



半导体材料与器件科学云讲堂

——半导体参数测试仪使用技巧及案例集锦

主讲人：王瑞恒

——泰克半导体测试专家

2020/7/3

半导体材料与器件科学云讲堂

- ✓ 专业测试平台
- ✓ 六大类测试流程
- ✓ 剖析、解决半导体新问题



关注“泰克科技”公众号



每月2期专题直播，等您解锁！

直播日程

第一季 直播课程 (4~6月)

- 纳米材料及纳米电子器件IV和CV测试 4月29日
- 二维材料/石墨烯及其电子器件IV和CV测试 5月15日
- 量子材料及超导材料电输运物性表征测试 5月29日
- 超快脉冲在先进的NVM测试中的应用及神经元网络测试前瞻 6月

番外篇一

测试技巧: 半导体参数测试仪使用技巧及案例集锦 7月3日

第二季 直播课程 (7~9月)

- 宽禁带半导体 (GaN/SiC) 材料及器件测试
- 功率IGBT器件测试系统及自动化简介
- 微机电系统MEMS测试概述
- MOSFET的准静态CV/超低频CV测试
- 半导体器件可靠性HCI/NBTI测试

番外篇二

测试技巧: 快速上手自动化半导体参数测试系统



日程

14: 30 - 15: 00

如何保证测试准确性

- 关于量程的选择
- 关于测试速度的选择

测试经典案例分享

- 四线法测小电阻
- Pulse IV模式

如何快速进行故障检测

- 如何进行设备自检
- 如何排查输出不准确问题

15: 00 - 15: 30

互动答疑

15: 30 - 15: 45

抢答有奖



如何保证测试准确性—量程

量程：度量工具的测试范围，由最大值和最小值决定

SMU Current Specifications with 4200-PA Preamplifier⁴

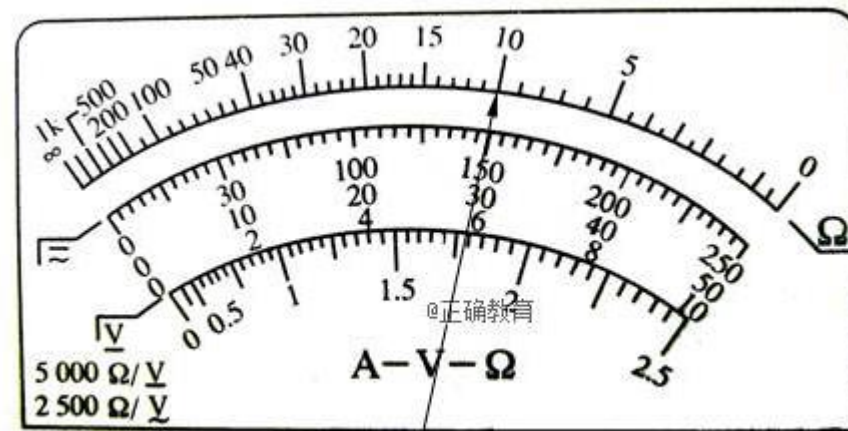
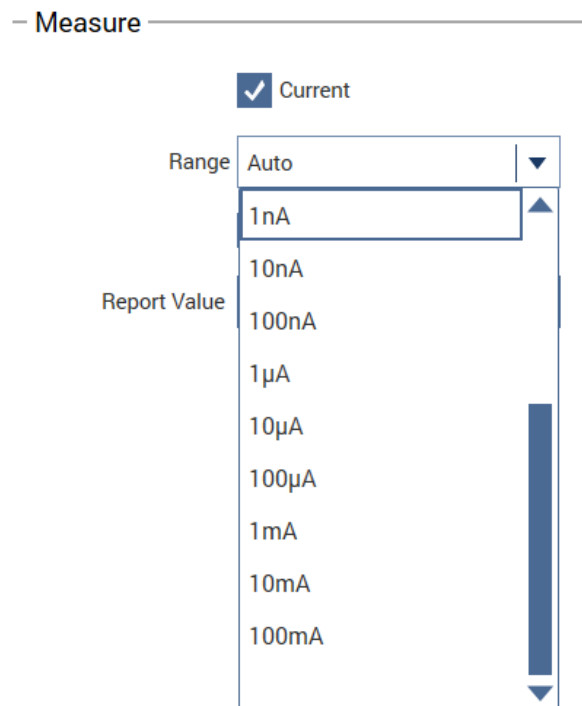
	Current Range ¹	Max. Voltage	Measure		Source		
			Resolution ³	Accuracy ±(% rdg + amps)	Resolution ³	Accuracy ±(% rdg + amps)	
4210-SMU High Power SMU and 4211-SMU High Power SMU ²	1 A	21 V	1 μA	0.100% + 200 μA	50 μA	0.100% + 350 μA	
	100 mA	210 V	100 nA	0.045% + 3 μA	5 μA	0.050% + 15 μA	
	4200-SMU Medium Power SMU and 4201-SMU Medium Power SMU ²	100 mA	21 V	100 nA	0.045% + 3 μA	5 μA	0.050% + 15 μA
		10 mA	210 V	10 nA	0.037% + 300 nA	500 nA	0.042% + 1.5 μA
		1 mA	210 V	1 nA	0.035% + 30 nA	50 nA	0.040% + 150 nA
		100 μA	210 V	100 pA	0.033% + 3 nA	5 nA	0.038% + 15 nA
		10 μA	210 V	10 pA	0.050% + 600 pA	500 pA	0.060% + 1.5 nA
		1 μA	210 V	1 pA	0.050% + 100 pA	50 pA	0.060% + 200 pA
42XX-SMU with optional 4200-PA Preamp	100 nA	210 V	100 fA	0.050% + 30 pA	5 pA	0.060% + 30 pA	
	10 nA	210 V	10 fA	0.050% + 1 pA	500 fA	0.060% + 3 pA	
	1 nA	210 V	1 fA	0.050% + 100 fA	50 fA	0.060% + 300 fA	
	100 pA	210 V	300 aA	0.100% + 30 fA	15 fA	0.100% + 80 fA	
	10 pA	210 V	100 aA	0.500% + 15 fA	5 fA	0.500% + 50 fA	
	1 pA	210 V	10 aA	1.000% + 10 fA	1.5 fA	1.000% + 40 fA	

Voltage Compliance: Bipolar limits set with a single value between full scale and 10% of selected voltage range.

如何保证测试准确性—量程

•合适的量程：**测试值在某个量程范围内**，
这个量程就是合适的量程。

比如5nA—10nA量程； 11nA—100nA量程



量程不合适造成的后果：

量程小，则测不了超量程的值，触发compliance；

量程大，测小信号准确度较低；

如何保证测试准确性—量程

量程设置路径: terminal settings—measure—range

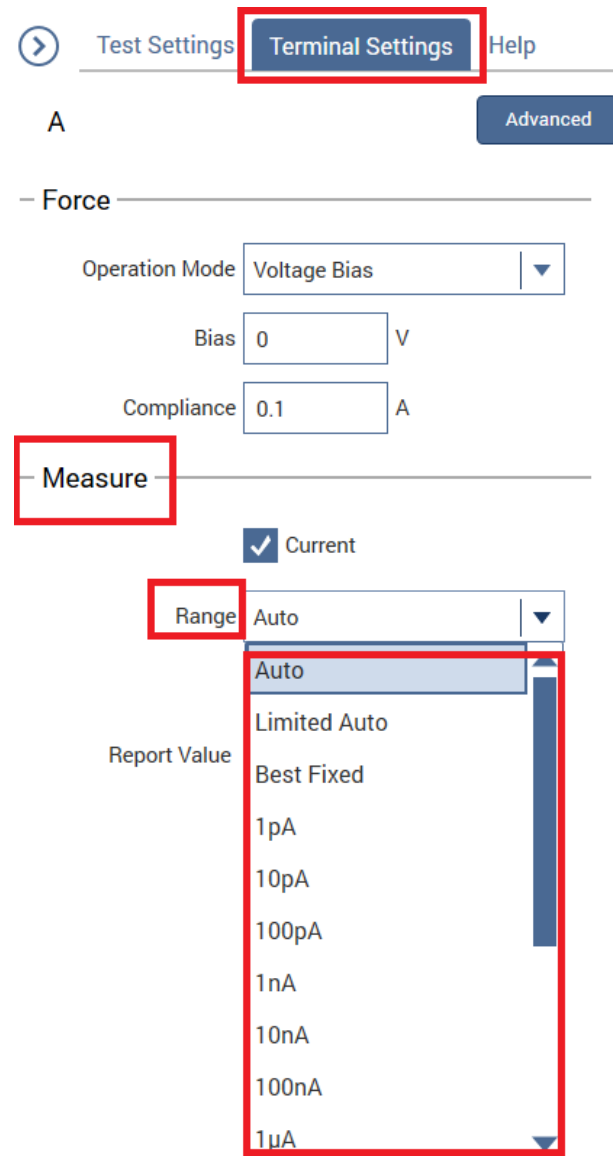
量程选择

Auto: 自动选择合适量程 (推荐)

Limited Auto: 有限自动; 需要设定最小量程

Best Fixed: 自动选择最佳固定量程

固定量程: 固定量程范围



如何保证测试准确性—速度



- 设备测试速度与测试精度是矛盾体

测试速度影响因素：

Delay factor: 延迟因数

Filtor factor: 滤波因数

A/D Apeture Time: A/D积分时间

如何保证测试准确性—速度



— Measure Settings

Speed Custom

Delay Factor 1

Filter Factor 1

Auto A/D Aperture

A/D Aperture Time 1

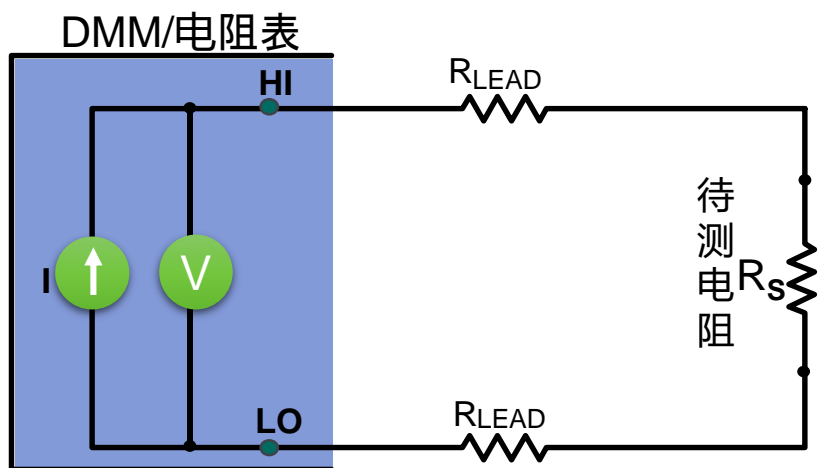
路径: test settings-measure settings-speed

选项: fast normal quiet 越来越慢

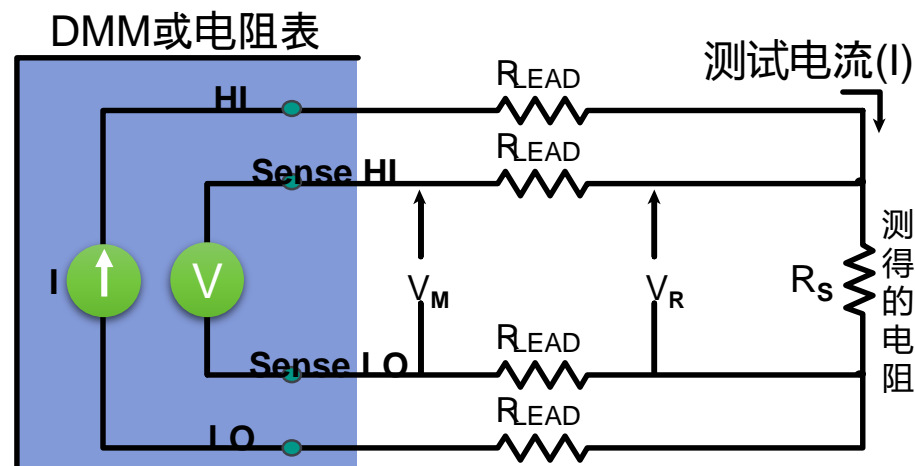
Custom可以设置Delay factor/Filtor factor/A/D Apeture Time

经典案例集锦—四线法测小电阻

四线法，又名开尔文测试（kelvin）法，要求设备配备kelvin接口



$$R_{\text{measured}} = R_s + R_{\text{LEAD}} + R_{\text{LEAD}}$$

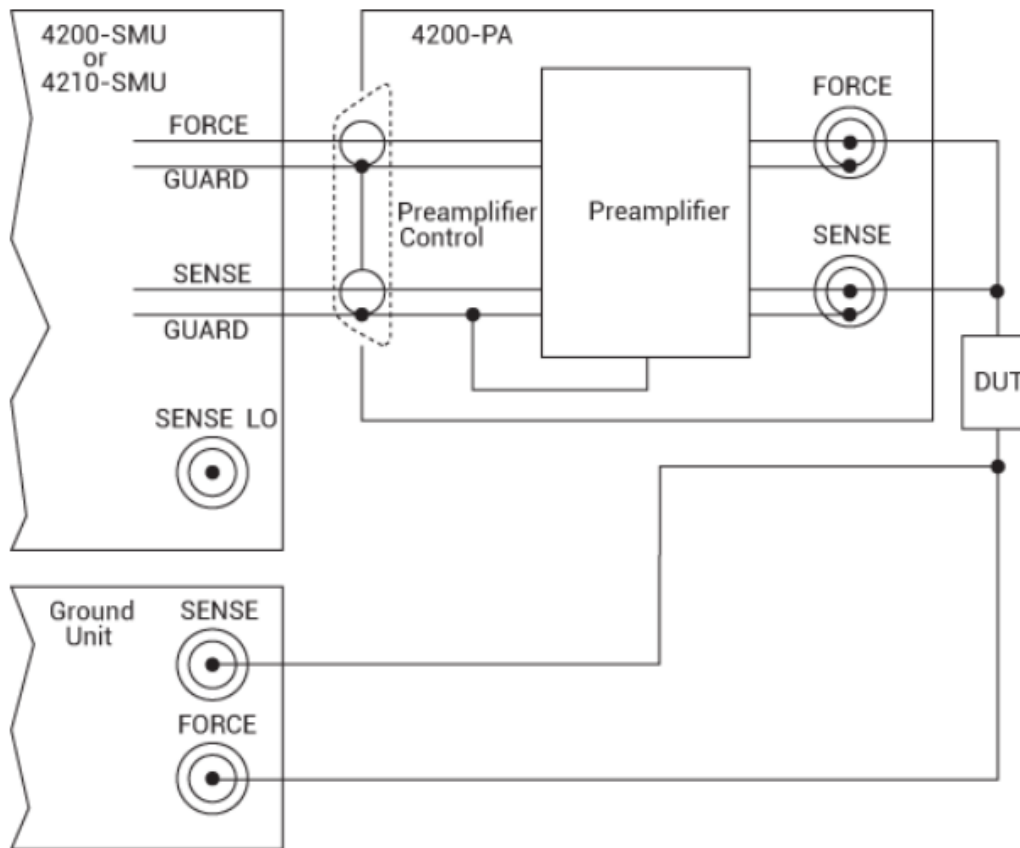
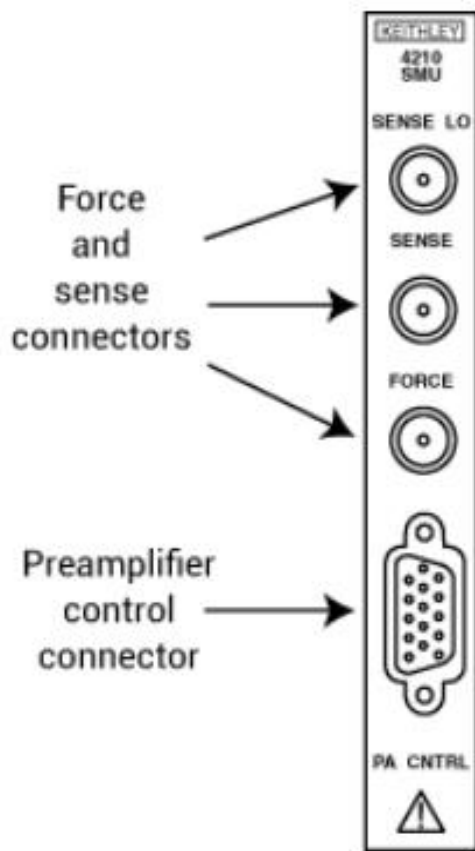


V_M = 电阻表测得的电压
 V_R = 经过电阻器的电压
可以忽略Sense端电流, $V_M = V_R$

测得的电阻是 R_s

经典案例集锦—四线法测小电阻

Keithley源表都配有Kelvin接口



经典案例集锦—四线法测小电阻

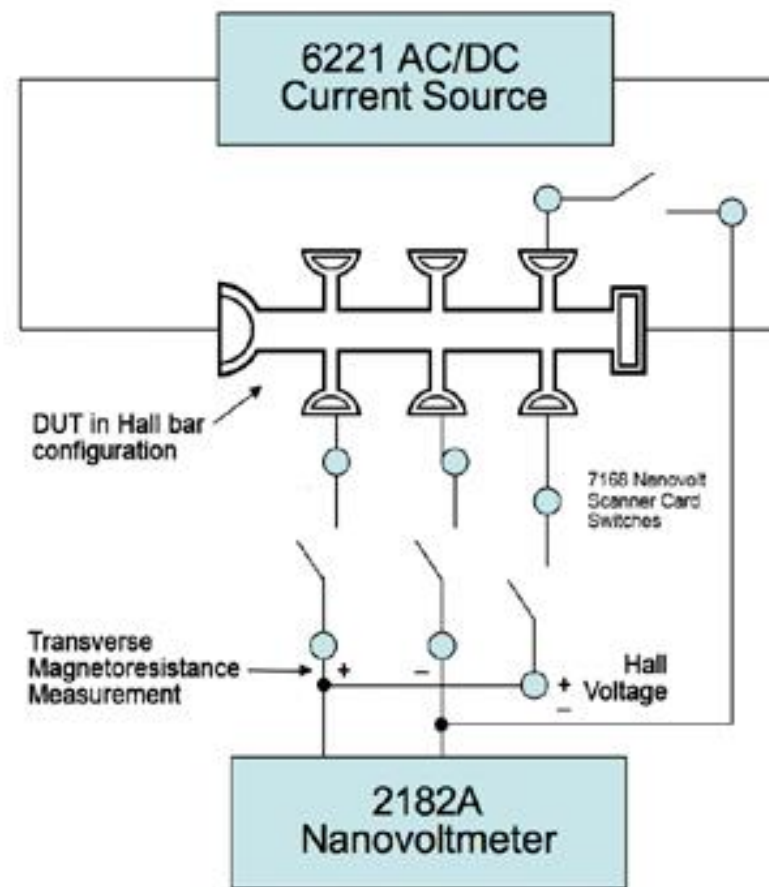
什么时候用四线法：

小电阻 < 100Ω，大电流

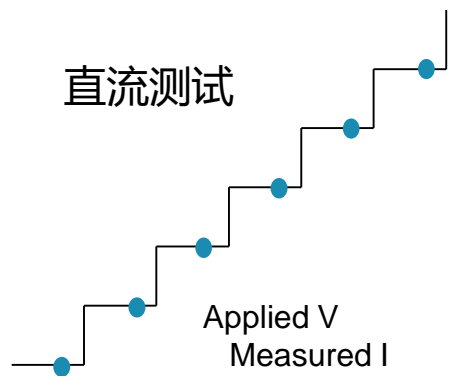


设备测试小电阻范围：

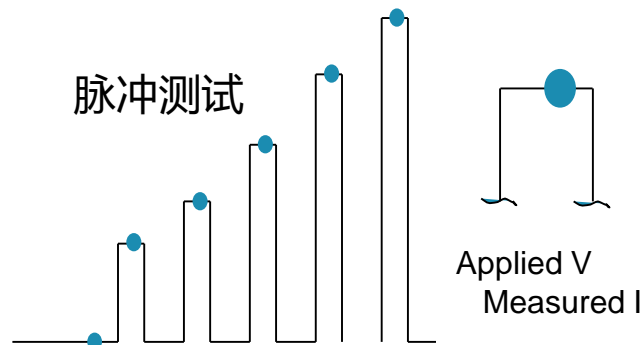
$R_{min} = \frac{V_{min}}{I_{max}}$ ，最佳设备6221+2182组合



经典案例集锦—pulse IV模式

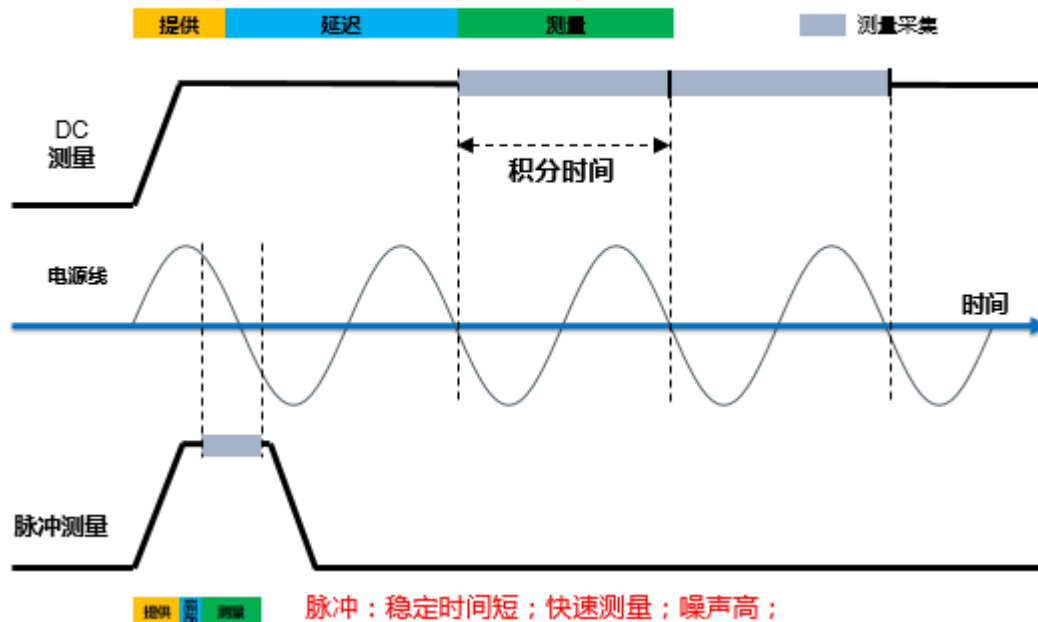


功率器件长时间在直流偏置下,特性开始改变

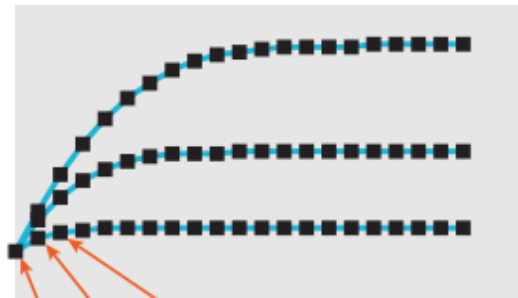


快速的脉冲测试 (微秒至纳秒级别), 减少功率器件在电压/电流偏置下的stress时间

DC : 稳定时间长 ; 测量需要时间长 ; 低噪声 ;

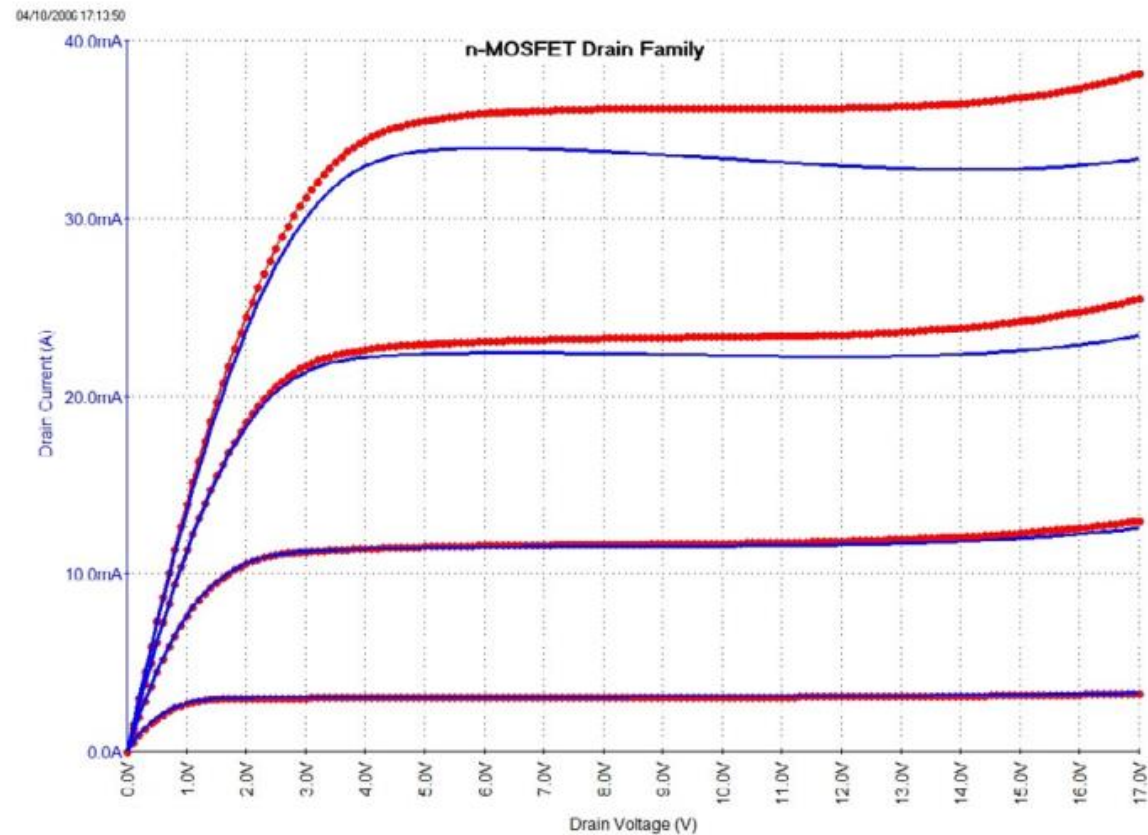


经典案例集锦—pulse IV模式



Pulsed I-V

Pulse/Measure with DC-like results
Train, Sweep, Step modes
General device characterization



脉冲模式可以减少自加热效应

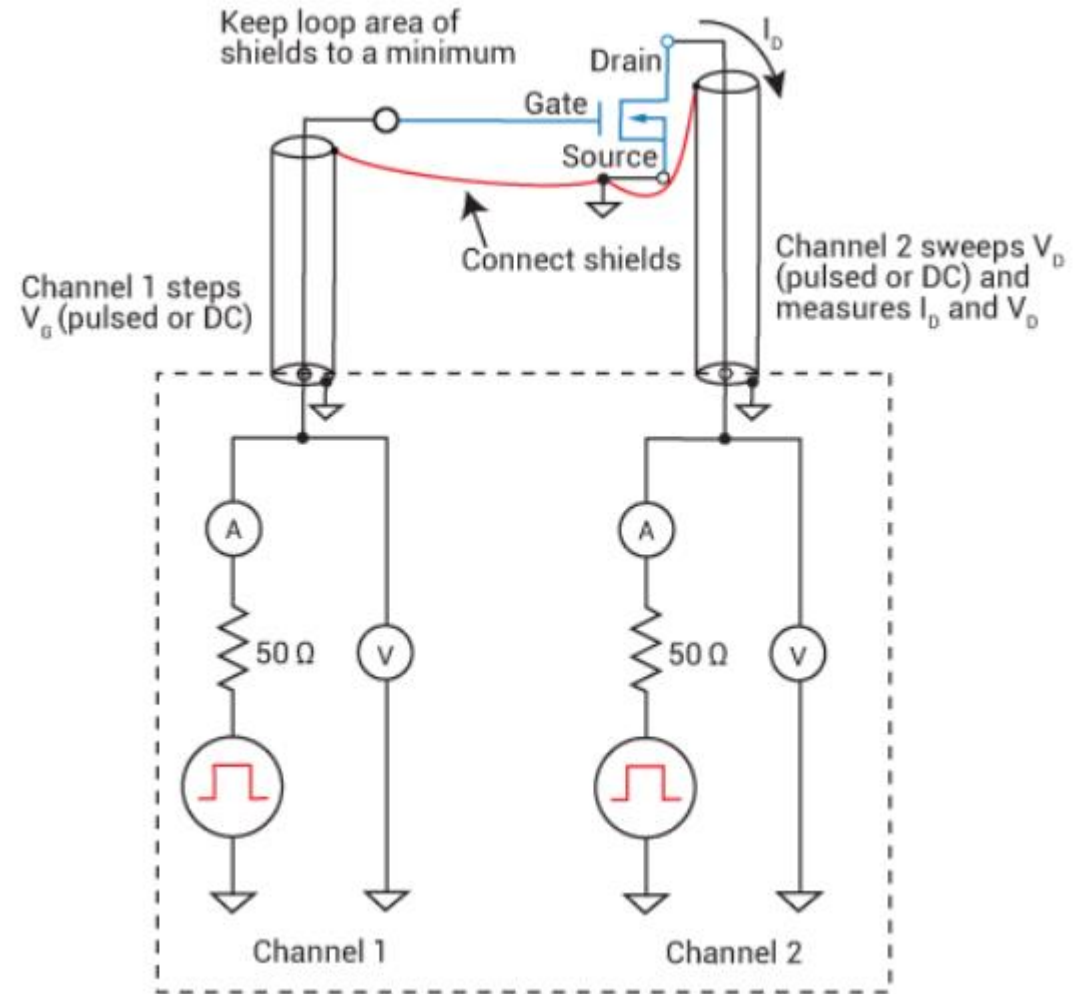
经典案例集锦—pulse IV模式

4225-PMU



SMA female connector (1 of 4)

RPM connector (1 of 2)



经典案例集锦—pulse IV模式

参考：Default project—>n-fet—>pulse-vds-id

pulse-vds-id#1

Key Parameters All Parameters

Drain PMU1-2

Operation Mode Pulse Amplitude Sweep

Start 0 V

Stop 5 V

Step 0.5 V

Base 0 V

Gate PMU1-1

Operation Mode Pulse Amplitude Step

Start 2 V

Stop 4 V

Step 0.5 V

Base 0 V

Bulk PMU1-2GND

Operation Mode DC Gnd

Source PMU1-1GND

Operation Mode DC Gnd

Test Settings Terminal Settings Help

pulse-vds-id#1 Advanced

Pulse Settings

Test Mode Pulse IV

Measure Mode Discrete Pulses

Number of Pulses 1

Timing Parameters

Period 1E-06 s

Width 5E-07 s

Rise Time 1E-07 s

Fall Time 1E-07 s

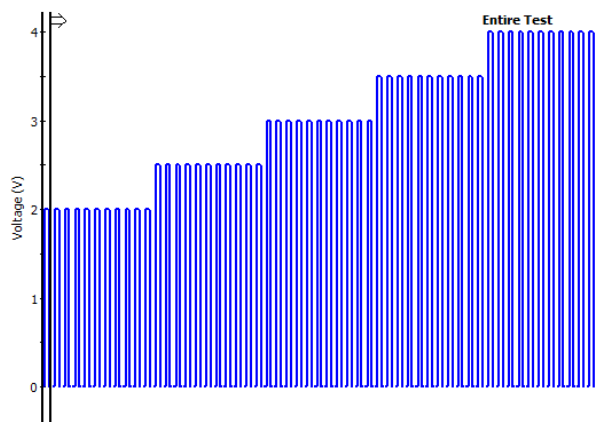
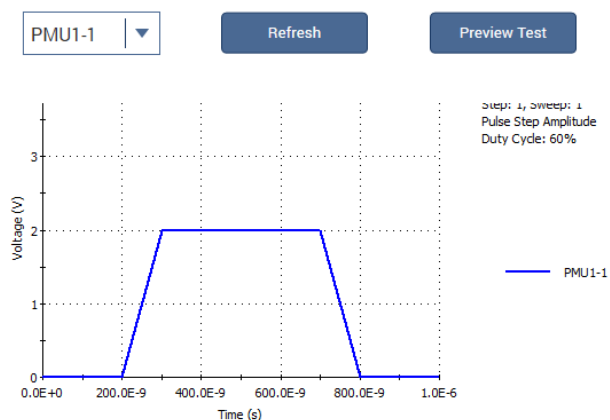
Delay 2E-07 s

Formulator Output Values

经典案例集锦—pulse IV模式

参考：Default project—>n-fet—>pulse-vds-id

Pulse Timing Preview

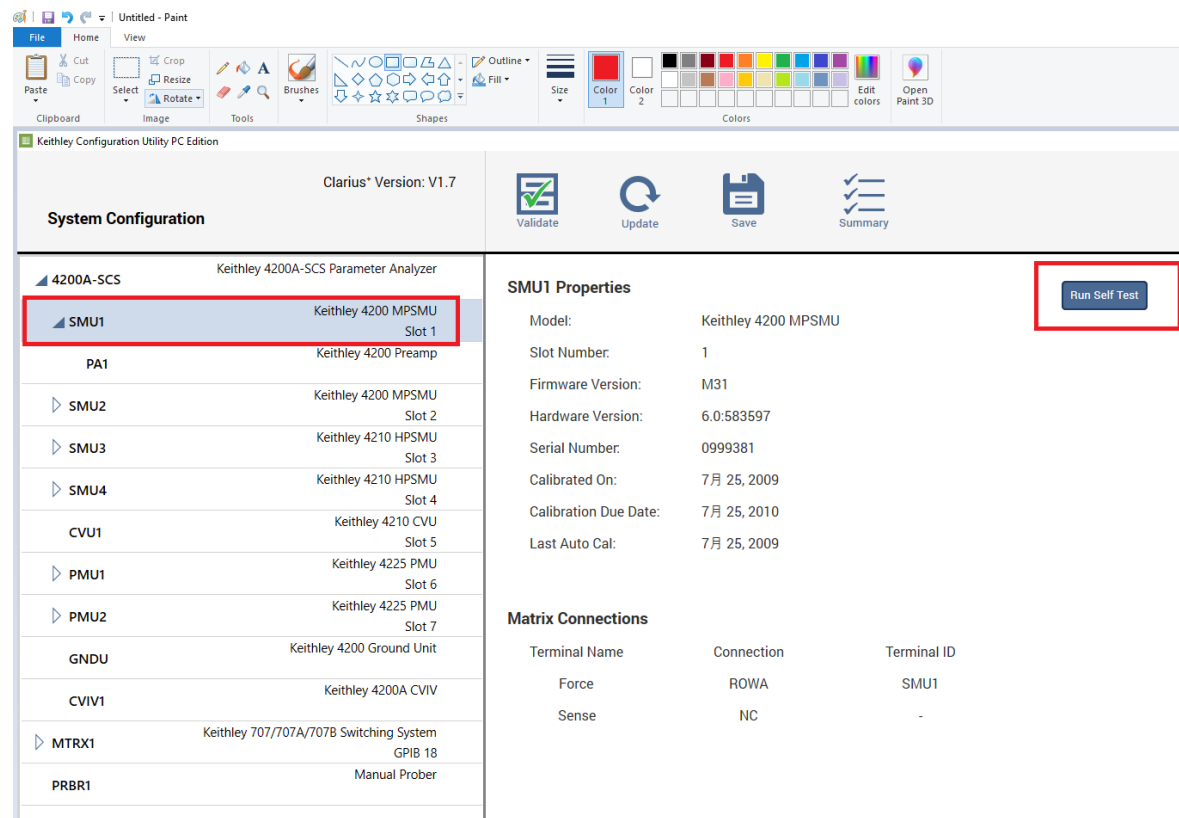
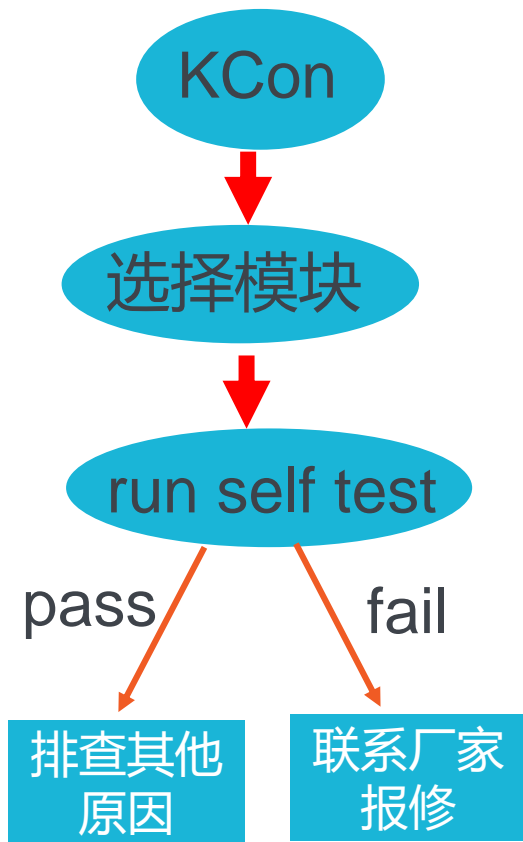


Pulse 时间与精度的关系

	Current Measurement Range	Recommended Minimum Pulse Width Time	Recommended Minimum Rise and Fall Times
RPM 10V	100 nA	134 μs^1	1 μs^1
RPM 10V	1 μA	20.4 μs	360 ns
RPM 10V	10 μA	8.36 μs	360 ns
RPM 10V	100 μA	1.04 μs	40 ns
RPM 10V	1 mA	370 ns	30 ns
RPM 10V	10 mA	160 ns	20 ns
PMU 10V	10 mA	160 ns^2	20 ns^2
PMU 10V	200 mA	70 ns	20 ns
PMU 40V	100 μA	6.4 μs^3	1 μs^3
PMU 40V	10 mA	770 ns	100 ns
PMU 40V	800 mA	770 ns	100 ns

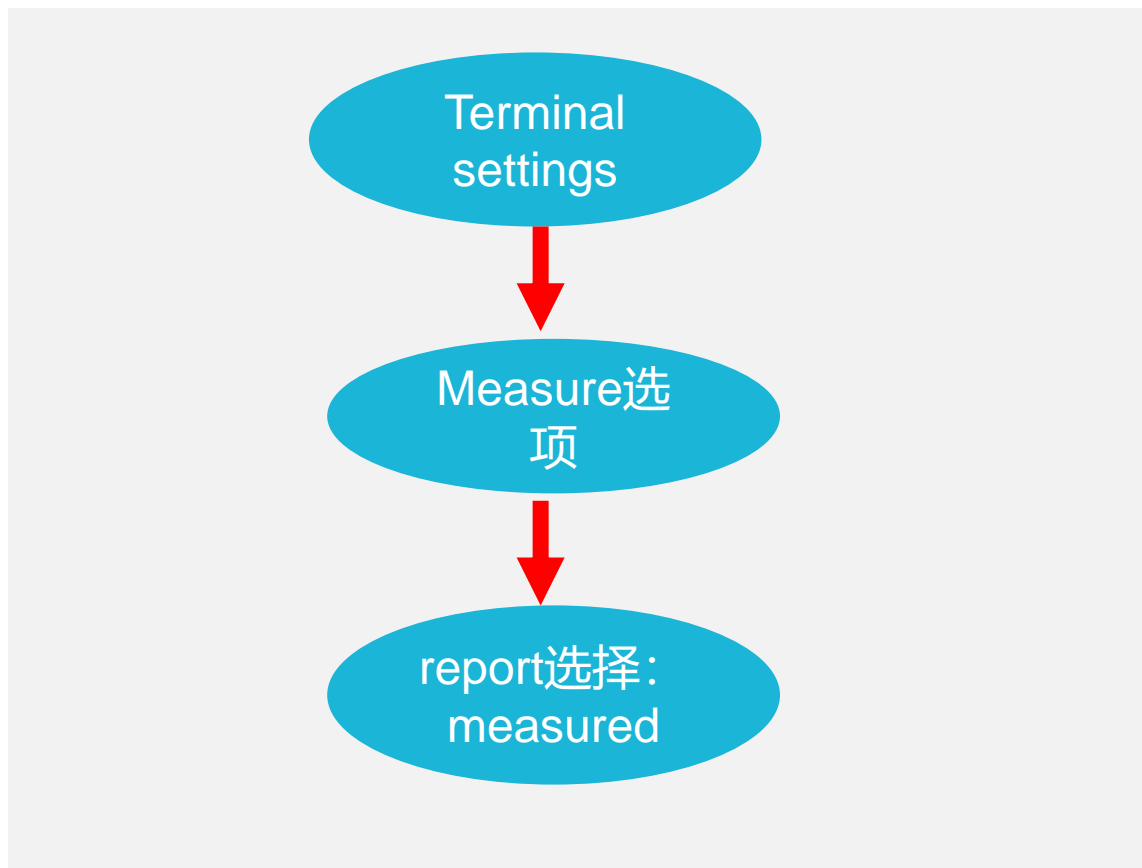
如何快速进行故障检测—自检

场景：测试错误或设备报配置错误，怀疑是设备问题



如何快速进行故障检测—排查输出不准确

场景：设备电压或电流输出不准



预约泰克线下实验室



泰克高速串行实验室预约

实验室设备涵盖各系列高速示波器、误码仪、源表、电源功率分析仪及各种配套探头和测试专用夹具。支持各种工业应用标准及高速接口测试环境。



北京



上海



深圳



西安



成都

泰克电源实验室预约

实验室具备数十台测试仪器组成的电源设计全流程测试方案，功率器件选择，查找主要损耗点，优化效率及电源标准预认证。另外实验室里还有GaN, SiC评估板供您体验！



北京



上海



深圳

