

I-V Characterizer 应用使用说明

支持型号:

2400	2400-C	2401	2410	2410-C	2420
2420-C	2425	2425-C	2430	2430-C	2440
2440-C	2450	2460	2461	2470	2601A
2601B	2602A	2602B	2604B	2606B	2611A
2611B	2612A	2612B	2614B	2634B	2635B
2636A	2636B	2651A	2657A	2601B-PULSE	

源 设置:

模式:

直流偏压、电压扫描、电压列表扫描、直流偏流、电流扫描、电流列表扫描;

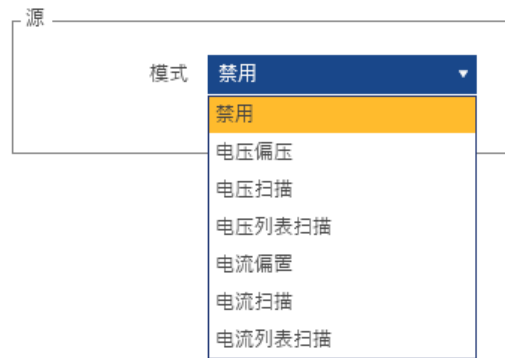


图 1

电压偏压:

电压水平:

输出电压大小。

电压量程:

- 最佳适配(Best Fixed) — 在该设置下，源—测量单元将选择一个固定的源范围，适应扫描中的所有信号源水平。例如，如果 2400 的扫描中最小和最大电源电平分别为 1V 和 30V，则使用 200V 的电源范围。
- 自动(AUTO) — 使用此选项，源—测量单元将为扫描中的每个源电平选择最敏感的源范围。例如，对于 1V 源电平，将使用 2V 源范围；对于 3V 源电平，将使用 20V 源范围。请注意，AUTO RANGE 的范围更改过程可能会引起扫描中的瞬变。如果不能容忍这些瞬变，请使用“最佳固定”信号源范围。

- 固定 — 使用固定的范围，源将保持在开始扫描时的范围内。对于超出源范围的扫描点，将输出当前范围的最大电平。例如，如果在开始扫描时源范围设置在 2V，则整个扫描将保持在 2V 范围内。如果配置的扫描点是 1V，2V，3V，4V 和 5V，则扫描将是 1V，2V，2.1V，2.1V 和 2.1V。

限制:

当输出电压时，可以将源—测量单元设置为限制电流。相反，当输出电流时，可以将源—测量单元设置为限制电压。源—测量单元的输出不会超过限制值。

测量次数:

运行测量的次数。

延迟:

指从源输出信号后到进行测量前的延迟时间。在多 SMU 测试中，将各 SMU 中最大的延迟值设为最终所有 SMU 的延迟值。

示例

设置 2400 输出直流 5V 电压，源范围设置为最佳适配，电流限制为 10mA，测量 10 次读数，每次延迟 1s。

源

☒ 直流

模式 电压偏压 ▼

电压电平 5 V

电压量程 最佳适配 ▼

限值 0.01 A

测量计数 10

延迟 1 秒

图 2

电压扫描:

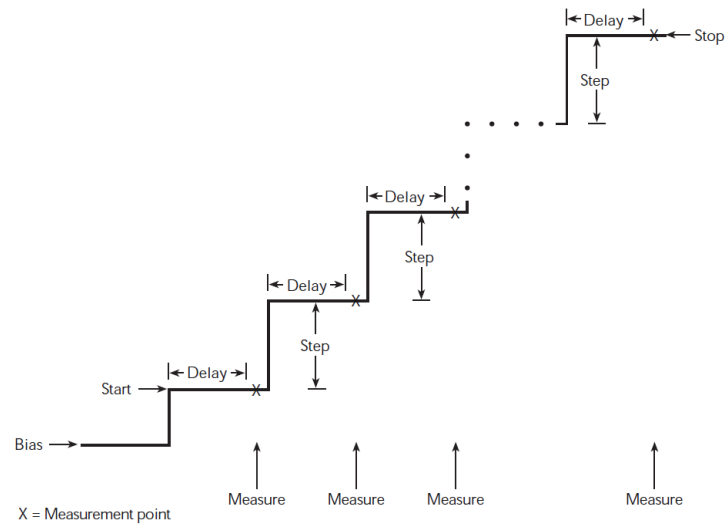


图 3

双向扫描:

启用后从开始值扫描至停止值后，再从停止值扫描至开始值。

扫描类型:

线性和对数扫描。

- 线性:

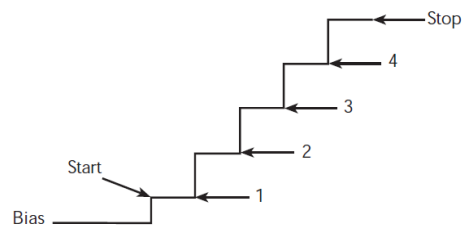


图 4

- 对数:

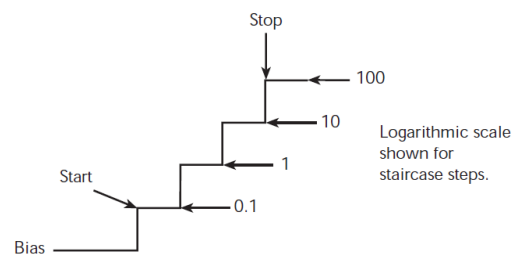


图 5

开始:

扫描开始的值，见图 3 中 Start 点。

停止:

扫描结束的值，见图 3 中 Stop 点。

步进:

扫描步进的电压，见图 3 中 Step。

步数:

扫描步数。

电压量程:

请参考[电压量程](#)。

限制:

请参考[限制](#)。

延迟:

请参考[延迟](#)。

渐进:

仅适用于对数扫描类型；曲线在正无穷大或负无穷大时的值，正负取决于扫描方向。取值必须在扫描“开始”和“停止”所定义的范围之外。

重复:

扫描重复次数。

示例

设置 2400 输出从 0V 到 5V 的扫描电压，步进电压为 1V(步数为 6)，源范围设置为自动，电流限制为 10mA，延迟 1s，重复 5 次。

源

☒ 直流

模式

☐ Stepper ☐ 双向扫描

扫描类型

开始

停止

步进

步数

电压量程

限值

延迟

重复

图 6

电压列表扫描:

列表:

扫描列表。双击项目编辑，右键单击添加/插入/删除行。

导入文件:

导入 CSV 格式序列文件，CSV 表格必须包含仅一列数据(如图)。

	A
1	30
2	60
3	90
4	120
5	150
6	180
7	210

图 7

电压量程:

请参考[电压量程](#)。

限制:

请参考[限制](#)。

延迟:

请参考[延迟](#)。

重复:

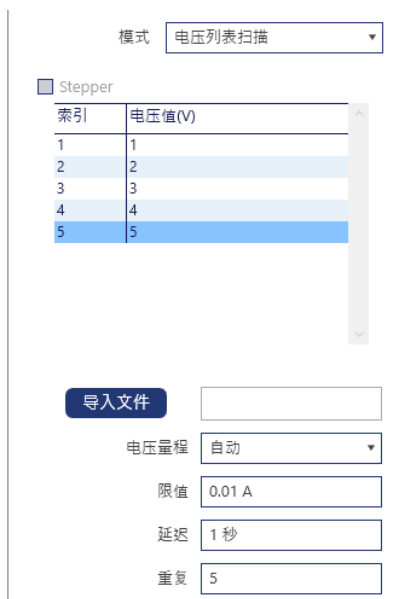
扫描重复次数。

示例

设置 2400 输出扫描电压，扫描序列如下：

0 V > 1V > 2V > 3V > 4V > 5V

源范围设置为自动，电流限制为 10mA，延迟 1s，重复 5 次。



The screenshot shows the '电压列表扫描' (Voltage List Scan) mode. A table lists five voltage steps: 1V, 2V, 3V, 4V, and 5V. Below the table, the '电压量程' (Voltage Range) is set to '自动' (Auto), '限值' (Limit) is 0.01 A, '延迟' (Delay) is 1 秒 (1 second), and '重复' (Repeat) is 5.

索引	电压值(V)
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

模式: 电压列表扫描

☐ Stepper

导入文件

电压量程: 自动

限值: 0.01 A

延迟: 1 秒

重复: 5

图 8

直流偏流:

电流值:

输出电流大小。

电流量程:

- 最佳适配(Best Fixed) — 在该设置下，源一测量单元将选择一个固定的源范围，适应扫描中的所有信号源水平。例如，如果 2400 的扫描中最小和最大电流分别为 1 mA 和 10 mA，则使用 100 mA 的电源范围。
- 自动(AUTO) — 使用此选项，源一测量单元将为扫描中的每个源电平选择最敏感的源范围。例如，对于 5uA 源电平，将使用 10uA 源范围；对于 10mA 源电平，将使用 20mA 源范围。请注意，AUTO RANGE 的范围更改过程可能会引起扫描中的瞬变。如果不能容忍这些瞬变，请使用“最佳固定”信号源范围。

- 固定 — 使用固定的范围，源将保持在开始扫描时的范围内。对于超出源范围的扫描点，将输出当前范围的最大电平。例如，如果在开始扫描时源范围设置在 10uA，则整个扫描将保持在 10 uA 范围内。如果配置的扫描点是 5uA，10uA，15uA，20uA 和 25uA，则扫描将是 5uA，10uA，10uA，10uA 和 10uA。

限制:

当输出电压时，可以将源—测量单元设置为限制电流。相反，当输出电流时，可以将源—测量单元设置为限制电压。源—测量单元的输出不会超过限制值。

测量次数:

运行测量的次数。

延迟:

指从源输出信号后到进行测量前的延迟时间。在多 SMU 测试中，将各 SMU 中最大的延迟值设为最终所有 SMU 的延迟值。

示例

设置 2400 输出直流 10mA 电流，源范围设置为最佳适配，电压限制为 5V，测量 10 次读数，每次延迟 1s。

源

☒ 直流

模式: 电流偏置

电流值: 0.01 A

电流量程: 最佳适配

限值: 5 V

测量计数: 10

延迟: 1 秒

图 9

电流扫描:

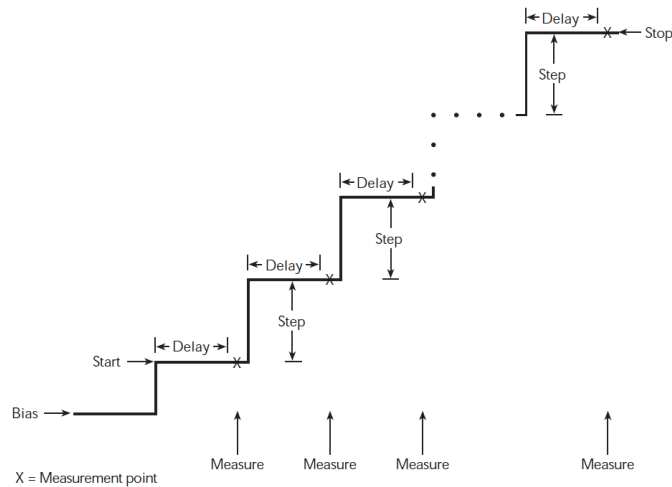


图 10

双向扫描:

请参考[双向扫描](#)。

扫描类型:

请参考[扫描类型](#)。

开始:

扫描开始的值，见图中 **Start** 点。

停止:

扫描结束的值，见图中 **Stop** 点。

步进:

扫描步进的电流，见图中 **Step**。

步数:

扫描步数。

电流量程:

请参考[电流量程](#)。

限制:

请参考[限制](#)。

延迟:

请参考[延迟](#)。

渐进:

仅适用于对数扫描类型；曲线在正无穷大或负无穷大时的值，正负取决于扫描方向。取值必须在扫描“开始”和“停止”所定义的范围之外。

重复:

扫描重复次数。

示例

设置 2400 输出从 0mA 到 5mA 的扫描电流，步进电压为 1mA(步数为 6)，源范围设置为自动，电流限制为 10V，延迟 1s，重复 5 次。

The screenshot shows the '源' (Source) configuration window for a Tektronix 2400. The '直流' (DC) radio button is selected. The '模式' (Mode) dropdown is set to '电流扫描' (Current Scan). The 'Stepper' checkbox is checked, and the '双向扫描' (Bidirectional Scan) checkbox is unchecked. The '扫描类型' (Scan Type) dropdown is set to '线性' (Linear). The '开始' (Start) field is set to '0 A', the '停止' (Stop) field is set to '0.05 A', the '步进' (Step) field is set to '0.01 A', and the '步数' (Steps) field is set to '6'. The '电流量程' (Current Range) dropdown is set to '自动' (Auto). The '限值' (Limit) field is set to '10 V', the '延迟' (Delay) field is set to '0 秒' (0 seconds), and the '重复' (Repeat) field is set to '5'.

图 11

电流列表扫描:

列表:

扫描列表。双击项目编辑，右键单击添加/插入/删除行。

导入文件:

导入 CSV 格式序列文件，CSV 表格必须包含仅一列数据。

电流量程:

请参考[电流量程](#)。

限制:

请参考[限制](#)。

延迟:

请参考[延迟](#)。

重复:

扫描重复次数。

示例

设置 2400 输出扫描电压，扫描序列如下：

0 mA > 1mA > 2mA > 3mA > 4mA > 5mA

源范围设置为自动，电压限制为 10V，延迟 1s，重复 5 次。

模式 电流列表扫描

☒ Stepper

索引	电流值(A)
1	0.001
2	0.002
3	0.003
4	0.004
5	0.005

导入文件

电流量程 自动

限值 10 V

延迟 1 秒

重复 5

图 12

测量 设置:

测量电压:

启用:

启用测量电压功能。若启用“其他测量”中的“功率”或“电阻”测量则必须选中以启用该选项。

量程:

自动或固定量程。

最小量程:

在量程设为固定时禁用；在量程设为自动时可选择测量的最小量程。

测量电流:

启用:

启用测量电流功能。若启用“其他测量”中的“功率”或“电阻”测量则必须选中以启用该选项。

类型:

测量值和设定值。

“设定值”为用户设定的源输出值；而“测量值”相当于启用源回读功能，仪器将测量实际的源输出值，而不是设定值(或编程值)，进而使用该测量值进行读数计算。通常应启用源回读功能，以实现最佳的欧姆测量精度，因为源—测量单元的测量精度优于源编程的精度。

其他测量:

功率:

此功能使用测得的电压和测得的电流值计算功率，如下所示：

$$P = V \times I$$

V=电压测量值

I=电流测量值

电阻:

此功能使用欧姆定律 V/I 测量方法自动计算电阻读数。在配置所需的源输出并选择电压或电流测量范围后，通过计算测量的电压或电流计算出欧姆读数。为获得最佳精度，测量类型请选中“测量值”(启用源回读功能)，此时源—测量单元会同时测量 V 和 I，并将这些值用于欧姆计算。因为测量得到的源输出值比设定(编程)的源输出值更准确。

测量速度:

NPLC:

Number of Power Line Cycles (电力线周期数)，仪器测量一次的积分孔径时间 (aperture)，直接决定测试速度

1 PLC= 1/电源线频率，中国电源线频率为 50Hz，所以 1PLC = 20ms

通常，最小的积分时间（将 PLC 设置为最小值）会导致读数噪声增加和有效位数减少，但可以提供最快的测量速度；最大的积分时间（将 PLC 设置为最大值）可提供最佳的噪声抑制，提供最高的测量精度。测量时则需要速度和噪音之间的折中与平衡。

自动归零:

每次 A/D 转换（读数）都是通过一系列零值，参考值和信号测量值计算得出的。启用自动归零后，针对每个读数仪器执行所有这三次测量以达到额定精度。在禁用自动归零时，仪器不会测量归零和参考。这样可以提高测量速度，但零点漂移最终会影响准确性。

另外，仪器各组件之间的温度变化可能会由于热电效应而导致 A/D 转换器的参考值和零点漂移。自动归零则可以抵消漂移的影响，以保证一段时间内的测量精度。如果未启用自动归零，则测量可能由于漂移而引入误差。

开启：启用自动归零。

关闭：禁用自动归零。

一次：仅在测量开始测量时自动更新一次自动归零值，后续测量不再更新自动归零功能

高级配置:

输入端子:

选择前面板或后面板输入/输出连接。

感应:

使用 2 线本地感测连接或 4 线远程感测。

输出关闭:

高阻抗(High Impedance)

在此输出关闭状态下，当 OUTPUT 关闭时，输出继电器断开。这样可以将外部电路与源—测量单元的输入/输出断开。

为防止输出继电器过度磨损，请勿在经常关闭和打开输出的测试中使用此输出关闭状态（例如，输出自动关闭模式）。请注意，打开输出时继电器的建立时间约为 15 毫秒。

正常(Normal)

当处于这种相对高阻抗的输出关断状态时，源为电压源并将其输出设置为 0V。电流限值设置为当前电流范围的满量程的 0.5%。理论上，将电压源设置为零，源—

测量单元将不会提供或吸收功率。但实际上输出源值可能不完全为零。因此，源一测量单元可能会产生或消耗很少量的功率，并在大多数情况下该值并不明显。

零(Zero)

在此输出关闭状态下，仪器将显示 ZER 消息(而不是 OFF)，此时源测量单元的配置如下：

当输出为电压源时：

- 设定的电压值保留在显示屏上
- 内部的电压输出为 0V
- 当前的限制设置与输出开启时的该值保持相同。实际钳位限制检测仍处于活动状态。
- 执行测量并显示测量值。

当输出为电流源时：

- 设定的电流值保留在显示屏上
- 内部选择源为电压源并设置输出为 0V
- 电流钳位限制值设置为设定的电流输出值或当前电流范围的满量程的 0.5%，以二者较大值为准。
- 执行并显示测量值。

在该输出关闭状态下，源一测量单元可以用作安培表。

零输出关闭状态也可以与电压源和输出自动关闭一起使用，生成非常快速的脉冲电压波形。例如，启用输出自动关闭功能(Output Auto Off)后，您可以生成 0 至+ 5V 的脉冲。当处于这种相对较低的阻抗输出关闭状态时，源一测量单元将能够快速消耗（吸收）由高输入电容（即电缆电容）或外部电源引起的电流，这样可以加快建立时间。若您在此类应用中使用 NORMAL 输出关闭状态，则电流耗散会非常缓慢（建立时间很慢），从而导致脉冲失真。

注意：使用零输出关闭，自动关闭输出状态生成快速脉冲波形时，在所选的 INPUT / OUTPUT LO 端子上可能会产生危险电压 (30V rms)。为了消除这种电击危险请将 LO 端子接地。如果使用前面板端子，则将前面板 LO 端子接地。如果使用后面板端子，则将后面板 LO 端子接地。接地可以通过后面板上的机箱接地螺钉或已知的安全接地进行。

防护态(Guard)

在此输出关闭状态下，将选择电流源并将其设置为 0A。电压钳位限制设置为当前电压范围的满量程的 0.5%。当执行 6 线防护欧姆测量或任何其他有源负载时，应使用此输出关闭状态。

高电容：

2450、2460、2461、2470、2600 系列源表提供该模式；若您使用其他型号源一测量单元的 I-V Characterizer 应用时，该选项显示为 N/A。

由于源测量单元（SMU）具有测量低电流的能力，因此在驱动电容性负载时可能会出现。负载电容和电流量程电阻器形成的极点可能导致 SMU 电压控制环路中发生相移。这种变化可能导致过冲，振铃和不稳定。由于电流测量的动态范围较大且内部电阻器的范围较大，因此给定电容负载的工作条件可能会发生变化。根据类型，某些测试应用可能需要大于 10 nF 的电容器。在运行测试脚本时，可能无法从 IC（集成电路）上断开电容器并提取准确的数据。为此，您可以使用高电容模式将过冲，振铃和不稳定性降至最低。

通常，电流测量元件两端的内部电容器可提供相位超前，以补偿由输出上的负载电容引起的相位滞后。跨量程电阻的内部电容会限制特定测量范围的速度。2600B 系列源一测量单元中实施了频率补偿，因此在正常模式下可以驱动 10 nF 电容时实现最高的吞吐量。而在高电容模式下，2600B 系列 SMU 的速度会降低，以补偿较大的负载电容。通过在 SMU 的电流测量元件上插入内部电容来实现稳定性。该内部电容器限制了信号源和测量范围的速度。因此，在高电容模式下优化测试配置的速度时，必须考虑建立时间，电压和电流范围，测量延迟，负载电容器的质量以及负载电阻，更多相关内容请参考 2600B 系列源一测量单元用户参考手册。

实例

通过 I-V Characterizer 应用程序可对多种材料、两端和多端半导体器件、太阳能电池等进行电流与电压（I-V）测试。您可以为每个 SMU 配置各种偏置和扫描源，包括线性，对数，列表和双向扫描。以下部分举例说明在 I-V Characterizer 应用中测试 MOSFET 转移特性和输出特性曲线的参考配置。

实例一 测试 MOSFET 输出特性曲线

场效应管的输出特性是指栅源电压 V_{GS} 为参变量时，漏极电流 $I(D)$ 和漏源电压 $V(DS)$ 间的函数关系。

仪器：

一台双通道或两来源一测量单元，下面以一台双通道 SMU 2602B 举例。

接线：

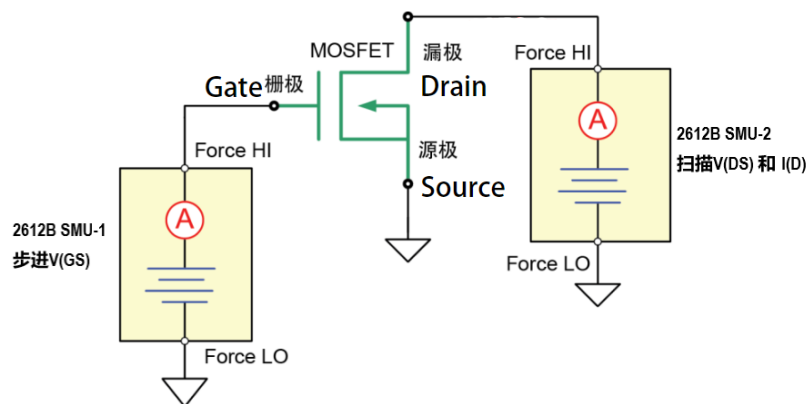


图 13

配置:

- SMU-1

◀ Gate My 2612B ▶ 可以将“SMU-1”自定义命名, 比如 “GATE”

Source

☒ DC

Mode Voltage Sweep

☒ Stepper ☐ Dual Sweep

Sweep Type Linear

Start 3 V

Stop 5 V

Step 0.5 V

Number of Steps 5

Voltage Range Auto

Limit 1 A

Delay 0 s

Repeat 0

Measure

Measure Current

☒ Enable Range Auto

Minimum Range 100 nA

Measure Voltage

☒ Enable Type Programmed

Additional Measurements

☐ Power ☐ Resistance

Measurement Speed

NPLC 1

Auto Zero Once

⌵ Advanced Configuration

图 14

- SMU-2

◀ Drain My 2612B ▶

Source

☒ DC

Mode Voltage Sweep

☐ Stepper ☐ Dual Sweep

Sweep Type Linear

Start 0 V

Stop 5 V

Step 0.1 V

Number of Steps 51

Voltage Range Auto

Limit 1 A

Delay 0 s

Repeat 0

Measure

Measure Current

☒ Enable Range Auto

Minimum Range 100 nA

Measure Voltage

☒ Enable Type Measured

Additional Measurements

☐ Power ☐ Resistance

Measurement Speed

NPLC 1

Auto Zero Once

⌵ Advanced Configuration

图 15

测试结果:

设置 SMU-2 Voltage 为 X 轴, SMU-2 Current 为 Y 轴。

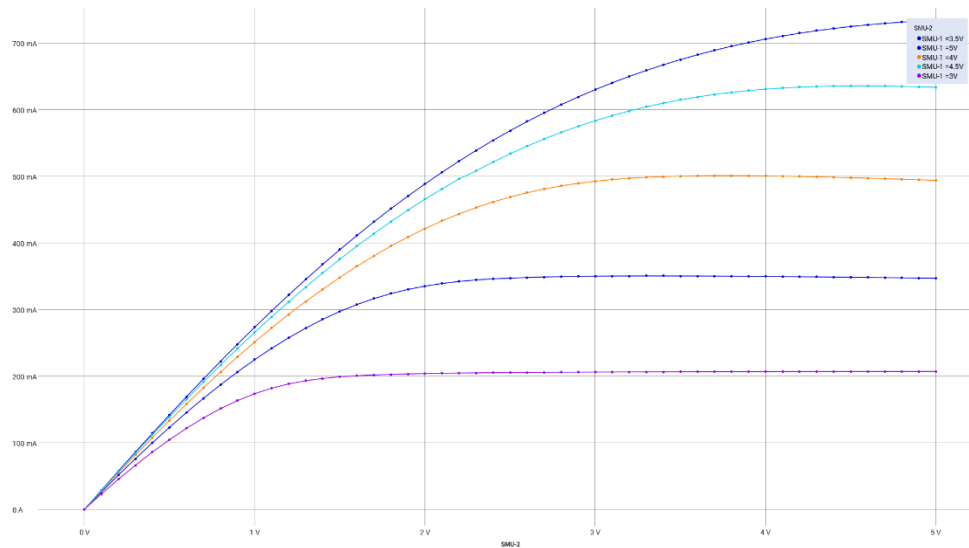


图 16

实例二 测试 MOSFET 转移特性曲线

场效应管的转移特性是指以漏源电压 $V(DS)$ 为参变量时漏极电流 $I(D)$ 和栅源电压 $V(GS)$ 间的函数关系。

仪器:

一台双通道或两台源一测量单元, 下面以两台 2450B 举例。

接线:

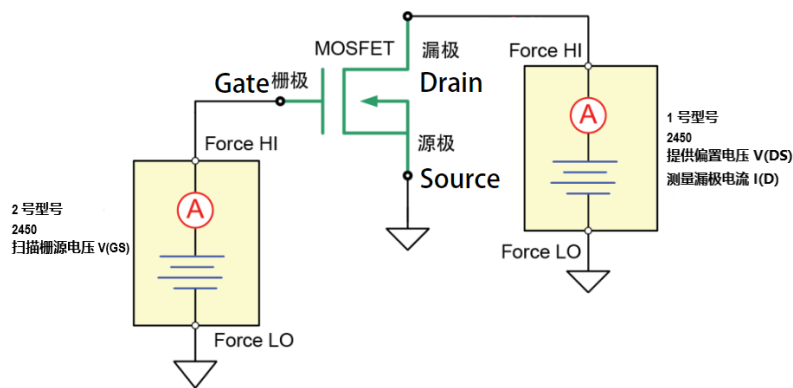


图 17

配置:

连接仪器并选择“I-V Characterizer”应用后，点击右下方“仪器”菜单后选择“添加通道”将第二台 SMU 添加进来。

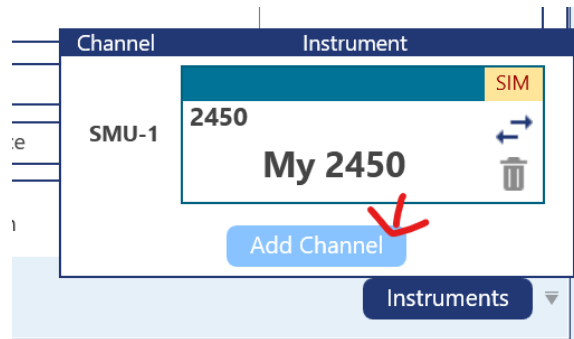


图 18

• SMU-1

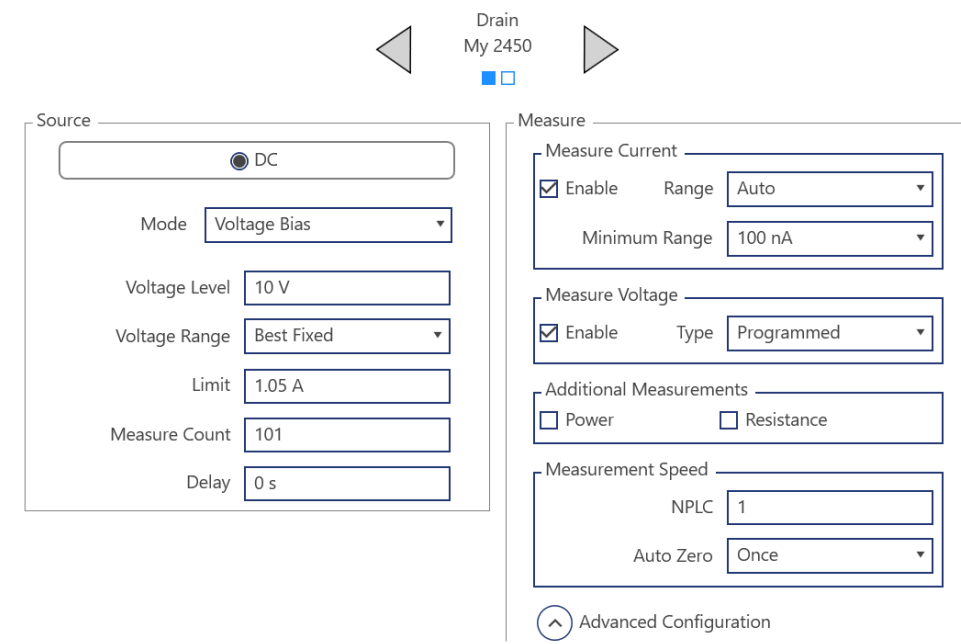


图 19

- SMU-2

Gate
My 2nd 2450
□ ■

Source

☒ DC

Mode Voltage Sweep

☐ Stepper ☐ Dual Sweep

Sweep Type Linear

Start 2 V

Stop 7 V

Step 0.05 V

Number of Steps 101

Voltage Range Auto

Limit 1.05 A

Measure

Measure Current

☒ Enable Range Auto

Minimum Range 100 nA

Measure Voltage

☒ Enable Type Programmed

Additional Measurements

☐ Power ☐ Resistance

Measurement Speed

NPLC 0.01

Auto Zero Once

^ Advanced Configuration

图 20

测试结果:

设置 SMU-2 Voltage 为 X 轴，SMU-1 Current 为 Y 轴。

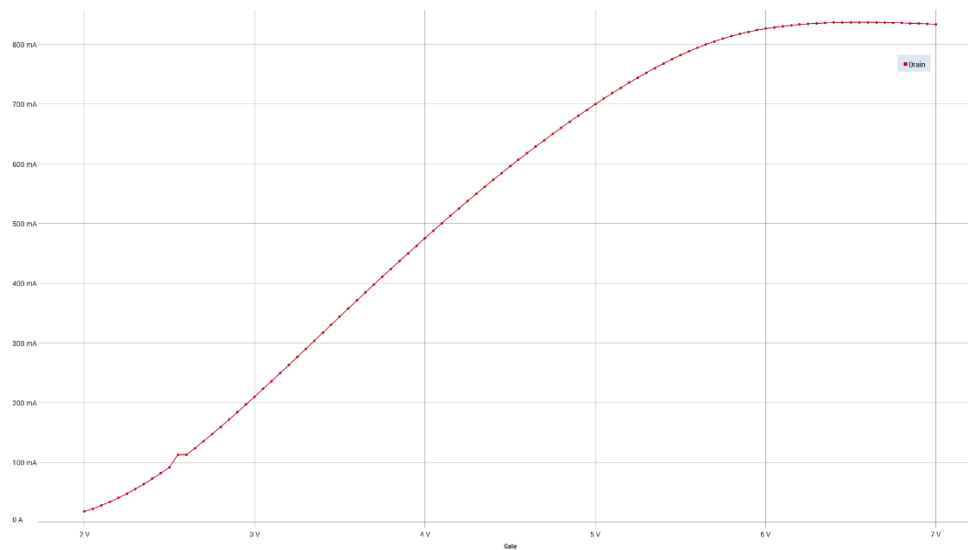


图 21

相关链接:

附件: N/A

最近更新: 2020-12-9 AH

顺颂商祺！
泰克亚太区技术支持部门

发送邮件给泰克，为您提供全面可靠的测试测量解决方案，原来解决问题可以这么简单快速，来信：

获取在线技术支持 400@tektronix.com

获取产品报价 426@tektronix.com

维修、延保、校准 china-service@tektronix.com