

泰克2014年春季创新论坛

-能源管理：精确、高效的电源测试方案-

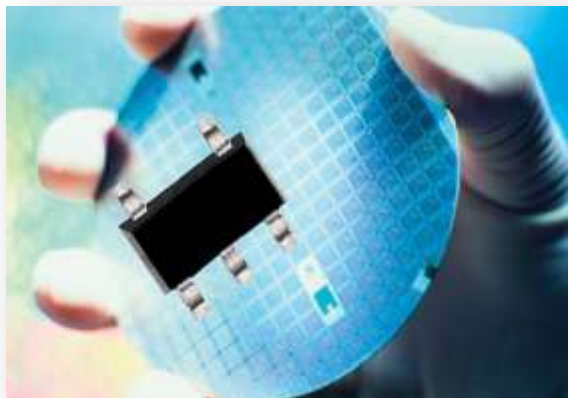


大数据时代——没电可不行

- 开关电源
 - AC/DC, DC/DC
- 电动汽车
 - DC/DC Converter
 - 逆变器
 - 移动电池供电
- 电子镇流器
- LED 照明
- 消费电子产品



什么样的产品才是一流的？



一流器件



一流设计



一流性能

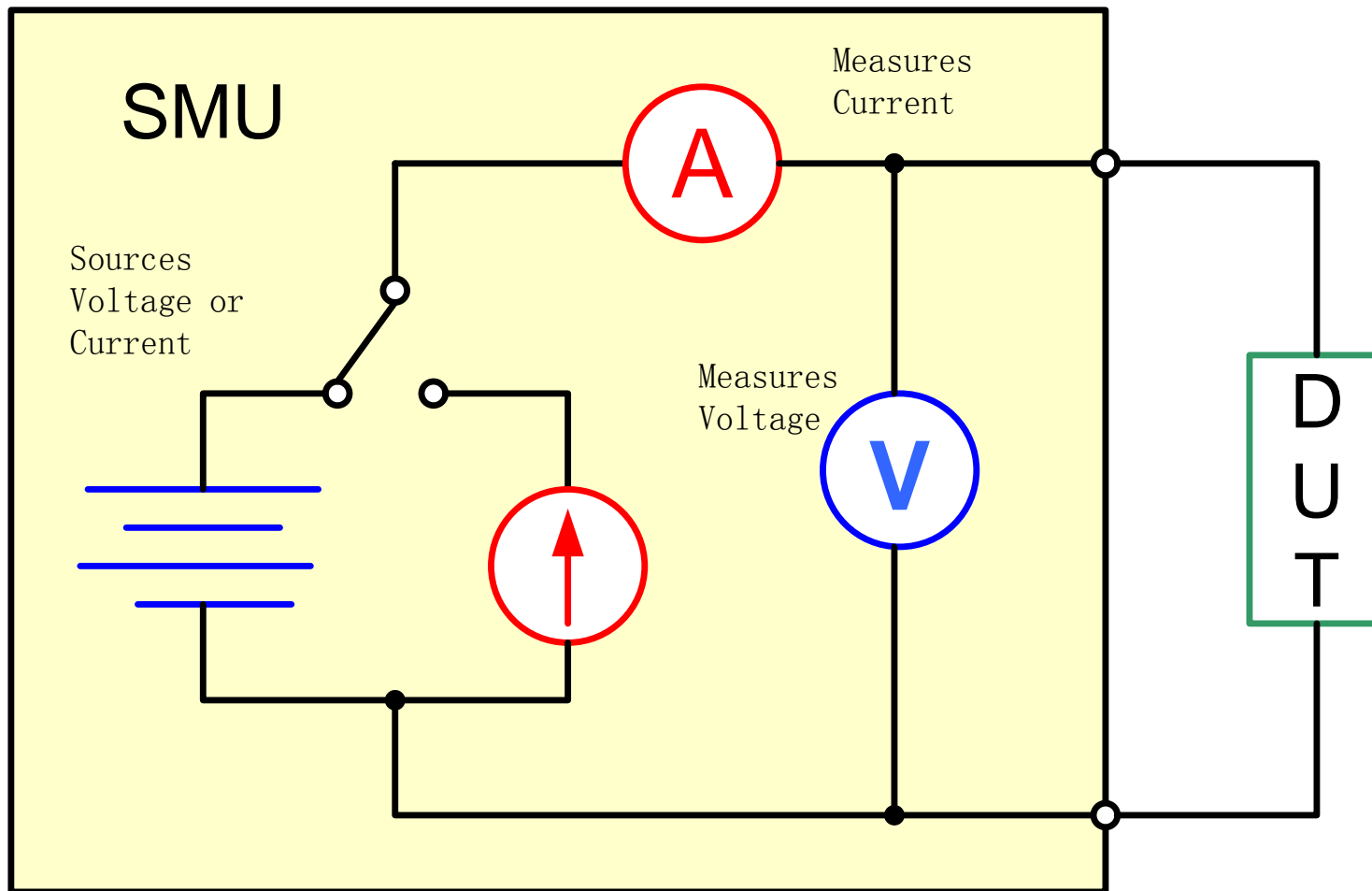
吉时利源表 (SMU)

泰克示波器

泰克功率分析仪

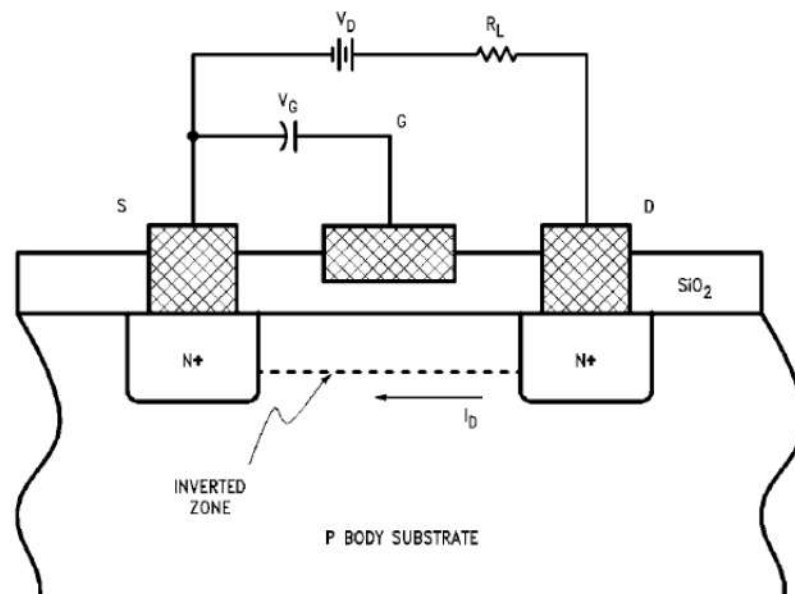
源表简化的电路原理图

源表把所有的仪器集成在了在一台半机架宽度的仪器中!

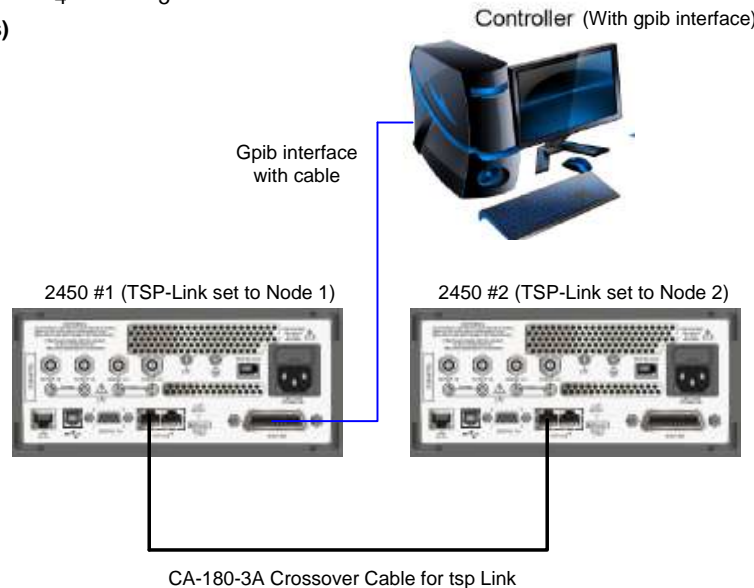
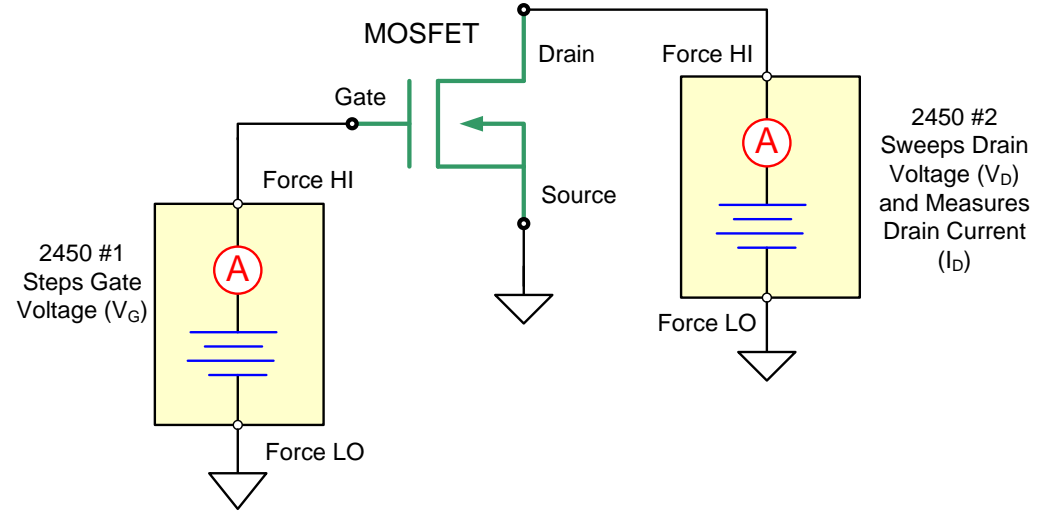
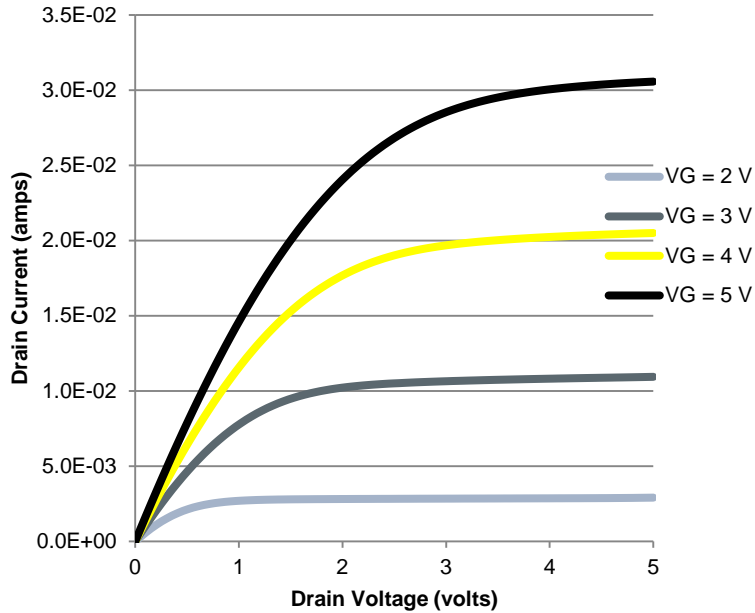


MOSFET 重要参数

- 品质因素 = $R_{dsOn} * Q_g$
- R_{dsOn} = 导通电阻
 - 影响传导损耗
- Q_g = 门端电荷
 - ✓ 在开启或者关断时候所需要的电荷
 - ✓ 影响开关时间和开关损耗
- Q_g 与 R_{dsOn} 呈现反比关系
 - ✓ 更小的 Q_g 就会导致更大的 R_{dsOn}
 - ✓ 可以通过以下方法来改进 R_{dsOn} 和 Q_g
 - 更薄的晶片可以改进 R_{dsOn}
 - 改进封装方法可改进 R_{dsOn}



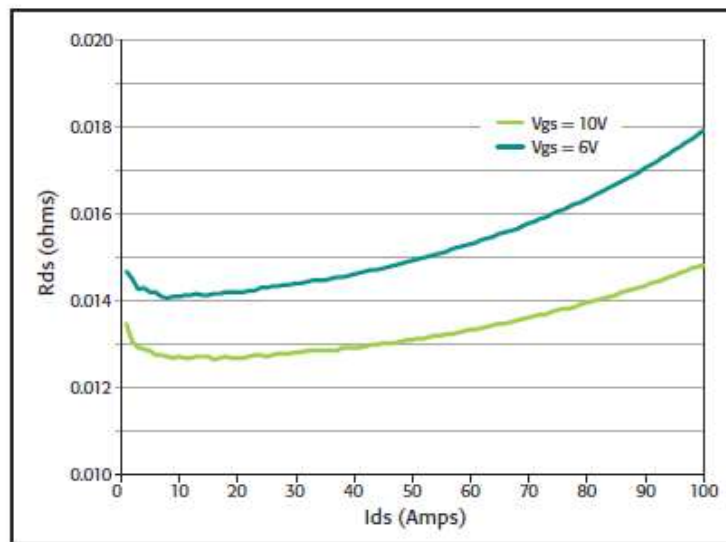
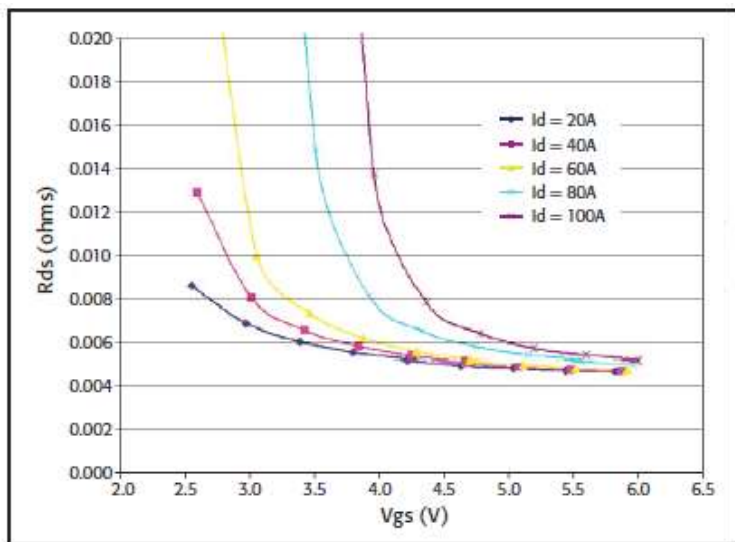
测试连接



TSP-Link is used to synchronize the gate voltage stepping and drain voltage sweeping of the two units.

导通电阻 (RdsOn)

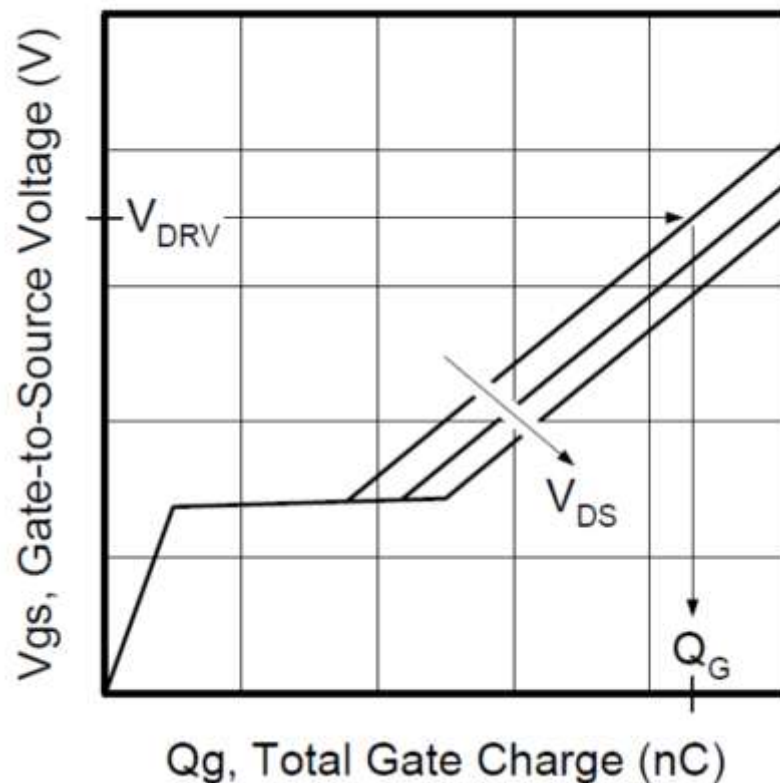
- RdsOn 指的是通道内对电流的阻碍作用，所以能够影响传到损耗
 - 功率损耗 = $I^2 R$
- 它随漏极电流和门电压变化而变化（如下图所示）
- 随温度增大而增大
 - 这样可以有效防止二次击穿的发生
- SIMV利用吉时利的源表产品可以进行测试（源：电流 测量：电压）
 - 因为需要能输出大电流的脉冲电流源
 - 同时要求能够测量非常低的电压



Diagrams from "Testing to 100A by combining Keithley Model 2651A High Power System SourceMeter Instruments", an application note from Keithley Instruments.

门端电荷 (Qg)

- Qg 是指在开启或者关断MOSFET时候所需要的电荷
 - 降低gate电荷可以提高开关频率
 - 该参数决定了驱动电路需要多大的电流来打开开关器件
- Qg通过影响开关频率从而影响开点和关点的损耗
- 测试过程中使用恒流源在gate端，使用电压源在drain端，同时使用示波器来检测gate电压与时间的关系



MOSFET 其他参数

- 穿电压
 - 击穿电压可以通过给定电流源测量电压的方式来进行测量
- 漏电流
 - 泄漏电流可以通过给定电压源测量电流的方式测量
- 热电阻和阻抗
 - 决定了器件变热的速率以及热量从器件转移的速率
 - 在MOSFET中，将source和drain端之间的二极管称为本体二极管。该二极管通常被作为温度敏感器件使用
 - . 热阻是热阻时间相关的。它通常是测量脉冲宽度的漏极电流的函数
 - . 都可以利用源表来进行测量
- 电容 (Cgd, Cgs, Cds)
 - 利用4210-CVU

PCT 配置



Model		2600-PCT-1	2600-PCT-2	2600-PCT-3	2600-PCT-4	4200-PCT-2	4200-PCT-3	4200-PCT-4
		Entry Level	High Current	High Voltage	High Current and Voltage	High Current + C-V	High Voltage + C-V	High Current and Voltage + C-V
Collector/ Drain Supply	High Voltage Mode	200V/10A	200V/10A	3KV/120mA	3KV/120mA	200V/1A	3KV/120mA	3KV/120mA
	High Current Mode	200V/10A	40V/50A	200V/10A	40V/50A	40V/50A	200V/1A	200V/1A
Step Generator (Base/Gate supply)		200V/10A	200V/10A	200V/10A	200V/10A	200V/1A	200V/1A	200V/1A
Typical Applications		Incoming Inspection, FA, QA, Reliability, Design Qual, Product Dev.	Incoming Inspection, FA, QA, Reliability, Design Qual, Product Dev.	Incoming Inspection, FA, QA, Reliability, Design Qual, Product Dev.	Incoming Inspection, FA, QA, Reliability, Design Qual, Product Dev.	Data Sheet Generation, Modeling, General Characterization	Data Sheet Generation, Modeling, General Characterization	Data Sheet Generation, Modeling, General Characterization
Software		ACS Basic Edition with Trace Mode and Parametric Mode, single and sequenced tests, sample power device libraries						
Text Fixture		Model 8010 High Power Device Test Fixture supports 3KV/100A Includes TO-220, TO-247, Axial, Custom sockets, sample demo parts (BJT, MOSFET, diode, etc.)						

2600B 和 2650A 源表

Model 2636B SMU

- 两个独立的SMU通道
- 最大电压 200V
- 最大电流 10A（脉冲）
- 0.1fA 测量精度



Model 2651A SMU

- 最大 50A pulsed（两台并联可以达到100A）
- 最大 2000W pulse / 200 W DC
- 脉冲宽度100us to DC
- 高速和高精度ADC



Model 2657A SMU

- 最大电压 3000V，最大功率180W
- 四象限输出（源+阱）
- 1fA 测量精度
- 高速和高精度ADC两种模式

8010 测试夹具



- 提供3kV 和100A的安全测试环境（interlock）
- 包含TO-220 and TO-247两种插座，外加一个客户自定义插座
- Easy 简单易用的香蕉头插口
- 详细的连接向导



Connections to the Model 8010 Test Fixture

连接一台 2657A for 3kV 进行
低电流 (pA) 测试

热电偶测量端口

并联两台 输出100A 脉冲电
流

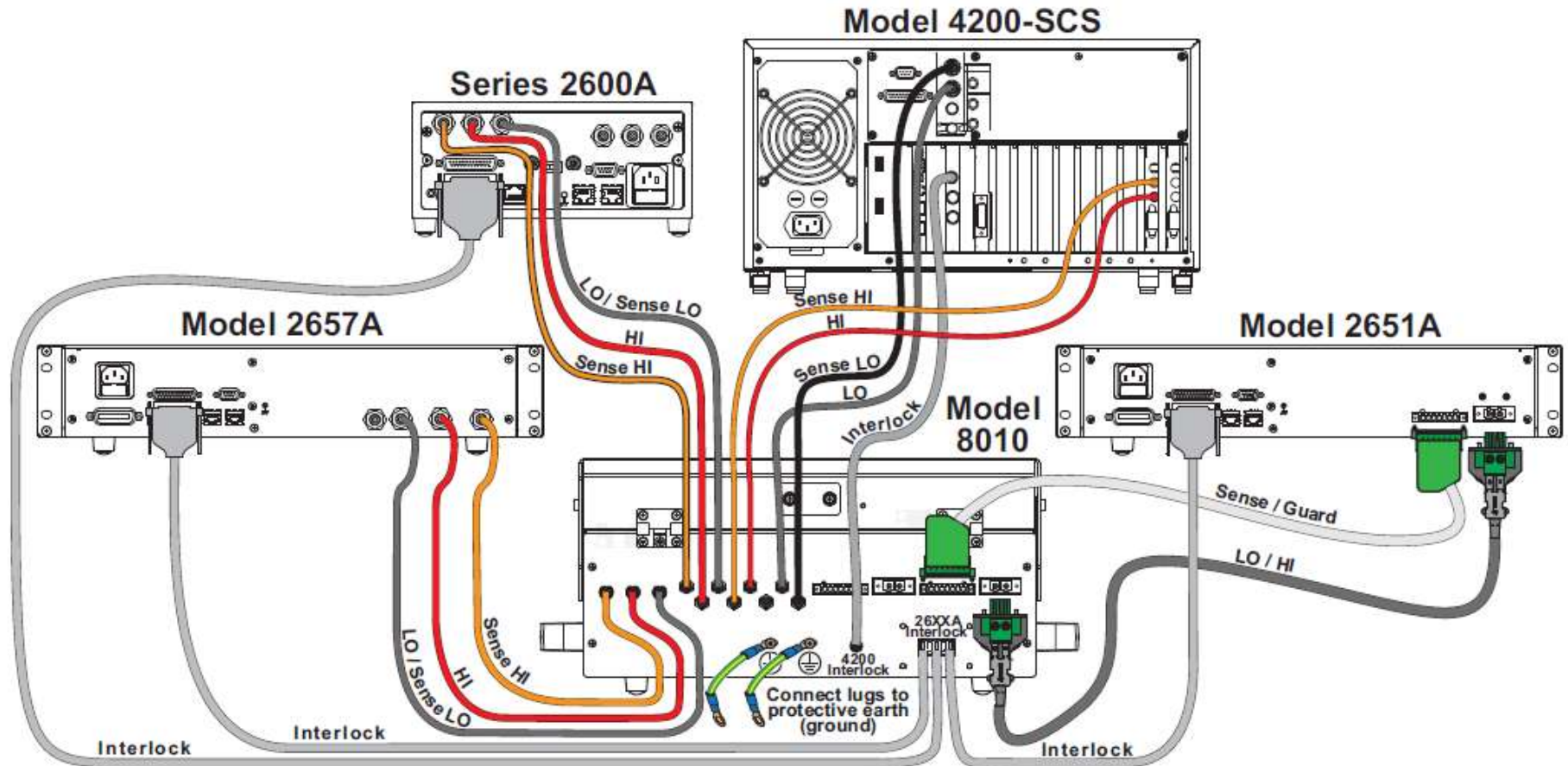


连接两台2636Bs 或者 4200 SMUs
进行低电压源, 测试(pA), 以及
电容测量

连接SMU interlocks. 当夹具盒打开
时候自动切断大电压输出.

Connection to the 8010 test fixture

External wiring diagram



功率分析仪+示波器 = 完整的测试方案

高精度测量:

- 两路电压和电流同时输入
- 谐波
- 闪烁
- 有功功率
- 无功功率
- 功率因数
- 其他

Tektronix PA4000
功率分析仪

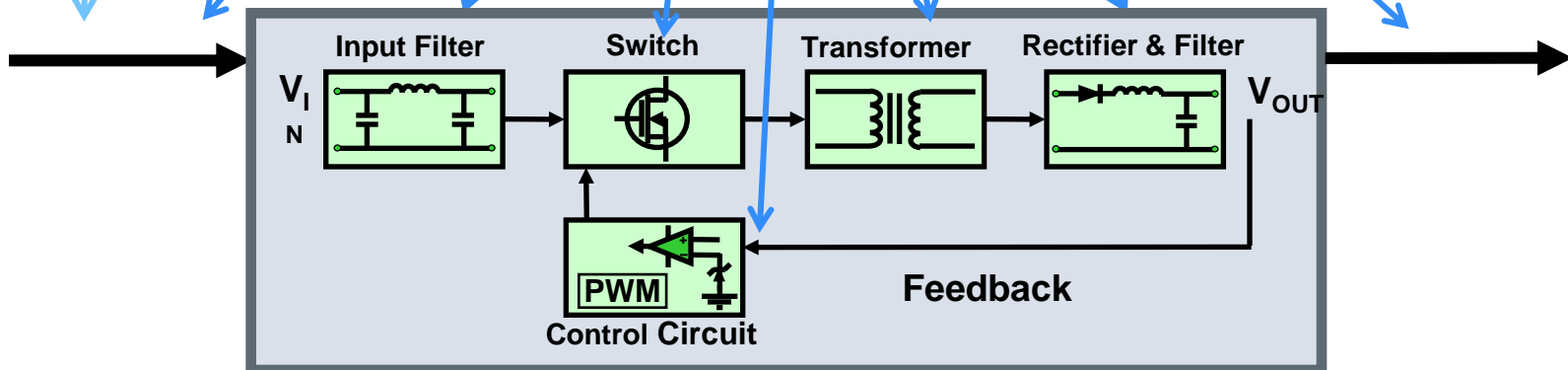
高精度测量:

- 两路电压和电流同时输入
- 谐波
- 闪烁
- 有功功率
- 无功功率
- 功率因数
- 其他

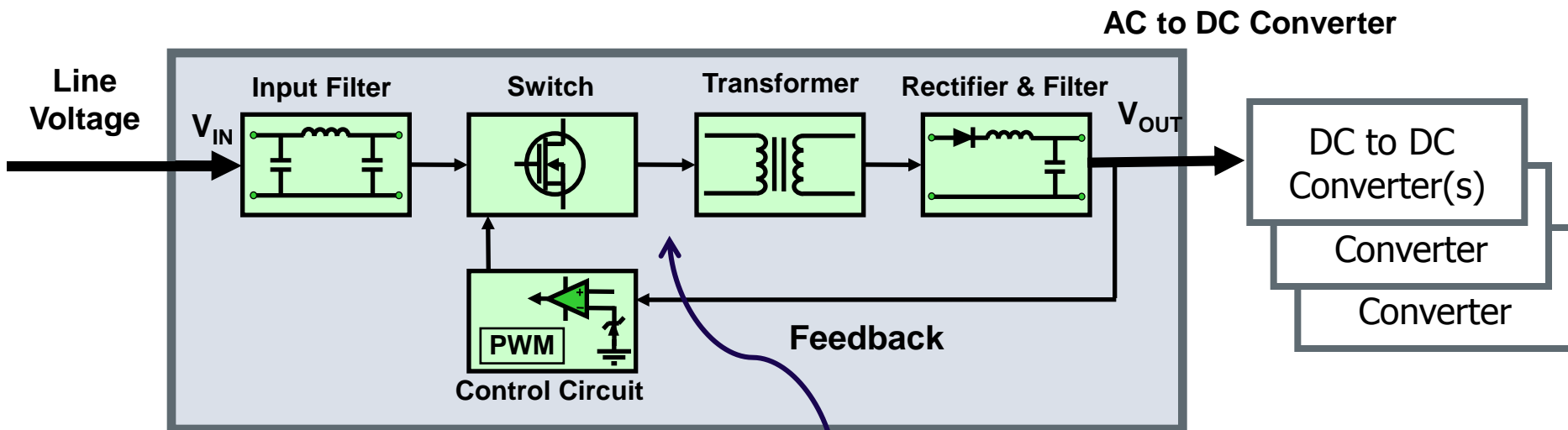
Tektronix 示波器
和 DPOPWR & 探头

可视化和洞察力:

- 开关损耗特性
- 功率损耗
- 安全工作区
- 瞬时功率
- B-H 曲线



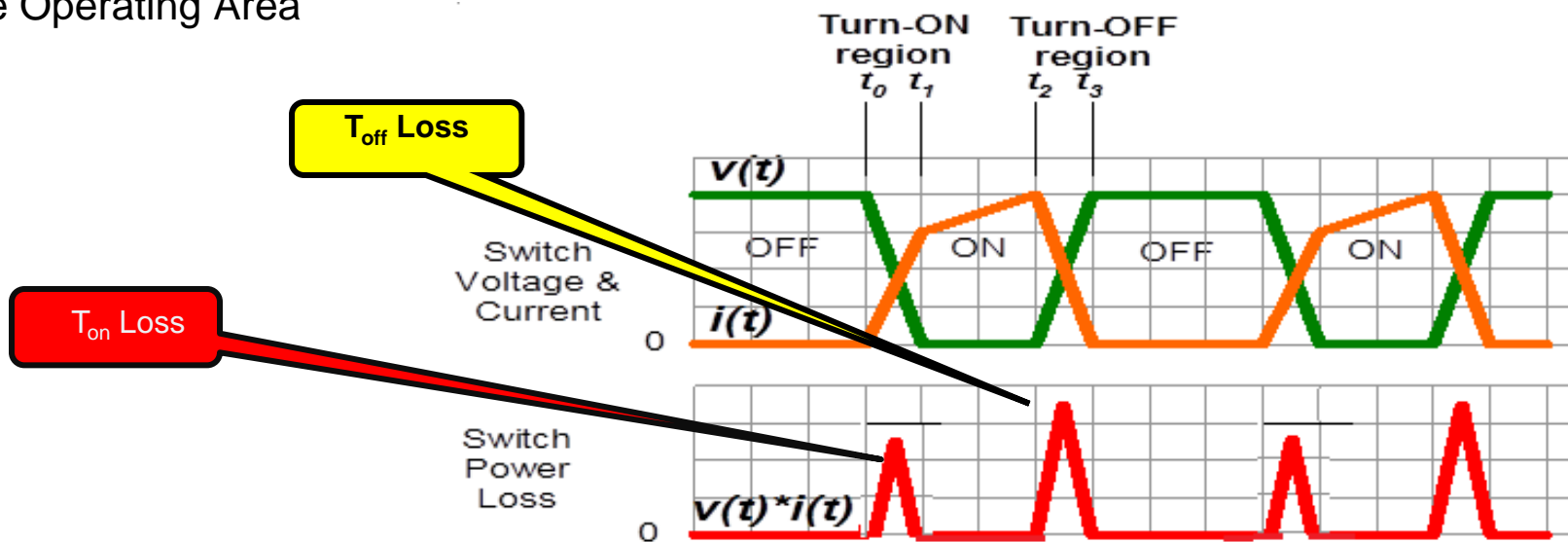
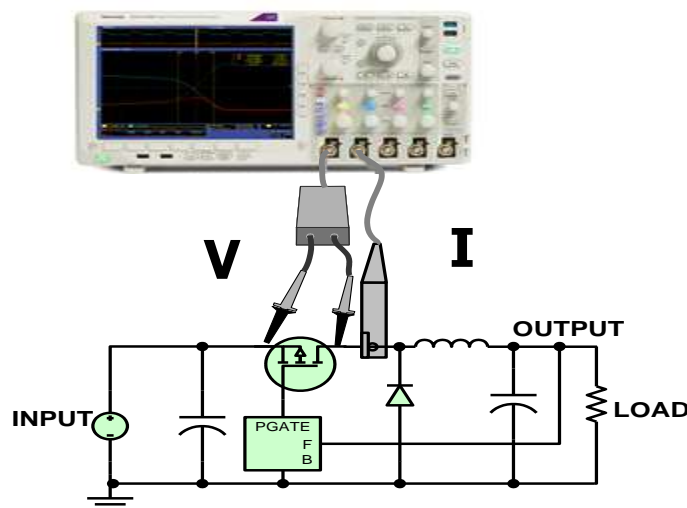
典型开关电源电路



- 交流输入端
 - 电流谐波
 - 电源质量
 - 浪涌电流
- 直流输出端
 - 频谱分析
 - 纹波
- 开关系统
 - 开关损耗
 - 安全工作区
- 被动元件（变压器）
 - 电感
 - 磁功率损耗
 - B-H 曲线

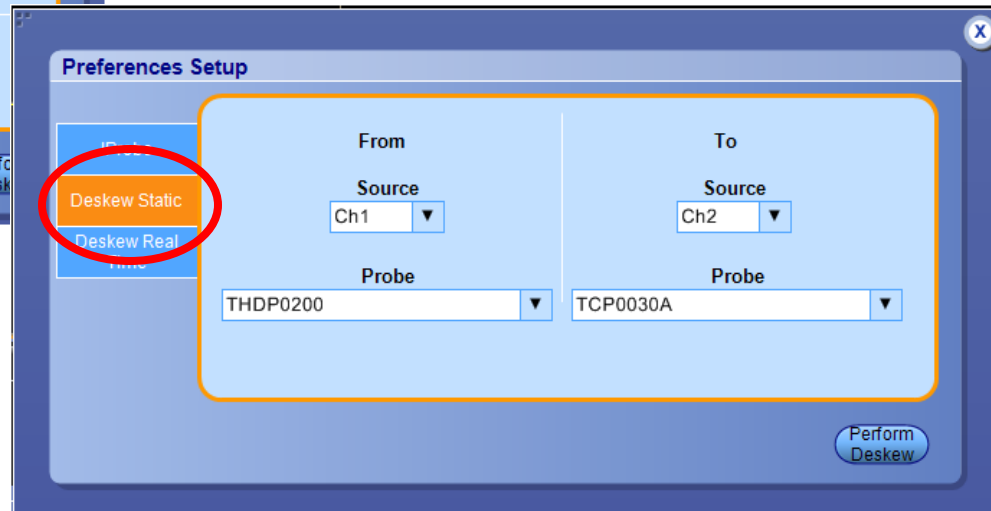
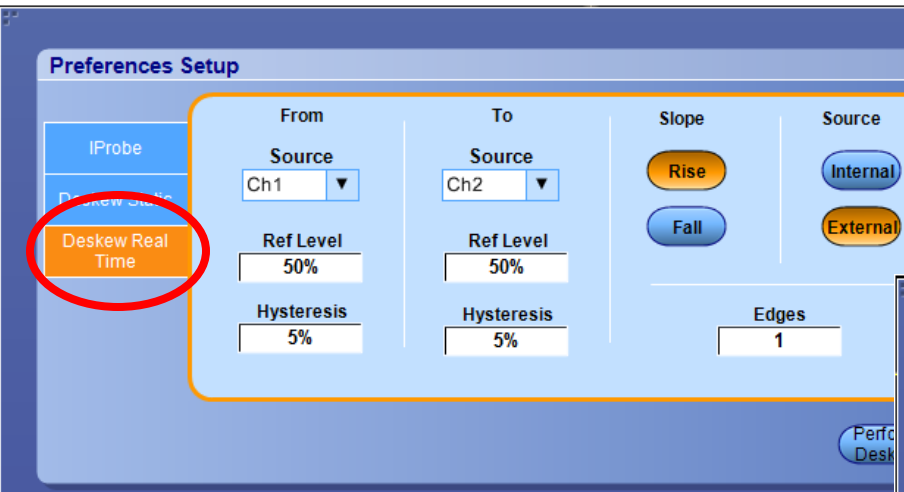
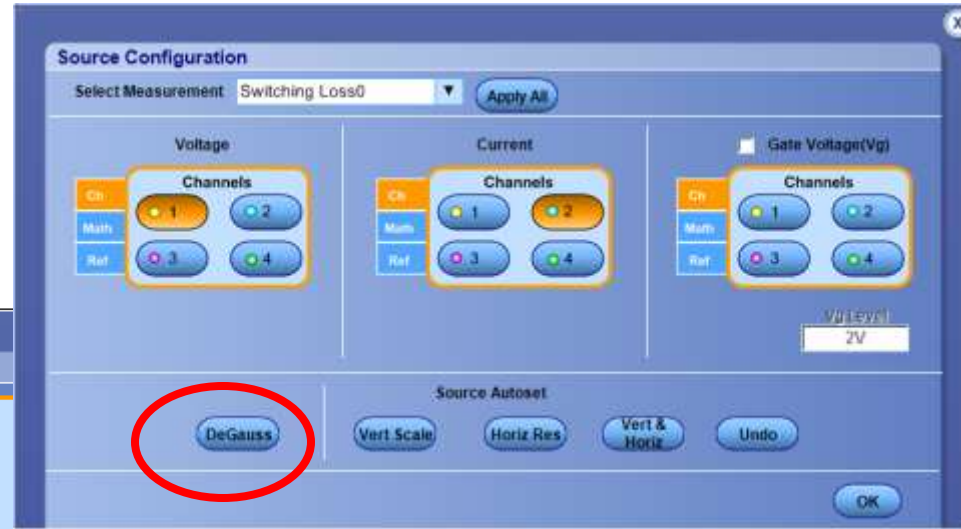
开关损耗测试

- 大部分能量消耗在晶体管的转换过程中
- 通用测量:
 - Turn Off Loss
 - Turn On Loss
 - Conduction Loss
 - Total Loss
 - Dynamic On Resistance
 - Slew Rate (dv/dt , di/dt)
 - Safe Operating Area



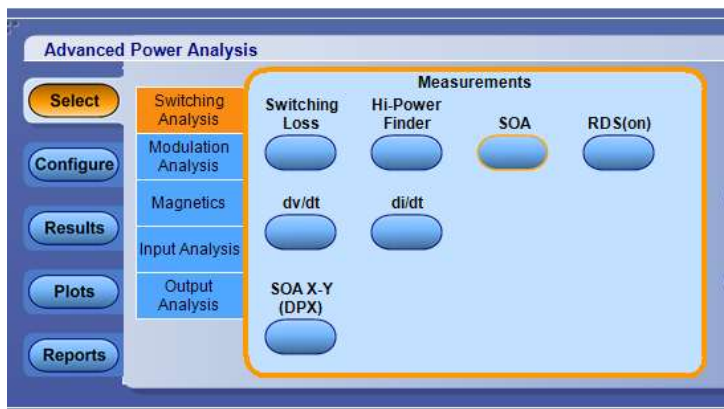
消磁和延迟校准

- Auto Degauss
- Static and Real time deskew

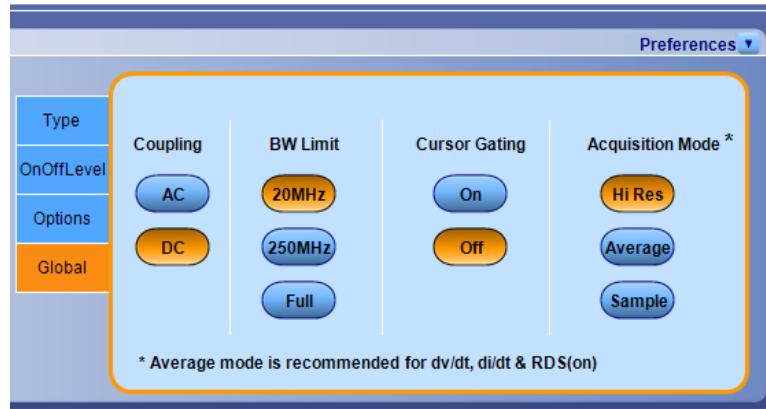


开关损耗测试过程

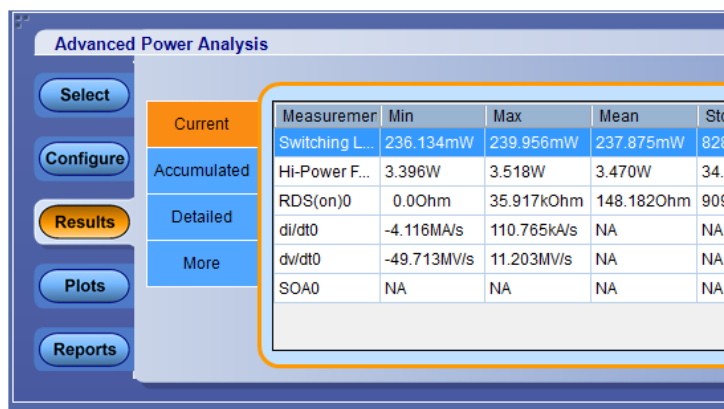
► 包含多种测量项目



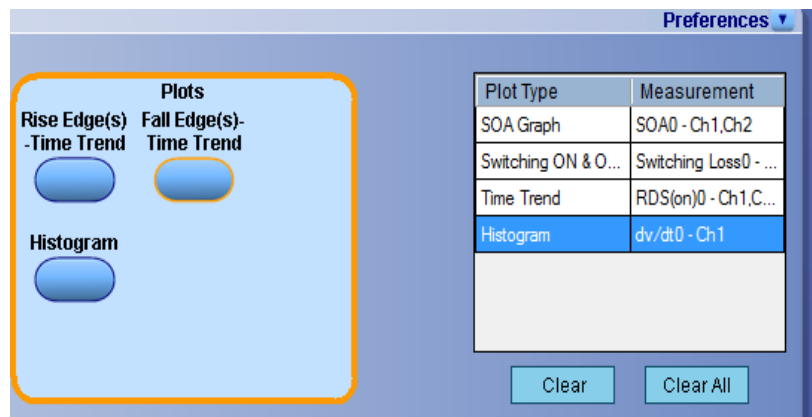
► 定义及设置



► 结果汇总



► 曲线图



开关损耗测试过程

添加开关损耗测试项目

设置测量项目

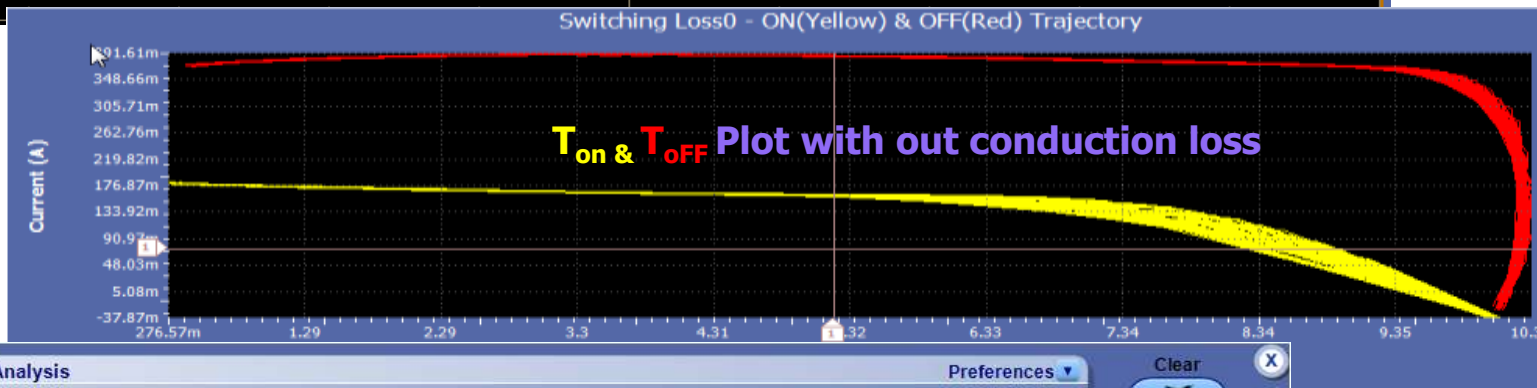
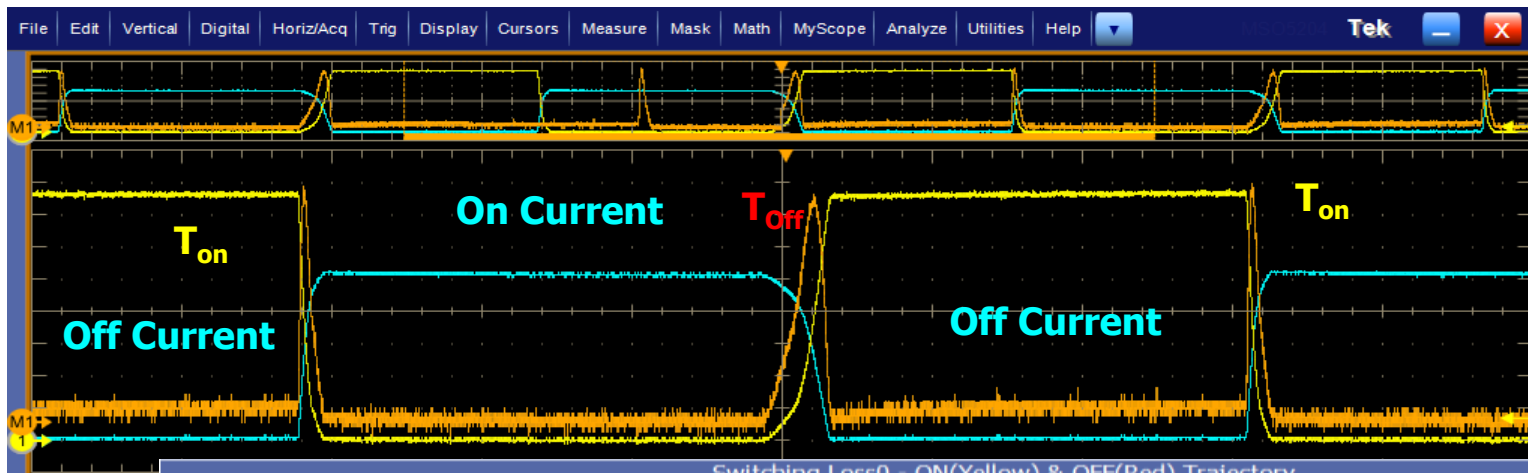
测量结果

The software interface is divided into three main sections:

- Top Screenshot:** Shows the 'Measurements' section where 'Switching Loss', 'Hi-Power Finder', 'SOA', and 'RDS(on)' are selected. A red arrow points to the 'Add' button for 'Switching Loss'.
- Middle Screenshot:** Shows the 'Configure' screen for the selected measurements. It includes settings for 'Coupling' (AC/DC), 'BW Limit' (20MHz/250MHz/Full), 'Cursor Gating' (On/Off), and 'Acquisition Mode' (Hi Res/Average/Sample).
- Bottom Screenshot:** Shows the 'Results' screen with a table of measurement data.

Measurement	Min	Max	Mean	Std Dev	Peak-Peak	Population	Result
Switching Loss0	236.134mW	239.956mW	237.875mW	828.279uW	3.821mW	51.000	Success
Hi-Power F...	3.396W	3.518W	3.470W	34.611mW	122.079mW	51.000	Success
RDS(on)0	0.00hm	35.917kOhm	148.182Ohm	909.500Oh...	35.917kOhm	10.000k	Success
di/dt0	-4.116MA/s	110.765kA/s	NA	NA	NA	105.000	Success
dv/dt0	-49.713MV/s	11.203MV/s	NA	NA	NA	105.000	Success
SOA0	NA	NA	NA	NA	NA	1.000	Success

开关损耗测试过程



Advanced Power Analysis

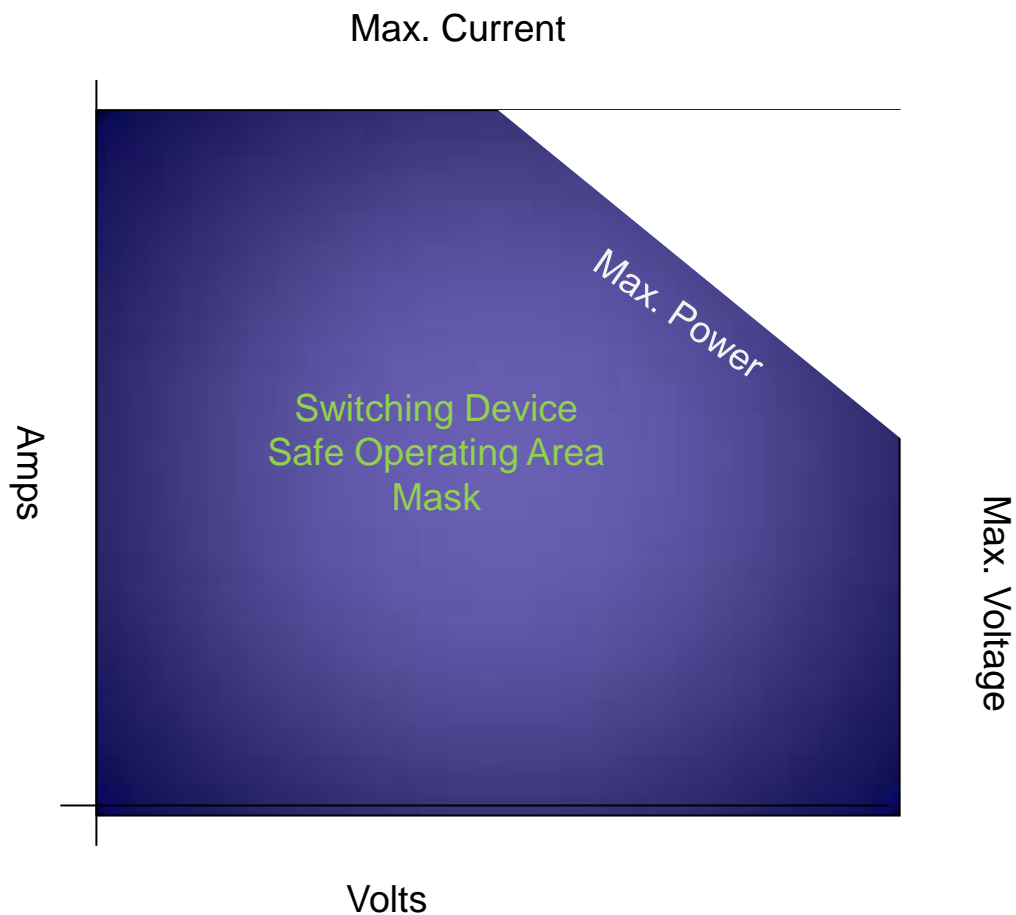
Switching Loss0

Type	Power Loss			Energy		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average
TOn	15.963mW	16.843mW	16.522mW	97.235nJ	102.594nJ	100.637nJ
TOff	218.247mW	221.601mW	220.200mW	1.329uJ	1.350uJ	1.341uJ
Total Avg	Total Avg Loss:265.945mW			Total Avg Energy:1.620uJ		

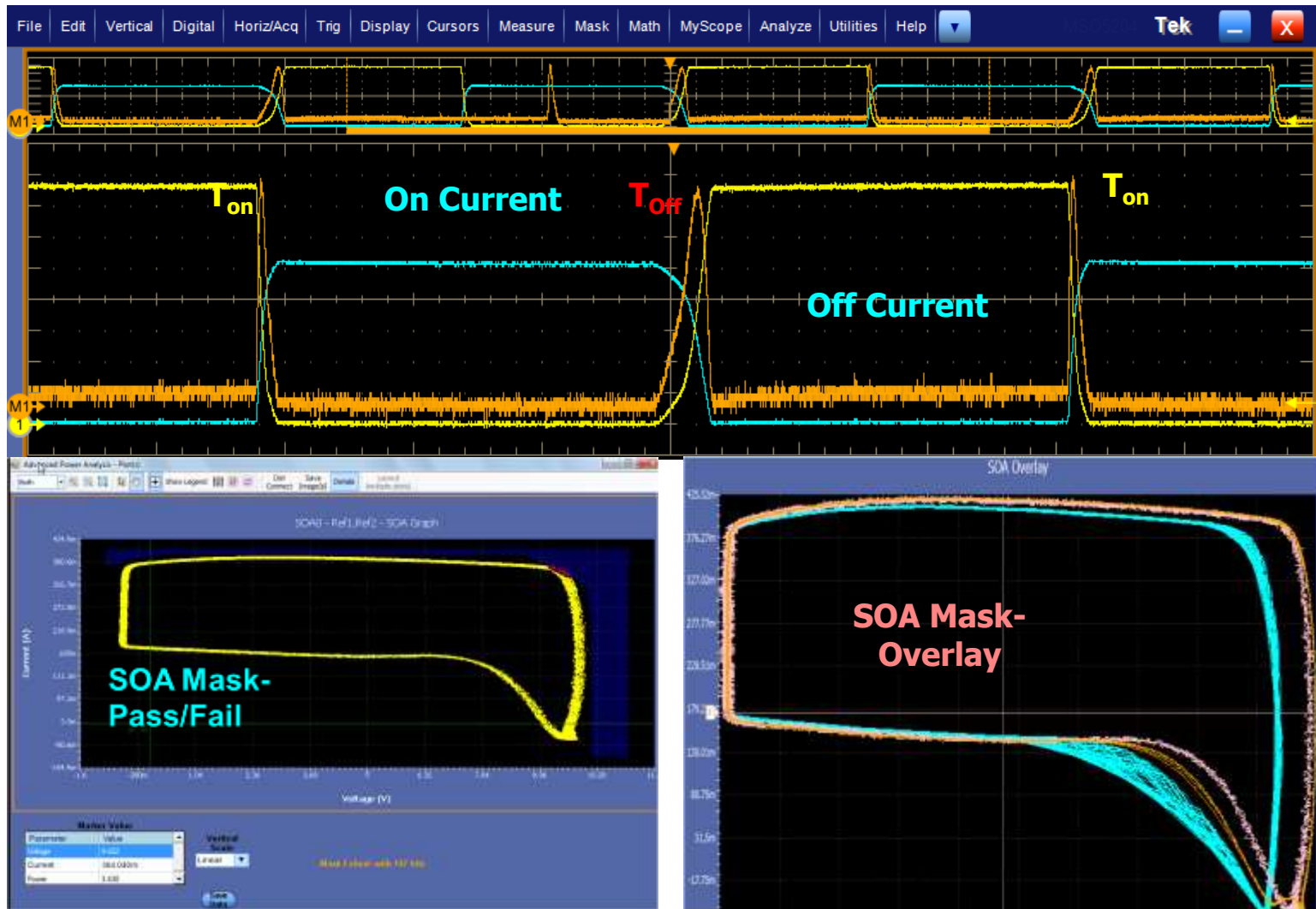
Buttons: Select, Configure, Results, Plots, Reports, Clear, Recalc, Single, Run, Show Plots

开关损耗测试：安全工作区

- 开关工作区
 - 电压与电流曲线图

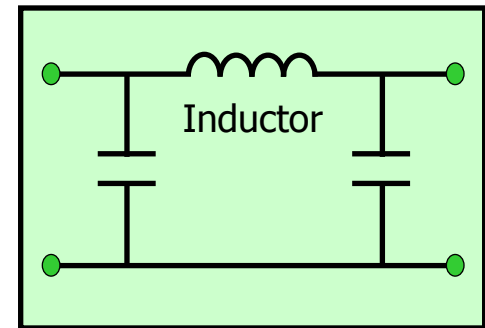
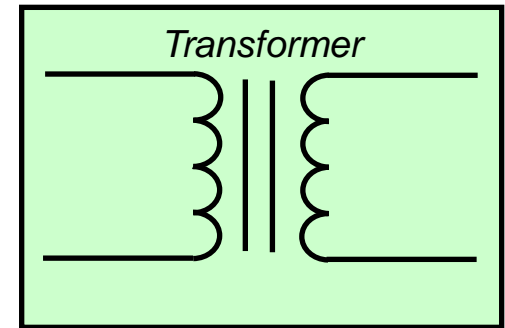
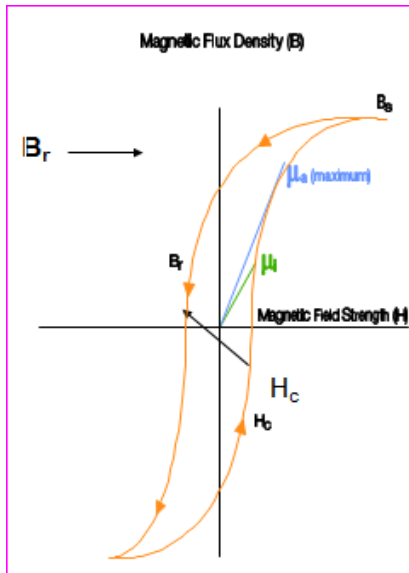


开关损耗测试：安全工作区



无源器件测试

- 通用测试项目：
 - 电感
 - 磁功率损耗 (磁芯损耗+ Copper Loss)
 - 磁特性
- 主要是针对电感和变压器



Input and Output Filters

无源器件测试

Advanced Power Analysis

Measurements

Inductance Magnetic Property Magnetic Loss I vs J/V

Measurement	Source(s)
Hi-Power Finder0	V:Ch1 I:Ch2
Magnetic Property0	V:Ch1 I:Ch2
Magnetic Loss0	V:Ch1 I:Ch2
Inductance0	V:Ch1 I:Ch2
I vs J/V0	V:Ch1 I:Ch2

Clear Recalc Single Run

磁测量

设置定义

Advanced Power Analysis

Measurement	Source(s)
Magnetic Property0	V:Ch1 I:Ch2
Magnetic Loss0	V:Ch1 I:Ch2
Inductance0	V:Ch1 I:Ch2
I vs J/V0	V:Ch1 I:Ch2

Plots

I Vs J/V Plot

Plot Type	Measurement
BH Curve	Magnetic Property...
Inductance curve	Inductance0 - Ch...
I Vs J/V Plot	I vs J/V0 - Ch1.Ch2

Clear Clear All

Advanced Power Analysis

Results

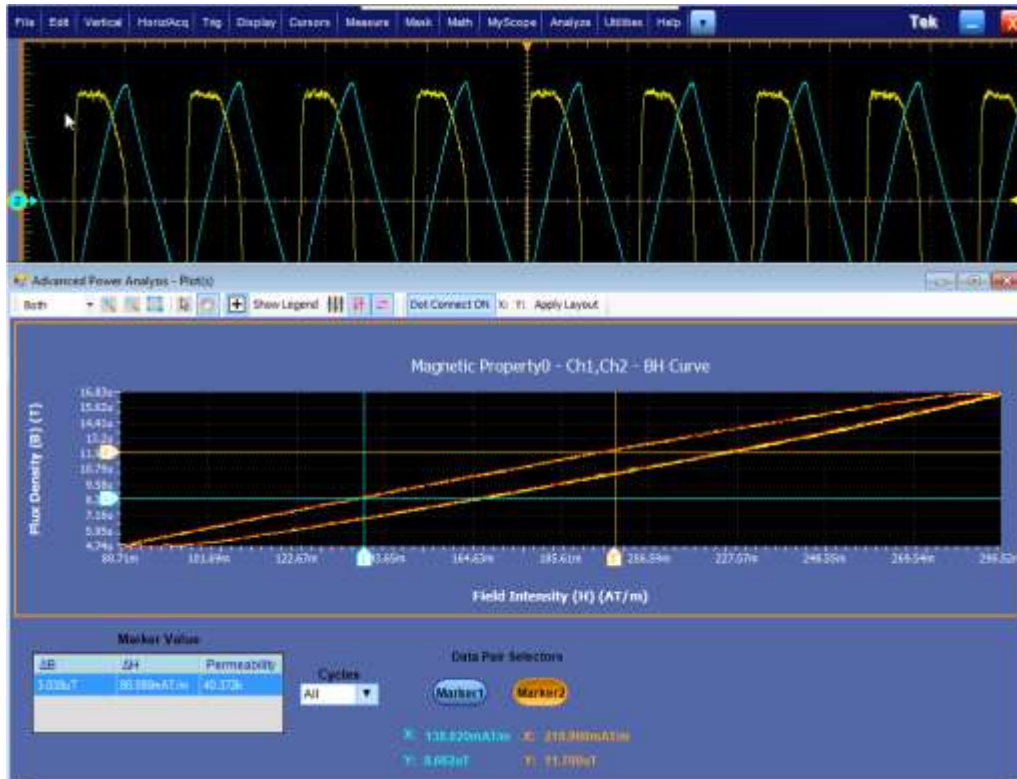
Measurement	Min	Max	Mean	Std Dev	Peak-Peak	Population	Result
Magnetic L...	73.907mW	73.907mW	73.907mW	NA	NA	1,000	Success
Magnetic P...	16.829uT	16.829uT	16.829uT	NA	NA	7,000	Success
Inductance0	57.692uH	57.692uH	57.692uH	NA	NA	1,000	Success
I vs J/V0	5.860uVs	5.860uVs	5.860uVs	NA	NA	1,000	Success

Clear Recalc Single Run Show Plots

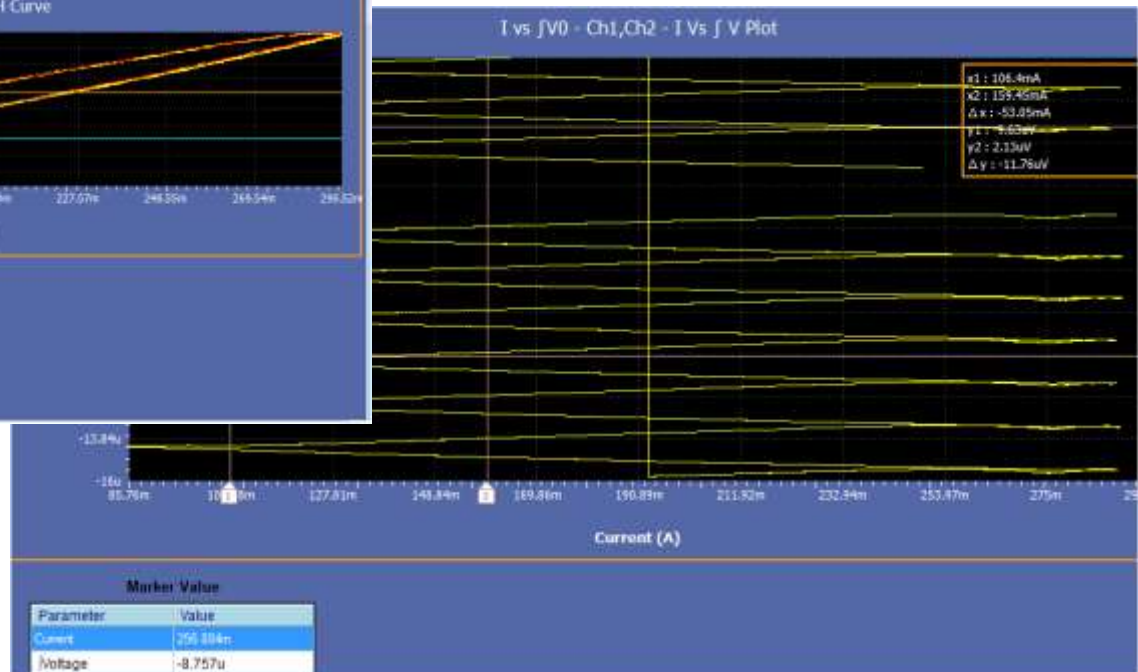
结果汇总

无源器件测试

- An Interactive BH plot provides more insight to magnetic component.

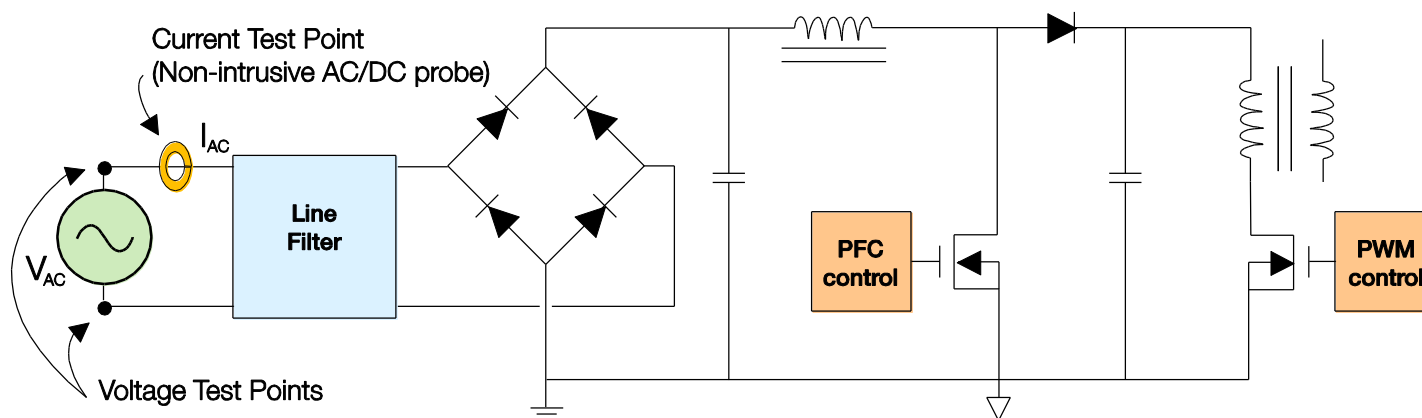


B-H plot for single winding inductor



输入端电源质量分析

- 电源质量测量内容：
 - True Power有功功率
 - Reactive Power无功功率
 - Apparent Power 视在功率
 - Power Factor功率因素
 - Crest Factor波峰因素
 - Current Harmonics Measurements 电流谐波
 - THD总谐波失真



输入端电源质量

- 电源质量

- 选择 → 定义 → 单次 → 结果及详细信息 → 绘图

The image displays three screenshots of the Advanced Power Analysis software interface, illustrating the workflow for input power quality analysis.

Global Configure: The first screenshot shows the 'Global Configure' screen. The 'Input Analysis' option is selected in the left-hand menu. The 'Measurements' section includes buttons for Power Quality, Current Harmonics, Total Power Quality, and In Rush Current. The 'Type' section is set to '61000-3-2' and 'Line Frequency' is set to '50Hz'. The 'Standard' section includes 'I-Probe Impedance', 'Harmonics Table', and 'Global'.

Input Analysis Measurements: The second screenshot shows the 'Input Analysis Measurements' screen. The 'Measurements' section is highlighted, and the 'Measurement' table is populated with the following data:

Measurement	Source(s)
Power Quality0	V:Ch1 I:Ch2
Current Harmonics0	V:Ch1 I:Ch2

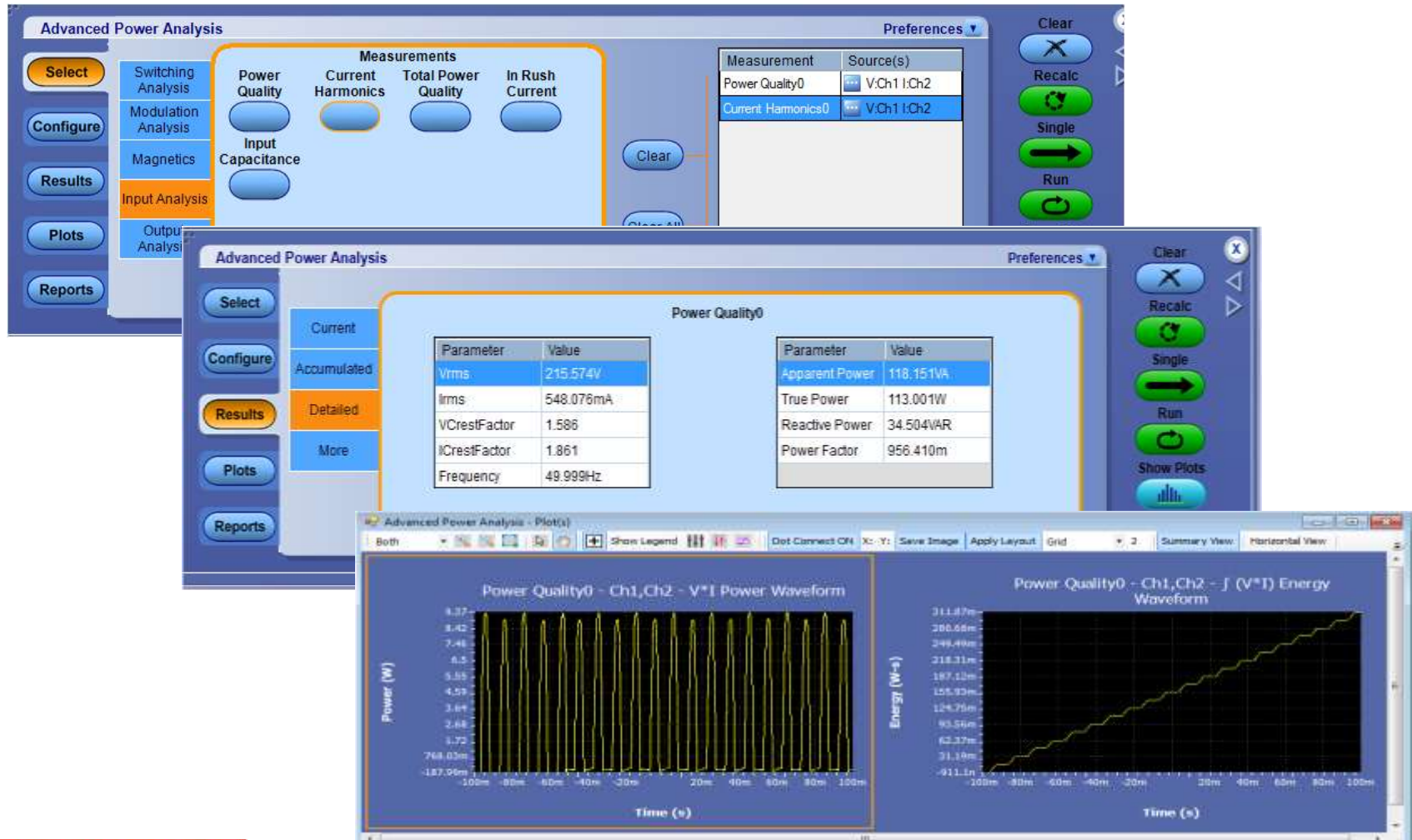
Group Results: The third screenshot shows the 'Group Results' screen. The 'Results' section is highlighted, and the 'Result' table is populated with the following data:

Measurement	Min	Max	Mean	Std Dev	Peak-Peak	Population	Result
Power Qua...	NA	NA	3.085W	NA	NA	24.000	Success
Current Ha...	NA	NA	278.844mA	NA	NA	24.000	Success

输入端质量

- 电源质量

- 选择 → 定义 → 单次 → 结果及详细信息 → 绘图



电流谐波一致性测试

- 必须要求达到40次谐波
- 行业标准, 如: EN61000-3-2, EN61000-3-2 AM14, MIL-STD-1399 (400 Hz)

TotalPowerQuality(Class A, SIGNAL_TYPE_61000_3_2_60)

Harmonics	Value	Limits	Margin	Status
1	108.954	0	100.000	NA
2	71.819	120.668	65.916	Pass
3	104.185	127.235	95.622	Pass
4	61.807	112.668	56.819	Pass
5	89.248	121.139	82.005	Pass
6	64.324	109.542	59.038	Pass
7	88.564	117.730	81.285	Pass
8	52.822	107.235	48.481	Pass
9	82.589	112.041	75.811	Pass
10	61.584	105.296	56.523	Pass
11	76.010	110.370	69.783	Pass
12	47.035	103.711	43.189	Pass
13	68.920	106.444	63.255	Pass
14	58.496	102.372	53.692	Pass
15	75.663	103.522	69.445	Pass
16	40.915	101.214	37.552	Pass
17	70.169	102.438	64.402	Pass
18	57.877	100.189	53.212	Pass
19	70.572	101.467	64.772	Pass
20	45.055	99.276	45.023	Pass
21	67.482	100.596	61.936	Pass
22	53.141	98.444	48.774	Pass
23	65.143	99.807	59.789	Pass
24	47.667	97.696	43.750	Pass
25	60.236	99.085	55.295	Pass
26	53.530	97.001	45.131	Pass
27	62.302	98.413	57.181	Pass
28	41.435	96.351	38.030	Pass

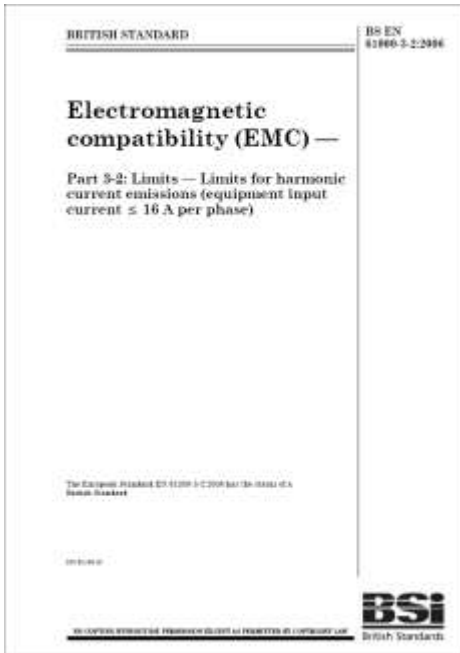
Result

Field	Value
Class	Class A
V-THD	13.777%
I-THD	59.805%
I rms	107.076mA
V rms	12.958V
Harmonic Freq...	50.000Hz
Signal Frequency	50.063Hz
POHC Measured	4.012m
POHC Limit	251.359m
POHC Status	Pass
True Power	3.090W
Apparent Power	3.544VA
V Crest Factor	1.247
I Crest Factor	1.819
Power Factor	763.533m
True Power	3.090W

Unit: dBuA A

Harmonics: All

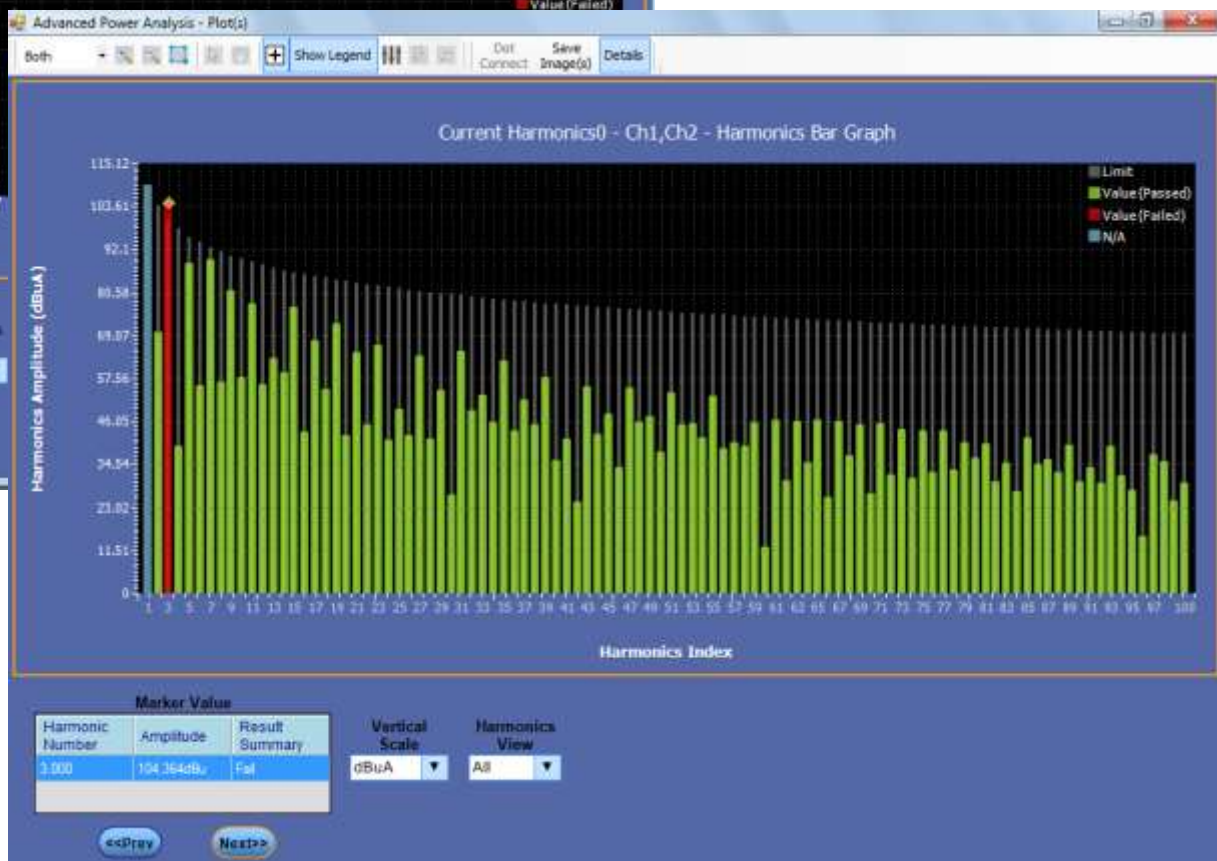
Margin:



电流谐波一致性测试

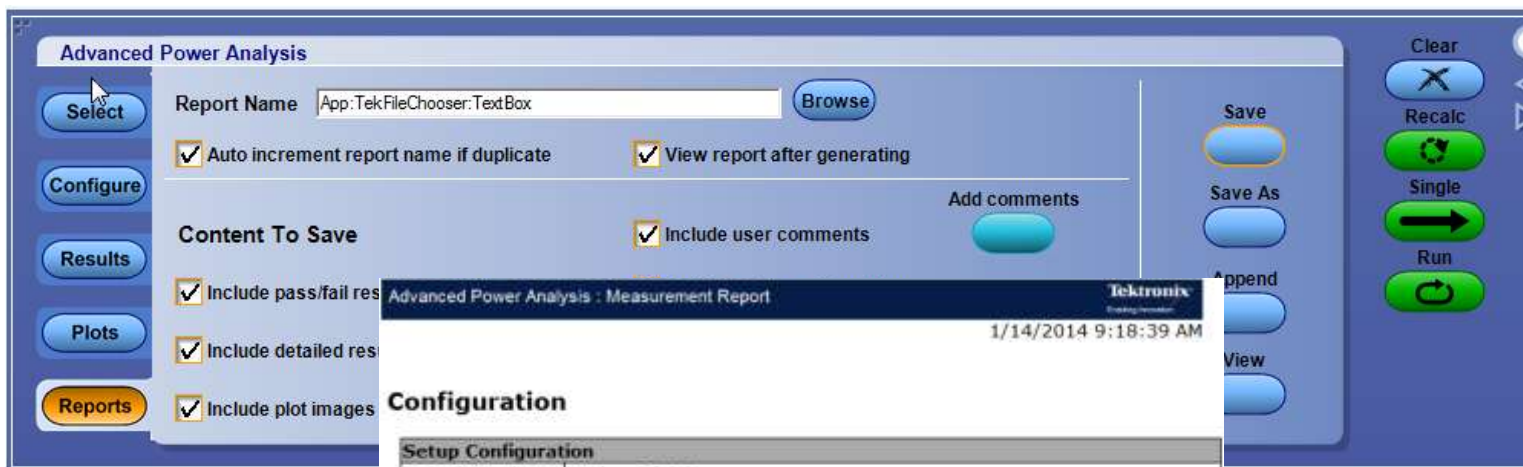


柱状图标记通过或者失败



总谐波失真计算使用所有偶次和奇次的谐波

输出报告



MHT Report Structure

Advanced Power Analysis : Measurement Report
1/14/2014 9:18:39 AM

Configuration

Setup Configuration	
DPO5034B	Version: 7.1.1.1
Advanced Power Analysis	Version: 2.0.0 devBuild 236

Measurement Configuration		
Index	Measurement	Config Information
1	Switching Loss0	V:Ch1 I:Ch2; EdgeSource Unit: Percentage; RefLevel: 50.000%; Hysteresis: 5.000%; Is Logging Done: False;PWMTType: Fixed; DeviceMode: Auto; OnOffLevelUnit: Percentage; I_LevelPercentage: 5.000%; V_LevelPercentage: 5.000%; DeviceType: N-Channel; MathDestination: Math1;
2	SOA0	V:Ch1 I:Ch2
3	Global Configuration	Coupling Type: DC; Bandwidth Limit: BWL_20MHz; Acquisition Mode: HiRes; Cursor Gating: Off; Current Source: Ch2; Current Probe: Tek_VP1;

Measurement Summary Results

Measurement	Min	Max	Mean	Std dev	Pk-Pk	Population	Result
Switching Loss0	235.779mW	270.300mW	258.609mW	0.0W	34.521mW	3.649M	Success
Current Acq	245.315mW	269.354mW	255.325mW	3.453mW	24.039mW	7.197k	Success
SOA0	NA	NA	NA	NA	NA	30.711k	Success
Current Acq	NA	NA	NA	NA	NA	1.000	Success

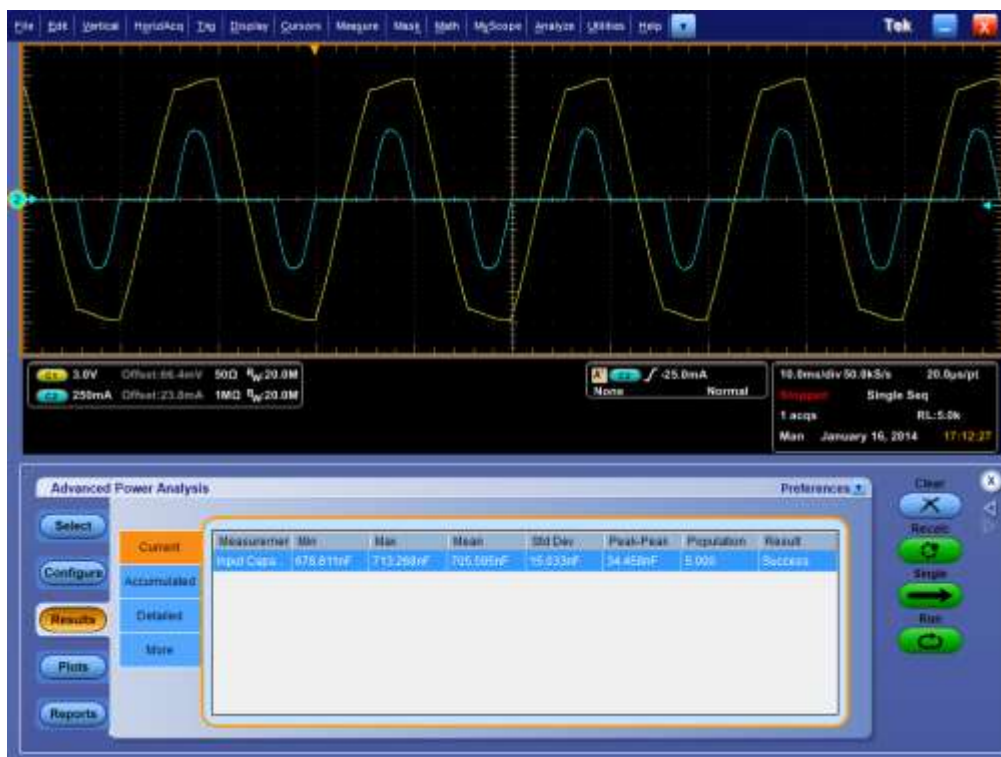
Measurement Detailed Results

Switching Loss0

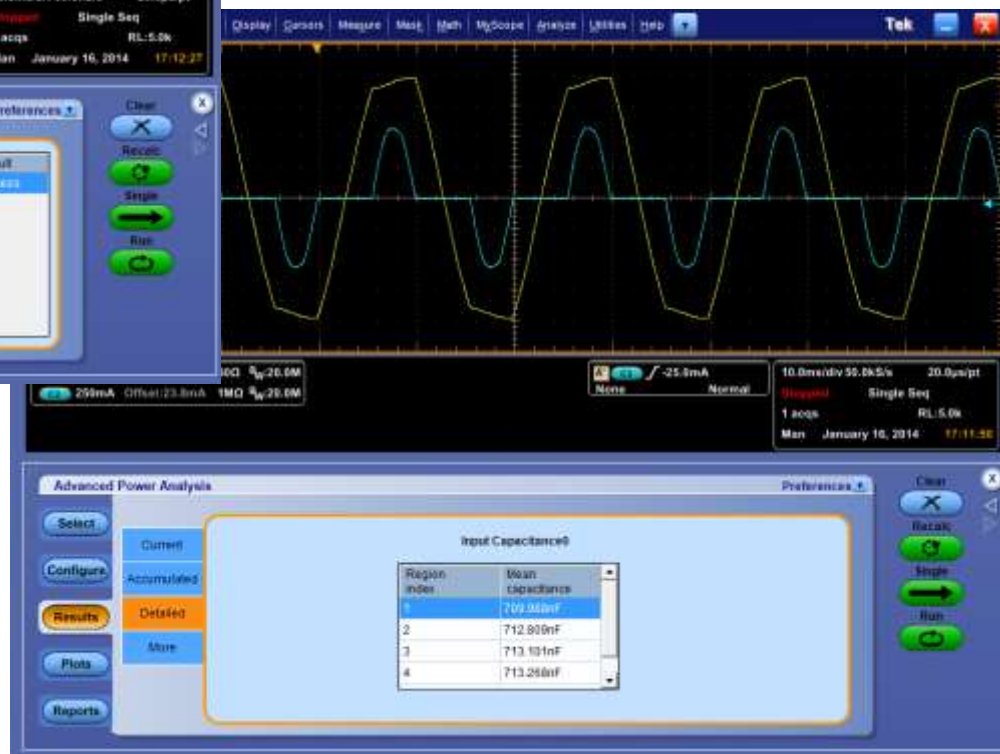
Switching Loss0 PowerLoss

Type	Min	Max	Average
TOn	10.905mW	14.065mW	12.518mW
TOff	231.822mW	255.075mW	241.597mW

电容测量



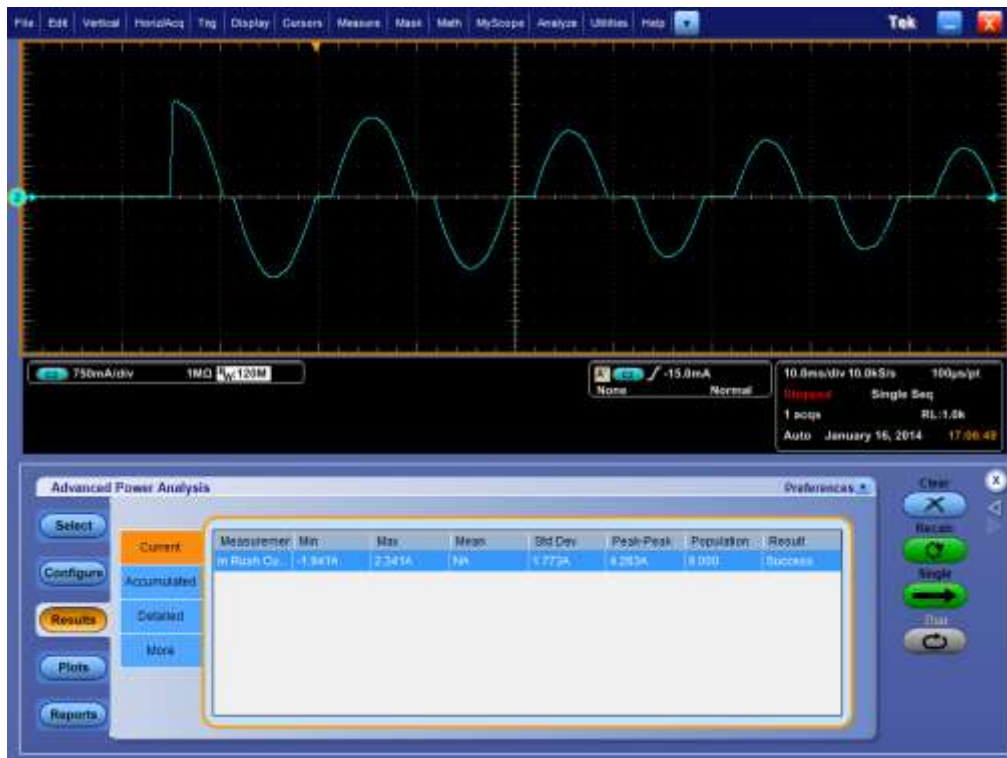
Result Summary



Detailed Results

浪涌电流测试

测试结果



详细结果



完整的测试方案

高精度测量:

- 两路电压和电流同时输入
 - 谐波
 - 闪烁
 - 有功功率
 - 无功功率
 - 功率因数
 - 其他

Tektronix PA4000
功率分析仪

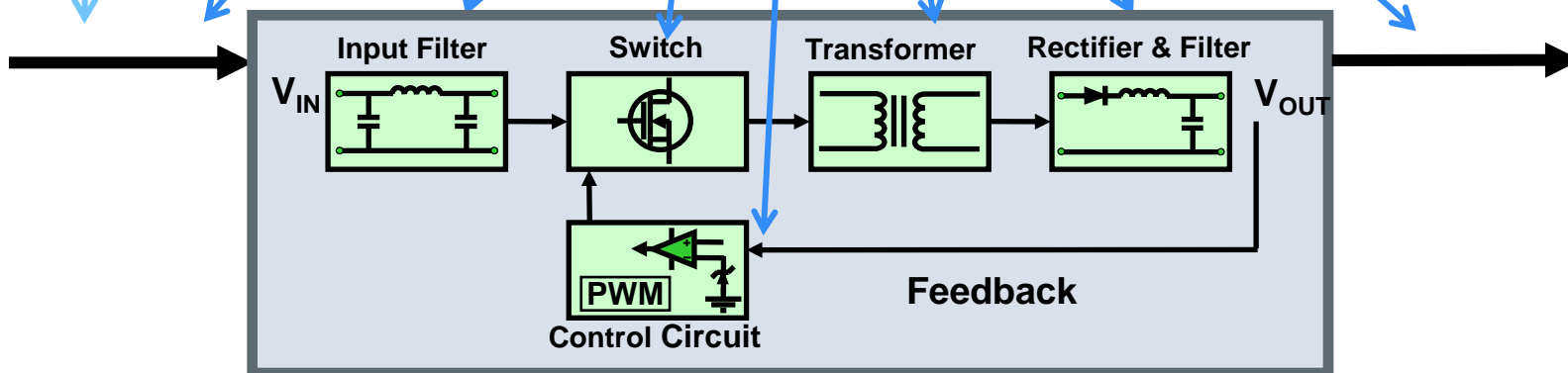
高精度测量:

- 两路电压和电流同时输入
 - 谐波
 - 闪烁
 - 有功功率
 - 无功功率
 - 功率因数
 - 其他

Tektronix 示波器
和 DPOPWR & 探头

可视化和洞察力:

- 开关损耗特性
- 功率损耗
- 安全工作区
- 瞬时功率
- B-H 曲线

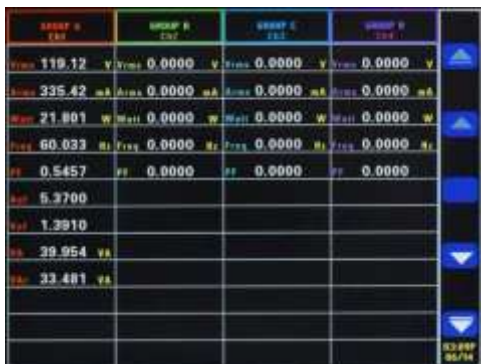


PA4000 功率分析仪

精确的测试测量 —— 我们的独特优势



强大的测量精度



- 精准的测量精度: 0.01% 电压电流的基本精度
- 高达0.02%功率精度
- 专利的螺旋式电流分流器
- 峰值因数高达10 的高精度测量结果

强大的功能



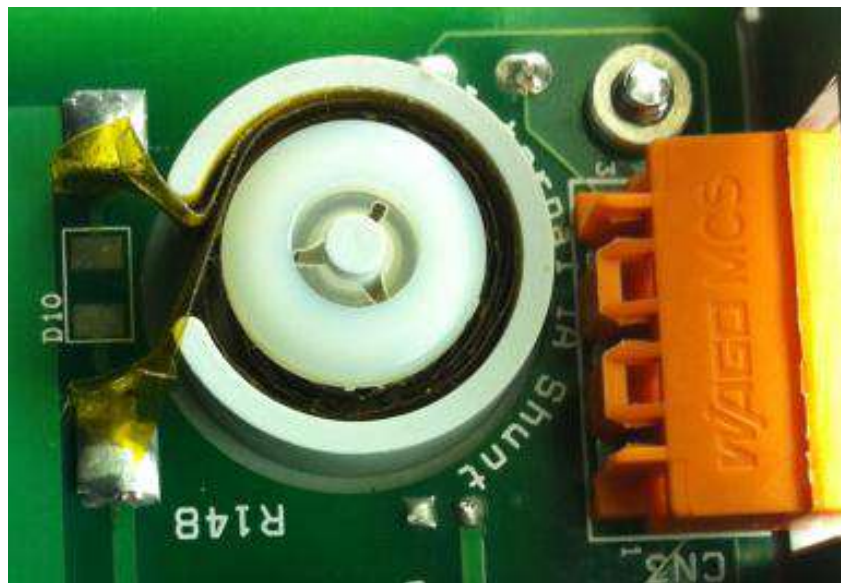
- 电流30A/1A 双shunt 标配
- PWM驱动, 镇流器, 待机功耗, 能量积分等多种测量模式
- 谐波测试功能标配, 有谐波测量100次
- 机械功率测试功能, 扭矩转速测试功能标配
- CT供电电源-选配

丰富的接口



- USB, LAN, 和RS-232 标配 (GPIB) 选配
- 远程控制软件标配PWRVIEW
- 功率及谐波同时测量, 无需切换
- 五年质保-标配

竞争优势-1 专利技术的分流器



PA4000采用了创新的螺旋分流设计，在大范围的输入电流范围, 环境温度, 波峰因素, 和其他变量条件下确保线性稳定度。这个专利设计优于其他公司采用的并联技术, 在今天大动态范围输入的功率转换技术下, 提供了高精度, 高稳定性测量。螺旋结构不仅最大限度地减少杂散电感(最佳的高频性能), 也提供了高过载能力和提高热稳定性。

优势:

- 1, 高频信号精度高
- 2, 热稳定性好。

竞争优势-2双分流器

- 其他厂家都是客户选择大量程或小量程的电流分流器配置在设备上。
- 例如30A 和1A 分流器你可以选择
- 如果客户产品的功率范围很大，从几十瓦—上百千瓦时。客户面临艰难的选择。

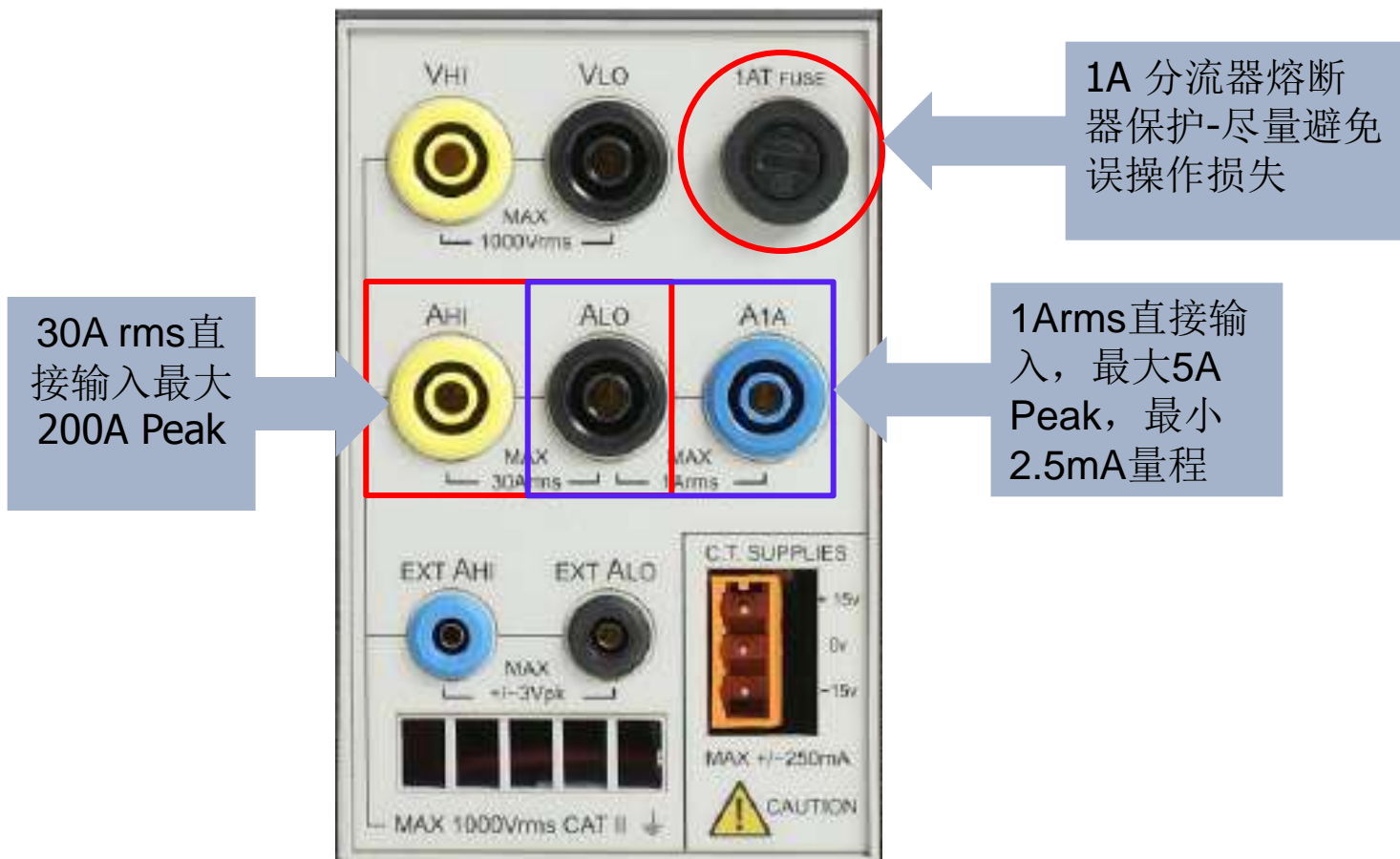


- 选30A 分流器，小功率没有问题，大功率需要外部分流器，但是外部分流器输出信号较小，一般是mA级别的，本身30A测试精度不足。
- 选1A 分流器，外部分流器没有问题，但是一般外部分流器都是比较大量程的，一本在600A，那样测量几十A 的电流精度较差。

双电流分流器解决了客户的难题。

竞争优势-2双分流器（保护设计）

- 例如30A 和1A 分流器你可以选择



竞争优势-3 谐波测试功能（标配）

IEC61000-4-7 谐波测量

- 标配谐波分析功能，最高可以测试到100次谐波
- ❖ IEC61000-4-7 电磁兼容试验测量电源系统及所连设备谐波及谐波测量
- ❖ 本标准适用于交流额定频率为50Hz 标称电压110kV 及以下的公用电网，标称电压为220kV 的公用电网可参照110kV 执行。第3章关于谐波测试要求导则
- ❖ PA4000谐波测试功能，电压，电流的谐波，还有谐波功率。

竞争优势-4 对谐波测量仪器的精度要求

- IEC61000-4-7 对谐波仪器测量的要求截取标准中第5章

5.2 对测量仪器准确度的要求

测量谐波电压和谐波电流的仪器建议采用两种准确度。表1为制造商标明的额定使用条件下(温度、湿度、供电电压等)测量仪器在工作频率范围内对单一频率的稳定信号的最大允许测量误差。

表1 最大测量误差

级 别	被 测 量	条 件	最大允许误差
A	电压	$U_m \geq 1\%U_N$ $U_m < 1\%U_N$	5% U_m 0.05% U_N
	电流	$I_m \geq 3\%I_N$ $I_m < 3\%I_N$	5% I_m 0.15% I_N
B	电压	$U_m \geq 3\%U_N$ $U_m < 3\%U_N$	5% U_m 0.15% U_N
	电流	$I_m \geq 10\%I_N$ $I_m < 10\%I_N$	5% I_m 0.5% I_N

表1中 U_m, I_m 为测量值(见定义), U_N, I_N 为测量仪器的额定输入值。

注:当设备按GB 17625.1试验时,其误差项在本标准中分别与允许限值(允许限值的5%),或被测试设备的额定电流(I_r)对应(即0.15% I_r),以较大者为准。

当需要用最高的准确度评价额定电流大于5A,次数高于15次的谐波时,建议采用与被试设备额定电流匹配的外部分流器或电流变换器(见图1)。

- 功率分析仪基本精度低于0.05%的都不符合标准。

竞争优势-5 峰值因数

- 一些测试应用，需要测试电流或电压波形有很大的畸变，这样对峰值因数有很高的要求。
- 我们的峰值因数最高可以到10，
- 主要的应用场合：

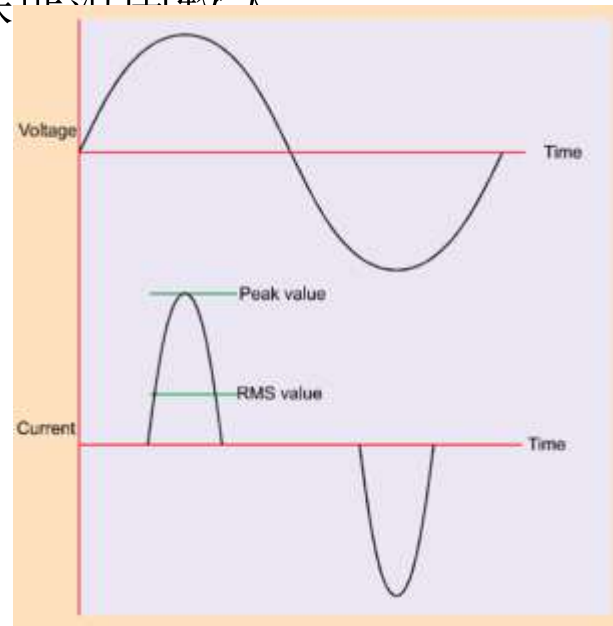
变频测试波形可以看到峰值因数大，测试精度保证范围较大

高峰值因数的应用，手机电池充电，

HID 灯驱动测试，电源待机功耗

我们测量的精度远远高于我们的竞争对手。

$$\text{Crest factor} = \frac{\text{Peak value}}{\text{RMS value}}$$



竞争优势6：多种应用的测量模式

- 四种应用的测量模式
- **PWM 马达驱动模式：**旨在解决在马达驱动器常见的复杂波形上进行测量有关的难题。高频采样与数字滤波相结合，抑制载频，提取马达频率，同时功率参数测量仍使用滤波前的初始数据。
- **待机功率模式：**在消费者需求和能效法规(如能源之星)的推动下，人们对测量产品在待机模式下能耗的需要日益提高。其中使用最广泛的测量标准之一是 IEC 62301。
- **镇流器模式：**镇流器模式同步测量高度调制的电子镇流器波形，通常很难进行准确的测量，因为输出信号是电源频率高度调制的高频波形。镇流器模式为把测量周期锁定到功率频率提供了一种途径。
- **积分器模式：**积分器模式用来提供测量功能，确定能耗(瓦时、安时、等等)。此外，对某些参数，还提供了平均值。
- 保证不同应用的测量一致性，减少人为犯错的概率

竞争优势7: 高带宽信号高精度测量DC-1MHz

带宽

- 测量精度 - 电压和电流
- (45 Hz - 850 Hz)
电压电流精度 (Vrms) $\pm 0.01\%$ 的读数 $\pm 0.04\%$ 的范围
- (10 Hz - 45 Hz或850 Hz - 1 MHz)
- 电压精度 (Vrms) $\pm 0.05\%$ 的读数 $\pm 0.05\%$ 的范围 $\pm (0.02 \cdot F)\%$ 的读数 ± 0.02 V (典型值)

30A输入单元、2A输入单元(500mA、1A、2A量程)、电压输入

	电压/电流	功率
DC	读数的0.05%+量程的0.05%(U, 30A, 传感器) 读数的0.05%+量程的0.05%+2 μ A (2A)	读数的0.05%+量程的0.1%(30A, 传感器) 读数的0.05%+量程的0.1%+2 μ A \times U读数(2A)
0.1Hz \leq f<30Hz	读数的0.1%+量程的0.2%	读数的0.2%+量程的0.3%
30Hz \leq f<45Hz	读数的0.03%+量程的0.05%	读数的0.05%+量程的0.05%
45Hz \leq f \leq 66Hz	读数的0.01%+量程的0.03%	读数的0.02%+量程的0.04%
66Hz<f \leq 1kHz	读数的0.03%+量程的0.05%	读数的0.05%+量程的0.05%
1kHz<f \leq 10kHz	读数的0.1%+量程的0.05%	读数的0.15%+量程的0.1%
10kHz<f \leq 50kHz	读数的0.3%+量程的0.1%	读数的0.3%+量程的0.2%
50kHz<f \leq 100kHz	读数的0.012 \times f%+量程的0.2%	读数的0.014 \times f%+量程的0.3%
100kHz<f \leq 500kHz	读数的0.009 \times f%+量程的0.5%	读数的0.012 \times f%+量程的1%
500kHz<f \leq 1MHz	读数的(0.022 \times f-7)%+量程的1%	读数的(0.048 \times f-19)%+量程的2%

U: 电压, 传感器:外部传感器输入, 2A:2A直接电流输入的量为500mA、1A、2A, 30A: 30A直接电流输入。

PA4000 功率分析仪

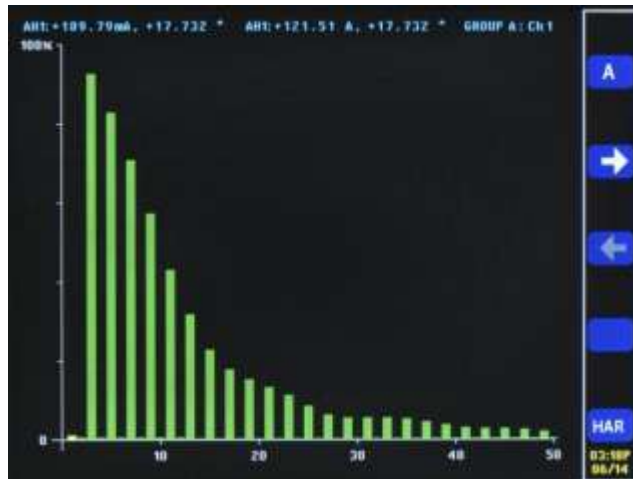
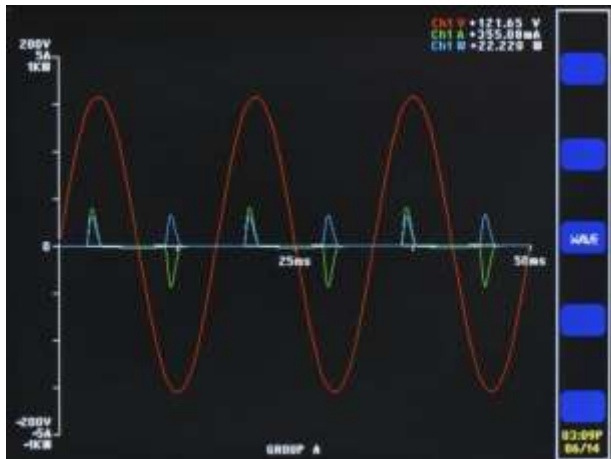
其他一般性指标说明



	PA4000_1CH	PA4000_2CH	PA4000_3CH	PA4000_4CH
输入模块	1	2	3	4
电压的输入范围	最大1000 Vrms, 2000 Vpeak			
基本电压精度	0.01%			
电流输入范围	0.025 A to 30 Arms with 2 个内置分流器			
基本电流精度	0.01%			
可测量项目	Vrms, Irms, VA, VAR, W, PF, Freq, Whr, Vahr, THD, TIF, etc.			
仪表带宽	DC - 1 MHz			
自动测量模式	PWM 模式, 镇流器, 待机功耗, 能量积分			
外部接口	USB, LAN, RS-232 (GPIB Optional)			
软件	实现远程控制和数据记录 (标配)			
主机保修	五年			
校准及维修服务	北京			

功率分析仪——主要的测量参数

- V_{RMS} , A_{RMS} , W , VA , VAr , CF , 频率, 相位角
- 谐波最高 100th (标配)
- 转换效率
- 浪涌电流
- 波形, 数据列表和能量积分模式



GROUP A Ch1		
Vrms	121.65	V
Arms	355.09	mA
Watt	22.220	W
Freq	60.015	Hz
PF	0.5144	
Acf	3.6499	



Tektronix®

KEITHLEY
A Tektronix Company

Tektronix®