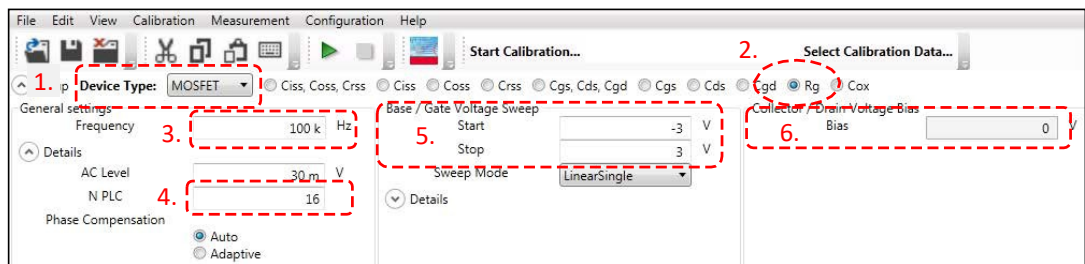
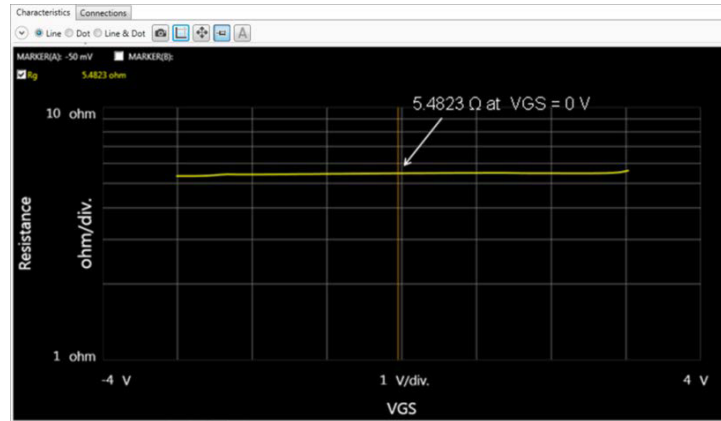


图 4-14 R<sub>g</sub> 测量结果。

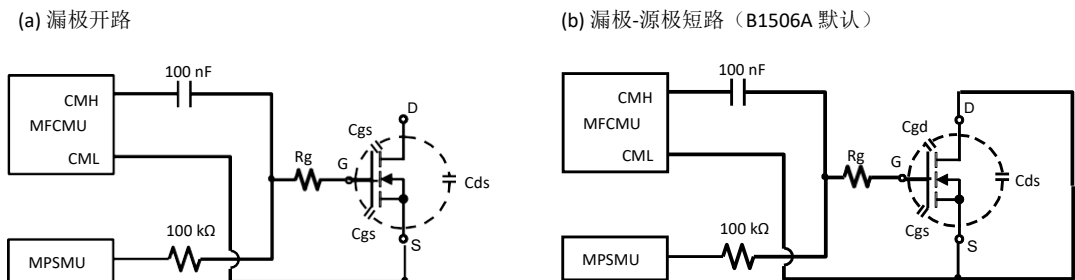


提示：

MOSFET 的 R<sub>g</sub> 测量

对于功率 MOSFET，通常在漏极开路状态下测量 C<sub>gs</sub> 时，将 R<sub>g</sub> 作为串联电阻进行测量，如图 2-55(a) 所示。

图 4-15 功率 MOSFET 的 R<sub>g</sub> 测量



注意：

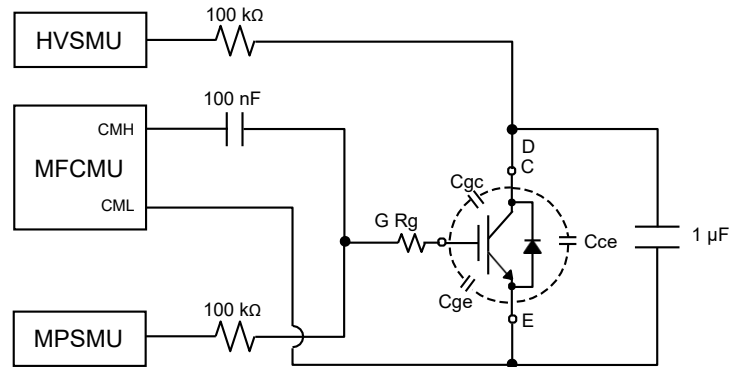
MOSFET R<sub>g</sub> 测量模板的 Easy Test Navigator 软件的默认设置是漏极和源极短接，如图 2-55(b) 所示。

漏极和源极短接用于将与“器件电容开关”相关的误差降至最低。因此，除非有特殊原因，否则建议您使用默认的漏极-源极短路条件。

要断开漏极与源极连接，请参考本章末尾标题为“关于使用电容测量模式的有用信息”部分中的“漏极/集电极开路或带电压偏置下的 R<sub>g</sub> 测量”。

提示: IGBT 的  $R_g$  测量  
 对于 IGBT, 在指定的集电极电压下, 使用与  $C_{ies}$  测量相同的条件 (图 4-16)。

图 4-16 带电压偏置集电极的 IGBT 的  $R_g$  测量电路



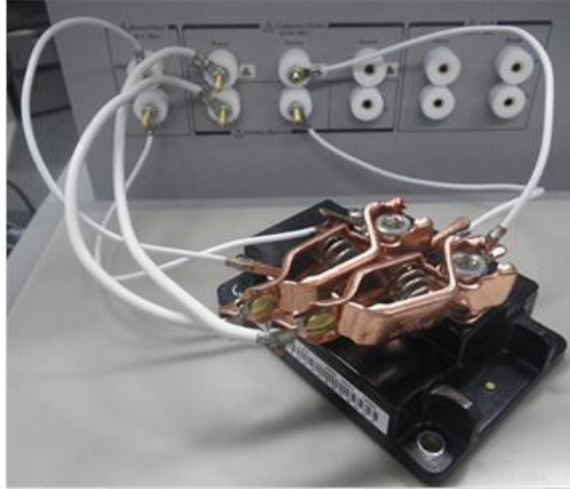
注意: Easy Test Navigator 软件中 IGBT 的  $R_g$  测量模板的默认设置与  $C_{ox}$  测量相同, 并且不能对集电极施加偏置电压。

提示: 如何在  $R_g$  测量中向集电极施加偏置电压  
 要施加如图 2-56 所示的偏置电压, 请参考本章末尾标题为“关于使用电容测量模式的有用信息”部分中的“漏极/集电极开路或带电压偏置下的  $R_g$  测量”。

### 3. IGBT 模块测量示例和提示

#### IGBT 模块连接

测量 IGBT 模块的连接与 IV 测量中的连接相同。



提示：

校准

由于使用额外的测试引线将器件连接到 B1506A 输出，因此有必要在 1 MHz 进行开路 and 短路补偿。

#### IGBT/MOSFET 模块（多芯片模块）

要测量多芯片模块的电容，通常测量单个器件的电容。

例如，对于半桥类型的二合一 IGBT 模块，必须单独测量高侧器件和低侧器件的电容。

要测量高侧器件的电容，应按图 4-17 所示连接 B1506A 测试夹具的输出。低侧器件的栅极和发射极由短路棒/短路环进行连接。同时，低侧器件的发射极保持开路状态。

要测量低侧器件的电容，应将 N1265A 的输出连接到低侧器件，而且必须按图 4-18 所示将高侧器件的栅极和发射极短路。

图 4-17 测量高侧器件电容的连接。

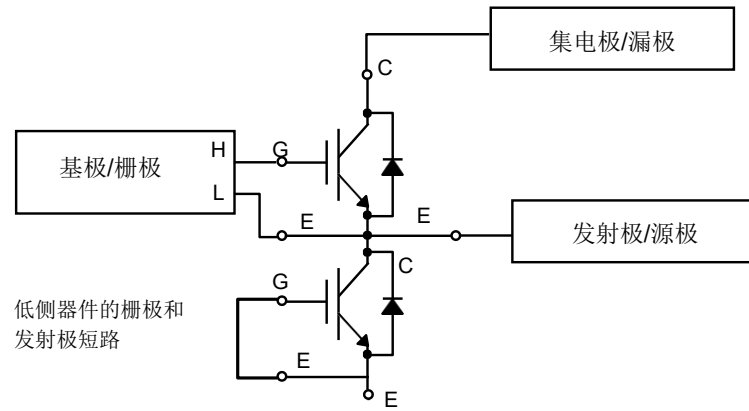
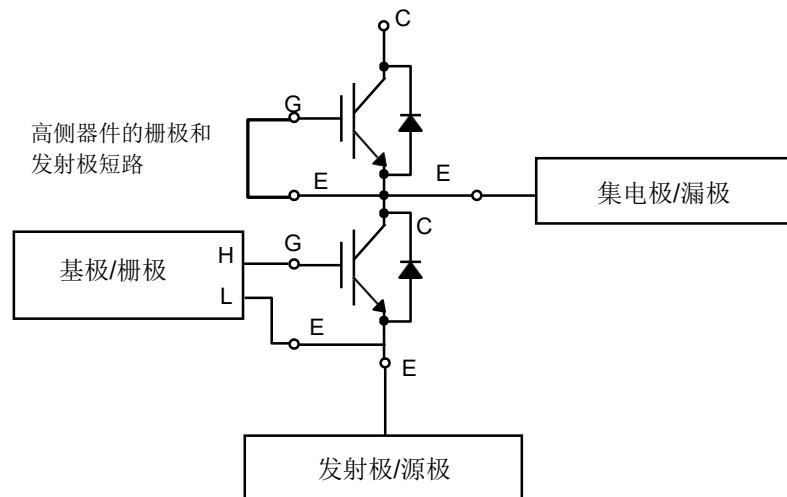


图 4-18 测量低侧器件电容的连接。



## 关于使用电容测量模式的有用信息

### 超结 FET 的 Crss 测量

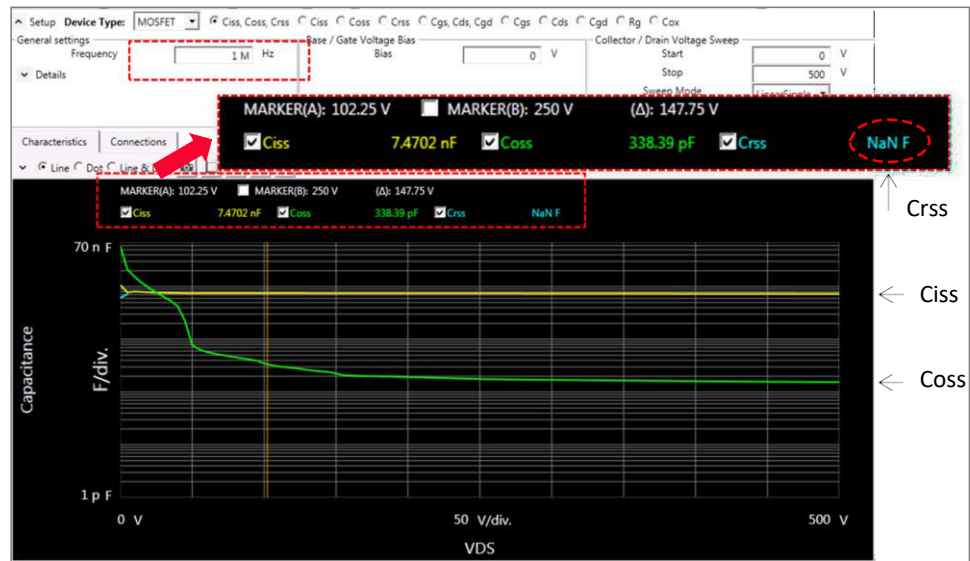
对于超结 FET 等 Crss 相对于 Cds 非常小的器件，测量 Crss 并不容易。此部分介绍 Crss 测量中的常见问题、原因及解决方法。

#### Crss 测量中的常见问题

图 4-19 显示使用 1 MHz 频率的 Crss 测量示例。

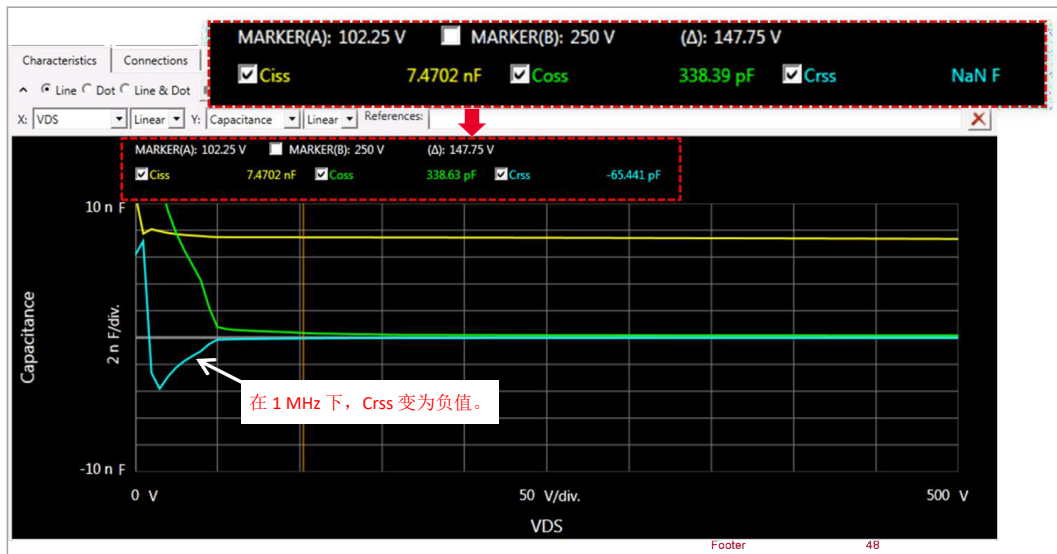
它测量了三个参数，分别是图中所示的 Ciss、Coss 和 Crss。图中绘制了 Ciss 和 Coss 线，但没有 Crss 线。Crss 标记读数显示在以红色虚线圈出的放大副本中，显示 NaN F，表示测量未成功。

图 4-19 1 MHz 下的 Crss 测量示例（超结 FET）。



如果按图 4-20 所示将 Y 轴改为线性标度，则 Crss 为负电容值。

图 4-20 1 MHz 下的 Crss 测量示例（线性电容标度）（超结 FET）。



### 100 kHz 频率解决出现负 Crss 的测量问题

如“测量频率”部分所示，当测量频率增加时，Crss 测量误差急剧增加。其理论原因也作了解释。

图 4-21 显示 B1506A 的简化 Crss 测量误差模型。

假设 Cds 比 Cgd 大 10 倍。那么，通过 Cds 的电流是通过 Cgd 的电流的 10 倍。

此外，还有从源极到栅极通过 Cgs 元件的漏电流 Igs，因为由 ids 和交流保护阻抗 ( $=2\pi fL$ ) 产生一个小漏电压。如果要想流经 Cgs 的漏电流 Igs 小于流经 Cgd 的电流的 1/100 (误差为 1%)，则  $Z(\text{交流保护})/Z(Cgs)$  的分离比必须小于 1/100 (误差百分数) \*  $Cdg/Cds (=1/100 \times 1/10 = 1/1000)$ 。

例如，如果 Cgs 为 2 nF，则 1 MHz 下 Cgs 的阻抗 ( $Z(Cgs)$ ) 约为 79 Ω。交流保护的阻抗 ( $=1/1000 \times Z(Cgs)$ ) 必须小于 79 mΩ，相当于 13 nH。

由于残余电感可视为仪器交流保护端子到器件源极端子（包括连接电缆）的等效电缆长度，13 nH 仅为 1 cm 到 2 cm 电缆长度的电感。

因此，无法在 1 MHz 下实现如此小的交流保护阻抗。但如果将测量频率降低 10 倍至 100 kHz，就可以让电缆长度延长 100 倍，这样就在可实现的范围内了。

在这种情况下，进一步降低频率可按比例改善测量误差。

图 4-22 显示 100 kHz 测量频率下超结 FET 的  $C_{rss}$  测量示例，其中  $C_{ds}$  大约是  $C_{rss}$  的 30 到 50 倍。（请注意，在此示例中  $C_{oss}$  几乎与  $C_{ds}$  相同。）

图 4-21 简化的  $C_{rss} (=C_{gd})$  误差模型

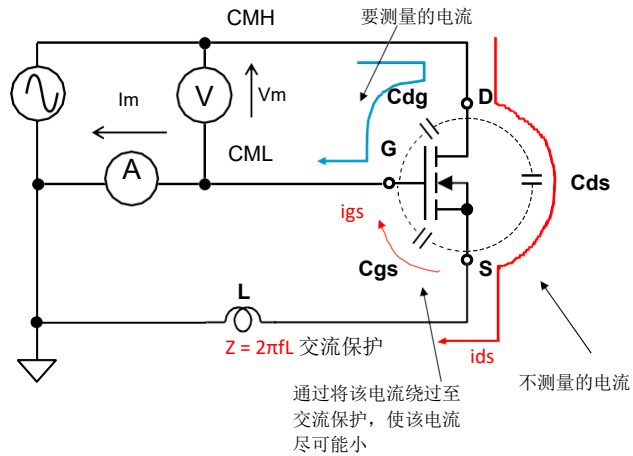
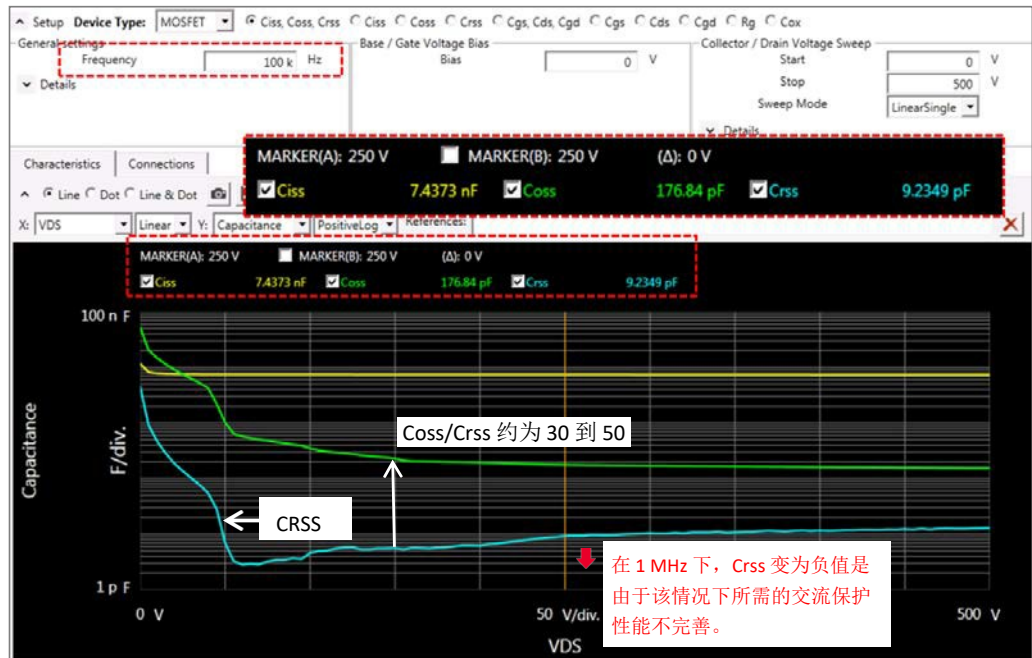


图 4-22 100 kHz 下的  $C_{rss}$  测量示例（超结 FET）。



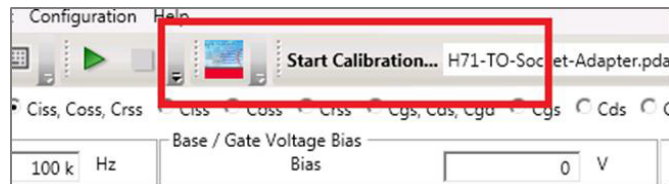
## 电容补偿数据测量

此部分介绍如何执行电容补偿数据测量。

如何测量电容补偿数据：

按照下述步骤测量电容补偿数据。

- ✓ 打开 Capacitance Measurement 模式模板。
- ✓ 单击 Start Calibration... 按钮。

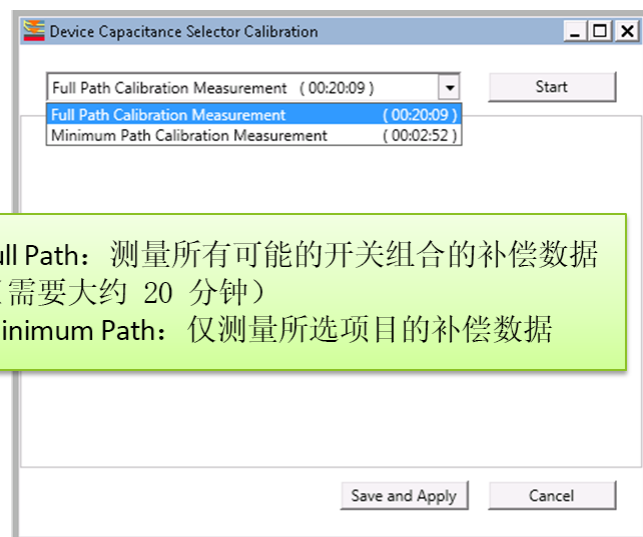


随即打开图 4-23 所示的 Device Capacitance Selector Calibration 面板。

- ✓ 选择 Full Path Calibration Measurement 或 Minimum Path Calibration Measurement。
  - Full Path 校准测量电容测量组合的整个连接路径。
  - Minimum Path 校准仅测量所选测量参数的路径。

**注意：** 对于初始设置，建议使用 Full Path Calibration Measurement，但需要大约 20 分钟时间。

图 4-23 Device Capacitance Selector Calibration 面板。



- ✓ 开路补偿：（请参考图 4-24）
  - a. 随即打开用于确认测量“开路补偿数据”连接的窗口。
  - b. 在不带器件的情况下连接插座模块（图 4-25(b1)）或测试引线（图 4-25(b2)）。
  - c. 请确保已取下器件。
  - d. 单击 OK 按钮开始测量。
  - e. 测量过程中，界面会显示总测量进度和当前测量的连接图。

图 4-24 开路补偿 GUI。

确认开路补偿的连接

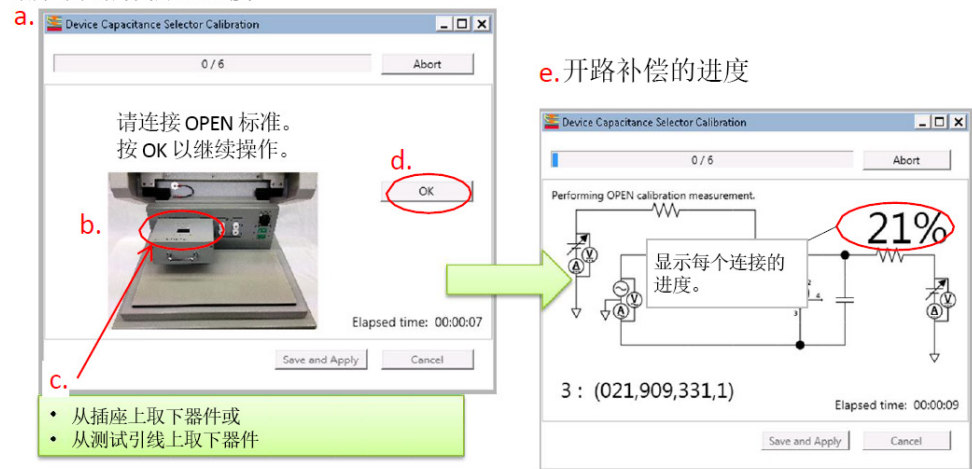
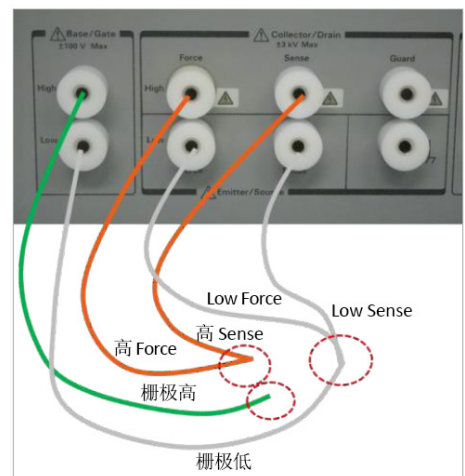


图 4-25 开路补偿的连接示例。

(b1.) 插座模块（开路）



(b2.) 测试引线连接（开路）



- ✓ 短路补偿：（请参考图 4-26）
  - a. 完成开路补偿测量后，会打开一个用于确认测量短路补偿数据连接的弹出窗口。
  - b. 将短路器件插入插座（图 4-27(b1)）或连接所有电缆的两端（图 4-27(b2)）。
  - c. 单击 OK 开始测量。
  - d. 测量过程中，界面会显示总测量进度和当前测量的连接图。

图 4-26 短路补偿 GUI。

确认开路补偿的连接

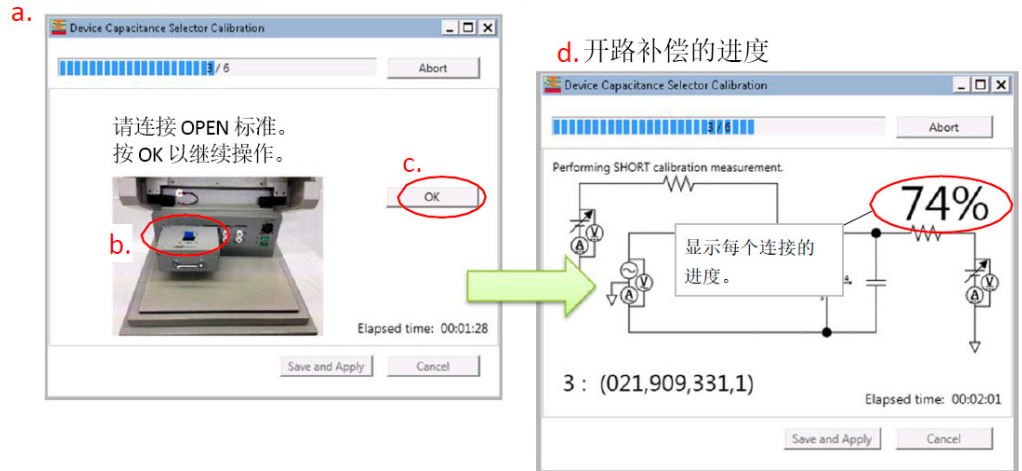
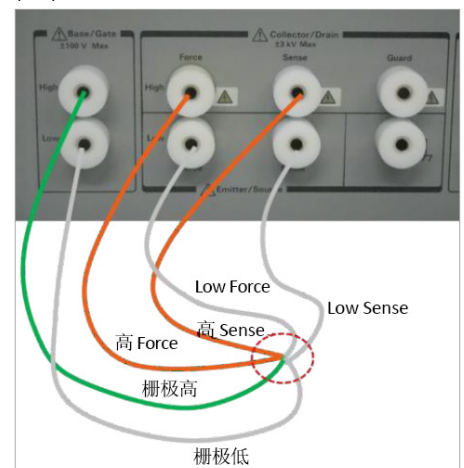


图 4-27 短路补偿的连接示例。

(b1.) 插座模块（开路）

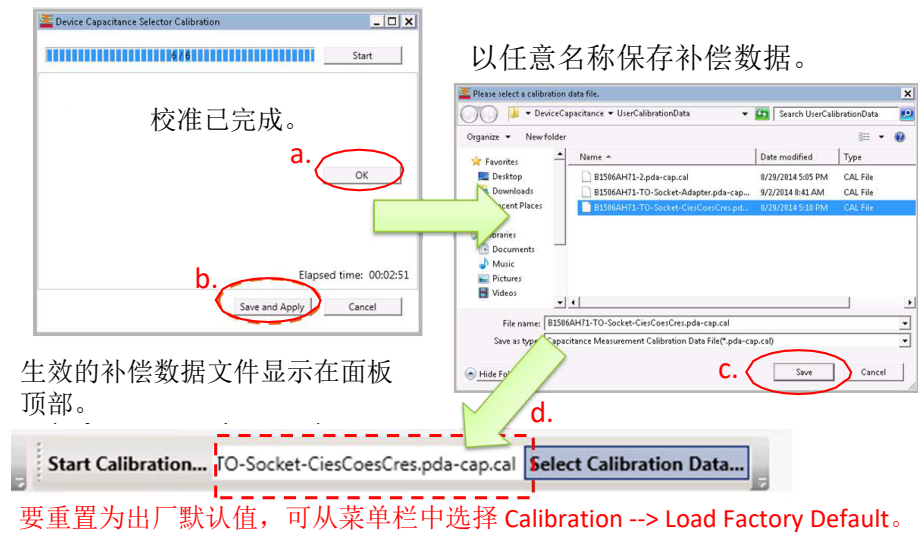


(b2.) 测试引线连接（开路）



- ✓ 保存并应用补偿数据：（请参考图 4-28）
  - a. 完成短路补偿测量后，单击 OK。
  - b. 单击 Save and Apply 按钮使测得的补偿生效。
  - c. 以任意名称保存补偿数据。
  - d. 生效的补偿数据文件显示在功能区菜单中。

图 4-28 保存和调用补偿数据。



提示：

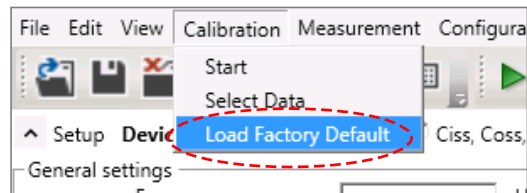
如何使用现有的补偿数据

- ✓ 可以通过加载为每个适配器或连接测量的补偿数据文件来切换补偿数据。
- ✓ 保存的数据显示在电容测量模式面板的功能区菜单中。（请参考图 4-28(d)。）

提示：

如何重置为出厂默认设置

- ✓ 要将补偿数据重置为出厂默认值，可选择 Calibration--> Load Factory Default



## 漏极/集电极开路或带电压偏置下的 $R_g$ 测量

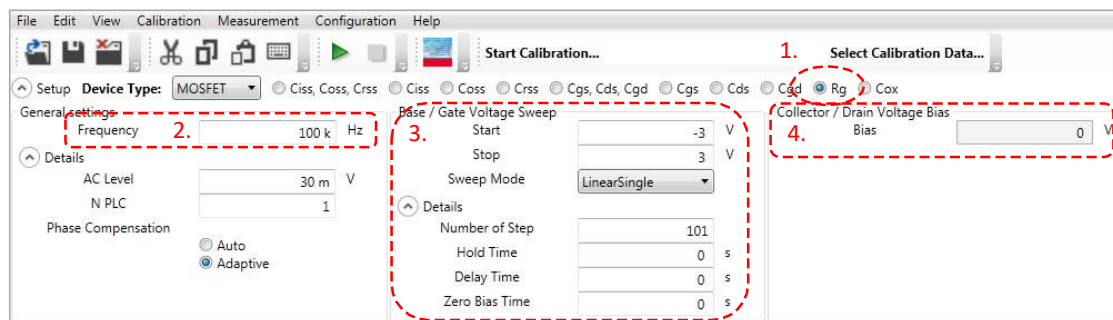
此部分提供实现  $R_g$  测量所需的漏极/集电极开路或电压偏置的信息。

如何手动更改  $R_g$  测量条件：

图 4-29 显示  $R_g$  测量预设设置面板。下述步骤介绍了重要的设置参数。请参考图中所示的相应编号。

1. 单击  $R_g$  参数测量。
2. 可以更改测量频率。  
对于  $Cr_{ss}$  测量，测量频率为 100 kHz 时，测量精度通常更高。
3. 可以在此部分设置栅极电压。
4. 在默认的  $R_g$  测量设置中，无法施加集电极/漏极电压。

图 4-29  $R_g$  测量设置详细信息。



以下部分介绍如何施加偏置电压或设为开路状态。

如何更改连接：

5. 单击 **Connections** 选项卡。  
随即会显示当前连接的简化框图。
6. 选中 **Details**。
7. 单击向下箭头打开连接框图下的连接设置面板，如图 4-31 所示。

图 4-30 打开电容测量的详细设置。

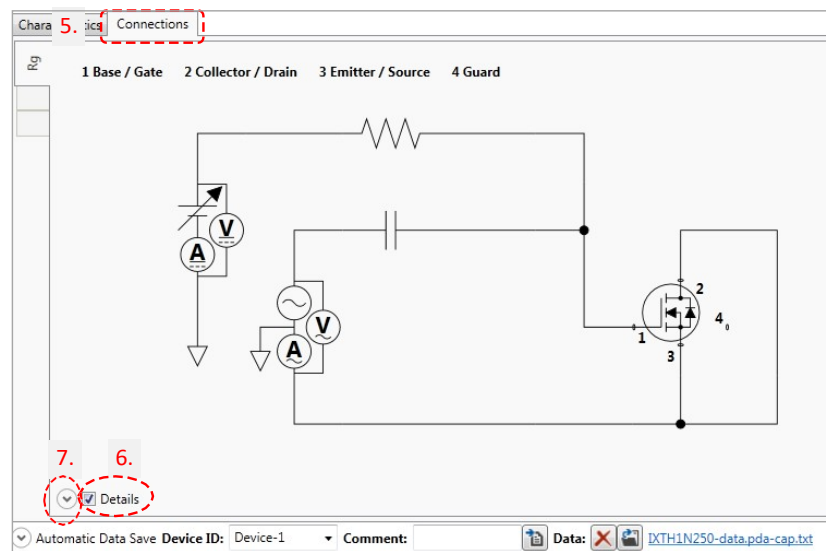
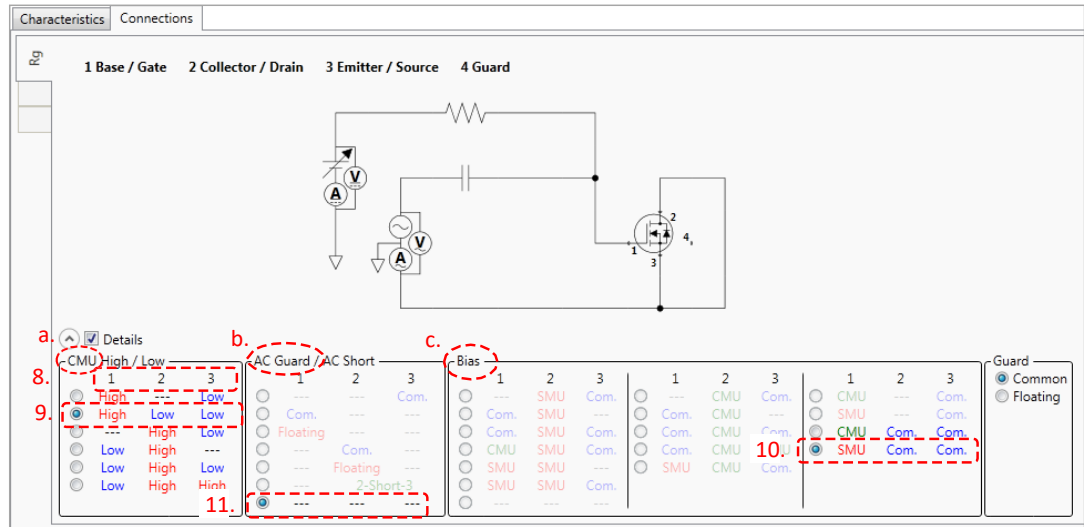


图 4-31 显示 MOSFET 的 Rg 测量的默认连接设置。

- a. 此框设置 CMU 连接。
- b. 此部分设置交流保护连接。
- c. 此部分定义哪些偏置电压施加于每个器件端子。
8. 此行中每一列的 1、2 和 3 编号表示在同一图中显示的器件端子的相应引脚编号。
9. 这意味着 CMU 高侧端子连接到了栅极，而漏极和源极都连接到了 CMU 低侧端子。
10. 此框表示栅极端子偏置电压施加自 SMU，而其他器件端子的偏置电压设为公用电平。
11. 交流保护未连接到任何器件端子。

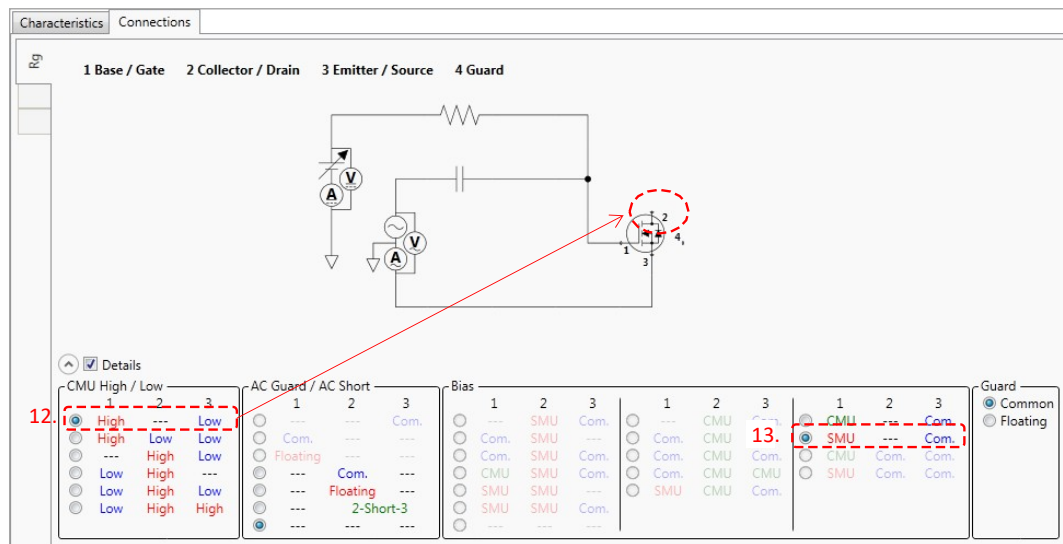
图 4-31 MOSFET 的默认 Rg 测量设置详细信息。



要使漏极/集电极端子开路，请执行以下操作：（请参考下述步骤）

12. 如图所示更改 CMU 连接。断开漏极和源极之间的短接。
13. 栅极偏置电压施加自 SMU。

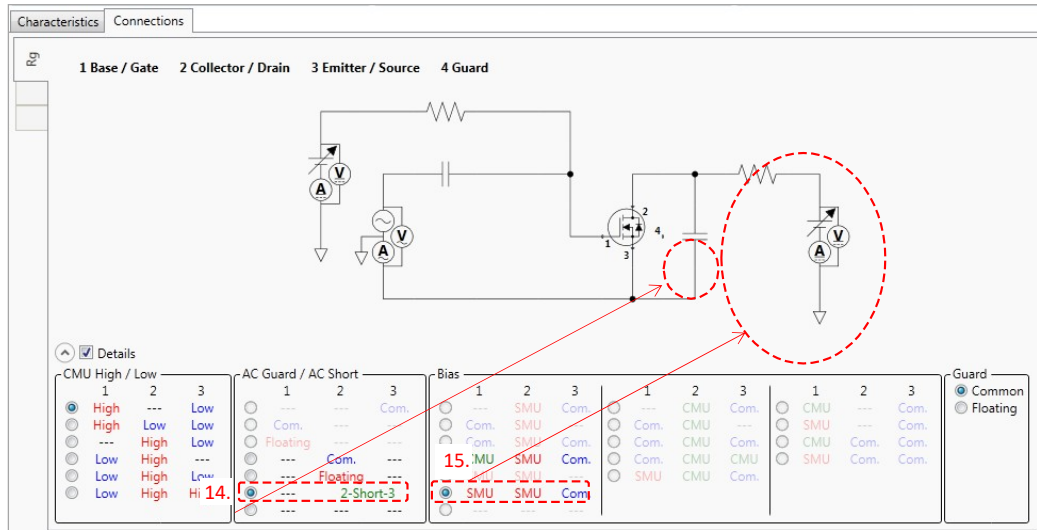
图 4-32 使集电极/漏极端子开路以进行 Rg 测量。



要对漏极/集电极端子施加偏置电压，请执行以下操作：（请参考图 4-33 执行下述步骤。）

14. 单击 AC Short 设置将引脚 2 和引脚 3 短路。  
连接框图变为在交流测量频率下通过电容器将漏极和源极短路。此更改也会更新 Bias 设置框中提供的偏置设置。
15. 单击 SMU SMU Com 设置。此设置会同时对栅极和漏极/源极施加来自 SMU 的偏置电压，如图中所示。

图 4-33 在 R<sub>g</sub> 测量中向集电极/漏极端子施加偏置电压的设置



## 通过自校准提高 Vgs 精度

Vgs 通过 100 kΩ 电阻器施加，此电阻器的压降使用连接到 100 kΩ 电阻器另一端的 MPSMU 测量的电流进行补偿。

因为 MPSMU 中存在一定量的偏移电流，该偏移电流和 100 kΩ 电阻器产生的压降不可忽略。

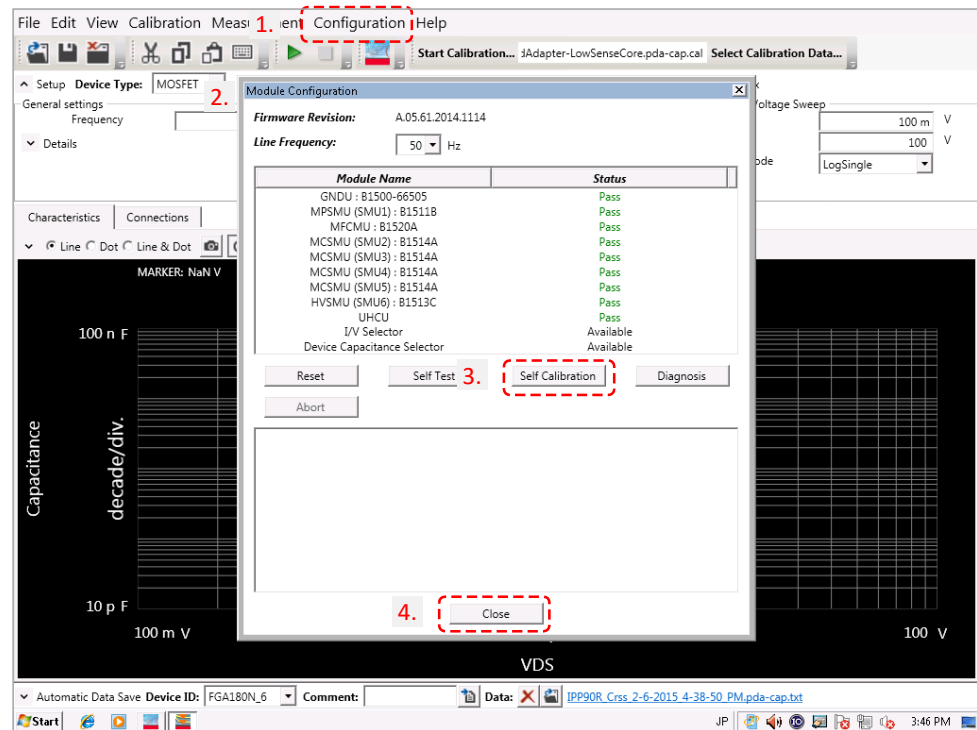
通过执行自校准，可以消除由 MPSMU 的偏移电流引起的误差。

如何执行自校准：

按图中所示的相应编号执行以下步骤。

1. 单击 Configuration。
2. 随即打开 Module Configuration 面板。
3. 单击 Self Calibration。  
系统会对 MPSMU 进行校准。
4. 完成校准后，单击 Close。

图 4-34 MCSMU 自校准。





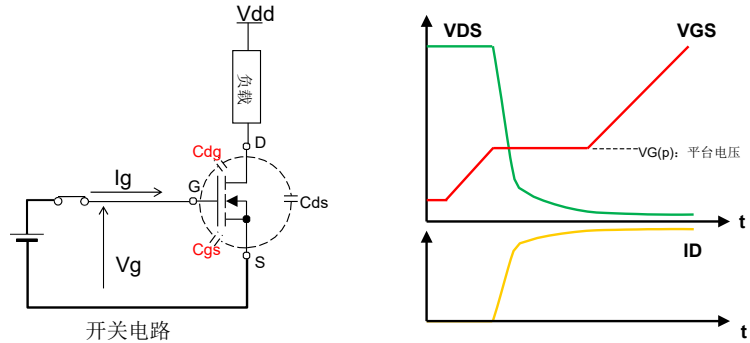
# 5. 栅极电荷测量

概述.....	262
测量准备.....	264
如何打开栅极电荷测量模式.....	264
栅极电荷测量适配器.....	264
使用 B1506A-F14 Qg 测量适配器.....	265
栅极电荷测量示例.....	267
1. 使用恒流负载的 Qg 测量.....	267
1-1. IGBT: FGA180N33ATD Qg 测量.....	267
1-2. 更改测量条件.....	273
1-3. 测量超结 MOSFET.....	277
1-4. 碳化硅 MOSFET 测量.....	280
1-5. VGS 从反向偏置摆动到正向偏置.....	281
2. 使用阻性负载的 Qg 测量.....	283
IGBT 模块（单体）测量示例.....	283
关于使用 Qg 测量模式的有用信息.....	292
栅极电荷测量校准.....	292
开始校准.....	292
TO 封装器件校准.....	294
模块器件校准.....	297
栅极电荷测量设置的简要介绍.....	300

## 概述

栅极电荷 ( $Q_g$ ) 是指在特定器件操作条件下驱动开关器件的栅极端子从栅极关断电压到栅极导通电压的电荷。图 5-1 显示当恒定栅极电流  $I_g$  注入栅极端子时，栅极电压 ( $V_g$  或  $V_{GS}$ )、漏极电压 ( $V_{DS}$ ) 和漏极电流 ( $I_D$ ) 的典型波形。

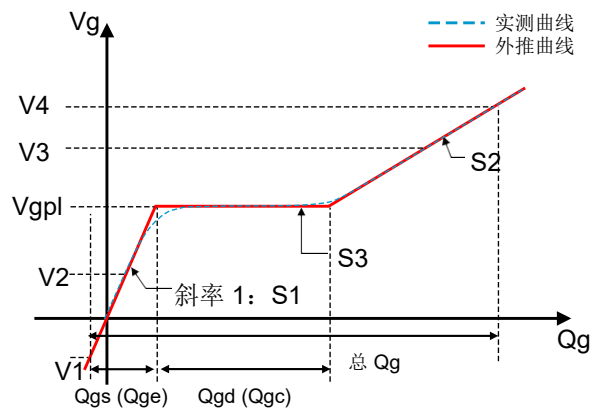
图 5-1 基本栅极电荷测量图和波形。



由于通过  $C_{dg}$  电容的镜像效应， $V_{GS}$  曲线在扫描的中间显示一个平坦部分，在此处漏极电压从关断状态变为导通状态。平坦部分中的栅极电压就是所谓的栅极平台电压。 $V_g$ - $Q_g$  曲线用作器件数据表中的栅极电荷特性。

$V_g$ - $Q_g$  曲线主要由三部分组成。图 5-2 显示基于 JEDEC 标准 (JESD 24-2) 的  $V_g$ - $Q_g$  曲线的定义。

图 5-2 JEDEC 标准 24-2 的  $Q_g$  参数定义。

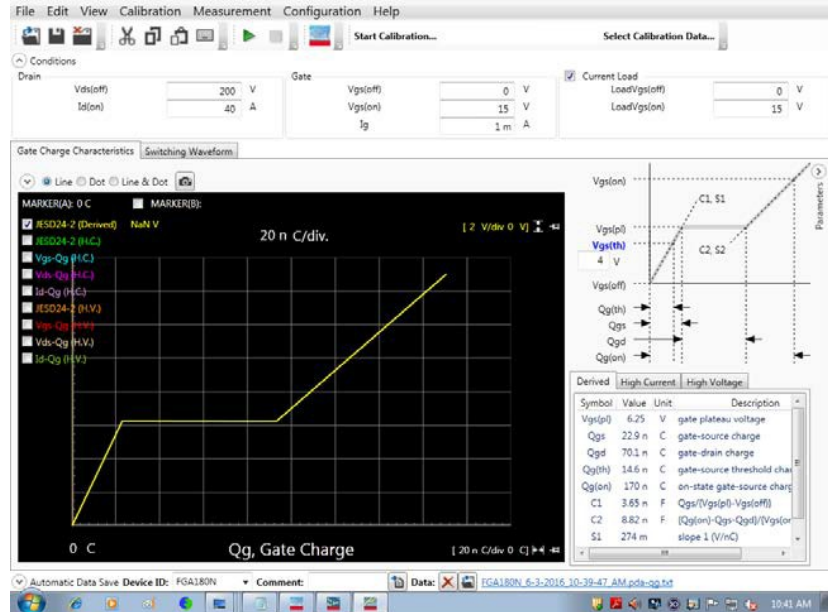


- S1: 由关断状态的  $C_{gs}$  决定
- S2: 由导通状态的  $C_{iss}$  决定
- S3: 由从关断状态到导通状态的瞬态期间的镜像电容 ( $C_{gd}$ ) 决定。
- $V_{gpl}$ : 栅极平台电压。使漏极电流达到指定值的栅极电压。 $I_d$  越高  $\rightarrow V_{gpl}$  越高

图 5-3 显示栅极电荷测量设置模板示例。此 GUI 后面有几个测试设置面板。

有关设置的更多详细信息，请参考本章末尾标题为“关于使用 Qg 测量的有用信息”部分中的“栅极电荷测量设置的简要介绍”。

图 5-3 栅极电荷测量模板的示例。



## 测量准备

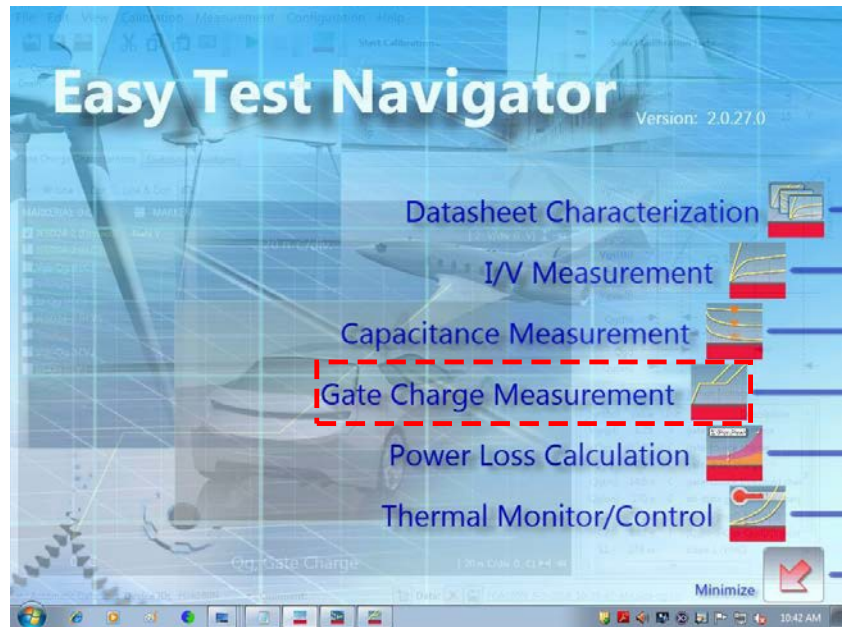
此部分提供准备栅极电荷测量的信息。

### 如何打开栅极电荷测量模式

可以从 Easy Test Navigator 启动栅极电荷测量模式，如图 5-4 所示。

- ✓ 单击 Gate Charge Measurement 启动该模板。
- ✓ 随即会打开图 5-3 所示的栅极电荷测量模板。

图 5-4 从 Easy Test Navigator 启动栅极电荷测量模式。



### 栅极电荷测量适配器

为测量栅极电荷，使用 B1506A-F14 Qg 测量适配器。它既支持恒流负载法，也支持阻性负载法。此外，除了标准的 3 针直插式封装器件外，它还具有一个开关来测量 IGBT 模块等模块类型器件的 Qg。

### 使用 B1506A-F14 Qg 测量适配器

使用图 5-5 所示的 Qg 适配器，可以直接测量 TO-220 封装的器件。

#### 1. 如何将 Qg 适配器安装到 B1506A:

图 5-6 展示如何将 Qg 测量适配器连接到 B1506A 测试夹具的输出端。

- ✓ 通过将测试针脚连接到 B1506A 测试夹具的最左侧来安装 Qg 适配器。

图 5-5 栅极电荷测量适配器。

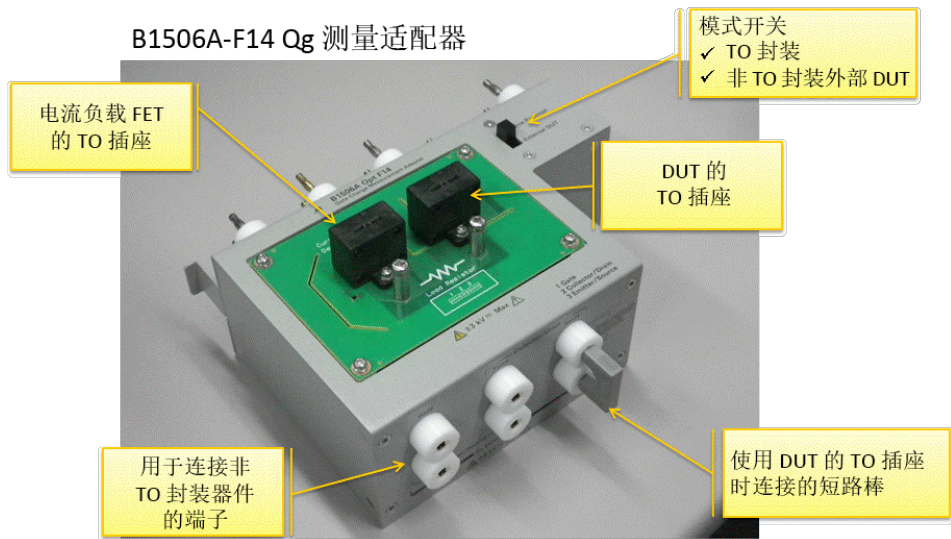


图 5-6 将 Qg 适配器连接到 B1506A 测试夹具。

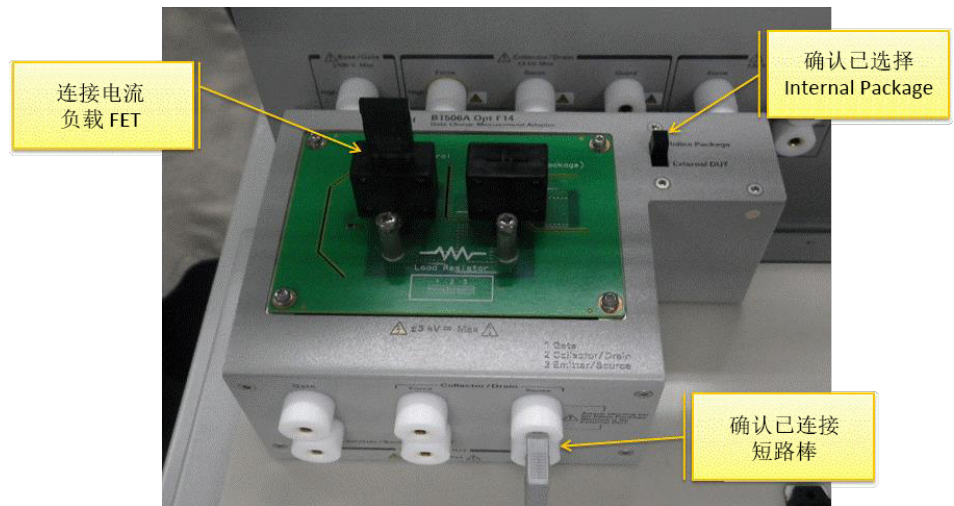


2. 如何设置恒流源 FET/IGBT:

图 5-7 显示 Qg 适配器的电流负载 FET/IGBT 设置。

- ✓ 将用作恒流源的功率 MOSFET 或 IGBT 插入位于适配器左侧的插座上。
- ✓ 确认开关处于 Internal Package 位置，并且短路棒连接到适配器表面的集电极 Sense 端子。

图 5-7 左侧插座中的恒流负载 FET/IGBT，并确认开关位置和短路棒



注意:

如何选择恒流负载 FET/IGBT

请参考“数据表表征”一章最后一部分的“栅极电荷测量”。

## 栅极电荷测量示例

以下示例测量演示栅极电荷测量模式。

1. 使用恒流负载的 Qg 测量
2. 使用阻性负载的 Qg 测量

### 1. 使用恒流负载的 Qg 测量

#### 1-1. IGBT: FGA180N33ATD Qg 测量

在本示例中，测试器件以 IGBT FGA180N33ATD 为例。

该器件具有以下基本特性。

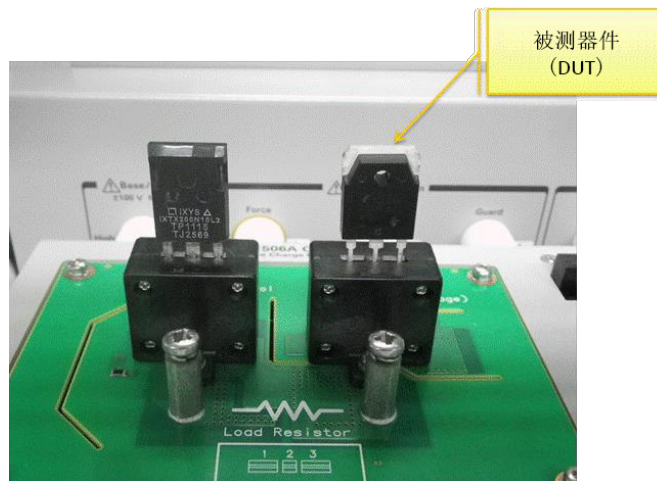
- ✓ DUT: FGA180N33ATD
- ✓ VCES: 330V
- ✓ IC: 最大 180 A (直流)
- ✓ QG @ Vce = 200 V、Ic = 40 A、Vge = 15 V
  - Qg: 169 nC 典型值
  - Qge: 22 nC 典型值
  - Qgc: 69 nC 典型值
- ✓ 如图 5-8 所示，将测试器件插入测试夹具的右侧插座中。



FGA180N33ATD  
IGBT

图 5-8

在 Qg 适配器上安装的 FGA180N33ATD。



- ✓ 打开 Qg 测量模式  
根据数据表中描述的 Qg 特性输入测量参数。  
请参考图 5-9 中的相应编号，执行后续步骤。

注意：

栅极电荷测量的参数名称映射

电荷测量模式模板中的器件参数名称专为 MOSFET 而设计。对于 IGBT，在参数名称中使用以下转换。

1. Vds(off) = Vce(off): 200 V
2. Id(on) = Ic(on): 40 A
3. Vgs(off) = Vge(off): 0 V
4. Vgs(on) = Vge(on): 15 V
5. 在 Qg 曲线的定义区域中，将来自 VGE(th) (VGS(th) 用于 MOSFET) 的 Vth 输入到 Vgs(th)。
6. 栅极电流 (I<sub>g</sub>) 通常并不从数据表中获取。B1506A 中使用的 I<sub>g</sub> 参数由以下步骤确定。

I<sub>g</sub> 确定：

使用以下公式计算驱动栅极所需的电荷 (R<sub>q</sub>):

$$R_q = (Q_g \text{ (来自数据表)}) / V_{GE} \text{ (测试条件)} + 1.6 \text{ nF} \times ((V_{GE} \text{ (测试条件)} + 3.5) \times (1.5 \sim 2))$$

使用示例参数，R<sub>q</sub> 可以计算为：

$$\begin{aligned} R_q &= (169 \text{ nC}) / 15 \text{ (V)} + 1.6 \text{ (nF)} \times (15 \text{ (V)} + 3.5) \times (1.5 \sim 2)^* \\ &= 238 \times (1.5 \sim 2) \text{ nC} \\ &= 357 \sim 476 \text{ nC.} \end{aligned}$$

注意：

该电荷必须在 MCSMU 的一个栅极脉冲宽度周期内强制施加至栅极。

\*：乘以系数 (1.5 ~ 2) 是为了补偿 MCSMU 的实际电流。短时瞬态期间的 MCSMU 电流通常低于设定值，建议增加该系数。

a) 最小 I<sub>g</sub> 计算：

计算在脉冲的默认 400 μs “导通时间”内为 R<sub>q</sub> 充电所需的最小 I<sub>g</sub>。

- 最小 I<sub>g</sub> = R<sub>q</sub> / 400 μs

使用在上一步中获得的所需电荷，最小 I<sub>g</sub> 设置计算如下，

- 最小 I<sub>g</sub> = (357 ~ 476) nC / 400 μs = 0.89 mA ~ 1.19 mA

b) 确定  $I_g$ :

使用在上一步中获得的  $I_g$ ，在示例  $Q_g$  测量中使用 1 mA（这更接近 MCSMU 电流范围的满标度）。

请注意，当  $I_g$  设置得更接近 MCSMU 电流范围的满标度时，可以强制施加更接近设定值的  $I_g$ 。MCSMU 的电流范围为 10  $\mu$ A、100  $\mu$ A、1 mA、10 mA、100 mA 和 1A。

注意:

漏极脉冲宽度设置

漏极脉冲宽度在 Switching Waveform 选项卡 -> High Current 面板中设置，如图 5-10 所示。

最大漏极脉冲宽度受以下参数限制:

- $Q_g$  测量导通电流
- UHCU 的输出电压
- 电流负载 FET/IGBT 的 SOA

图 5-9

FDGA180N33ATD  $Q_g$  测量的测量参数设置。

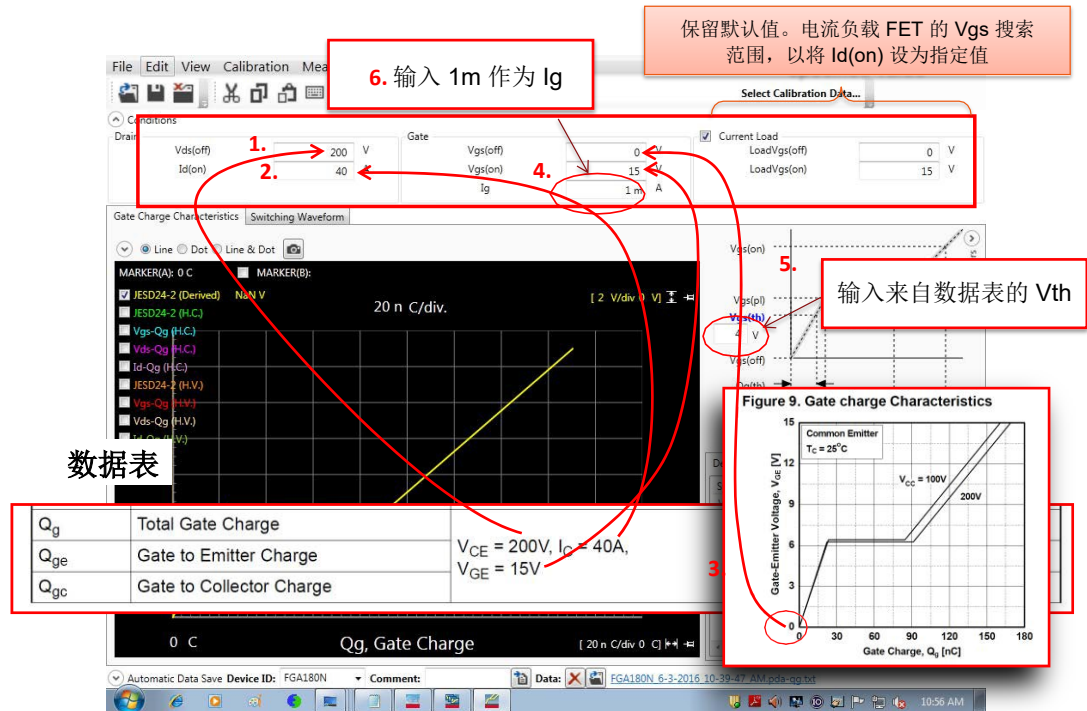
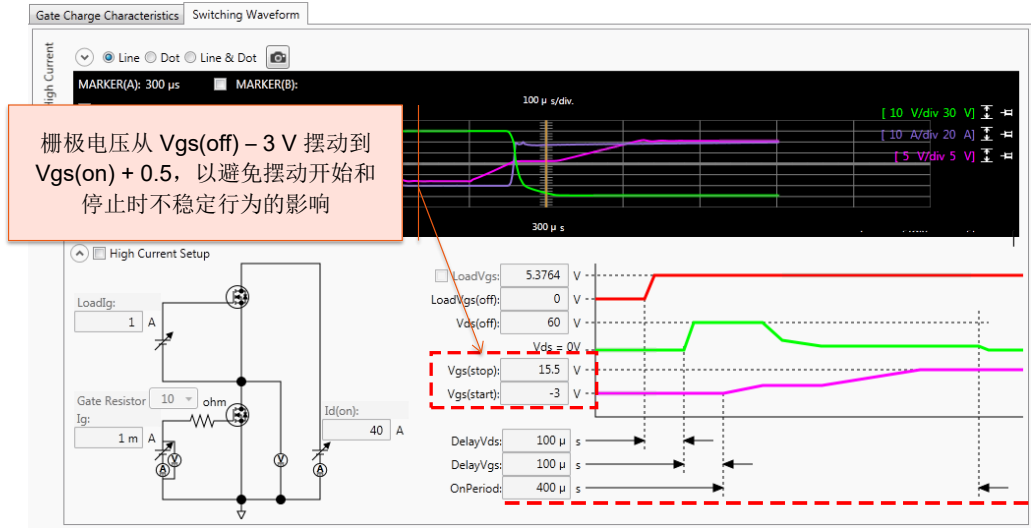


图 5-9. FDGA180N33ATD  $Q_g$  测量的测量参数设置。

图 5-10 UHCU 的 Qg 测量脉冲宽度设置面板。

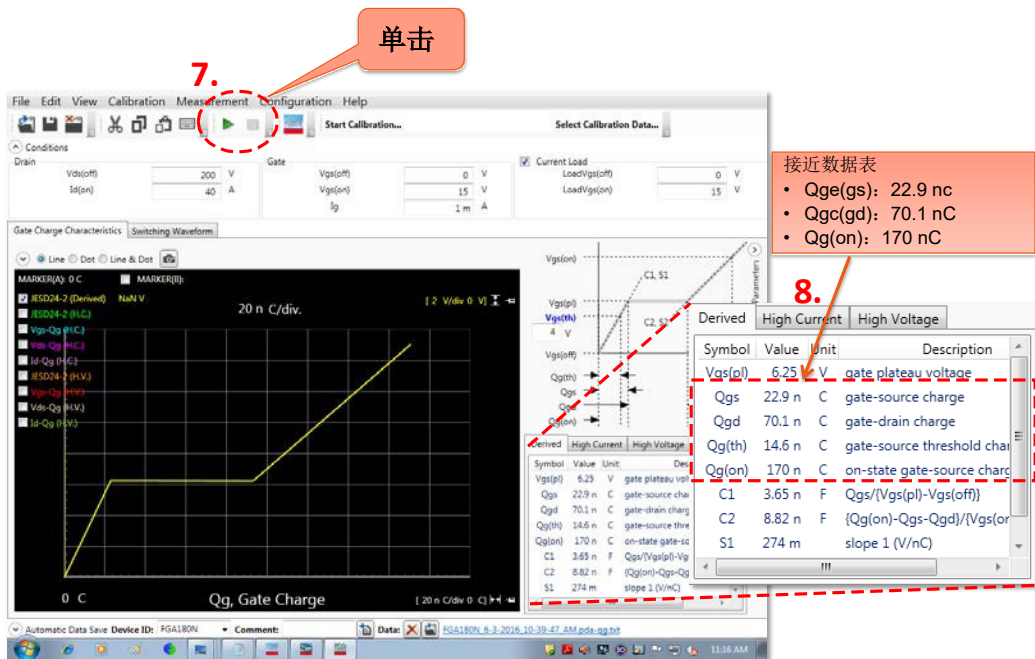


Qg 在此导通时间内测量

最大值 1 ms - DelayVgs (500 μs - 超过 500 A 时的 DelayVgs)

7. 确定栅极电流后，单击 Measure 按钮，即会显示 Qg 曲线。（请参考图 5-11。）
8. 自动提取基于 JEDEC 24-2 的 Qg 参数。

图 5-11 Qg 测量和结果。



提示:

如何检查未知器件

如果器件的  $Q_g$  未知, 可以使用点显示模式检查栅极电流是否合适。

如何以点显示模式显示:

首先, 通过选中  $V_{gs}-Q_g(H.C)$  和  $V_{gs}-Q_g(H.V.)$ , 显示高电流单元和 HVSMU 测得的  $Q_g$  曲线。然后, 将显示模式更改为 **Dot**。(请参考图 5-12。)

- ✓ 如果每个测量点的间隔足够小(曲线看起来很密集), 则使用的  $I_g$  也足够小。
- ✓ 如果曲线比较粗糙, 则说明使用的  $I_g$  太大, 需要使用较小的  $I_g$  来测量器件。
- ✓ 如果  $I_g$  太小, 则栅极电压达不到  $V_{GS(on)}$ , 并会弹出一个错误, 提示使用的  $I_g$  不够大, 如图 5-13 所示。  
查看波形时, 测得的  $V_{gs}$  未达到此设置下的指定  $V_{gs}$ 。

图 5-12  $Q_g$  曲线的点模式显示。

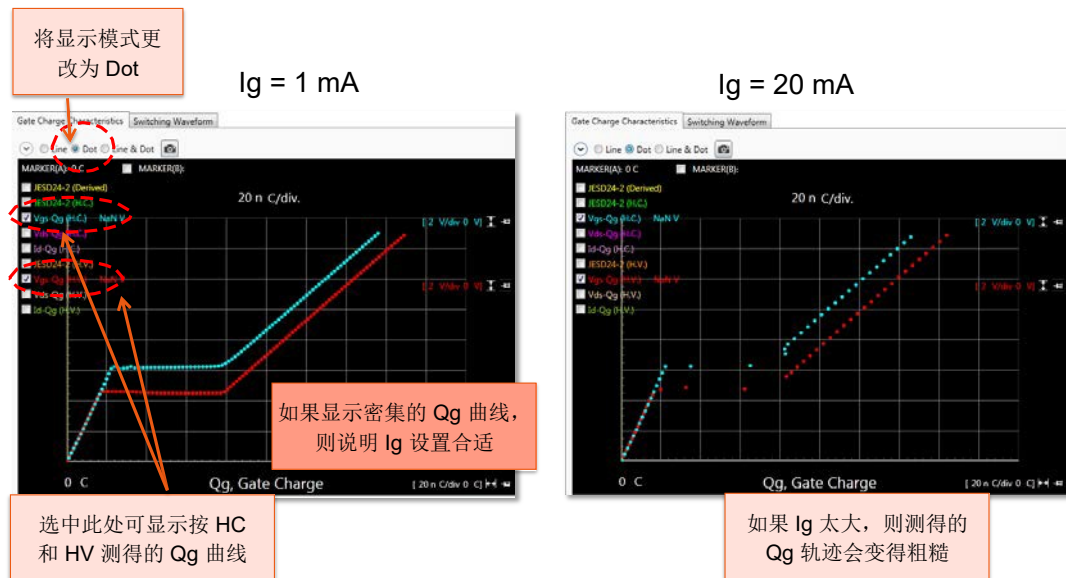
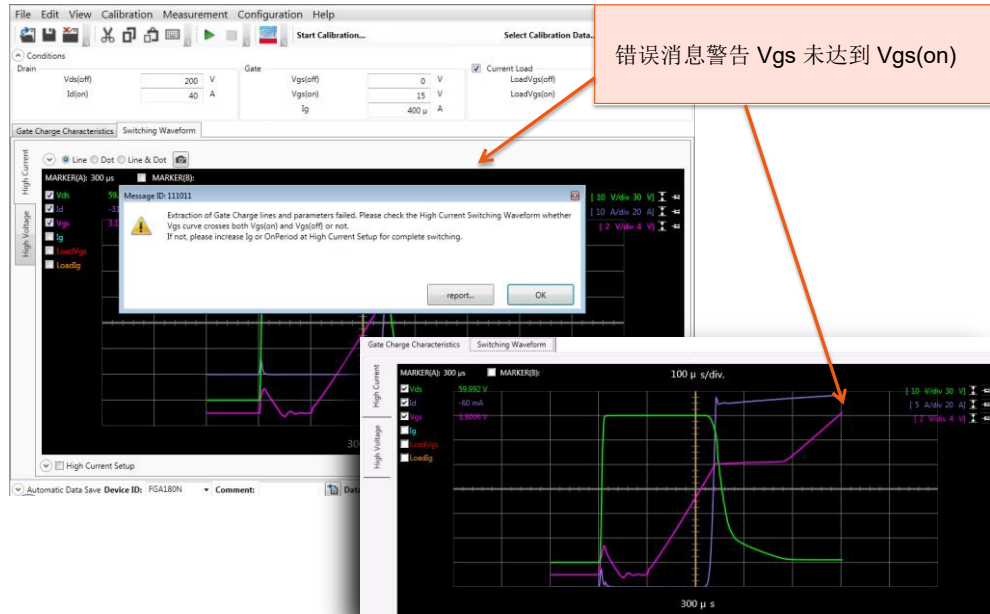


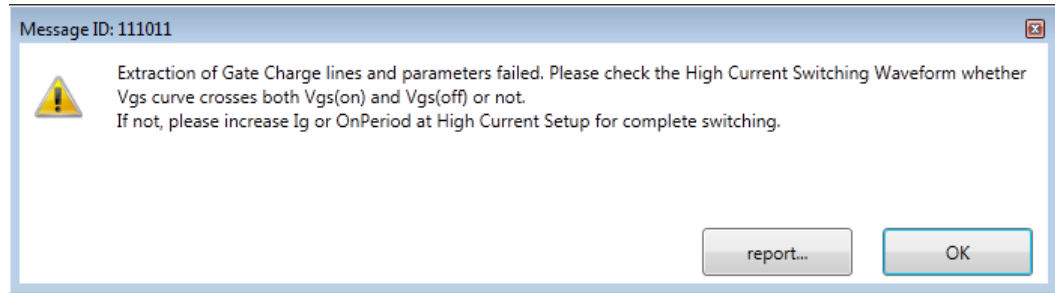
图 5-13  $I_g$  过小出现的错误

(a)  $I_g$  过小时的错误信息和开关波形

$I_g = 400 \mu A$



(b) 错误消息详细信息



### 1-2. 更改测量条件

在现有的 Qg 测量解决方案中，如果在不同的导通电流下测量 Qg，则需要更改负载电阻。

在 B1506A 中，只需更改 Qg 测量面板中的输入参数即可在不同的漏极电流下测量。

此部分介绍如何轻松更改导通电流。

#### 更改导通电流

请参考图 5-14 中的相应编号，按照下述步骤操作。

1. 单击 Camera 图标以捕获电流轨迹作为参考。
2. 将 Id(on) 从 40 A 更改为 100 A。
3. 单击 Measure 按钮，新测得的 100 A 导通电流 Qg 曲线会叠加到 40 A Qg 曲线上，如图 5-15 所示。

图 5-14

Id 从 40 A 更改为 100 A。

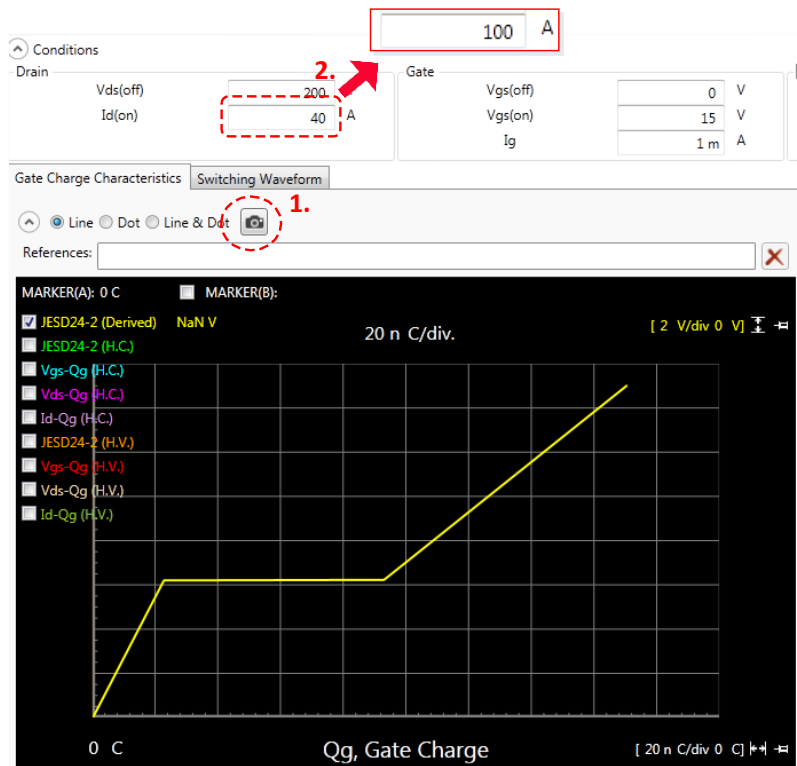
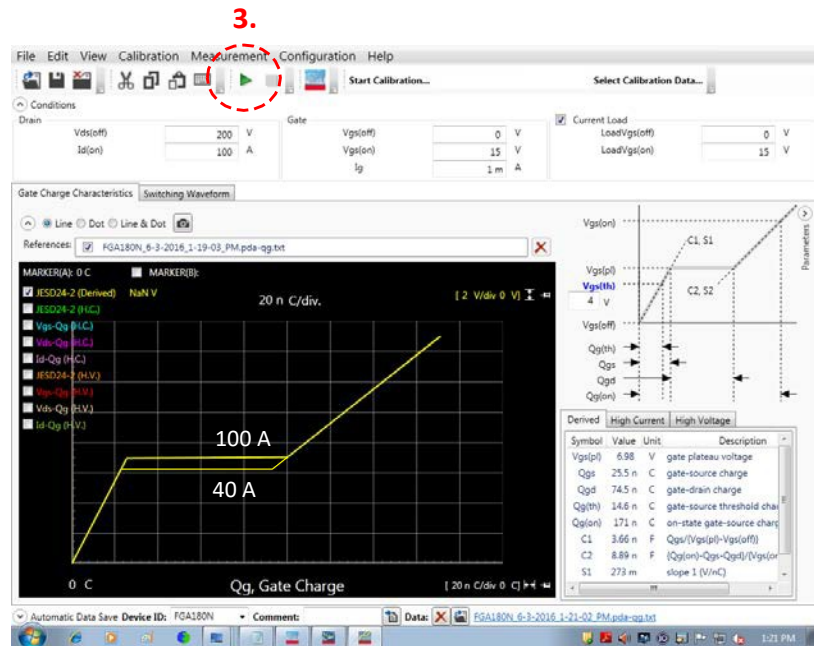


图 5-15  $I_d = 100\text{ A}$  时的  $Q_g$  曲线叠加在  $I_d = 40\text{ A}$   $Q_g$  曲线上。



提示:

电流负载 FET 的电流调整

在测量  $Q_g$  曲线之前，驱动电流负载 FET 的栅极电压会自动调整。

图 5-16 显示  $Q_g$  测量期间的详细测量设置。

注意:

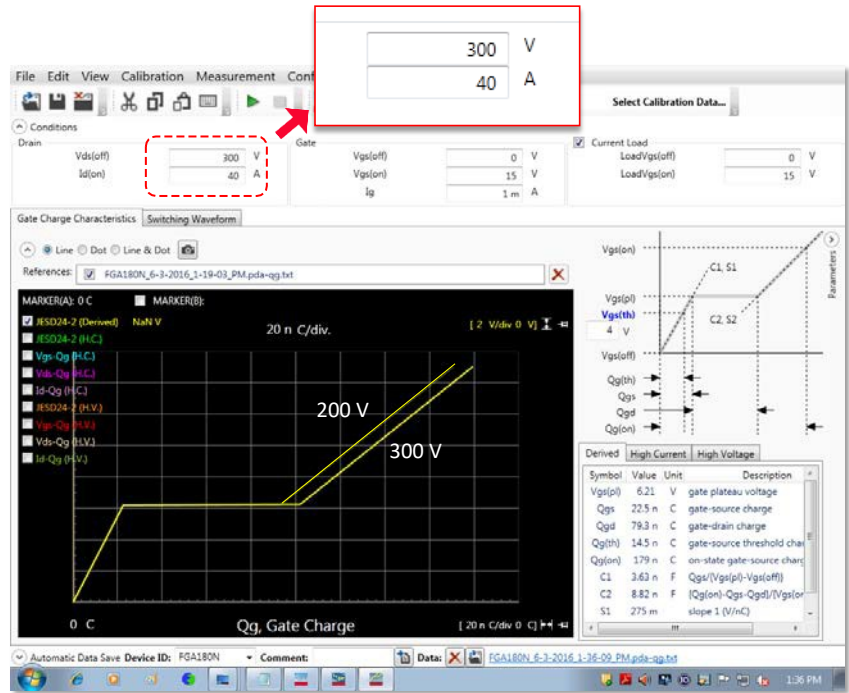
要查看详细设置，请执行以下操作：

1. 选择 Switching Waveform 选项卡，
2. 选择 High Current 选项卡，
3. 单击向下箭头按钮。

在本例中，电流负载 FET 的栅极电压约为  $5.38\text{ V}$ （对于  $40\text{ A}$  测量）， $6.0\text{ V}$ （对于  $100\text{ A}$  测量）。



图 5-17 关断电压变化及结果。



### 1-3. 测量超结 MOSFET

超结 MOSFET 是新一代功率 MOSFET，与 HV MOSFET 相比具有更高的额定电压和更低的导通电流特性。此外，超结 FET 具有更小的 FOM ( $R_{ds(on)} \times C_{rss}$ )。

示例中使用的器件：

示例中使用了以下器件。

- ✓ Infineon: IPW50R109CE
- ✓ VDSS: 550 V
- ✓ IDM (脉冲): 63 A
- ✓  $R_{ds(on)}$ : 0.17  $\Omega$

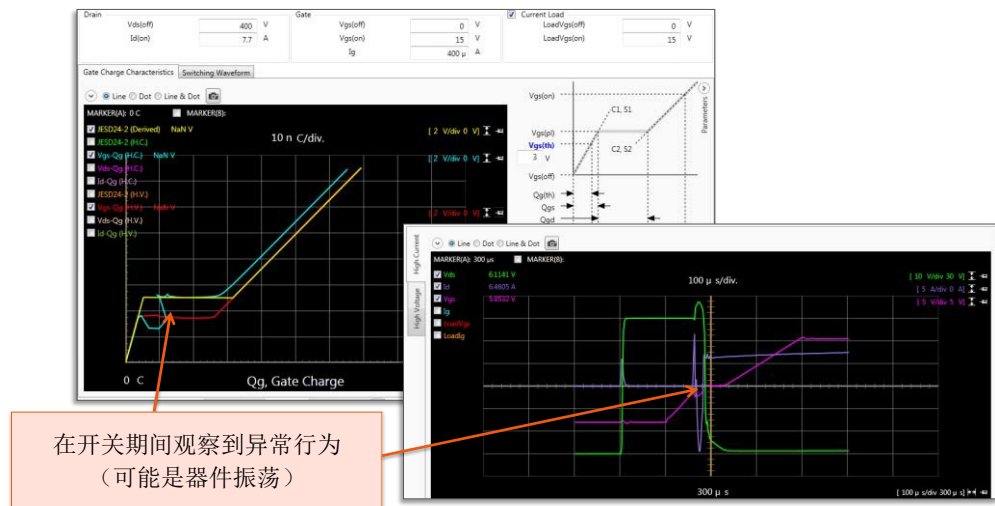
#### 切换特性

符号	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
Qgs	Gate to source charge	VDD = 400V, ID = 7.7 A, VDS = 0 to 10V	-	6.1	-	nC
Qgd	Gate to Drain charge		-	24.5	-	nC
Qg	Gate charge total		-	47.2	-	nC

使用默认设置的 Qg 示例：

使用默认设置测量的超结 MOSFET 的 Qg 测量示例如图 5-18 所示。使用默认设置时，会观察到 Qg 曲线的异常失真。观察波形时，开关周期一定有振荡。

图 5-18 使用默认设置的超结 FET 的 Qg 示例。



为了稳定振荡并使其稳定，可以降低高电流 (HC) 部分的  $V_{ds(off)}$ 。在本例中，由于  $I_{d(on)}$  仅为 7.7 A，因此在使用 UHCU 的 500 A 范围时，20 V 的  $V_{ds(off)}$  就足够了

通常，HC Qg 测量部分使用的 Vds(off) 自动设置为测量单元的最大电压。例如，使用 UHCU 时设置为 60 V。如果 Vds(off) 低于 60 V，则使用指定的值。

UHCU 的输出在器件导通状态下可达 500 A，在 Vds(off) 条件下可达 60 V。但是，与用于测量器件 Qg 的 Id(on) 相比，最大输出功率非常大，并且大部分功率（大致 = Id(on) x 60 V）消耗在电流负载 FET 中。

在这种工作条件下，降低关断状态电压是有用的。降低 Vds(off) 可解决以下两个与默认设置相关的问题。

- ✓ 电流负载 FET 在严苛条件下运行（约 50 V Vds 的高功率负载）。
- ✓ 较低的 Vds(off) 降低了 dV/dt 瞬变，并可确保稳定运行。

要更改关断状态电压，请执行以下操作：

可以在详细设置面板中更改关断状态电压。请参考图 5-19 打开详细设置面板。

请参考图 5-20 中的编号，按照下述步骤更改关断状态电压。

1. 单击以激活详细设置。否则，参数会自动从测量设置的值中填充。
2. 使 Vds(off) 足够低以停止振荡。对于 7.7 A，使用 H51 或 H71 时 20 V 就足够了。

图 5-19 打开详细设置面板。

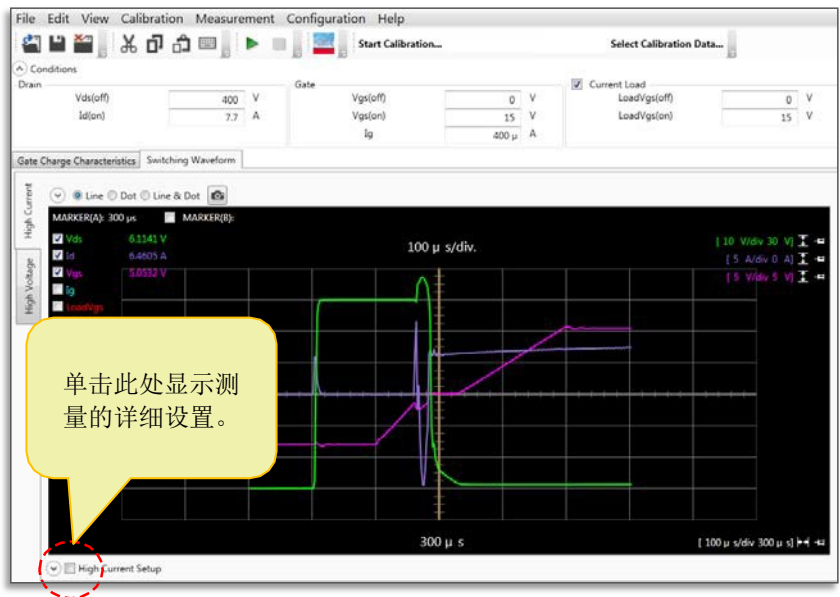


图 5-20 防止器件振荡的详细参数设置。

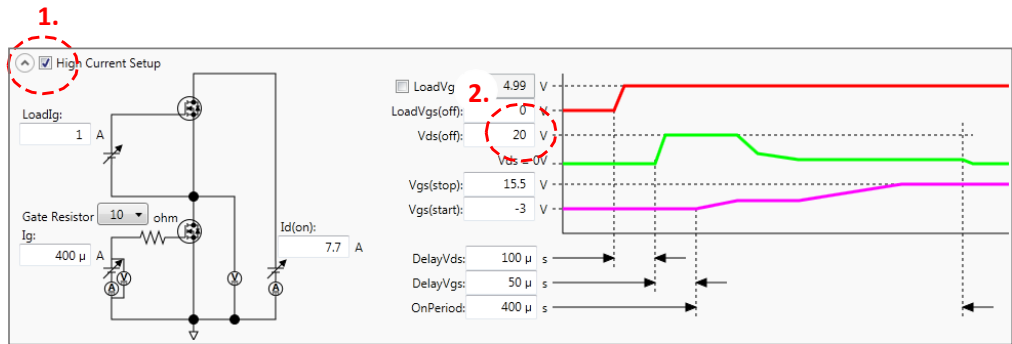
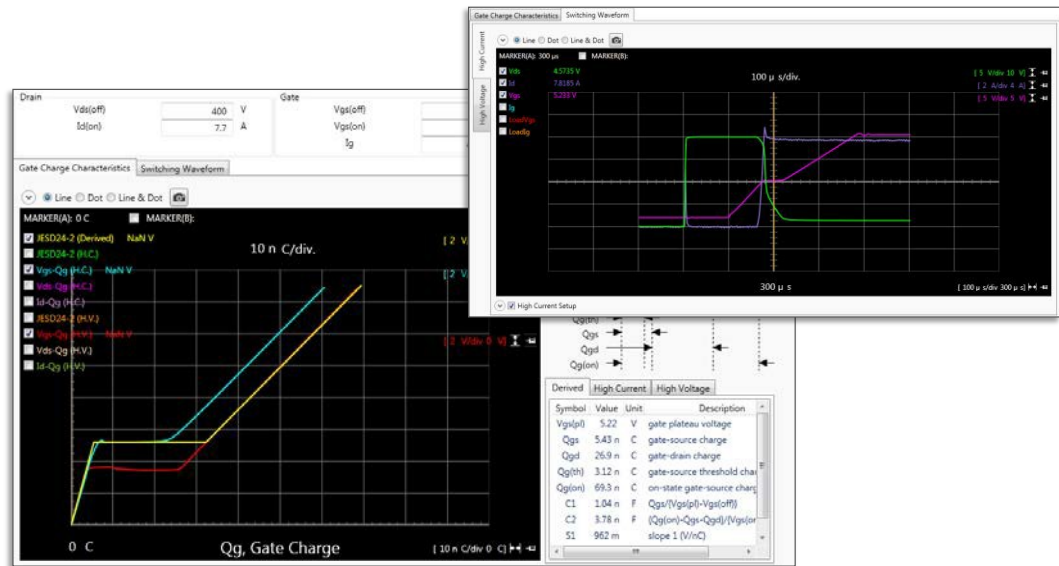


图 5-21 显示在 HC 部分使用 20 V 的  $V_{ds(off)}$  的测量结果， $Q_g$  曲线的异常失真消失。

图 5-21 将  $V_{ds(off)}$  降至 20 V 后超结 FET 的  $Q_g$  示例。



### 1-4. 碳化硅 MOSFET 测量

由于碳化硅在较高的工作温度下具有较高的击穿电压，因此有望成为下一代功率器件的材料。

碳化硅 MOSFET 的  $Q_g$  特性：

碳化硅 MOSFET 的  $Q_g$  特性具有独特的行为。

从几个碳化硅数据表来看，碳化硅 MOSFET 的  $Q_g$  特性没有 JEDEC 标准中定义的明确的平台部分。

目前，由于 B1506A 中实施的  $Q_g$  提取方法对此类特性无效，因此有必要手动扩展测得的  $Q_g$  曲线来估计  $Q_{gd}$ ，如图 5-22 所示。

示例数据如下所示：

器件：CREE CMF20120D

-  $V_{DSS}$ : 1200 V

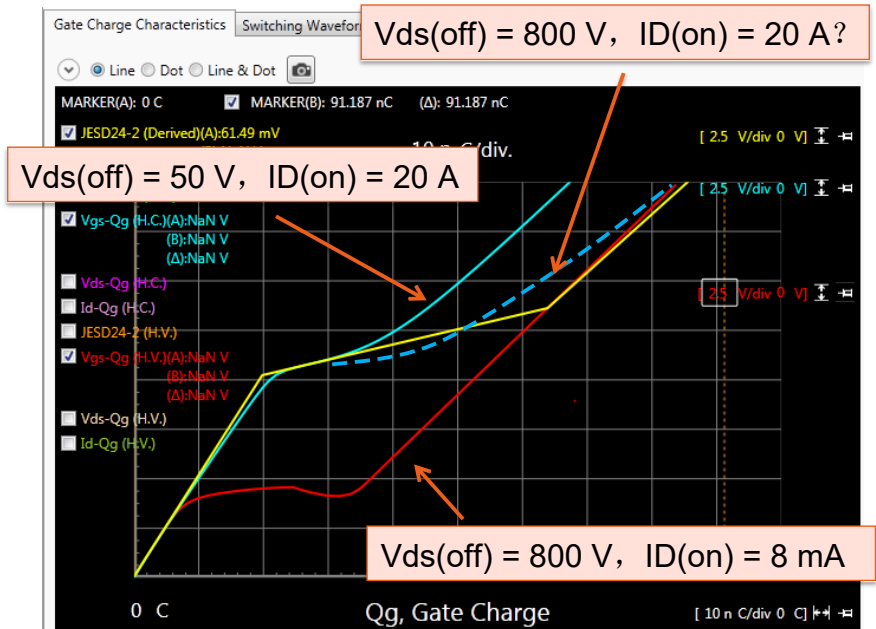
-  $I_{DM}$  (脉冲) : 90 A

-  $R_{DS(on)}$ : 80 m $\Omega$

对比数据表曲线，通过手动操作提取的虚线与数据表中列出的  $Q_g$  相似。

图 5-22

碳化硅  $Q_g$  测量示例。



### 1-5. VGS 从反向偏置摆动到正向偏置

转换器/逆变器的开关器件的栅极从负电压摆动到正电压，以尽快关闭/打开器件。因此，为了估计栅极驱动电路所需的驱动能力，需要测量从负栅极电压到正栅极电压的  $Q_g$ 。

现有  $Q_g$  解决方案存在的问题：

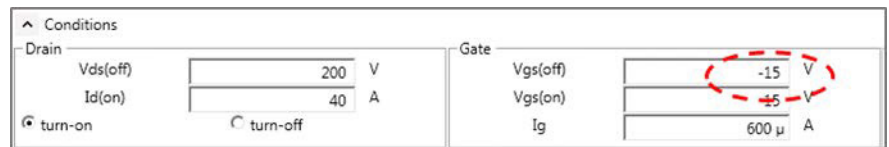
通常情况下， $Q_g$  测试设备不能跨越 0V 来摆动栅极电压。因此，有必要将  $Q_g$  测量分为两部分：一个在负栅极电压范围内，另一个在正栅极电压范围内。

#### B1506A 解决方案：

由于 B1506A 使用在电压强制模式下运行的 MCSMU，具有合规电流设置，因此可以将栅极电压从负电压摆动到正电压。

要从负栅极电压开始  $Q_g$  测量，请将负电压指定为  $V_{gs(off)}$ ，如图 5-23 所示负  $V_{gs(off)}$  设置。

图 5-23

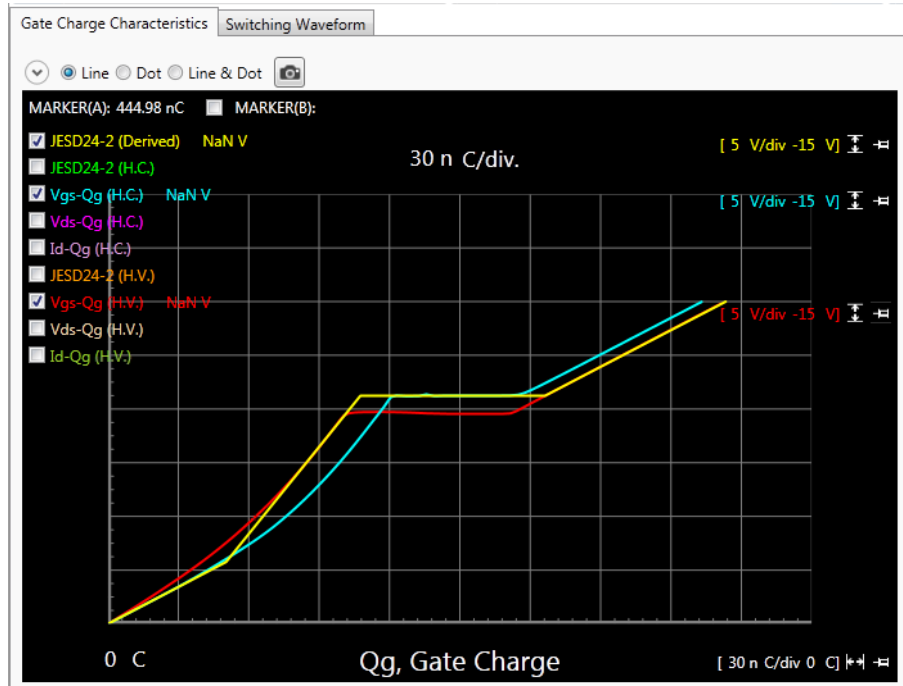


由于 B1506A 的  $Q_g$  测量中使用的基于 JEDEC 24-2 的模型不假设 VGS 摆幅来自  $-V_{GS}$ ，因此外推曲线由器件的物理模型并结合 JESD24-2 的方法获得。

图 5-24 显示高电流 (H.C.)、高电压 (H.V.) 的原始测量数据和推导曲线。

图 5-24

V<sub>gs</sub> 从 -15 V 到 +15 V 的 Q<sub>g</sub> 测量示例。



## 2. 使用阻性负载的 Qg 测量

### IGBT 模块（单体）测量示例

IGBT 用作处理相对较高功率的逆变器的开关器件，如混合动力汽车或电动火车的电机控制。

示例中使用的器件如下所示：

- 器件：Fuji Electric 1MB1800U4B
- VCES: 1200 V
- ICE(pulse): 2400 A
- Qg 测量的 Id(on): 800 A

#### 注意：

Qg 测量范围为 1 nC 至 100  $\mu$ C

B1506A 从测量电缆到器件的 Qg 测量范围为 1 nC 至 100  $\mu$ C。市场在售的 Qg 测试设备无法测量如此大的 Qg（最大限值是典型值 500 nC）。

阻性负载设置：

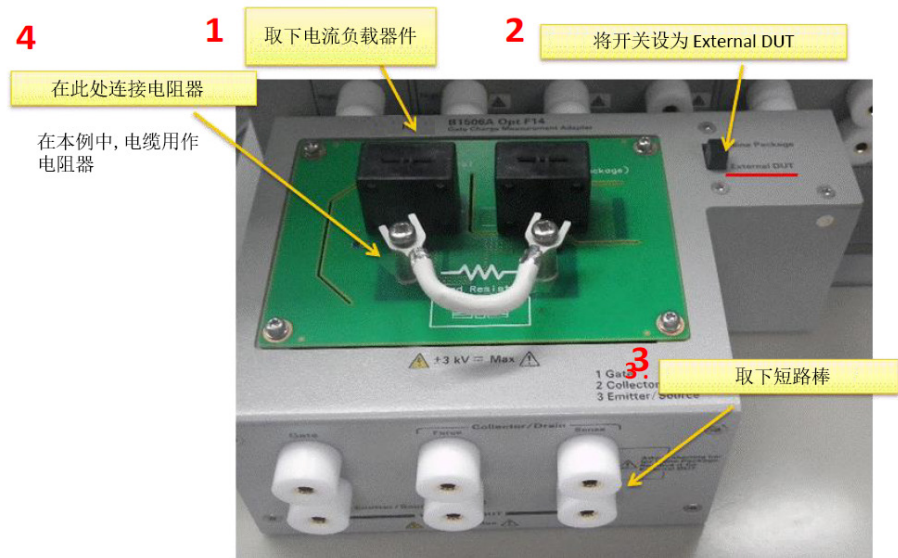
在此器件中，测量 Qg 的 Id(on) 条件为 800 A，因此无法使用 B1506A 中随附的电流负载 FET。

要测量这么高的电流，可以使用阻性负载。

图 5-25 显示适用于阻性负载测量的 Qg 测试适配器测量配置。

1. 取下电流负载器件。
2. 将选择器开关设为 External DUT。
3. 必须取下短路棒。
4. 由于导通电流太大，因此需用粗电缆代替固定负载电阻器。

图 5-25 Qg 测量适配器上的阻性负载设置。



如何确定  $I_{d(on)}$  电流:

UHCU 的输出电流由电源的输出电压、UHCU 的输出电阻和器件的导通电压决定。在 HC 测量部分的详细设置中，UHCU 的输出电压定义为  $V_{ds(off)}$ 。

图 5-26 显示 Qg 测量中 HC 部分的简化测量框图。

包括连接到 DUT 的电缆在内的最大负载电阻  $R_L$  的计算方法如下:

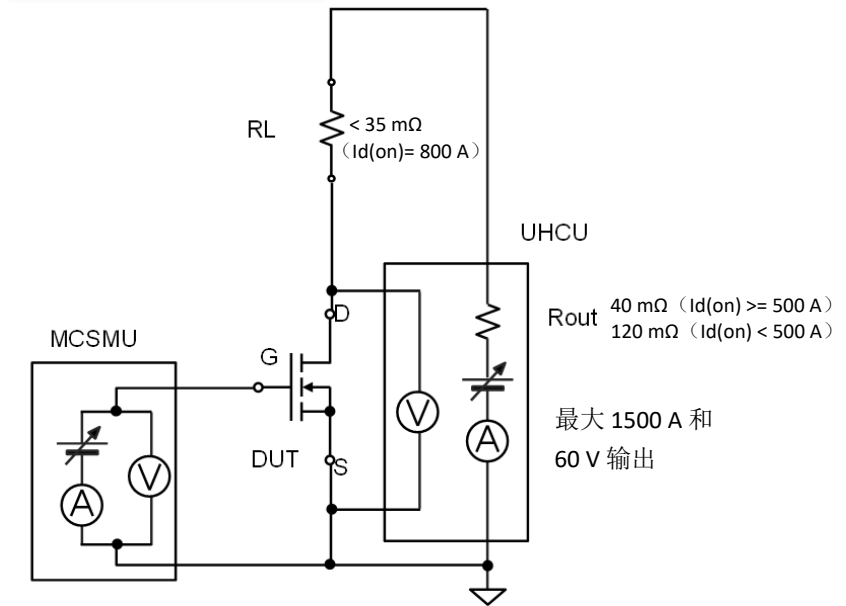
$$R_{Lmax} + UHCU R_{out} (40 \text{ m}\Omega) = UHCU \text{ 最大输出电压 } V (60 \text{ V}) / I_{d(on)} (800 \text{ A})$$

此方程式可以重写为

$$R_{Lmax} = 60\text{V}/800\text{A} - 40 \text{ m}\Omega = 75 \text{ m}\Omega - 40 \text{ m}\Omega = 35 \text{ m}\Omega。$$

考虑到连接电缆的电阻，制出总电阻为  $35 \text{ m}\Omega$  的电阻器并不现实。因此，如图 5-25 中的编号 4 所示，采用粗电缆代替  $R_L$ ，其电阻就足够小了。在这种情况下，最大电流由 UHCU 的  $V_{ds(off)}$  设置进行调整。

图 5-26 Qg 测量适配器上的阻性负载设置。  
Qg 测量的高电流部分（阻性负载）



如何连接 IGBT 模块：

要将 IGBT 模块连接到 Qg 测试适配器，可以使用带弹簧夹的测试引线，如图 5-27 所示。

Qg 测试适配器的输出端口布局详情如图 5-28 所示。

**注意：** 此适配器无栅极低端子。只有栅极端子与 DUT 的栅极端子相连。

图 5-27 IGBT 模块的 Qg 测量的连接示例。

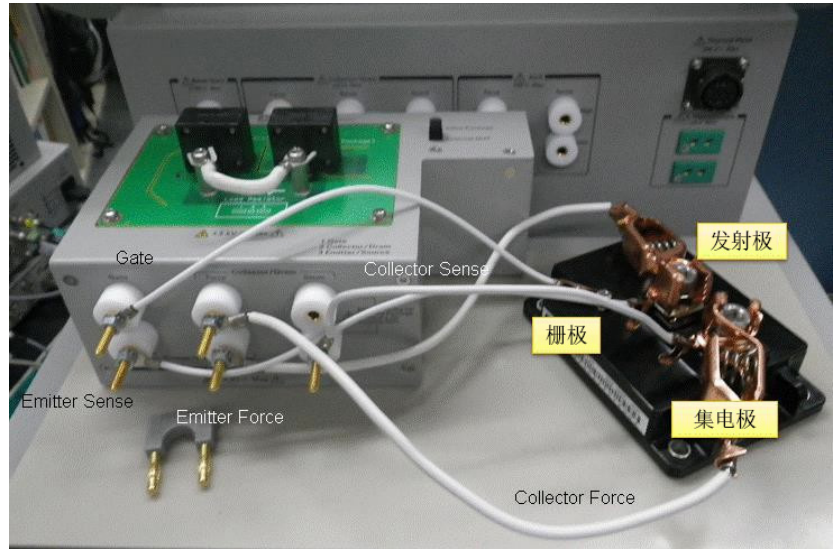
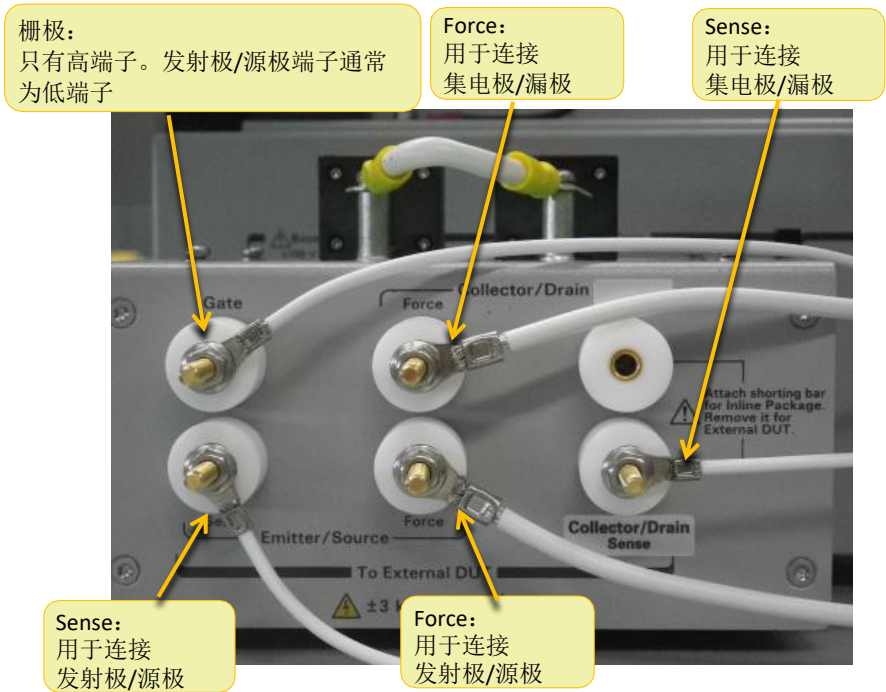


图 5-28 来自 Qg 适配器的输出连接。

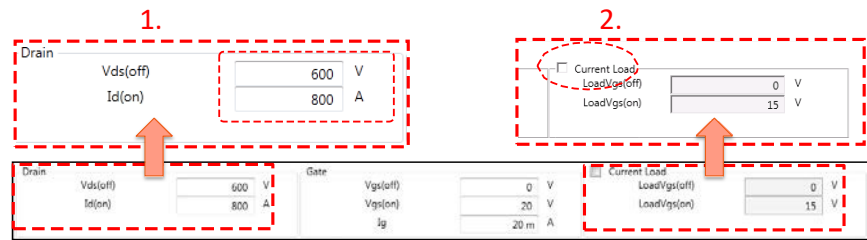


如何创建测量设置：

1. 指定  $V_{ds(off)}$  和  $I_{d(on)}$  以测量  $Q_g$ 。
2. 取消选中 Current Load。

图 5-29

使用阻性负载的  $Q_g$  测量的设置示例。



3. 单击 Measure 按钮运行测量。测量后，可以确认  $I_{d(on)}$  自动调整到 800 A（图 5-30、图 5-31）。

图 5-30

运行  $Q_g$  测量。

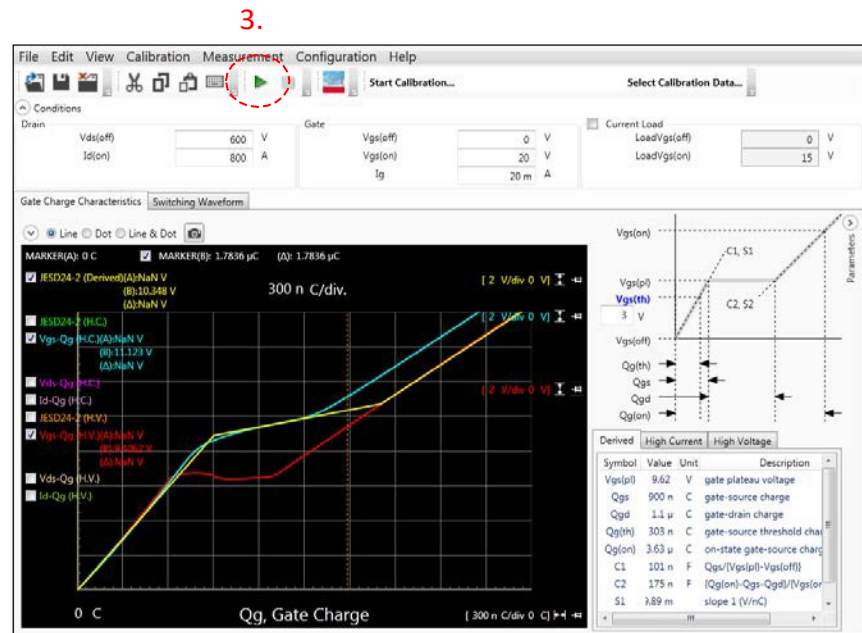
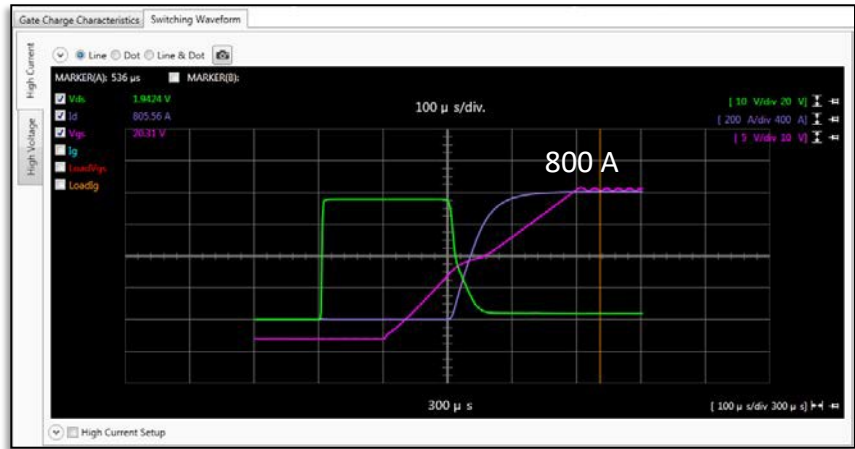
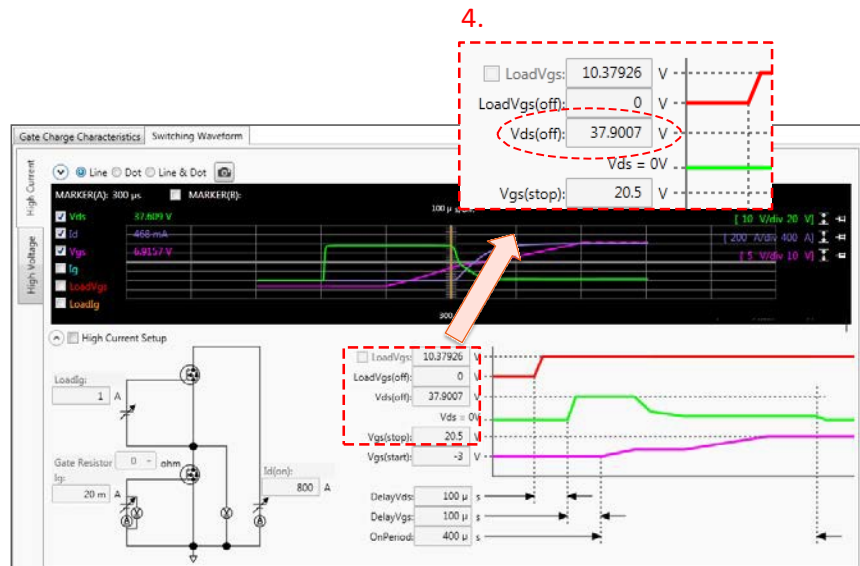


图 5-31 切换测量的波形。



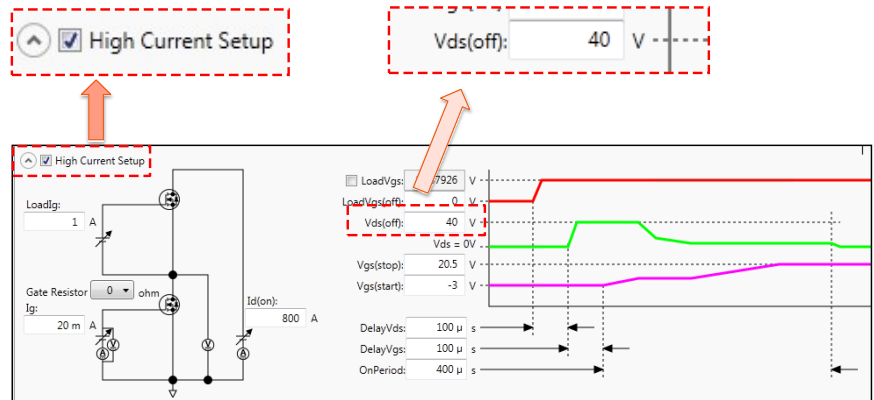
4. 在高电流波形的详细设置中，Vds(off) 自动调整到 37.9007 V 以使 Id(on) = 800 A（图 5-32）。

图 5-32 自动调整 Vds(off) 以使 Id(on) = 800 A。



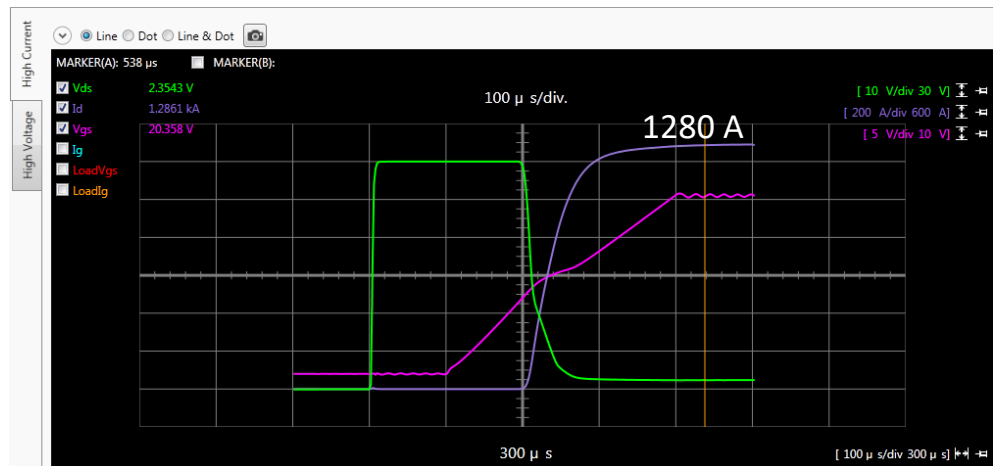
提示： 如何手动设置高电流  $Q_g$  测量的  $V_{ds(off)}$   
 要在使用阻性负载时禁用  $V_{ds(off)}$  自动调节功能，可选中 High Current Setup 并将  $V_{ds(off)}$  指定为所需值。

图 5-33 如何手动指定高电流  $Q_g$  测量的  $V_{ds(off)}$ 。



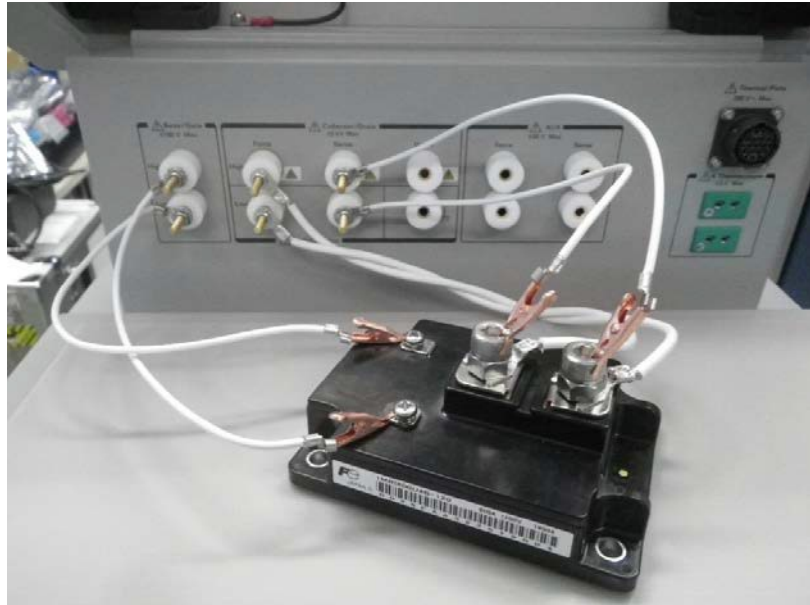
提示： 最大  $I_{d(on)}$  电流  
 通过将  $V_{ds(off)}$  改为 60 V，可以测量 1280 A  $I_{d(on)}$  下的  $Q_g$  曲线，如图 5-34 所示。  
 此电流由器件的导通电压和  $Q_g$  测试适配器产生的额外电阻决定（没有  $Q_g$  测试适配器的情况下，示例中所用器件的相应最大电流可以是 1.4 kA）。

图 5-34 使用阻性负载设置的 1280 A  $I_{d(on)}$  测量示例。



提示： 如何使  $Q_g$  测量的导通电流最大  
使用 UHCU 的输出电阻作为阻性负载时，可以使用与 IV 和 CV 测量相同的连接进行  $Q_g$  测量（图 5-35）。

图 5-35 使用 UHCU 的输出电阻作为阻性负载的设置。



在本例中，可以使用 UHCU 的最大输出电流作为  $Q_g$  测量的导通电流。同时，可以在不改变连接的情况下自动进行 IV、CV 和  $Q_g$  测量。

注意： 要查看  $V_g$ - $Q_g$  曲线的平台部分，用于高电流  $Q_g$  测量的  $V_{ds(off)}$  应该大于  $V_{gs(on)}$ 。例如，如果  $V_{gs(on)}$  为 15 V，则  $V_{ds(off)}$  应为 20 V 或更高。在本例中，最小导通电流  $I_{d(on)}$  限制在 166 A（20 V 除以 UHCU 的输出电阻 120 m $\Omega$ ）。

要使用电流负载方法测量  $I_{d(on)}$  超过 500 A 的  $Q_g$ ，必须在不使用  $Q_g$  适配器的情况下连接器件，因为  $Q_g$  适配器的最大电流限制在 500 A。

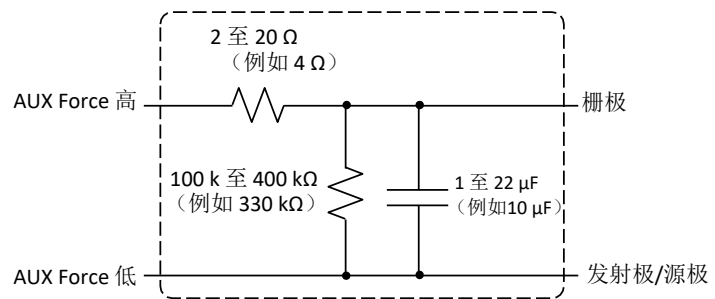
图 5-36 显示使用模块器件作为电流负载器件的示例。

图 5-36 使用模块器件作为电流负载的设置。



在电流负载器件的栅极控制处，增加了如图 5-37 所示的 CR 滤波器，以避免开关操作时引起器件振荡。同时，它还用于保护器件的栅极。

图 5-37 使用模块器件作为电流负载的设置中所用的 CR 滤波器。



## 关于使用 Qg 测量模式的有用信息

### 栅极电荷测量校准

对于栅极电荷测量，需要进行校准，特别是测量 Qg 为 10 nC 或更低的小器件时更是如此。

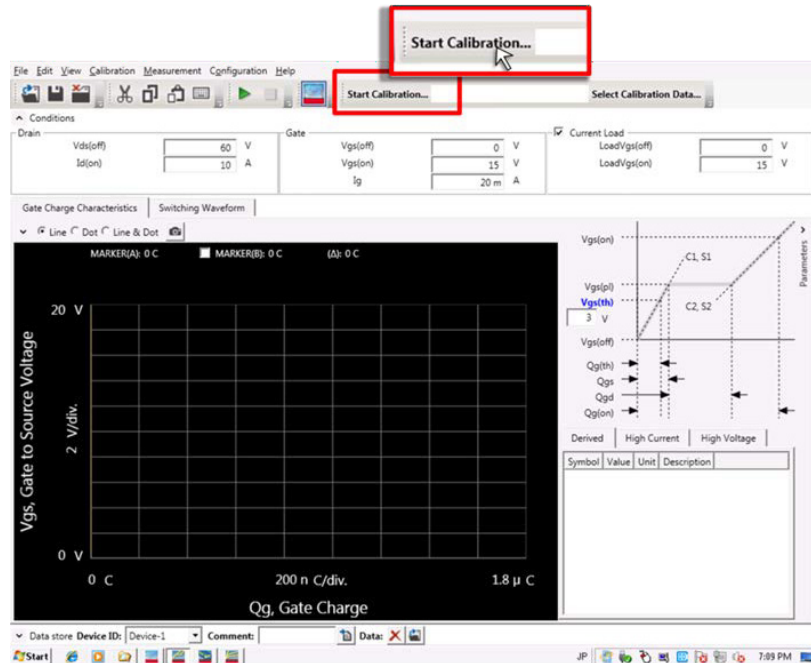
在 Qg 校准中，会校准以下两个误差分量。

1. 残余电阻校准：  
该校准补偿了栅极布线中串联电阻的压降，以准确校准栅极电压。
2. 寄生电容校准：  
该校准测量栅极路径中的寄生电容。

要开始校准，请执行以下操作：

- ✓ 单击 Qg 测量模式面板顶部的 Start Calibration... 标签。  
(图 5-38)
- ✓ 随即打开校准面板 (图 5-39)

图 5-38 开始 Qg 校准。

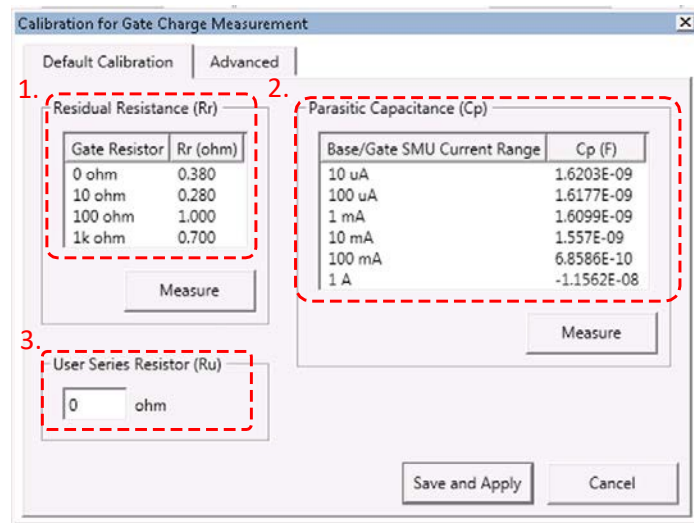


在校准过程中，会测量以下列表中的下述项目。对于每个校准项目，请参考图 5-39 中的相应编号。

1. Residual Resistance (Rr) 校准测量 B1506A 测试夹具的每个内置栅极电阻的栅极控制路径中的残余电阻 (Rr)。  
Rr 既包括栅极测量路径中的残余电阻，也包括内置电阻的电阻误差。
2. Parasitic Capacitance (Cp) 校准测量栅极路径中的寄生电容 Cp，包括驱动 DUT 栅极的 MCSMU 每个电流范围的输出电容
3. User Series Resistor (Ru) 是一个额外的电阻器，插入到 Qg 测量适配器的栅极端子与 DUT 的栅极端子之间。插入此电阻器通常是为了避免 DUT 产生振荡。

图 5-39

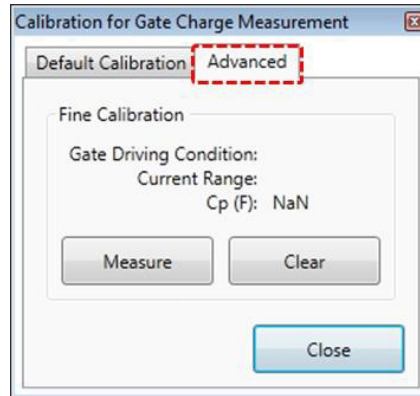
Qg 测量的默认校准面板。



#### 默认和高级校准

- ✓ 在 Default Calibration 选项卡中，使用预定义的测量条件测量残余电阻和寄生电容。
- ✓ 在图 5-40 所示的 Advanced 选项卡中，可以进行更精准的补偿。高级模式使用 DUT 的实际测量条件测量寄生电容。当测量通常小于 1 nC 的小 Qg 时，需要高级校准。

图 5-40 Qg 测量的高级校准面板。

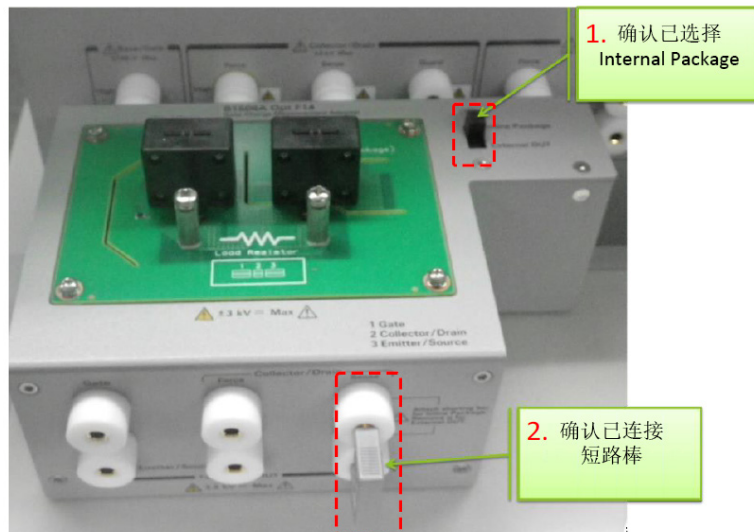


### TO 封装器件标准

要测量 TO 封装器件的补偿因子，需要将 Qg 测试适配器连接到测试夹具上，并确认以下几点，如图 5-41 所示。

1. 将模式开关设为 Internal Package。
2. 确认短路棒已连接到 Qg 测试适配器的集电极/源极输出端子。

图 5-41 Qg 测量的 TO 器件夹具校准。

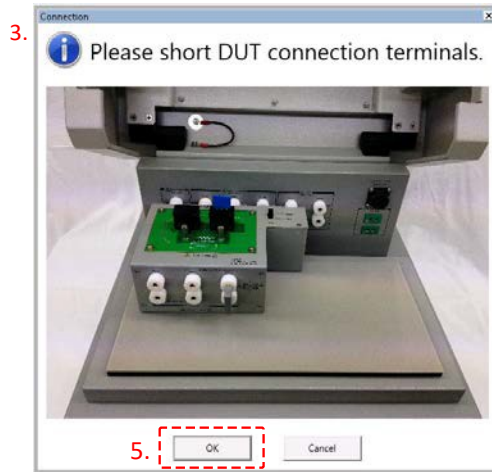


如何测量残余电阻：

单击残余电阻框的 Measure 按钮。

3. 随即会打开用于确认将 DUT 端子短路的窗口，如图 5-42 所示。

图 5-42 Rr 校准的短路确认窗口。



4. 将 B1506A 随附的短路棒插入 TO 插座中，如图 5-43 所示。
5. 确认 DUT 的输入端子短路后，单击 OK（图 5-42），即会开始测量残余电阻。

图 5-43 将适配器短路。



如何测量寄生电容：

要测量寄生电容的补偿因子，可单击寄生电容框的 **Measure** 按钮。

6. 随即会打开用于确认打开 DUT 连接的窗口，如图 5-44 所示。
7. 从 DUT 插座上取下短路棒，单击 **OK** 测量寄生电容的补偿因子。
8. 完成补偿数据的测量后，单击 **Save and Apply** 使补偿数据生效，如图 5-45 所示。

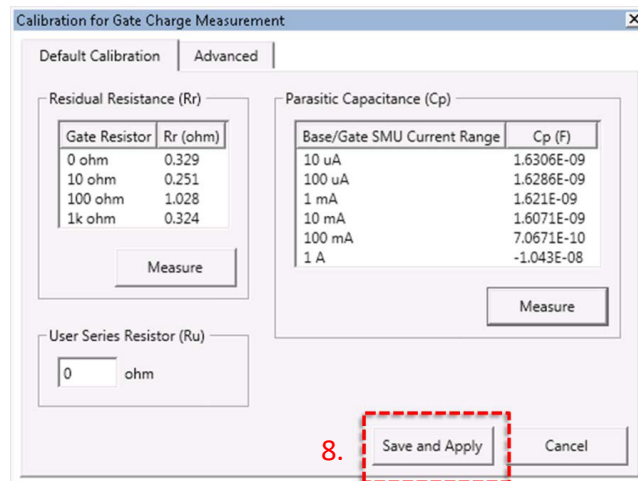
图 5-44

Cp 校准的打开确认窗口。



图 5-45

保存并应用校准数据。



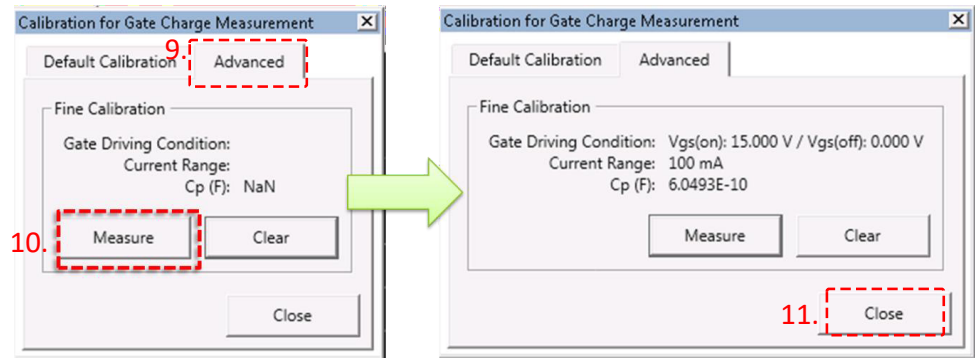
提示：

如何更精准地测量寄生电容：

9. 要更精准地测量寄生电容，可单击 **Advanced** 选项卡，如图 5-46 所示。
10. 单击 **Measure** 按钮。  
随即会使用实际测量参数测量  $C_p$ 。
11. 单击 **Close** 完成测量。  
然后单击 **Save and Apply**（图 5-45 中的编号 8）使补偿数据生效。

图 5-46

高级  $C_p$  校准。

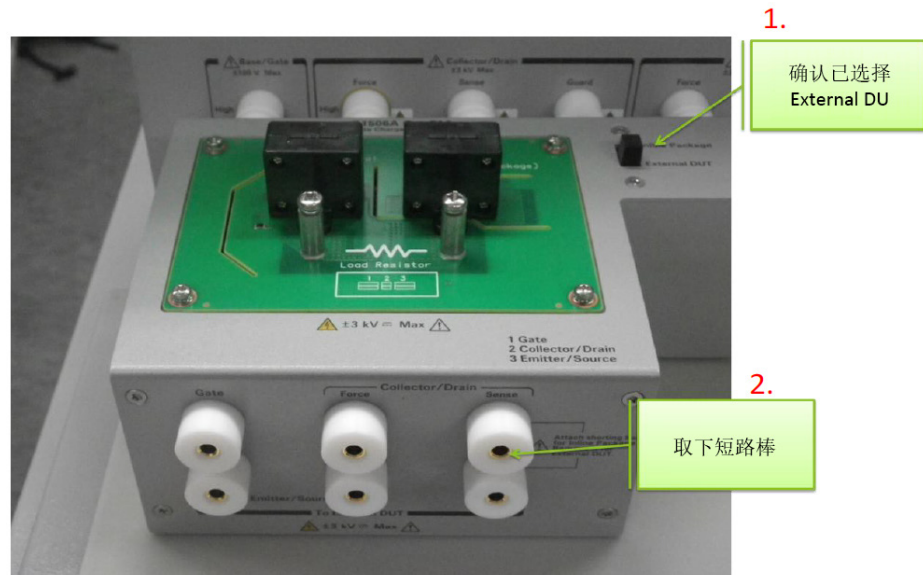


### 模块器件校准

要测量针脚与 TO 直插式插座适配器不兼容的器件，可使用 **Qg** 测试适配器的 **External DUT** 模式。按照下述两步操作准备校准。

1. 将模式开关移动到 **External DUT**。
2. 从集电极/漏极端子上取下短路棒，如图 5-47 所示。

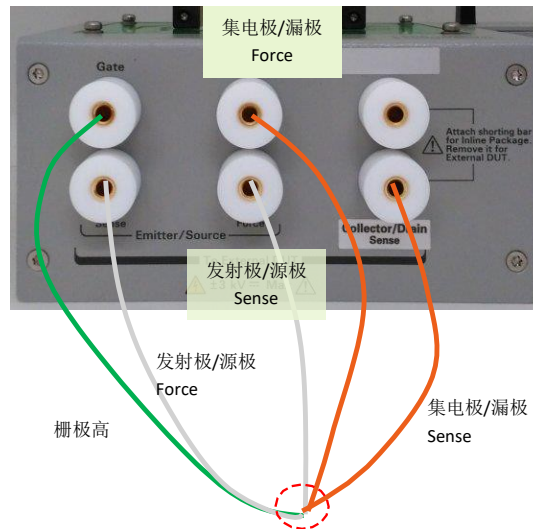
图 5-47 模块器件校准设置。



如何测量残余电阻：

将测试引线连接到 Qg 测试适配器的输出端子，并将所有电缆的另一端连接在一起，测量残余电阻，如图 5-48 所示。

图 5-48 模块器件的短路校准。



注意：

如果有相同封装类型的虚拟 DUT（其端子在内部短路），可以使用它来创建短接。

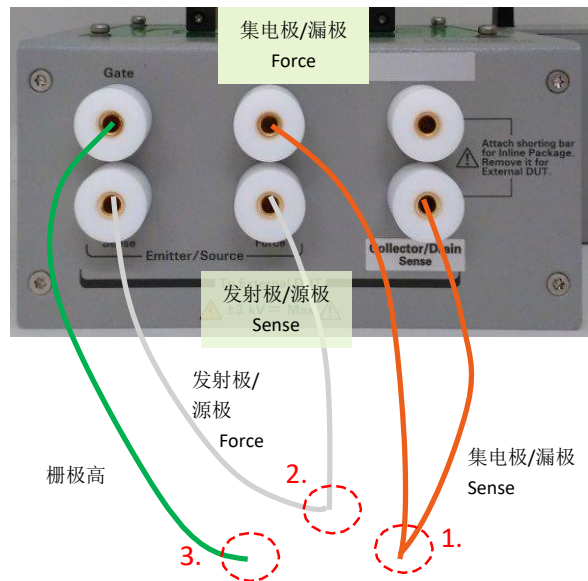
如何测量寄生电容：

要测量寄生电容，可按照图 5-49 中所示执行以下步骤。

1. 连接集电极连接的 Force 线路和 Sense 线路的末端。
2. 连接发射极连接的 Force 线路和 Sense 线路。
3. 栅极电缆的末端保持开路。（请参考图 5-49）

图 5-49

模块器件的开路校准。



注意：

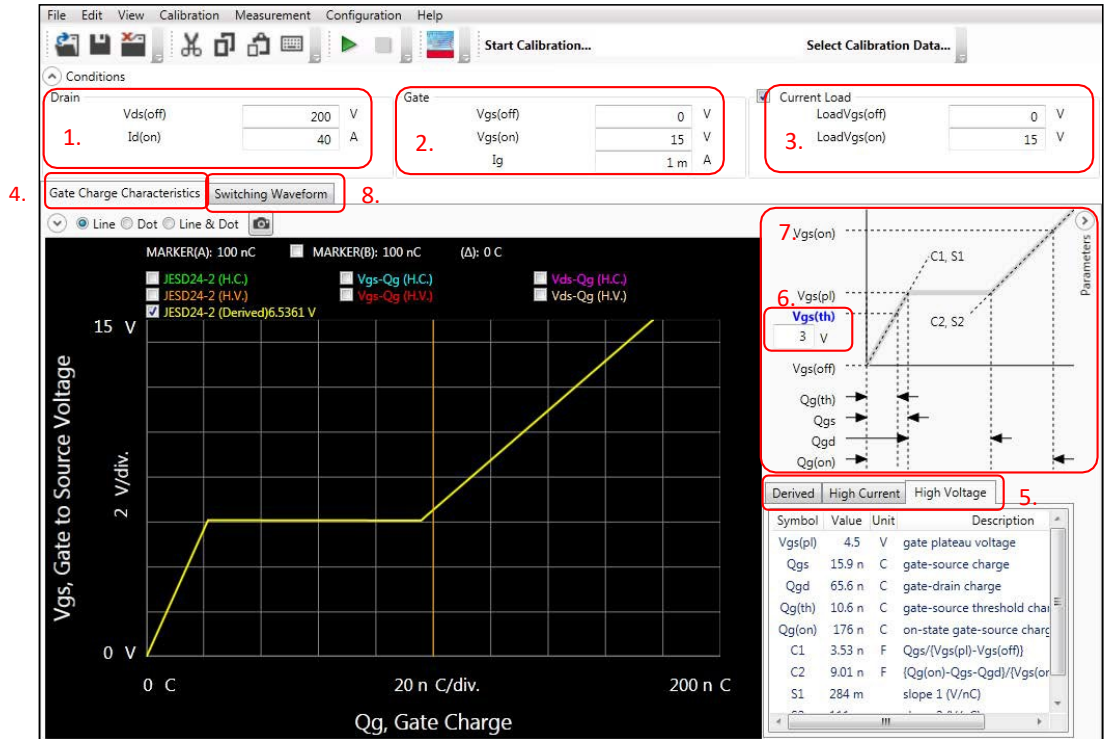
如果有相同封装类型的虚拟 DUT（其端子在内部开路），可以使用它来创建开路连接。

## 栅极电荷测量设置的简要介绍

图 5-50 显示栅极电荷测量模式 GUI 的测试设置启动面板示例。此 GUI 后面有几个测试设置面板。此部分简要介绍主要参数的输入位置。

请参考图中的编号，了解对应编号的主要参数描述和输入位置。

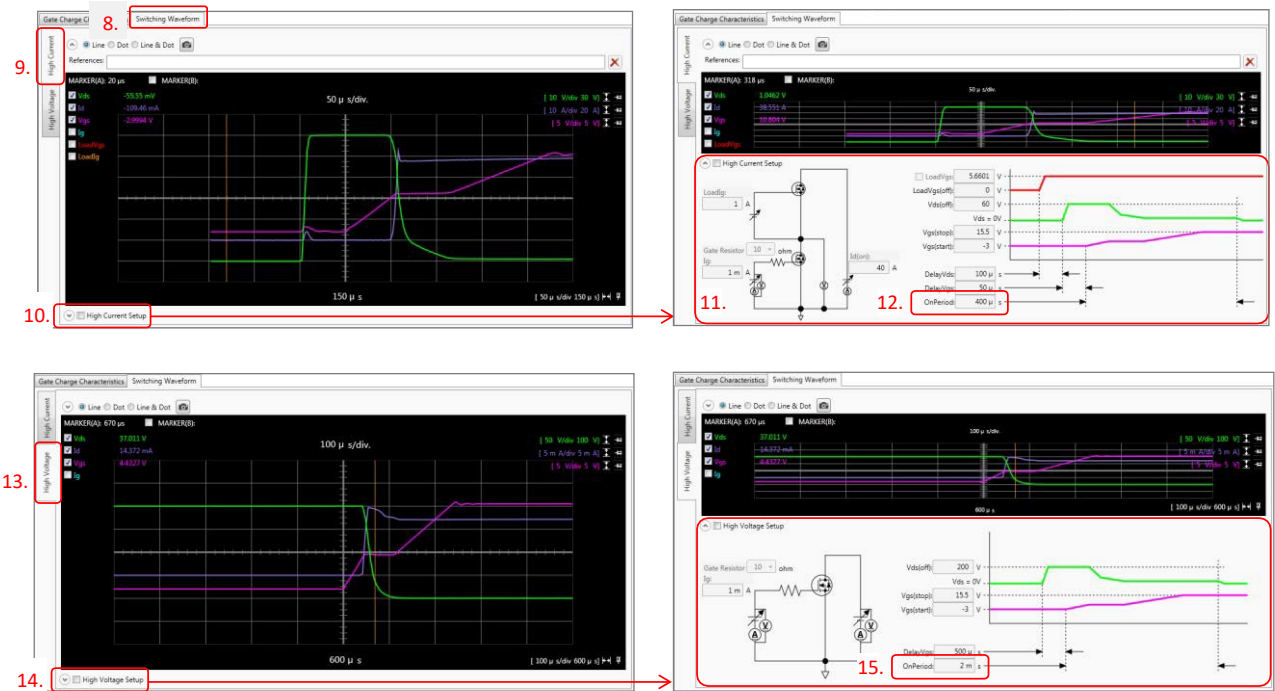
图 5-50 栅极电荷测量面板的启动面板示例。



1. 测量  $Q_g$  的漏极参数
  - $V_{ds(off)}$  电压
  - $I_{d(on)}$  电流
2. 测量中使用的最小和最大电压栅极参数。
  - $V_{gs(off)}$  电压
  - $V_{gs(on)}$  电压
  - $Q_g$  测量中使用的  $I_g$  (栅极 Force 电流)。
3. 电流负载 FET/IGBT 数据
  - LoadVg(off): 负载 FET/IGBT 的  $V_{g(off)}$  电压
  - LoadVg(on): 负载 FET/IGBT 的最大  $V_{g(on)}$  电压

4. Gate Charge Characteristics 选项卡  
此选项卡显示：
  - $V_g$ - $Q_g$  派生的特性曲线，以及下述编号 5 到 7 的项目。
5. 以下选项卡项目的  $V_{gs}(pl)$ 、 $Q_g$ 、电容和  $Q_g$  曲线的斜率：
  - 高电流测量结果
  - 高电压测量结果
  - 从上述两个测量派生的结果
6. 用于计算测试器件  $Q_g(th)$  的  $V_{th}$  输入。
7.  $Q_g$  参数的定义以及与  $Q_g$  曲线的关系。
8. 单击 Switching Waveform 选项卡可打开图 5-51。关于以下项目，请参考此图。

图 5-51 栅极电荷测量面板的启动面板示例。



9. High Current 选项卡可以显示  $Q_g$  测量的以下原始测量数据。
  - $V_{ds}$
  - $I_d$
  - $V_{gs}$
  - $I_g$
  - $LoadV_{gs}$
  - $LoadI_g$
10. 单击 High Current Setup 可打开高电流  $Q_g$  测量的计时参数设置面板。

11. 在 **Qg** 设置面板中，显示简化的测量框图，并可以设置脉冲测量参数。
12. 漏极脉冲导通时间是一个重要参数，特别是在消耗 UHCU 的满载功率（例如最大 22.5 kW）的情况下，防止电流负载 FET/IGBT 在 DUT 的导通时间内损坏。
13. 单击 **High Voltage** 选项卡，会显示上面步骤 9 中所示的等效项目。
14. 单击 **High Voltage Setup** 可打开高电压 **Qg** 测量的计时参数设置面板。
15. 可以设置 HVSMU 的 **OnPeriod**。



本信息如有更改，恕不另行通知。

© 是德科技 2015、2016

2016 年 8 月，第 2 版



B1506-92500

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

