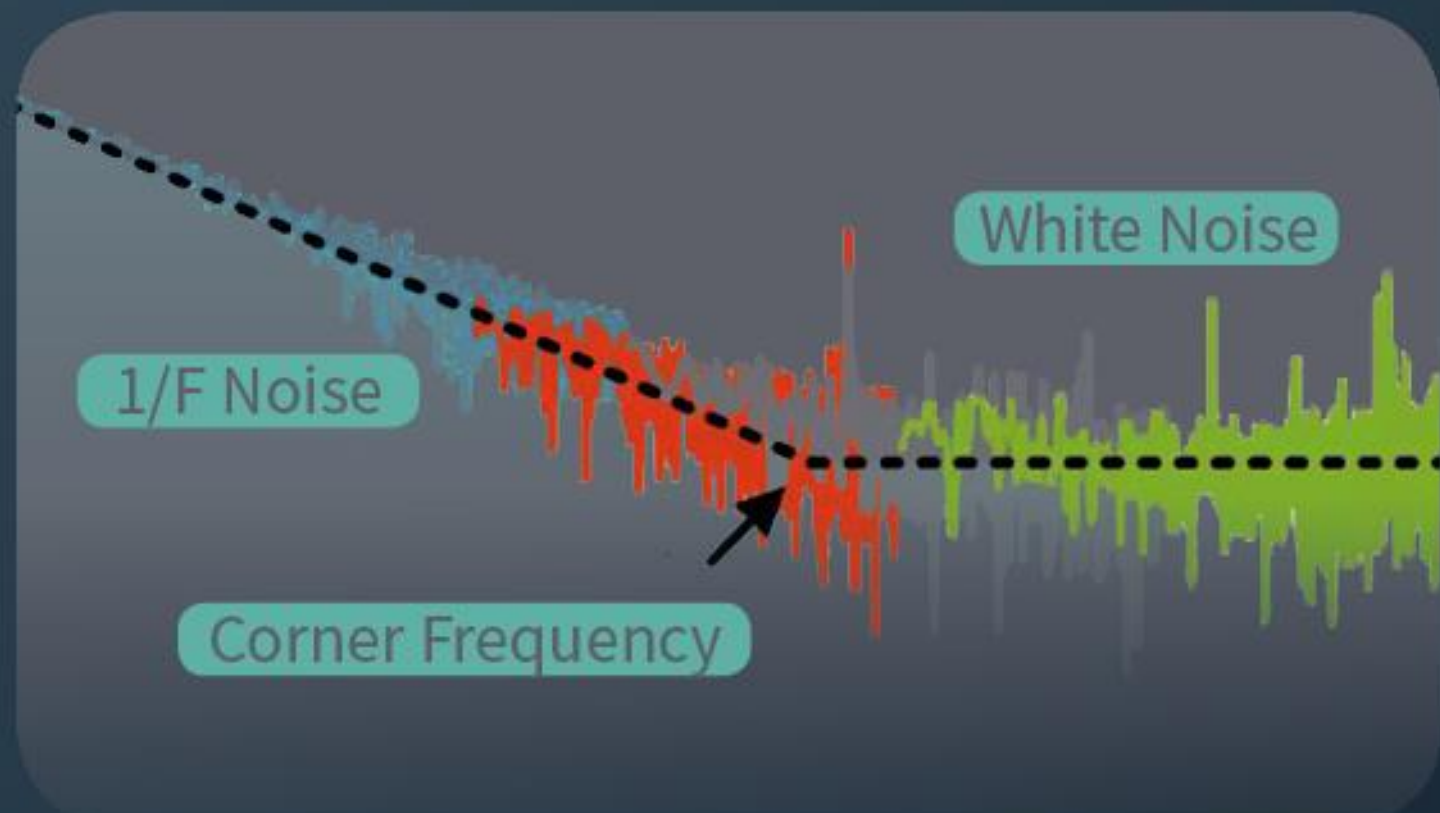


1/f噪声测试方案详解



[讲师介绍]

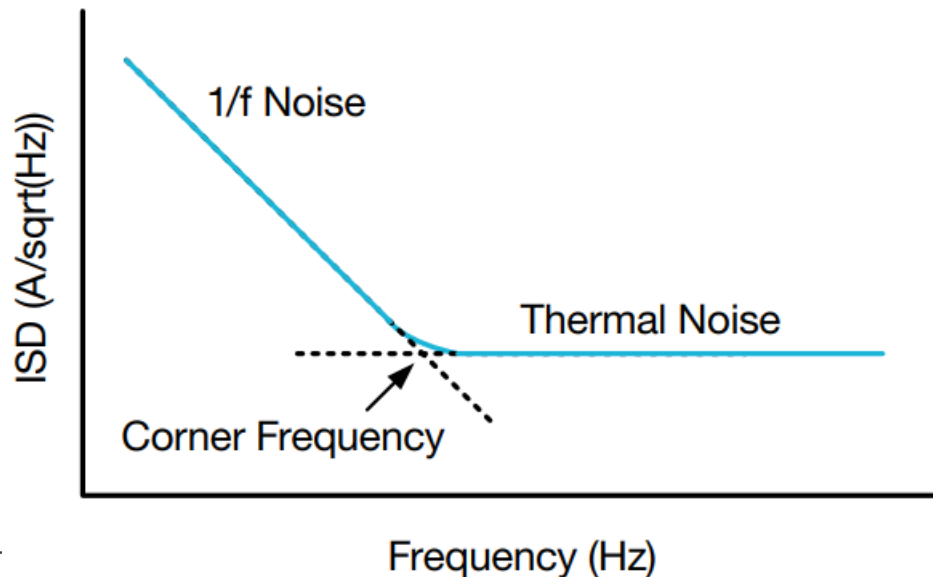
赵凯

泰克高级应用工程师

▶▶▶ 7月27日 (周四)
14:30-15:30

1/f噪声的概念

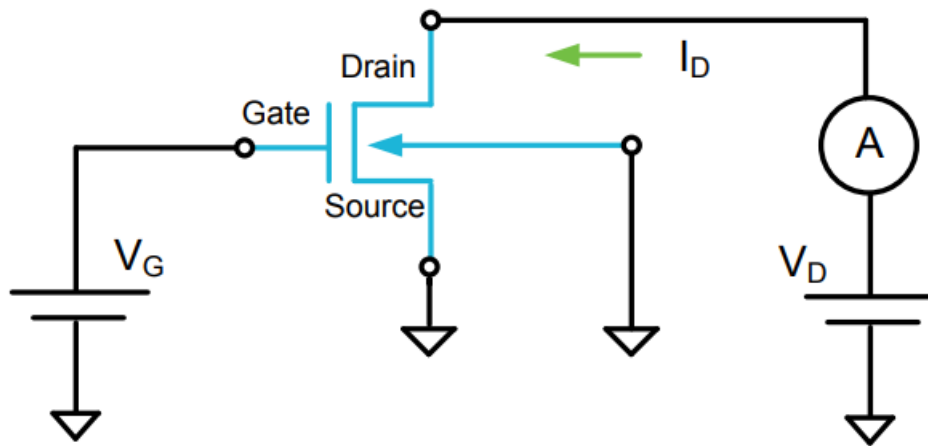
- 电子设备本身有不同类型的噪声源，包括热噪声、散粒噪声、白噪声和1/f(闪烁)噪声
- 热噪声是电路中的主要噪声源，是由导体中电子的热震动引起的，是温度变化的结果，但不受频率变化的影响
- 1/f噪声是低频电子噪声，一般用电流(ISD)或功率(PSD)谱密度表示。器件的典型噪声电流谱如右下图所示，在log对数尺度上，1/f噪声谱密度和频率呈线性相关。热噪声作为频率的函数保持不变。拐角频率是1/f噪声与热噪声相交的地方



1/f噪声的测试方法

- 测试目的：器件尺寸越来越小，噪声成为限制器件灵敏度的关键因素，通过尝试不同工艺或器件结构来降低1/f噪声
- 通常，器件的1/f噪声是通过测量电流作为时间的函数，然后将It测试数据通过FFT转换为频域测试曲线，就获得了1/f 噪声的电流谱密度。

Formula	Description
IIM	Imaginary current array: $IIM=FFT_I(AI,0)$
IR	Real current array: $IR=FFT_R(AI,0)$
PWR	Power: $PWR=IIM^2 + IR^2$
FREQ	Frequency array: $FREQ=FFT_FREQ(TIME, 5)$
PTS	Total number of points (of FFT calculated data): $PTS=LASTPOS(IIM)$
T	Total test time (of FFT calculated data): $T=AT(TIME, LASTPOS(IIM))-AT(TIME, FIRSTPOS(IIM))$
BW	Bandwidth: $BW=(PTS-1)/T$
ISD	Current spectral density: $ISD=SQRT((2*PWR)/(PTS*BW))$



4200A-SCS参数分析仪

中等功率SMU

210 V, 100 mA, 最小电流测量精度10fA, 最小分辨率10 aA

高功率SMU

210 V, 1 A, 其余同中功率SMU

脉冲测量单元PMU

- 超快速I-V
- 示波器视图
- 波形生成
- 脉冲和测量

多频率C-V测量单元

1 kHz – 10 MHz
±30V DC偏置, 可扩展到正负210V

切换开关

- CVIV切换开关
- 4225-RPM切换开关
- 707B/708B开关矩阵

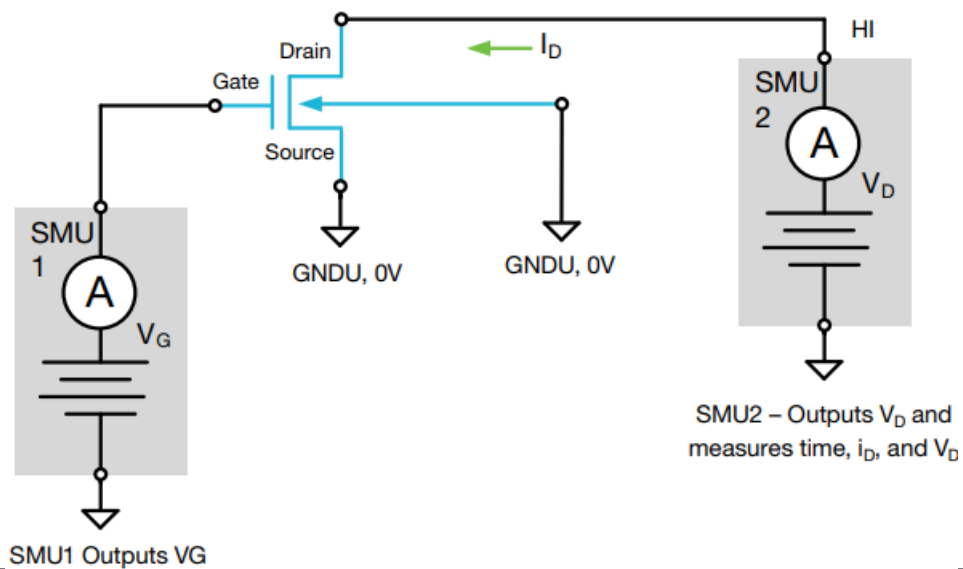
应用测试

超过450项应用测试,
而且数量在不断增长



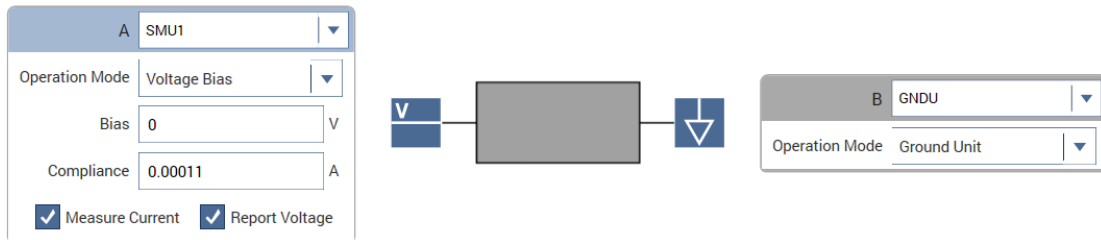
测试系统的噪底

- 为了准确提取被测器件的噪声特征，测试系统的噪底必须小于被测器件的噪声
- 通过“空测”的方法，很容易获得测量系统的漏电流和噪底
- 测试系统的噪底由仪器本身、Cable、探针台和测试环境共同决定



测试系统 (SMU) 的噪底

- Clarius软件里有专门的test: smu-isd, 只需要我们修改时间参数和测试点数、测量量程即可
- 量程对噪底的影响非常大



Measure Settings

Speed: Custom

Delay Factor: 1

Filter Factor: 3

Auto A/D Aperture

Report Timestamps

Test Mode

Sweeping

Sampling

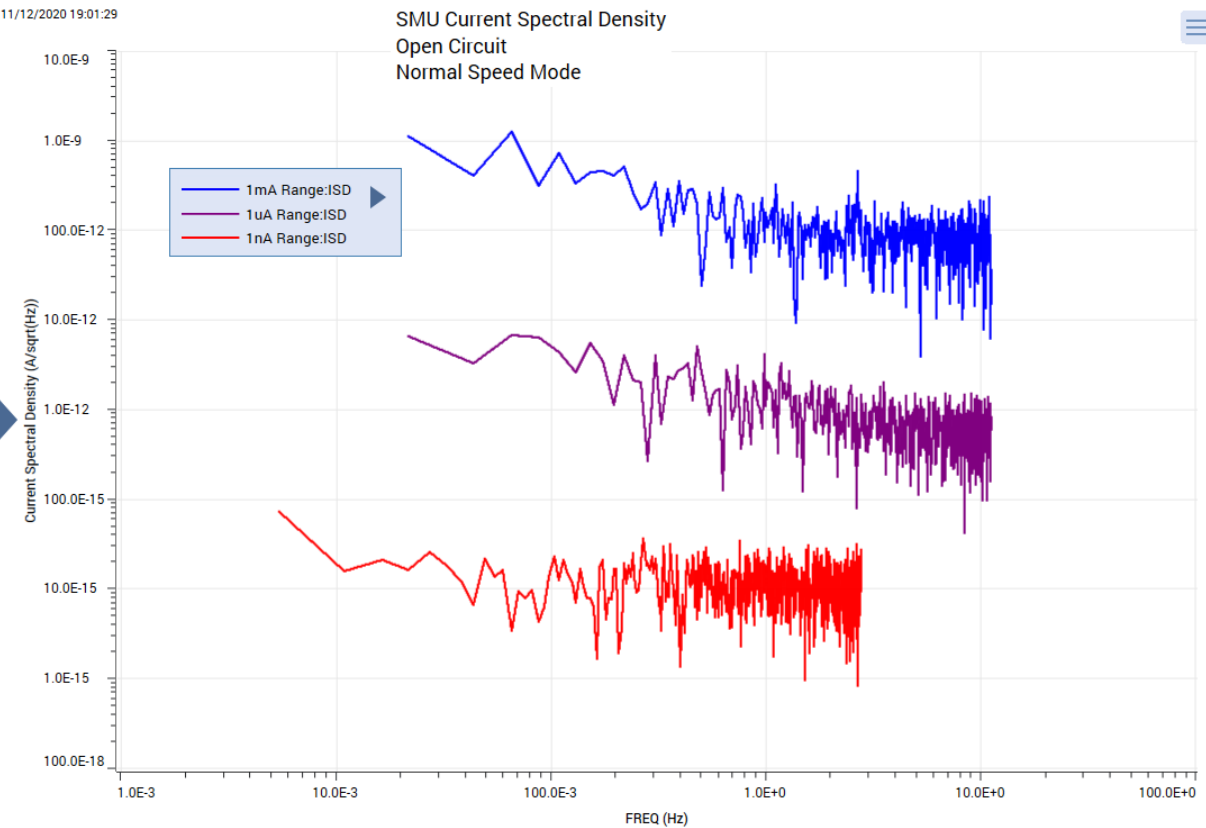
Interval: 0 s

Number of Samples: 4096

Hold Time: 3 s

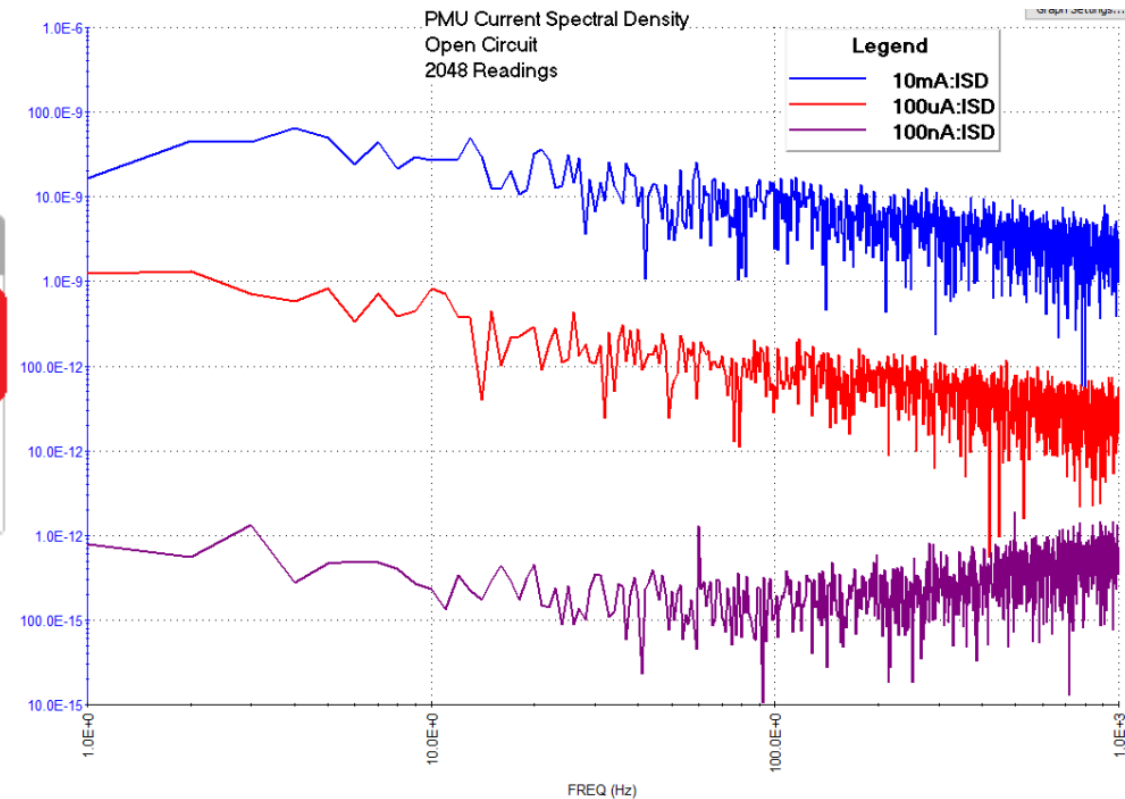
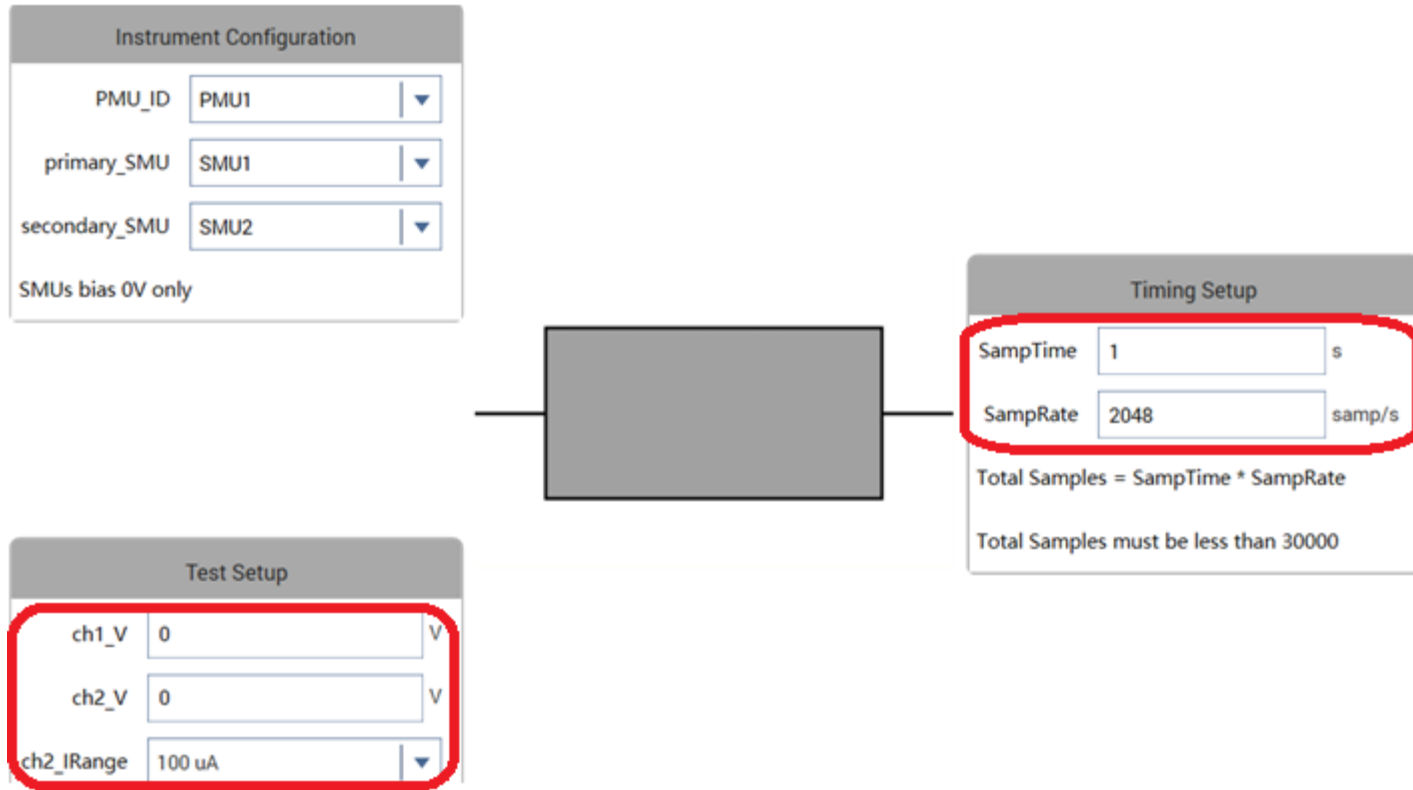
smu-isd#1

11/12/2020 19:01:29



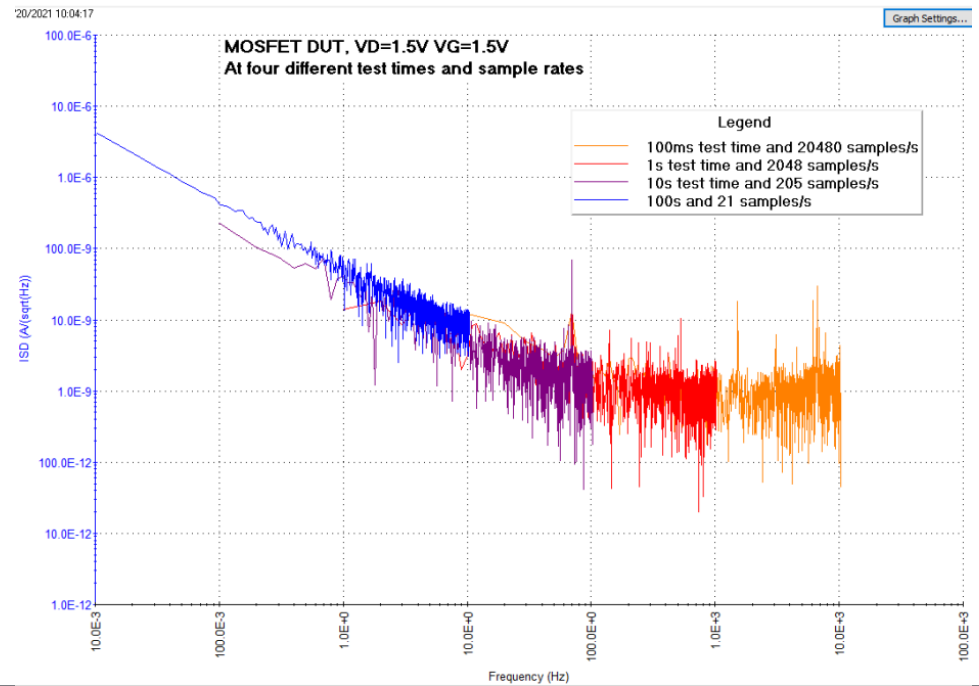
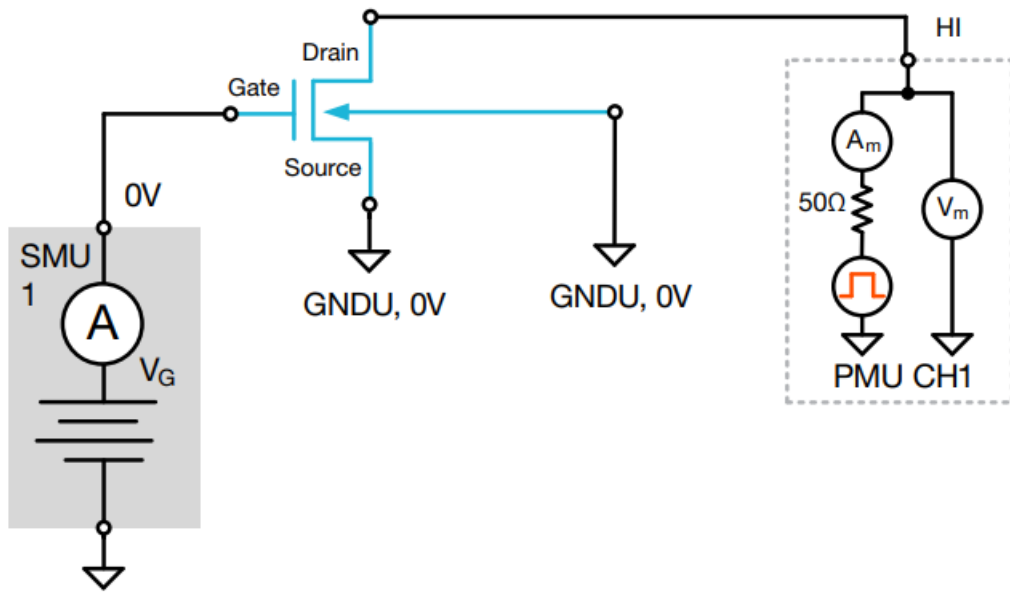
测试系统 (PMU) 的噪底

- Clarius软件里有专门的test: pmu-isd, 只需要修改时间参数和测试点、测量量程即可
- 和SMU一样, 电流的测试量程对噪底的影响非常大



测试系统----SMU&PMU

- 除了单独使用SMU或PMU，也可以使用SMU和PMU的组合测试1/f噪声，test: mosfet-isd
- PMU的优势是测试电流的速度比较快，这样1/f噪声测试的频率范围就会比较大
- SMU的优势是输出电压的的噪声会很小，所以有助于提升整个系统的测试精度；注意：测试系统中任何一个噪声源都会影响测试精度，如左下图，加在gate端的电压噪声会被放大并且被Drain端电流表检测到



1/f噪声测试的频率范围

- 1/f噪声测试方法：测量电流作为时间的函数，然后FFT转换成频域，对应的时域测试上的设置就会影响到FFT后的频率范围
- **1/f噪声的最低频率BWmin**：由总采样时间决定， $BW_{min}=1/T$ ；T是总的测试时间，例如，如果总的测试时间是100s，那么最小测试频率是 $1/100=10\text{mHz}$
- **1/f噪声的最高频率BWmax**：由采样间隔时间决定， $BW_{max}=0.5/dt$ ；例如，如果测试的采样率是1024Samples/second，采样间隔时间就是 $1/1024$ ，则最大频率是512Hz
- 1/f噪声绝大多数场景下都是小于100Hz，不用过高追求测试频率的范围

频率范围的调整 (SMU)

- 注意电流测试量程必须固定
- 通过Speed的参数调整，控制Sample rate
- 通过Sample点数的设置，控制测试总时间，最多4096个（最少建议512个）

Measure

Current

Range 1mA

Column Name AI

RUN	时间参数	测试总时间	测试频率范围
1	DF <u>1,FF</u> 3, A/D auto	845.4s	0.0012~1.21Hz
2	DF <u>1,FF</u> 1, A/D auto	193.7s	0.0052~5.36Hz
3	DF <u>0,FF</u> 0, A/D auto	20.99s	0.0556~56.8Hz
4	DF <u>0,FF</u> 0, A/D 0.01	19.33s	0.0613~62.66Hz

Measure Settings

Speed Custom Delay Factor 1

Filter Factor 3

Auto A/D Aperture

Report Timestamps

Test Mode

Sweeping Interval 0 s

Sampling Number of Samples 2048

Hold Time 3 s

频率范围的调整 (PMU)

- 通过调整PMU的测试时间和采样率来控制频率

Instrument Configuration

PMU_ID

primary_SMU

secondary_SMU

SMUs bias 0V only

Test Setup

ch1_V V

ch2_V V

ch2_IRange

Timing Setup

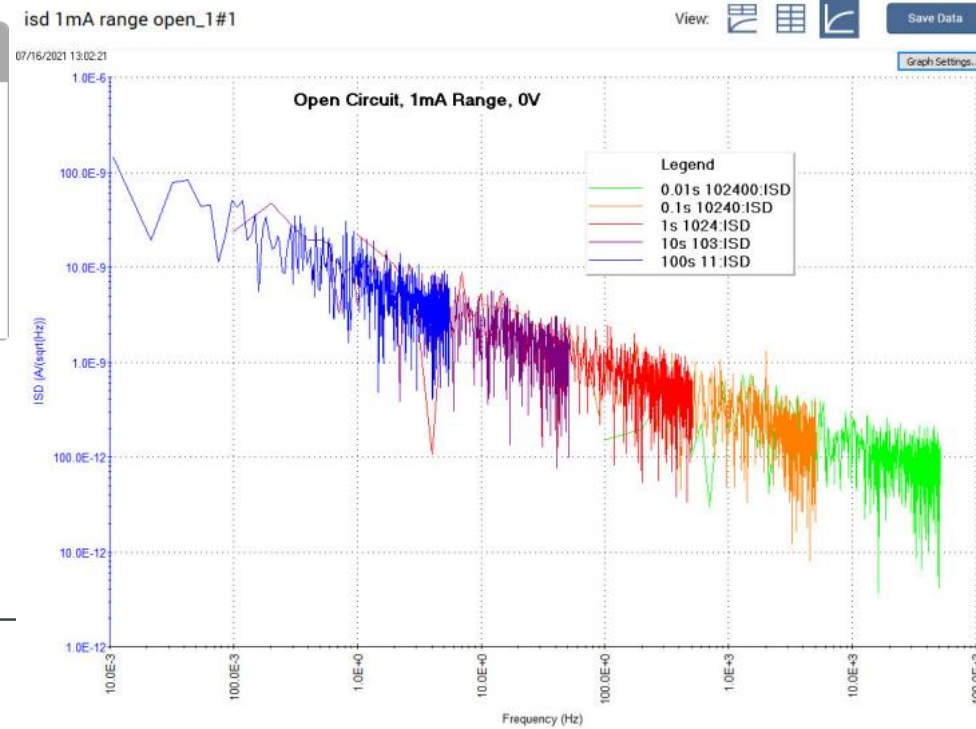
SampTime s

SampRate samp/s

Total Samples = SampTime * SampRate

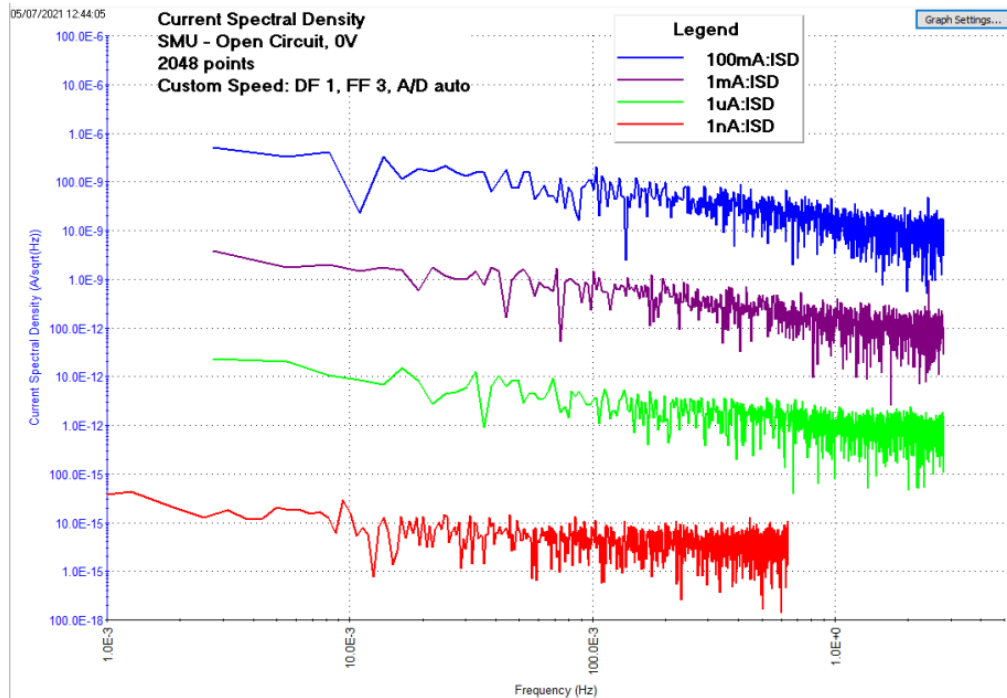
Total Samples must be less than 30000

Run #	Graph Color	Total Test Time (s)	Sample Rate (samples/s)	Frequency Range (Hz)
Run 1	Blue	100	11	0.01-5.5
Run 2	Purple	10	103	0.1-51
Run 3	Red	1	1024	1-512
Run 4	Orange	0.1	10240	10-5120
Run 5	Green	0.01	102400	100-51200



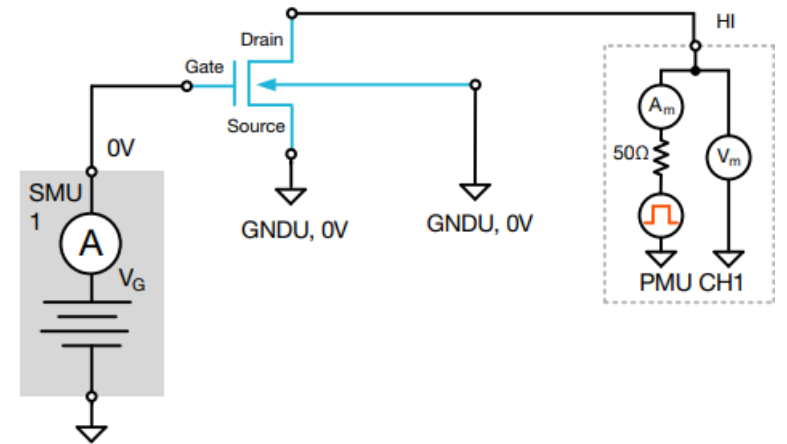
提升测试精度的方法

- 量程对测试精度影响非常大，选择合适的量程非常关键
- 测试精度和测试速度是矛盾的，选择合适的测试速度
- 必要时，可以选择SMU&PMU组合测试，发挥各自的优点提升测试精度



Mosfet Drain端测试示例

- 4200A软件里已集成Mosfet的测试, [Mosfet-isd](#), 可直接调用
- 使用SMU和PMU的组合进行测试
- 设置简单: 仪器设置、测试设置、时间参数设置



Instrument Configuration

PMU_ID: PMU1

pmu_ch: 1

primary_SMU: SMU1

Test Setup

pmu_V: 1.5 V

smu_V: 1.5 V

pmu_VRange: 10 V

pmu_IRange: 1 mA

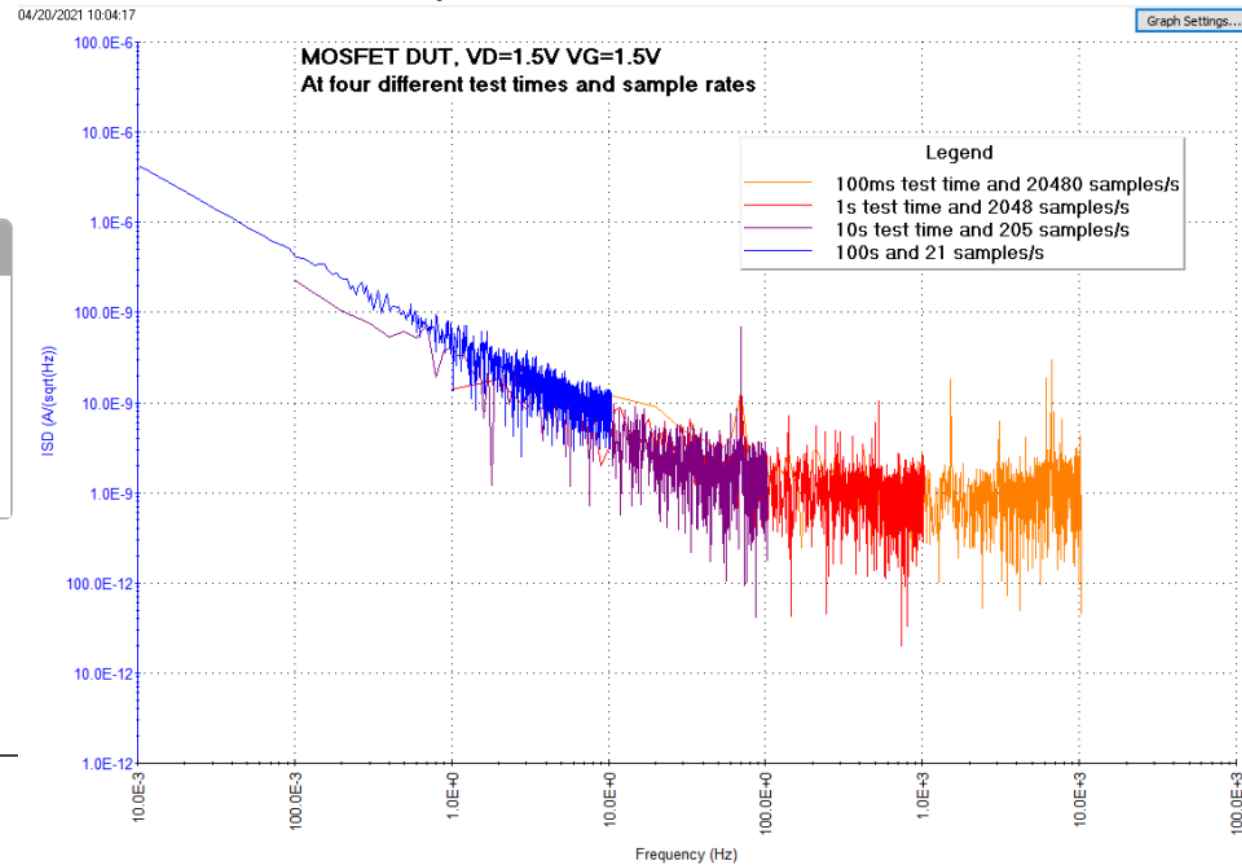
Timing Setup

SampTime: 0.1 s

SampRate: 20480 samp/s

Total Samples = SampTime x SampRate

Total Samples must be 65534 or less



1/f噪声测试库

- 4200A软件里包含多个1/f噪声的test, 如smu-isd, pmu-isd, mosfet-isd等
- 自建project, 包含两端口、三端口、四端口, 以及各种测试组合



flicker noise measurements

- 2terminal-generic
- 1SMU&GNDU-isd
- 1PMU-isd
- 1PMU&1SMU-isd
- 3terminal-generic
- 1PMU&1SMU&GNDU-isd
- 1PMU&1SMUorGNDU-isd
- 2SMU&GNDU-isd
- 4terminal-generic
- 1PMU&2SMU-isd

1SMU&GNDU-isd#1

Key Parameters All Parameters

A	SMU1
Operation Mode	Voltage Bias
Bias	0 V
Compliance	0.00011 A
<input checked="" type="checkbox"/> Measure Current	<input checked="" type="checkbox"/> Report Voltage



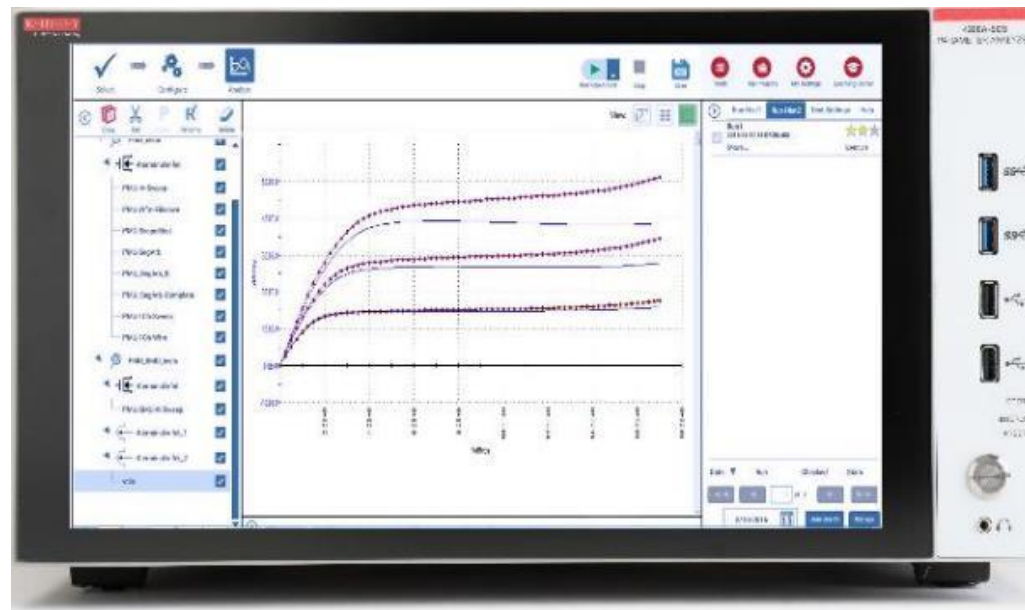
B	GNDU
Operation Mode	Ground Unit

1/f噪声测试小结

- 测试原理：测试电流基于时间的数据 (I/t)，再通过FFT转化到频域
- 测试仪器：4200A的SMU或PMU
- 测试之前一定要先看一下测试系统的底噪
- 电流测试需要选择固定量程，不能使用AUTO量程
- 测试量程对测试精度影响很大，根据实际选取
- SMU精度高，但测试速度不快，对应1/f噪声测试频率范围不高 ($\sim 87\text{Hz}$)，PMU精度一般，但测试速度快，对应测试频率范围高 (1KHz以上)；可以单独使用SMU或PMU，也可以使用两者组合进行测试
- 4200A 固件里面已经包含了多个测试test，大家可以直接使用，只需要修改参数即可；也可自建专门的1/f噪声的Project，将所有test放到一起

1/f噪声测试配置

- 4200A主机 (含Clarius软件)
- 两个SMU+ 两个4200-PA
- 一个PMU+两个RPM
- 优势: 10fA小电流的测试能力
Clarius软件自带isd test, 使用方便
SMU、PMU可以单独使用或组合使用



Keithley 4200A“买一赠一”客户回馈活动

1. 新购买4200A-SCS主机，可免费获得4201-SMU模块一个

- 适用于4200A-SCS主机、4200A-PKA、PKB、PKC套件，配置中包含单独的PMU和CVU模块，还可同时享受PMU、CVU买一赠一优惠

2. 升级现有4200A-SCS系统

- 增购SMU (4201-SMU/4211SMU) 可免费获得4200-PA一块
- 增购PMU (4225-PMU) 可免费获得4225-RPM一块
- 增购CVU (4215-CVU) 可免费获得4200A-CVIV一块

活动时间：2023年8月1日-10月31日 (以订单签订时间为准)



加入“泰克半导体直播交流群”

只要你问，只要我有



由泰克工程师小助手邀请入群~

(将于本场直播结束后统一邀请)

泰克云上大讲堂 & 高速接口发展与技术论坛



关注“泰克科技”服务号
查看产品资料&往期回放~



往期主题回顾

PCIe链路问题分析和实际仿真

如何测试纳米材料及纳米电子器件的IV和CV性能?

深度解析IC/CV参数测试难题

零基础学仪器编程

轻松上手你的KEITHLEY源表

电源环路响应测试方案详解

深入浅出剖析高速信号的抖动和眼图

忆阻器的发展及测试方案

深度解析高速信号均衡技术

.....

