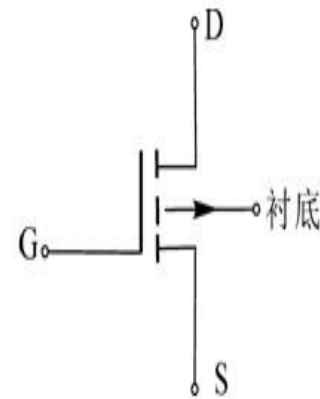
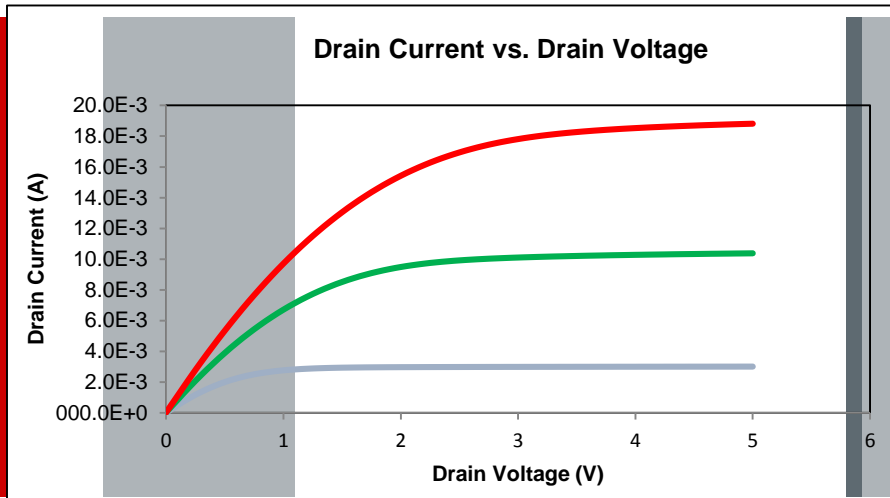
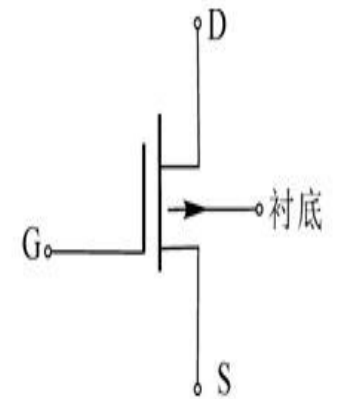


IC 的设计及DC特性测试



(a) P 沟道增强型场效应管符号



(b) P 沟道耗尽型场效应管符号

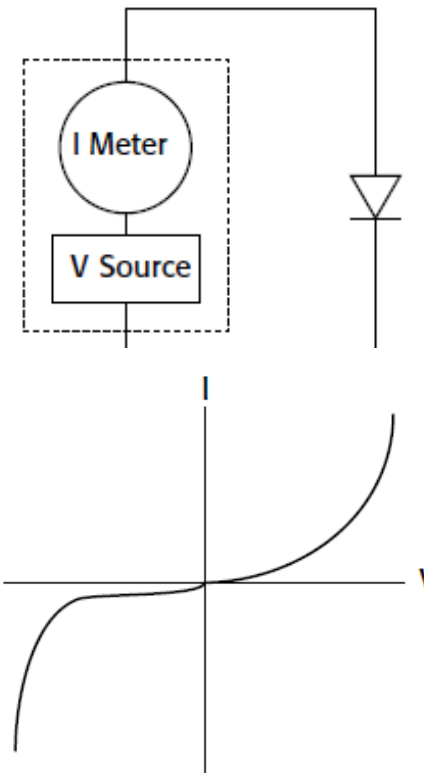
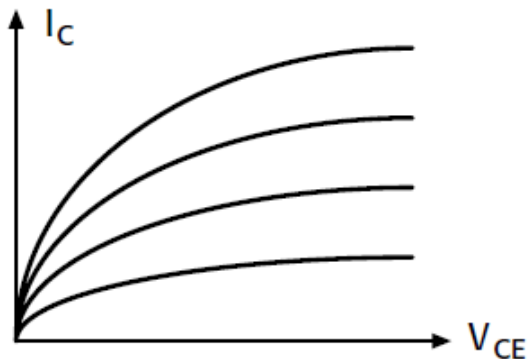
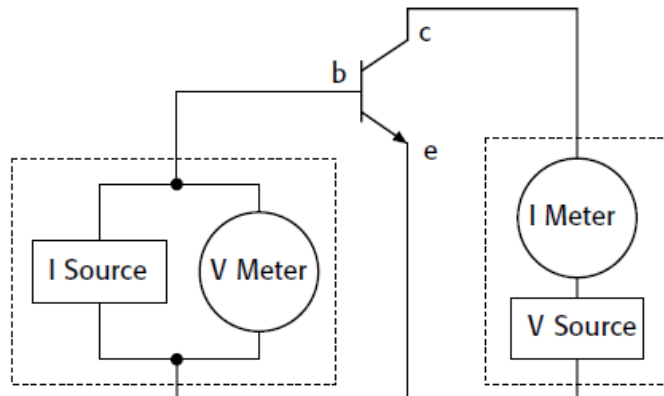
内容

- IC设计中的IV测试
- IC的DC特性测试

IC 设计的I/V测量

■ IC的I/V测量

- IC设计阶段的基本IV测量：既有三极管，也有二极管的IV测量
- 集电极的I测量
- 击穿电压
- 接点泄漏电流
- 电流增益和GUMMEL图



晶体管I-V特性分析

功率晶体管与射频晶体管

晶体管直流特性分析

半导体器件(如晶体管)是电子产品的基础。在各种研发背景中的大多数器件需要进行电气特性分析,如研究实验室、晶圆厂、大学、器件制造商等。分立晶体管用于功率管理、电压调节、开关和电信(射频)功率放大器等诸多应用。

近年来通信业增长迅猛。对更宽带宽和更大移动性的需求是通信业创新的主要动力。通信集成电路是持续创新的关键。对于旨在传输和接收数据的无线网络而言,在高频段放大信号的能力至关重要。这个任务通常是利用射频功率放大器和低噪声放大器实现的。



晶体管的类型有哪些?

在通信应用中,大多数功率放大器工作在高频。这个极高频范围意味着从经济角度看,传统互补金属氧化物半导体(CMOS)工艺不适合制作放大器。因此,通常使用与之不同的高迁移率半导体材料,如GaAs, SiGe或其他III-V族半导体材料。这类非放大器最常用的构建模块不是CMOS晶体管,而是金属半导体场效应晶体管(MESFET)、异质结双极晶体管(HBT)、赝配高电子迁移率晶体管(PHEMT)以及横向扩散金属氧化物半导体晶体管(LDMOS)。

晶体管测试

对同类晶体管或射频晶体管进行电气特性分析有几种方法。虽然可以综合运用不同电压/电流源和电流/电压仪表组合进行测量,最近的仪器进展使得简化了这个方法。利用源测量单元(SMU),不仅使测量设置更加灵活,而且对测量结果更自信。包括两个端口以上的测试器件通常需要一个以上的源测量单元(SMU)。图1给出设置实例。

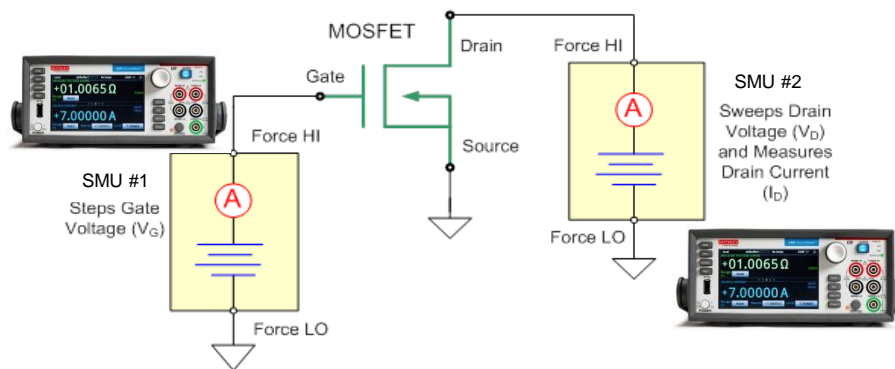


图1 使用两个源测量单元(SMU)测试MOSFET器件的设置实例

对晶体管进行IV特性分析时常见的测量

- 漏电压(V_D) – 在场效应晶体管漏极端子处的电压称作漏电压。
- 漏电流(I_D) – 在电压源作用下通过漏极端子的电流称作漏电流。通过漏电流可以洞察器件工作和效率。
- 其他常见测量包括:
 - 栅极电压(V_G) • 栅极电流(I_G) • 阈值电压(V_{TH})
 - 击穿电压(V_B)
 - 结漏电流(I_{CEO})
 - 直流电流增益(β)

晶体管I-V特性分析

功率晶体管与射频晶体管

异质结双极晶体管（HBT）的典型测量设置

异质结双极晶体管（HBT）是双极结晶体管(BJT)的一种，它在发射区和基区使用不同的半导体材料，这样，发射结就形成了一个异质结。异质结双极晶体管（HBT）改进了双极结晶体管(BJT)，因为它可以处理电信行业中常见的、高达数百吉赫的极高频信号。在需要高功率效率的应用中也常用到它，如手机中的射频功率放大器。

图2给出两部源测量单元（SMU）仪器与器件的连接。第一台源测量单元（SMU）仪器连接异质结双极晶体管（HBT）的基极和发射极，第二台源测量单元（SMU）仪器连接其集电极和发射极。

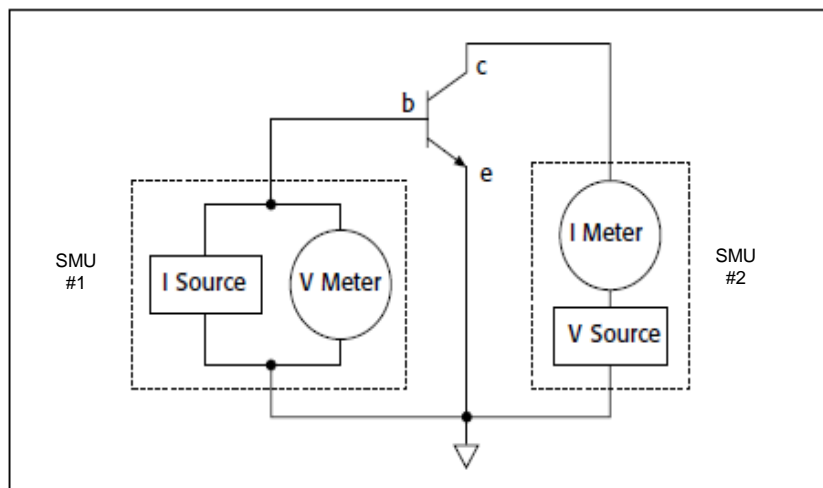


图2 测量异质结双极晶体管（HBT）集电极 I-V 曲线的仪器设置

为了得到HBT异质结双极晶体管（HBT）集电极曲线，基极源测量单元（SMU）仪器设置为输出电流并测量电压。集电极源测量单元（SMU）仪器设置为扫描电压并测量电流。在第一个基极电流设置后，对集电极电压进行扫描，同时测量集电极电流。然后，对基极电流进行阶跃，再次对集电极电压进行扫描，同时测量集电极电流。重复这个过程，直到得到不同基极电流电平时的集电极I-V曲线。

晶体管系列曲线

典型异质结双极晶体管（HBT）集电极曲线如图3所示。

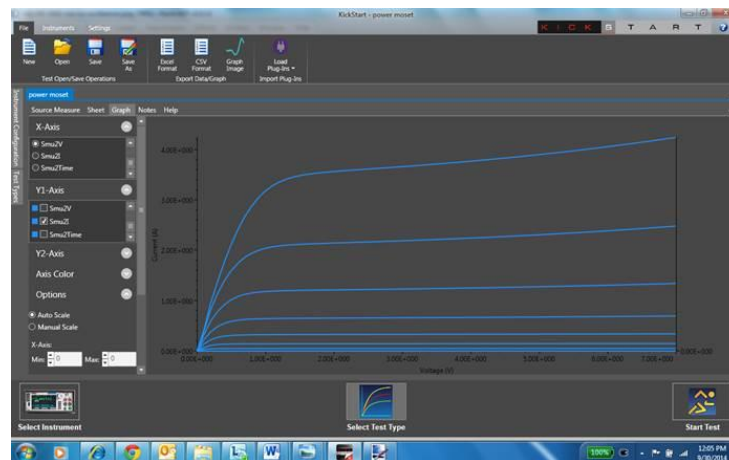


图3b 利用吉时利KickStart软件控制两部2450型交互式源测量单元（SMU）得到的晶体管集电极曲线

什么是数字源表源测量单元？

数字源表也称作源测量单元(SMU)，是一种能够对待测器件(DUT)同时进行源和测量的测试设备。典型的源测量单元(SMU)具有以下5种功能：源电压、源电流、测量电流、测量电压、测量电阻。这些仪器可以在宽电流和电压范围进行源和测量。在大多数情况下，这些功能是组合使用的：同时源电压并测量电流或者同时源电流并测量电压。

欲了解更多信息，请登录公司网站(www.keithley.com):

- 2450和2460型交互式数字源表更详细规范
- 功率晶体管和射频晶体管直流电气特性详细分析应用笔记
- 白皮书

IC 的DC直流特性测量

- IC的DC直流特性测量
 - 典型的发射IC的休眠和发射的直流参数

TEMPERATURE RANGE, T _A	-40	+85	°C	
VOLTAGE SUPPLY				
V _{DD}	2.2	3.6	V	Applied to VDDBAT1 and VDDBAT2
TRANSMIT CURRENT CONSUMPTION				In the PHY_TX state, PA matched to 50 Ω, separate PA and LNA match
433 MHz				
-10 dBm	8.7		mA	
0 dBm	12.2		mA	
10 dBm	23.3		mA	
13.5 dBm	32.1		mA	
868 MHz/915 MHz				
-10 dBm	10.3		mA	
0 dBm	13.3		mA	
10 dBm	24.1		mA	
13.5 dBm	32.1		mA	
POWER MODES				
PHY_SLEEP (Deep Sleep Mode 2)	0.18		μA	Sleep mode, memory not retained
PHY_SLEEP (Deep Sleep Mode 1)	0.33		μA	Sleep mode, memory retained
PHY_SLEEP (RC Oscillator Active)	0.75		μA	WUC active, RC oscillator running, memory retained
PHY_OFF	1		mA	Device in PHY_OFF state, 26 MHz oscillator running, digital and synthesizer regulators active, all register values retained
PHY_ON	1		mA	Device in PHY_ON state, 26 MHz oscillator running, digital, synthesizer, VCO, and RF regulators active, baseband filter calibration performed, all register values retained
PHY_RX	12.8		mA	Device in PHY_RX state
SMART WAKE MODE				Average current consumption
	21.78		μA	Autonomous reception every 1 sec, with receive dwell time of 1.25 ms, using RC oscillator, Radio Profile B
	11.75		μA	Autonomous reception every 1 sec, with receive dwell time of 0.5 ms, using RC oscillator, Radio Profile F

IC 的DC直流特性测量

- IC的DC直流特性测量
 - 典型的放大器的DC特性

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
DC Parameters						
I_{CC}	Total supply current			80	95	mA
	Power down current	PWDN = High		125		μ A
P_{diss}	Power dissipation			0.4		W
PWDN Pin						
V_{IH}	High level input level		2			V
V_{IL}	Low level input level				0.8	V
I_{IH}	High level input current			30		μ A
I_{IL}	Low level input current			1		μ A

2450/2460型交互式数字源表®源测量单元(SMU)仪器

触摸, 测试, 发明®



学习更迅速, 工作更聪明, 发明更容易

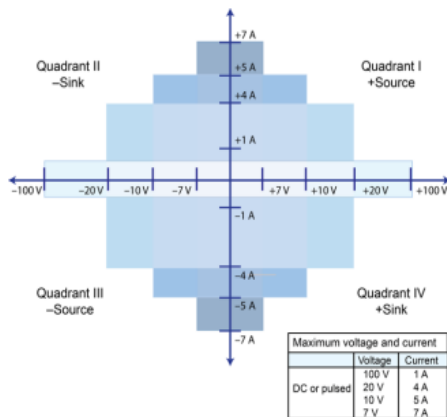
- 7A直流, 7A脉冲100W源/阱
- 出众的模拟性能
- 5英寸电容触摸屏界面
- 直观用户体验

特性

- 通过一个紧密耦合、紧凑和可支付的I-V仪器, 源和测量电压、电流和电阻
- 全新7A, 5A, 4A大电流源/测量量程, 高达7A脉冲
- 源和阱 (4象限) 操作
- 基本测量稳定度0.012%, 6位半数字分辨率
- 前面板输入香蕉插孔; 后面板集体端螺丝连接器
- 前面板USB存储器端口, 用于数据/编程/配置I/O

益处

- 无需多部仪器
- 集分析仪、曲线追踪仪、I-V系统于一体, 成本更低
- 节省额外附件费用
- 降低测试成本



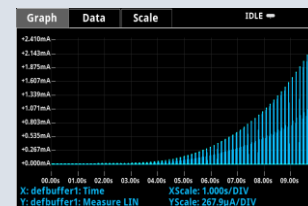
5英寸先进触摸屏图形界面



主页



菜单



图形

	Time	Source	Measure
1	04/15 11:47	0	-3.5834e-09
2	11:47:43.7	0.15	-3.39246e-09
3	11:47:43.9	0.3	-1.51159e-10
4	11:47:44.0	0.45	-1.41041e-10
5	47:44.14536	0.6	-1.09631e-10
6	47:44.24416	0.75	-1.17562e-10
7	11:47:44.3	0.9	-1.55801e-10
8	47:44.44620	1.05	-4.72073e-11
9	47:44.54514	1.2	1.21138e-09
10	11:47:44.4	1.35	2.68575e-08
11	11:47:45.1	1.5	5.41132e-07

表格

- 4个“Quickset”模式, 用于快速设置和测量
- 前面板背景敏感的帮助功能
- 最小学习曲线, 适合仪器新用户
- 对于有经验用户, 效率更高

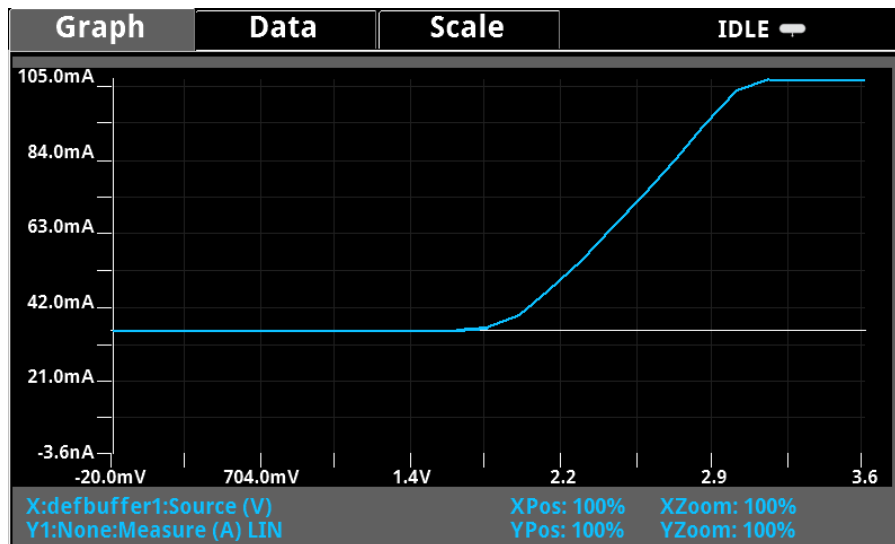
学习更迅速 • 工作更聪明 • 发明更容易

图表和数据显示

将原始数据转化为信息

■ 绘制图表

- X轴: 源, 时间, 或点
- Y轴: 测量或源



■ 显示数据表

- 扫描数据表
- 使用导航旋钮翻阅数据
- 点击数据点, 获得全部细节

DATA SHEET			
Buffer	defbuffer1	↑ ↓	Jump Refresh
	Time	Source	Measure
1	04/15 11:47	0	-3.58534e-09
2	11:47:43.7	0.15	-3.39246e-09
3	11:47:43.9	0.3	-1.51159e-10
4	11:47:44.0	0.45	-1.41694e-10
5	47:44.14536	0.6	-1.09631e-10
6	47:44.24416	0.75	-1.17562e-10
7	11:47:44.3	0.9	-1.55861e-10
8	47:44.44620	1.05	-8.72073e-11
9	47:44.54514	1.2	1.21138e-09
10	11:47:44.8	1.35	2.68575e-08
11	11:47:45.1	1.5	5.41153e-07

可信的吉时利高精密、高精度和高性能

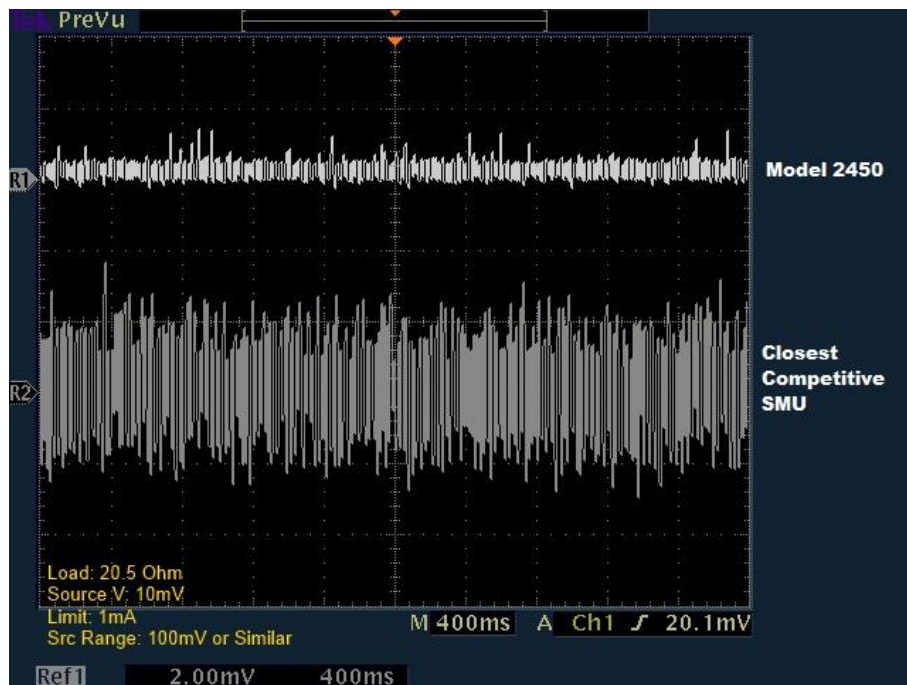
- 多功能，适合多个应用

- 最新低电压和低电流量程
 - 无需使用第二个低电平仪器
- 噪声更低，适合下一代材料和器件

Range
20.00000 mV
200.0000 mV
2.000000 V
20.00000 V
200.0000 V

NEW

Range
10.00000 nA
100.0000 nA
1.000000 μ A
10.00000 μ A
100.0000 μ A
1.000000 mA
10.00000 mA
100.0000 mA
1.000000 A



2450/2460型交互数字源表®源测量单元(SMU)仪器

电压规范

	电压源			电压测量		
量程	最大电流	分辨率	准确度(23°C ±5°C) 1 年 +/- (设置% + 伏特)	分辨率	输入阻抗	准确度 (23°C ±5°C) 1年 +/- (读数% + 伏特)
20.00000mV	7.35A	500nV	0.100 % + 200 μV	10 nV	> 10 GΩ	0.10 % + 150 μV
200.0000mV	7.35A	5 μV	0.015 % + 200 μV	100 nV	> 10 GΩ	0.012 % + 200 μV
2.000000 V	7.35A	50 μV	0.015 % + 300 μV	1 μV	> 10 GΩ	0.012 % + 300 μV
7.000000 V	7.35A	250 μV	0.015 % + 2.4 mV	1 μV	> 10 GΩ	0.015 % + 1 mV
10.000000 V	5.25A	500 μV	0.015 % + 2.4 mV	10 μV	> 10 GΩ	0.015 % + 1 mV
20.00000 V	4.20A	500 μV	0.015 % + 2.4 mV	10 μV	> 10 GΩ	0.015 % + 1 mV
100.0000 V	1.05A	2.5 mV	0.015 % + 15 mV	50 μV	> 10 GΩ	0.015 % + 5 mV

电流规范

	电 流 源			电 流 测 量		
量 程	最大电压	分辨率	准确度(23°C ±5°C) 1 年 +/- (设置% + 安培)	分辨率	电压负担	准确度 (23°C ±5°C) 1 年 +/- (读数% + 安培)
10.00000nA	105V	500fA	0.100 % + 100pA	10fA	< 100 μV	0.100 % + 50pA
100.0000nA	105V	5pA	0.060 % + 150pA	100fA	< 100 μV	0.060 % + 100pA
1.000000 μA	105V	50 pA	0.025 % + 1 nA	1 pA	< 100 μV	0.025 % + 700 pA
10.00000 μA	105V	500 pA	0.025 % + 1.5 nA	10 pA	< 100 μV	0.025 % + 1 nA
100.0000 μA	105V	5 nA	0.020 % + 15 nA	100 pA	< 100 μV	0.020 % + 10 nA
1.000000 mA	105V	50 nA	0.020 % + 150 nA	1 nA	< 100 μV	0.020 % + 100 nA
10.00000 mA	105V	500 nA	0.020 % + 1.5 μA	10 nA	< 100 μV	0.020 % + 1 μA
100.0000 mA	105V	5 μA	0.020 % + 15 μA	100 nA	< 100 μV	0.020 % + 10 μA
1.000000 A	105V	50 μA	0.050 % + 750 μA	1 μA	< 100 μV	0.050 % + 500 μA
4.000000 A	21V	250 μA	0.100 % + 3 mA	1 μA	< 100 μV	0.100 % + 2.5 mA
5.000000 A	10.5V	250 μA	0.100 % + 3 mA	1 μA	< 100 μV	0.100 % + 2.5 mA
7.000000 A	7.35V	500 μA	0.150 % + 6 mA	1 μA	< 100 μV	0.150 % + 5 mA

- 支持LXI, USB2.0, GPIB, LAN, TSP-Link® 和数字I/O接口
- 2460型SCPI与TSP®脚本模式
- 前面板USB 2.0端口(存储器I/O), 用户数据输入/输出和系统升级

欲了解产品细节、完整规范、应用笔记、软件、视频、产品展览的更多信息, 请访问公司网站www.keithley.com。

IC 的DC直流特性测量

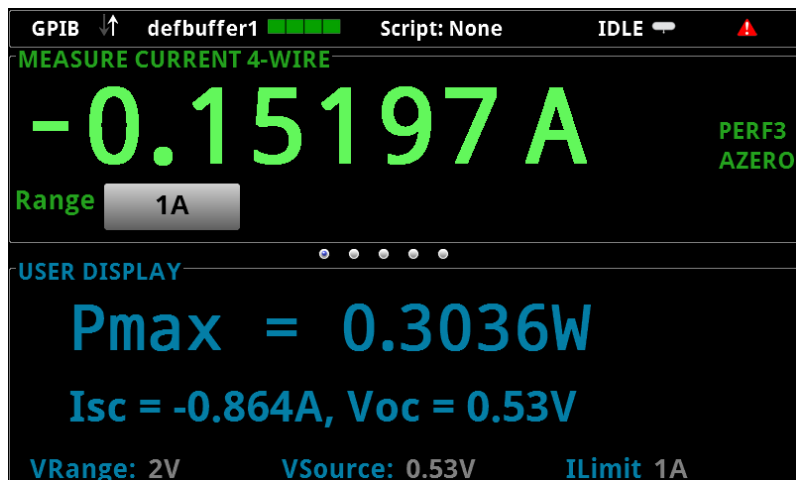
对于像ADC或者运算放大器OP等的IC，

- 精确的小电流测量：最小可测量fA级别的
 - 输入漏电流
 - 输入偏流
 - 输入偏置电流
 - . . .
- 验证ADC的量化精度，
 - 如16bit的最小电压要0.0000625V,即62.5uV.位数更高电压更低

输入漏电流	采集阶段	60	nA
Input Bias Current (Note 3)	I_B	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	0.02 0.5
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$	10
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$	50
Input Offset Current (Note 3)	I_{OS}	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	0.04 0.5
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$	10
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$	25

上图是节选自IC的数据手册的要求

使用2450型仪器测试IC的DC特性---一台仪器即可！



大型用户界面可以显示被测IC的I-v参数，如最大功率、电流和电压。

感谢您关注泰克

- 了解更多信息可登陆：

<http://www.keithley.com.cn/products/dcac/currentvoltage>

- 可拨打全国免费电话：

400-820-5838

- 也可登录泰克官网：

<http://cn.tek.com/>

- 欢迎关注泰克微信公众平台
微信公众号：Tektronixchina



