



# 泰克科技 开关技术应用测量方案H2

王跃伟

Yuewei.wang@Tektronix.com

**REVOLUTION** **ENGINEERING**  
SALES UNIVERSITY 2016

# 泰克开关技术测试应用方案

- **简述:**

- 效率、功耗和损耗在单相和三相AC-DC变换、DC-AC变换、照明、AC-DC电源及电机驱动都要测试。
- 除上以外，纹波噪声是DC输出的必测项目。

- **泰克方案:** 功率分析仪、MDO+PWR方案、电压、电流探头及Rogowski探头、电子负载、多通道参数（温度）测量、万用表.....。

- **客户:** Artesyn, SL power, Apple, Intel, HP, Osram, Phillips, Toshiba, Toyota, GE, etc.

- **涉及标准及重点:**

- Level VI efficiency testing ,
- IEC 62301 standby power testing,
- Energy star testing,
- IEC 61000-3-2 current harmonic testing.
- switching and conduction loss testing,
- magnetic loss testing



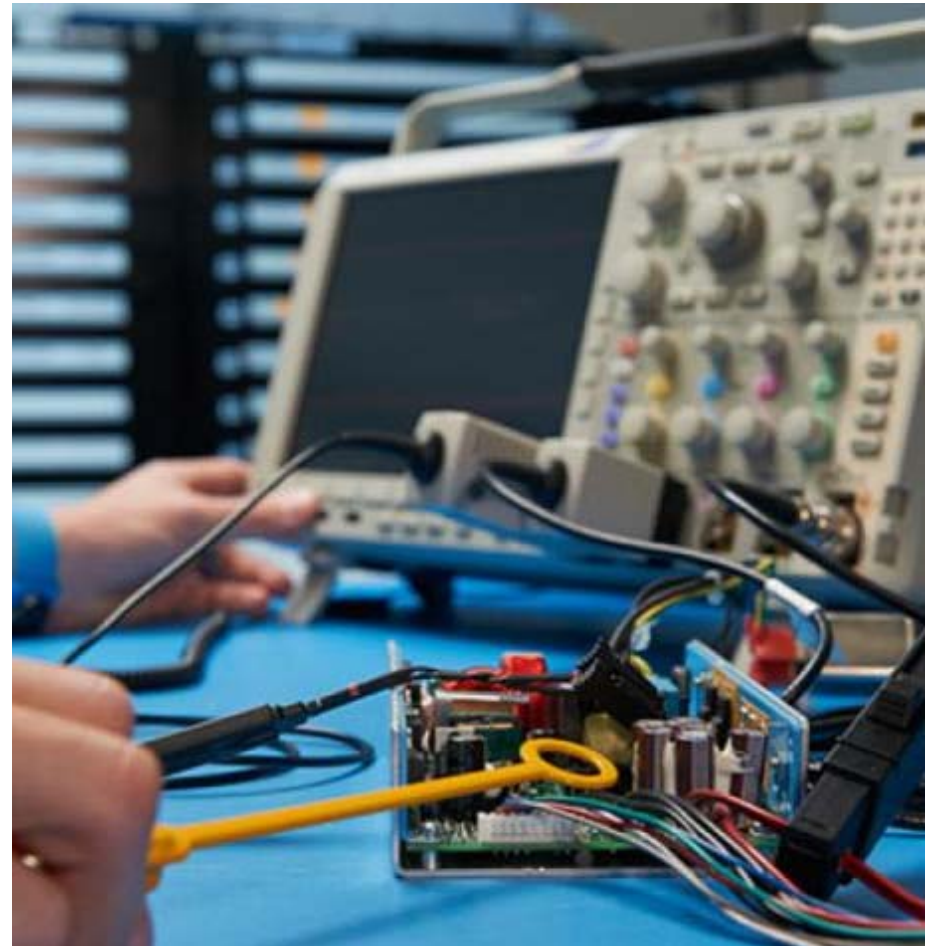
# 概览

- 开关技术原理及应用
- 提高功率测试的精确性和可重复性
- 提高电源测试的效率
- 如何利用我们现有的谐波测试、预认证测试方案帮助客户缩短上市时间
- 最小化电源设计中的 RF信号
- 差分测量
- 为什么要多通道测量
- 泰克方案
- 实测

# 开关技术的原理及应用

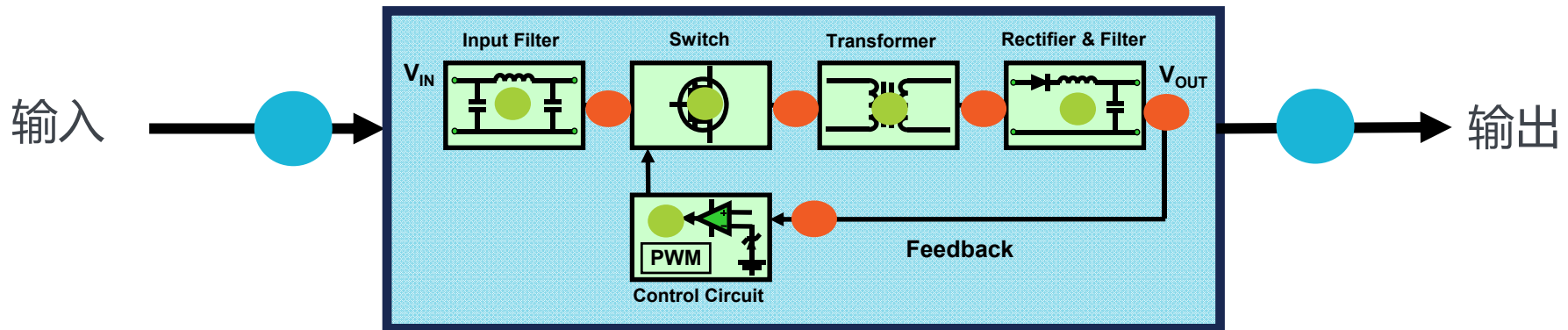
# SMPS 设计流程—设计挑战

- 1) 提供效率
- 2) 减小物理尺寸
- 3) 改善热消耗
- 4) 输出“干净”（ 噪声&纹波 ）
- 5) 电磁干扰
- 6) 符合标准规范
- 7) 提高可靠性
- 8) 较低的成本





# 开关电源的设计及测试方案



PCT和SMU



示波器和探头



功率分析仪、负载、万用表

器件选择

设计验证

终测& 标准验证

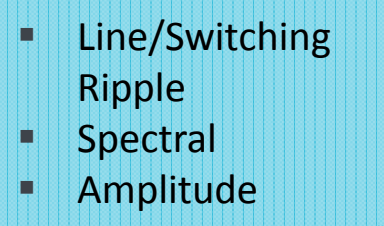


## 测量& 挑战



- True Power
- Reactive Power
- Apparent Power
- Phase Angle
- Power Factor
- Crest Factor
- Harmonics

## 测量& 挑战



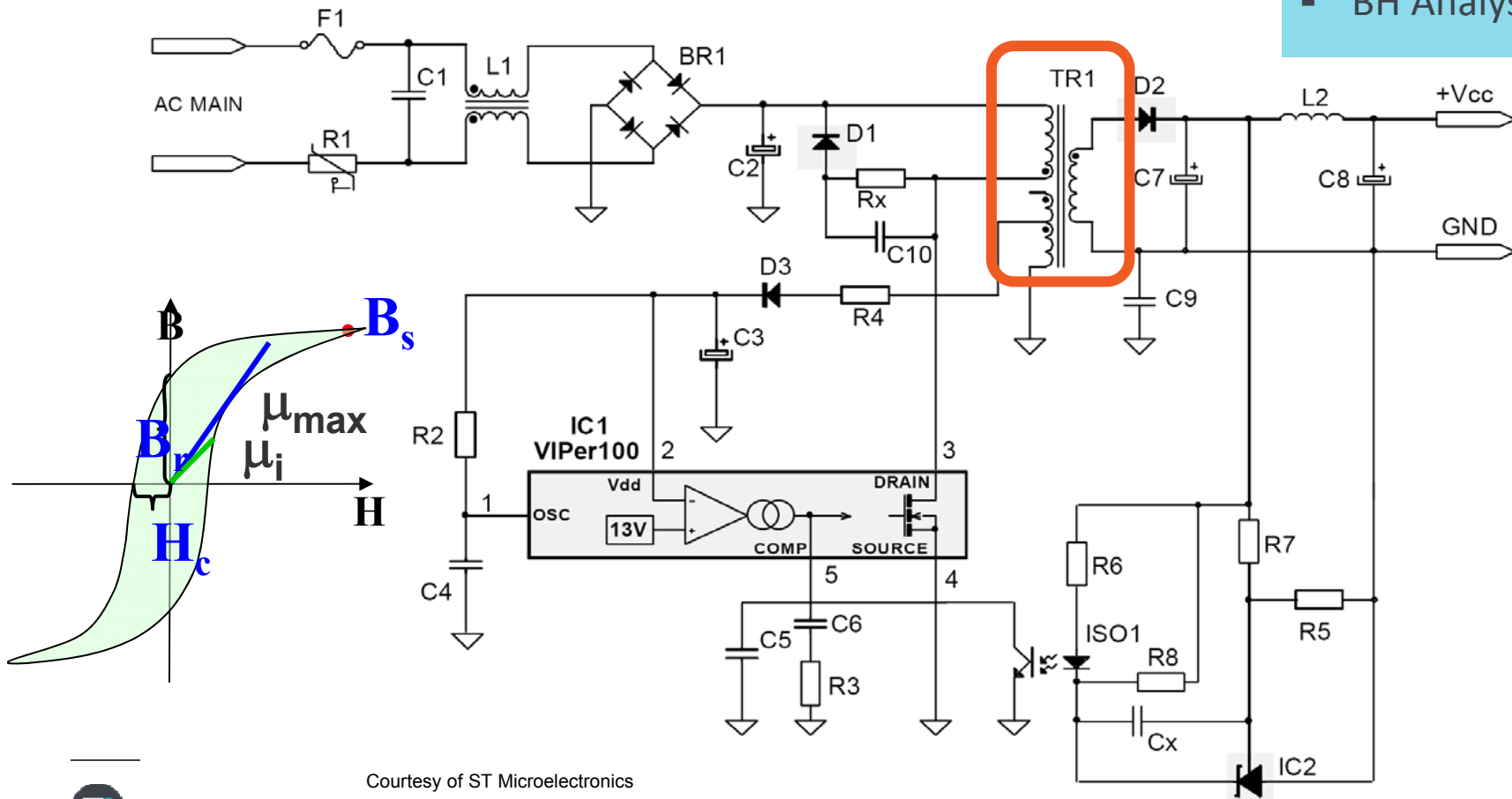


# 典型的 SMPS 电路

## 测量& 挑战

### 磁性测量

- Inductance
- Magnetic Loss
- Magnetic Properties
- BH Analysis

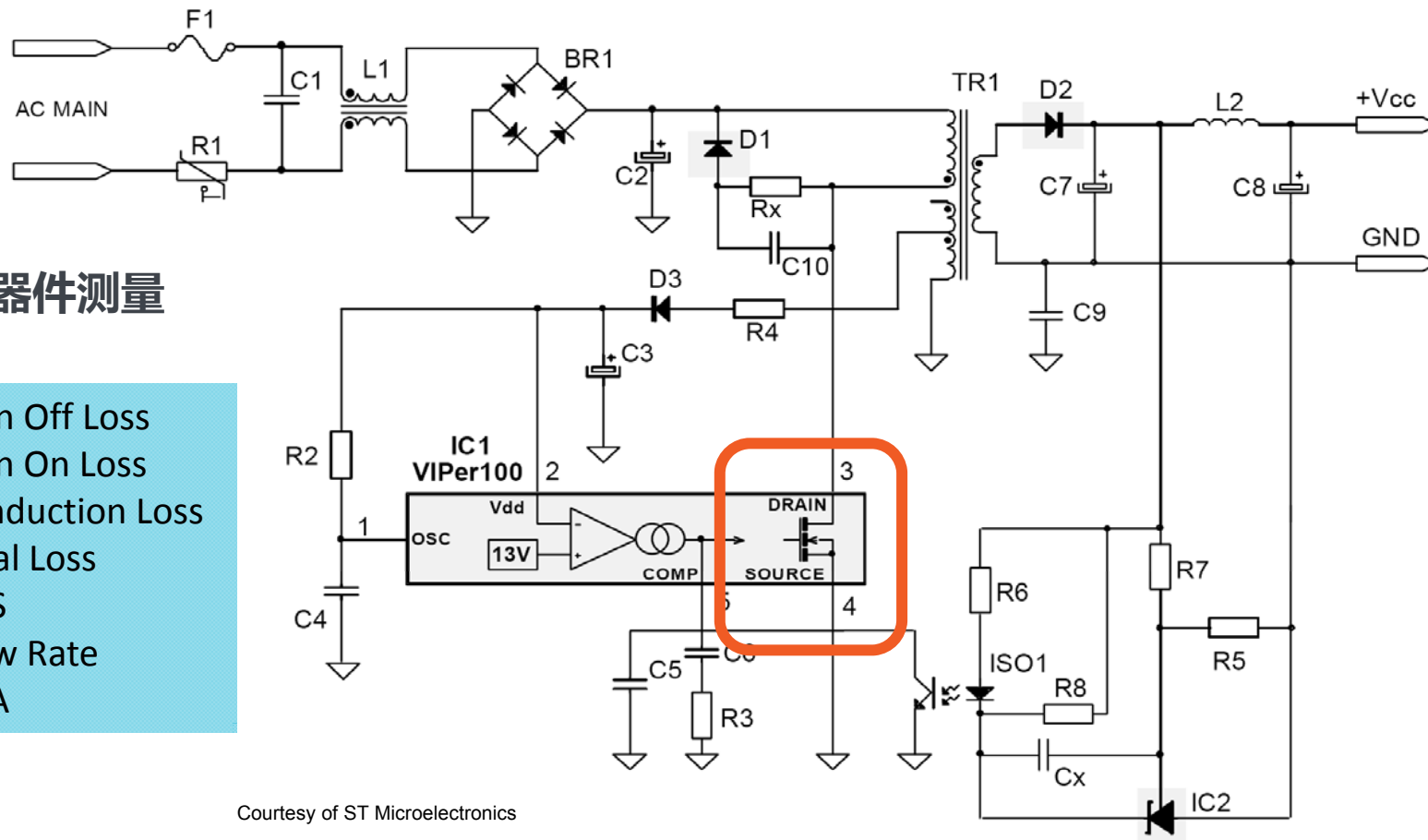


Courtesy of ST Microelectronics



## 测量&挑战

- Turn Off Loss
- Turn On Loss
- Conduction Loss
- Total Loss
- RDS
- Slew Rate
- SOA



Courtesy of ST Microelectronics

# 磁性测量的好处

~20% 的客户需要磁性特性测量! Tektronix是唯一在示波器上提供此功能的!

## 磁损耗基础:

磁损耗影响电源的 **效率、可靠性和热性能**. 有三种损耗和磁特性相关.

**磁损耗 = 磁滞损耗 + 涡流损耗 + 铜损.**

## 磁滞曲线:

磁性曲线可以描述磁场强度 **H** (x-axis) 和磁通密度 **B** (y-axis) 关系. 建立一个B-H曲线.

## 磁滞损耗 hysteresis loss :

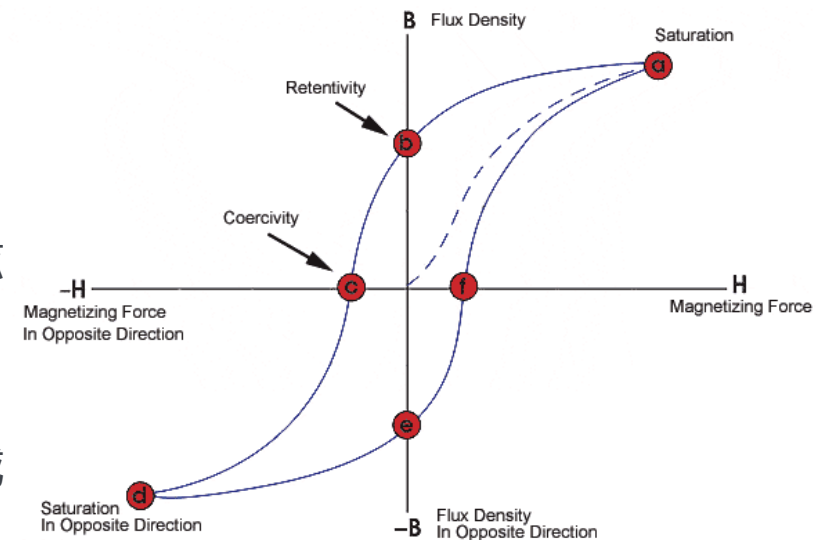
能量损耗正比于磁滞回路的面积, 小的回路等于低的磁滞损耗而大的回路会有高的磁滞损耗.

## 涡流损耗 Eddie Current Loss:

小电流流过磁芯材料, 可以使提高磁芯材料的电阻来减小涡流损耗

## 铜损 Copper Loss:

阻性损耗用于描述绕线的能量耗散



# 开关电源常规测试项目

- 1、功率因素和效率测试
- 2、平均效率测试
- 3、输入电流测试
- 4、浪涌电流测试
- 5、电压调整率测试
- 6、负载调整率测试
- 7、输入缓慢变动测试
- 8、纹波及噪声测试
- 9、上升时间测试
- 10、下降时间测试
- 11、开机延迟时间测试
- 12、关机维持时间测试
- 13、输出过冲幅度测试
- 14、输出暂态响应测试
- 15、过流保护测试
- 16、短路保护测试
- 17、过压保护测试
- 18、重轻载变化测试
- 19、输入电压变动测试
- 20、电源开关循环测试
- 21、元件温升测试/
- 22、高温操作测试
- 23、高温高湿储存测试
- 24、低温操作测试
- 25、低温储存测试
- 26、低温启动测试
- 27、温度循环测试
- 28、冷热冲击测试
- 29、绝缘耐压测试
- 30、跌落测试
- 31、绝缘阻抗测试
- 32、额定电压输出电流测试

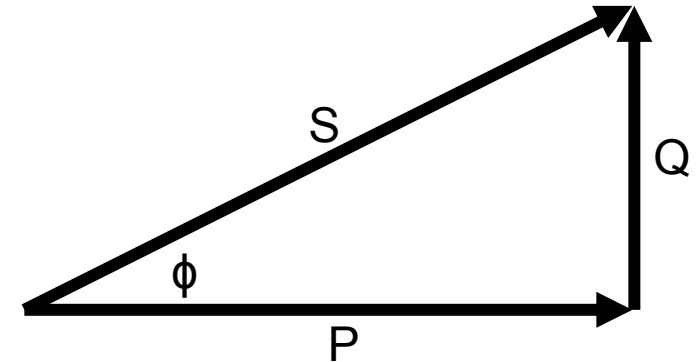


# 提高功率测试的 精确性和可重复性

# 基本功率测试

## 涉及很多相关概念！

- $V_{RMS}$  (有效电压) =  $\sqrt{V^2}$ ,  $I_{RMS}$  (有效电流) =  $\sqrt{I^2}$
- 对于常见的电源测试波形,
  - $\phi$  (相位差) =  $360^\circ * (V \text{ to } I \text{ 时间差}) / (\text{波形周期})$
- 瞬时功率  $p(t) = v(t) * i(t)$
- $P_{avg}$  (平均功率) =  $V_{RMS} * I_{RMS}$
- Apparent power (视在功率)  $S = V * I$
- Real power (实际功率)  $P = V * I * \cos \phi$
- Reactive power (无功功率)  $Q = V * I * \sin \phi$
- Power Factor (功率因数)  $PF = P / S$
- $CF_V$  (波峰因数) =  $V_{pk} / V_{RMS}$ ,  $CF_I = I_{pk} / I_{RMS}$
- $R_{DSon}$  (导通电阻) =  $V_{DS} / I_D$
- $R_{Diode}$  (导通电阻) =  $V_D / I_D$
- Switching Loss (开关损耗) =  $V_{DS} * I_D$
- Energy =  $p(t) * t$
- Slew rate (电压电流转换速度) =  $dv/dt, di/dt$
- Inrush current (浪涌电流)  $fuses = I^2 t$



简单的电源测试波形示意图

- 电源电路测试涉及很多专业测试！
- 绝大多数测试都会用到示波器
- 专业的测试需要专业的测试应用





# 功率探头

提高功率测试的精确性和可重复性从选择正确的探头开始

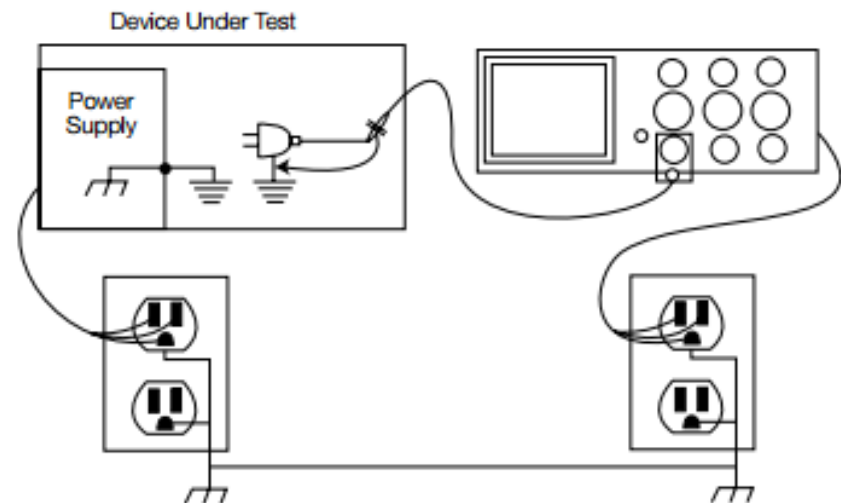
- 根据测试性能要求选择最合适的功率测试探头：
  - 足够的安全工作范围
  - 最大输入电压/电流
  - 足够带宽已经足够快的上升沿时间
  - 尽可能低的探头负载从而降低对被测器件/方案的影响
  - 尽可能高的灵敏性以测试最小的信号/尽可能大的响应范围以处理最高电压电流
  - 尽量小的放大倍数从而提高测试方案的信噪比
  - 使用正确的附件进而连接测试方案/测试点
  - 示波器与探头间的通讯进而自动设置测试的放大倍数，单位。。。
- 使用泰克网站的 [探头选择工具](#) 选择正确的探头



# 功率测试的方法以及注意点

功率系统测试里面不存在所谓的“地电压”！

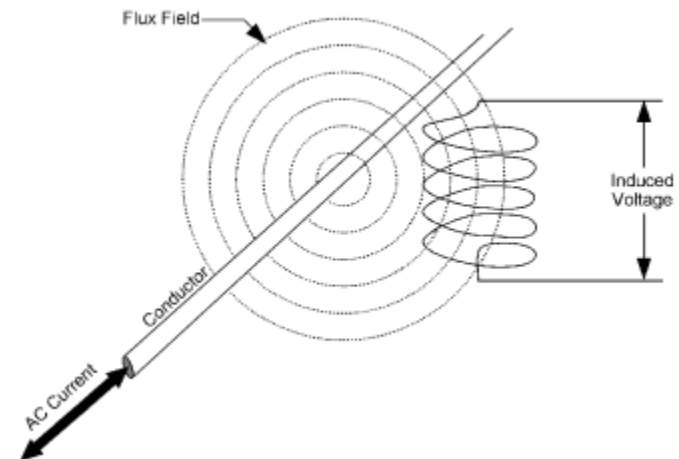
- 电压测试永远是指测试某点针对另一点的相对电压
- 电源测试中，多数时间示波器与电源不共地，所以无法利用无源探头进行准确测试！
- 针对电源测试，推荐使用差分探头进行测试



# 功率测试的方法以及注意点

## 如何降低噪声以及串扰对测试系统测试结果的影响

- 将探头放置在离噪声源和串扰源尽可能远的地方将有效降低感性耦合对测试结果的影响
- 在电压变化率最低点测试电流将有效降低感性耦合对测试结果的影响
- 在一些场合，将接地线连接到差分探头或者电流探头上可以降低感性耦合的影响
- 避免将探头线缠绕将有效降低由于线圈电磁耦合对测试效果的影响



# 功率测试的方法以及注意点

## 如何设置示波器及测试系统本身从而降低测试误差

- 使用Signal Path Compensation (SPC)功能从而保证示波器测试结果的精确性
- 使用“AutoZero”功能去除主动探头以及差分探头带来的直流偏移
- 使用“DeGauss/AutoZero”消除电流探头带来的直流偏移
  - Keysight曾经在技术文献中提到降低直流偏差对于测试结果精确性的帮助甚至大于提高垂直分辨率带来的帮助!
- 使用“Deskew”功能消除各个通道间测试的时间差

# 功率测试的方法以及注意点

## 优化垂直和水平分辨率

- 合理设置水平放大倍数从而保证能够捕捉到AC信号的若干个完整周期
- 灵活调整采样率与存储深度，保证在信号最快的上升下降沿上有足够的采样点
- 只观测/采样你感兴趣的信号部分
  - 灵活使用差分探头，AC耦合，DC 抑制以及示波器的偏置设置
  - 使用尽可能小的探头衰减倍数，并且尽量放大信号的垂直刻度使信号充满显示屏
  - 如果信号的pk-pk只占到示波器显示高度的一半，测试的分辨率将降低一位
  - 如果信号出现在屏幕显示范围之外，这意味着测试的结果会不精确

# 功率测试的方法以及注意点

## 如何优化测试的信噪比

- 使用探头的滤波器或者示波器的前端设置，将测试的带宽限制在你感兴趣信号的范围
- 如果被测信号是可重复并且有很多噪声，可以使用**波形平均**除去噪声部分
- 针对某些波形，如果只能用单次采样，可以使用HiRes功能去除噪声并且提高垂直分辨率
  - 合理选择所需采样率，当该采样率低于硬件最大采样率时，我们采用叫做Boxcar averaging的方法可以提高垂直分辨率
- 使用数学滤波器功能降低噪声
  - 数学滤波器比硬件滤波器更加灵活

Sample Rate (5 GS/s max)	Bits of Vertical Resolution	-3 dB BW Limit (0.44 x SR)
2.5 GS/s	8.5 bits	1.1 GHz *
1 GS/s	9 bits	440 MHz*
250 MS/s	10 bits	110 MHz
50 MS/s	11 bits	22 MHz
10 MS/s	12 bits	4.4 MHz
2.5 MS/s	13 bits	1.1 MHz
1 MS/s	14 bits	440 KHz
250 KS/s	15 bits	110 KHz
25 KS/s	>15 bits	11 KHz
250 S/s	>15 bits	110 Hz
25 S/s	>15 bits	11 Hz
2.5 S/s	>15 bits	1.1 Hz

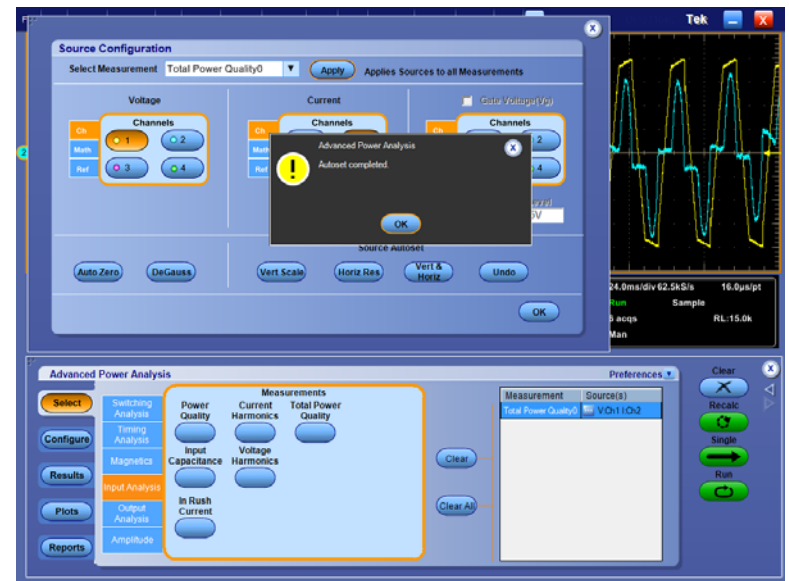




# 功率测试的自动化

## 示波器附带的功率测试相关自动测试功能

- 算法以及测试方法经由示波器软件自动选择
- 针对不同的测试对象和目的，自动测试功能定制化了最优的设置
  - 自动设置垂直刻度，偏置，带宽限制，采样率，存储深度，采样模式，测试门限以及选通
- 自动化测试保证了测试方法、测试结果的一致性并且提供了便捷的方法以记录、分享测试结果

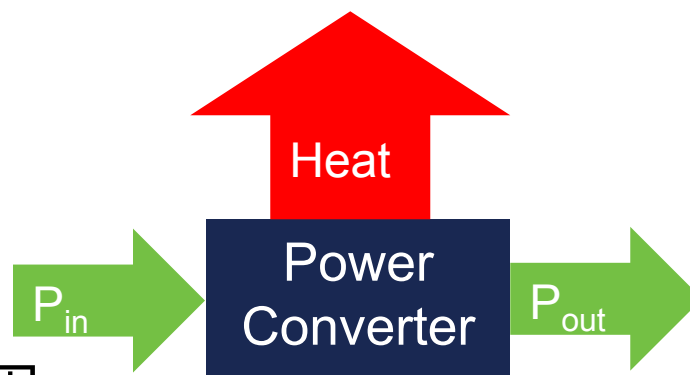


DPOPWR Source Autoselection

# 提高电源效率

# 电源效率

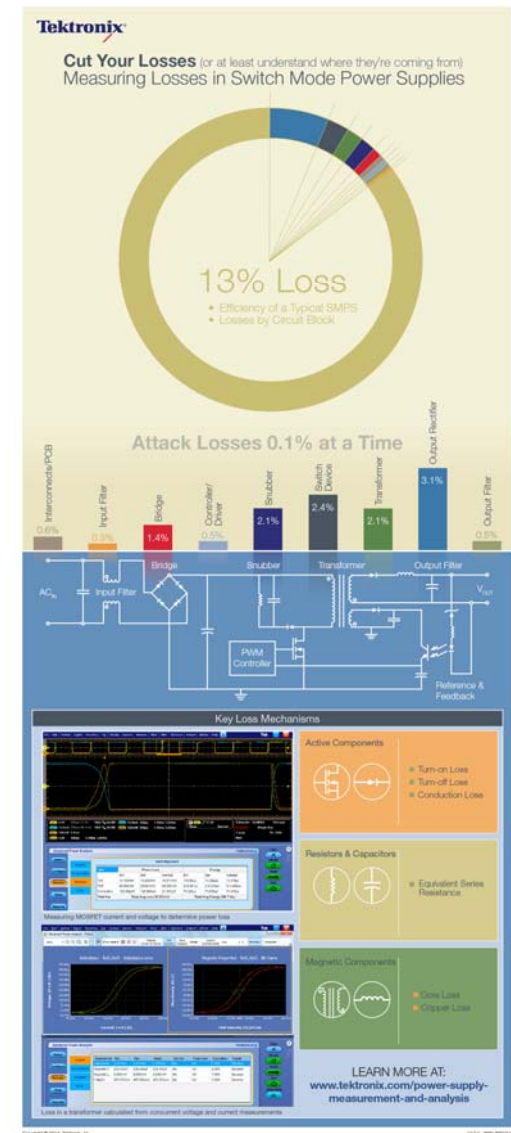
- 电源效率是输出功率与输入功率的比值
  - $\eta = P_{\text{out}} / P_{\text{in}}$
- 电源的功率损失是指输入功率与输出功率间的差值
  - $P_{\text{loss}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}}$
- 电源中的功率损失有很多途径和原因
  - 需要工程师逐个最小化/优化，测试
- 绝大多数的功率损失是以热量的形式损失的
  - 过多的热量损失将降低电源产品的竞争力和可靠性



# 电源效率

我们的客户设计中是如何提高电源效率的？

- 测试输入、输出功率
- 甄别列出主要的功率损耗因素
- 将实测损耗与设计理论损耗相比较
- 尝试不同的器件甚至是电路拓扑设计，比较效率的高低
- 不断重复以上步骤改进设计，知道设计符合性能要求



21 SEPTEMBER 2016

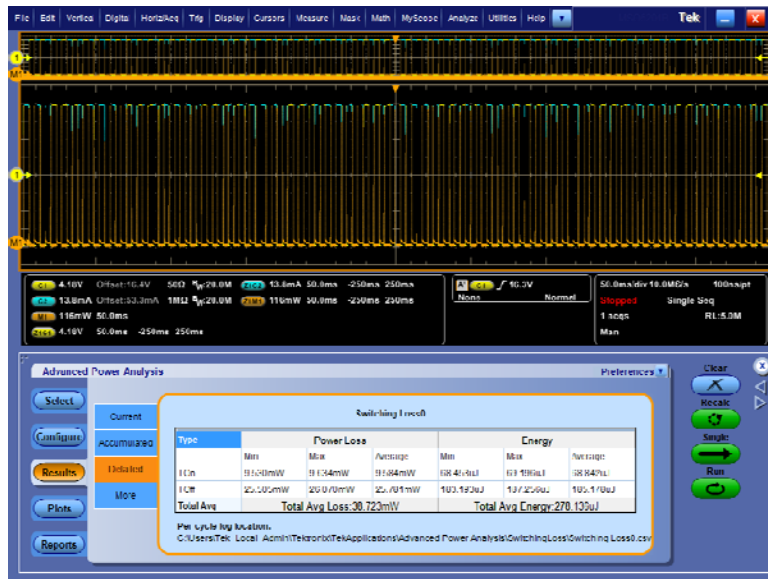
**REVOLUTION** **ENGINEERING**  
SALES UNIVERSITY 2016

24

# 提高电源效率

## 客户常用的功率测试举例：

- 开关损耗
  - 开关器件开关时候的功率损耗一般是主要的损耗来源
  - 根据开关器件规格计算的损耗往往不准确，因为不符合实际应用情况



DPOPOPWR 开关损耗测试

- 磁损耗
  - 一般都是定制或半定制器件，无法针对具体应用准确估计功率损耗
  - 大约20%的电源设计客户需要进行磁损耗测试



DPOPOPWR 电路磁损耗测试

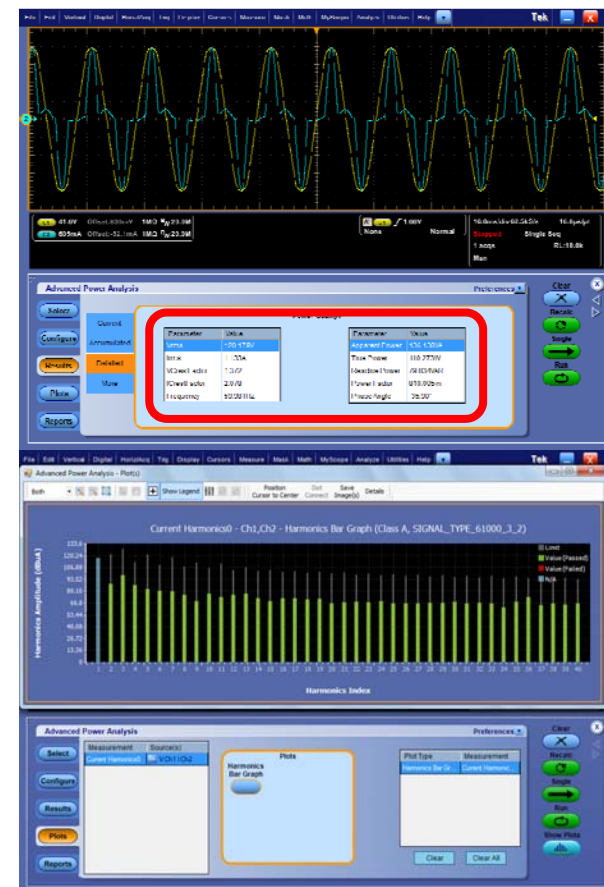
# 利用现有谐波和产品预认证测试功能改进客户的设计效率



# 输入电流谐波

不理想的（实际的）输入电流会增加电网负担并且带来功率损耗

- 理想情况下，功率因数 = 1.0
  - 负载呈现阻性，交流电压电流无相位差
  - 实际功率=视在功率，所以无功功率 = 0
  - 无电流谐波
- 实际应用中，负载很少为纯阻性
  - 一般的AC-DC转换器为非线性的阻抗负载
    - 测试结果与理论/理想结果差异很大
    - 常用主动功率因数校正电路，这类电路的设计非常复杂



Input Power Quality and Current Harmonics

# 相关技术规范认证

## 利用相关的预认证测试对电源进行测试将有效提高相关规范认证的通过率

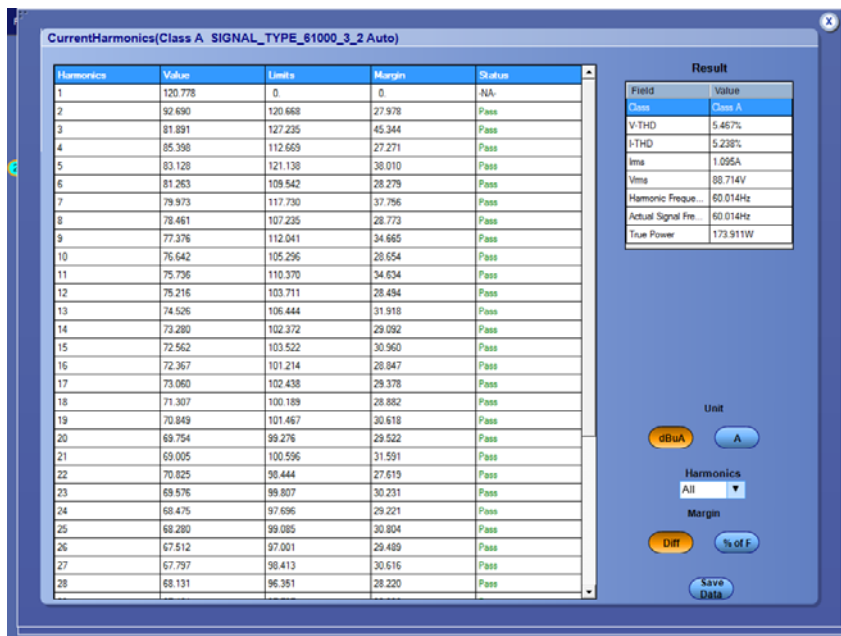
- 为了申请并通过相关技术规范认证，电源设计方必须。。。。
  - 很多技术规范认真都是在第三方进行的，这意味着进行认证将是：
    - 昂贵的：电源设计方每次送样测试，不管测试的结果如何（通过或者未通过），都必须付费
    - 耗时的：测试必须符合第三方总的时间安排，因而在认证过程中需要计入送样运输以及等候时间
- 。。。所以，电源设计方可以利用预认证测试方案
  - 预认证测试可以为进行正式认证测试提供充足的数据，技术准备以及保证设计余量，从而节约了时间和金钱
  - DPO4PWR, DPOPWR软件以及功率分析仪(Power Analyzers)提供了针对电源相关规范认证的预认证测试，例如EN-61000-3-2和MIL-STD1399认证标准测试，完成其中针对电流谐波和其他特定测试的自动化程度很高
  - PA3000/1000标配了100次谐波的测量功能。



# 功率校正电路的实测验证

利用MDO、MSO5000B和DPOPOPWR测试模块进行输入电流谐波规范的预认证使用实例，PA系列谐波测量

- 实例中电源设计方为了获得CE认证，对于其所设计功耗大于75瓦的电源，电流谐波必须满足CE条例 9.4 EN61000-3-2, 2000-12，和规定相比具有大于6 dB的余量



IEC 61000-3-2 电流谐波预认证



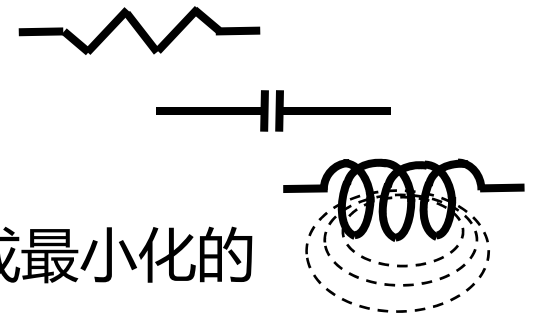
MSO5000B 输入功率质量测试

# 最小化电源设计部分的 RF信号

# 电源设计中的RF信号

电源模块中的绝大多数RF信号都是有害的，需要最小化处理

- 绝大多数电源模块中的RF信号都是有害的，例如：
  - 回路中电流的高速变化与切换将给电路带来噪声
  - 电压的高速开关切换产生高频串扰
  - 未屏蔽的电流回路将产生磁信号耦合
- 以上提到的RF信号，统称为“电磁干扰”或者简称“EMI”
- 高频/射频信号在电源电路中通过各种途径传播
  - 传导信号(Conducted signals)通过导电通路传播
  - 辐射信号(Radiated signals)可以通过电场传播
  - 辐射信号(Radiated signals) 可以通过磁场传播
- 从电源设计角度，这些RF信号都是需要被消除或最小化的



# 如何最小化传导 RF 信号

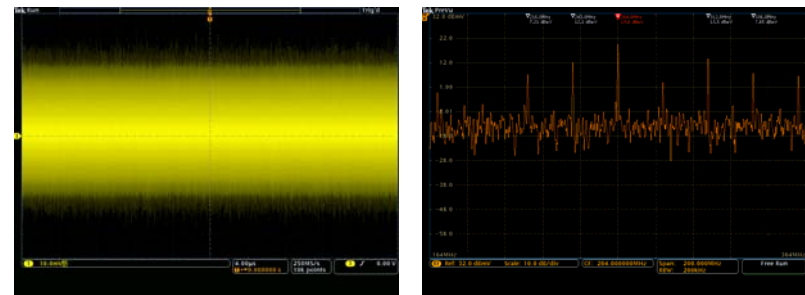
## 甄别并且最小化传导噪声和噪声源

- 快速变化/开关的电流流过阻抗时将产生电压降(噪声)



- 如何最小化噪声:
  - 最小化阻抗
    - 增加电感厚度
    - 改进电源电路的去耦合设计
  - 降低通路电流
    - 降低峰值电流，避免过快的上升下降沿
    - 分离电流回路
    - 尽可能在设计中使用平衡差分信号

- 使用高精度的DMM测量直流阻抗
- 使用差分探头测量电压
- 测试时域和频域信号以甄别干扰信号来源



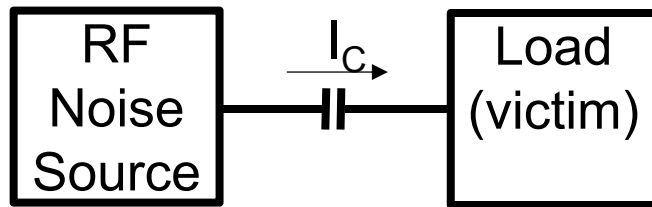
噪声主要部分是有24MHz时钟信号的谐波



# 如何最小化通过电场传播的RF信号

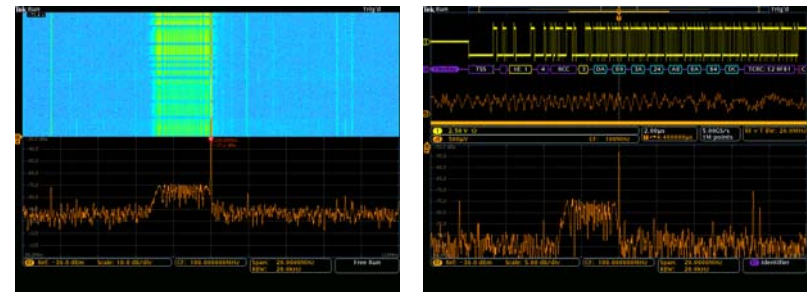
甄别并且最小化辐射的电场串扰噪声以及噪声源

- 快速变化开关的电压将对电路产生高频串扰
- 利用 近场探头靠近可能的噪声源进行测试
- 在频域和时域进行观察，甄别干扰信号的特点进而确定干扰源



$$I_C = C * dV/dT$$

- 如何最小化噪声电流:
  - 最小化电容性耦合
    - 加大各个电容器件之间的距离
    - 增加导体之间的距离
    - 降低导体之间正对的面积
  - 最小化电压信号
    - 降低电压信号峰值
    - 降低电压信号边上上升下降沿速度



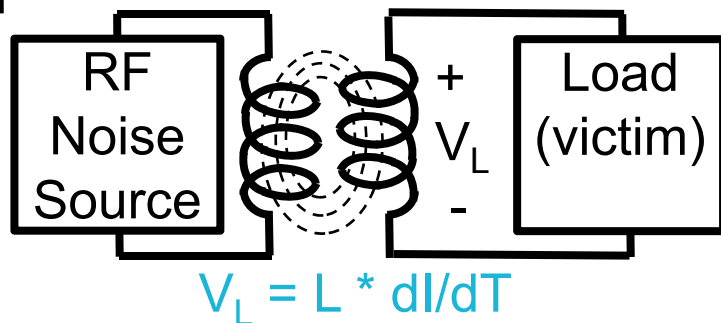
RF信号的峰值与 MIL-STD-1553 规格的总线有很强的联系



# 如何最小化有磁场产生的RF信号

甄别并且最小化辐射的电场串扰噪声以及噪声源

- 未屏蔽的电流回路会产生磁信号耦合



- 如何最小化磁场耦合:
  - 最小化电感性耦合
    - 增加磁屏蔽
    - 增加导体间的距离
    - 在接近的感性原件之间采用垂直方向
  - 最小化磁能量
    - 减小沿的变化速度 ( 上升时间 )

- 利用近场探头，将探头与被测信号回路平行探测电磁场
- 在频域检测信号功率峰值
- 同时在时域观测信号的变化，考察频域信号功率出现峰值时时域信号特点，从而找到干扰信号

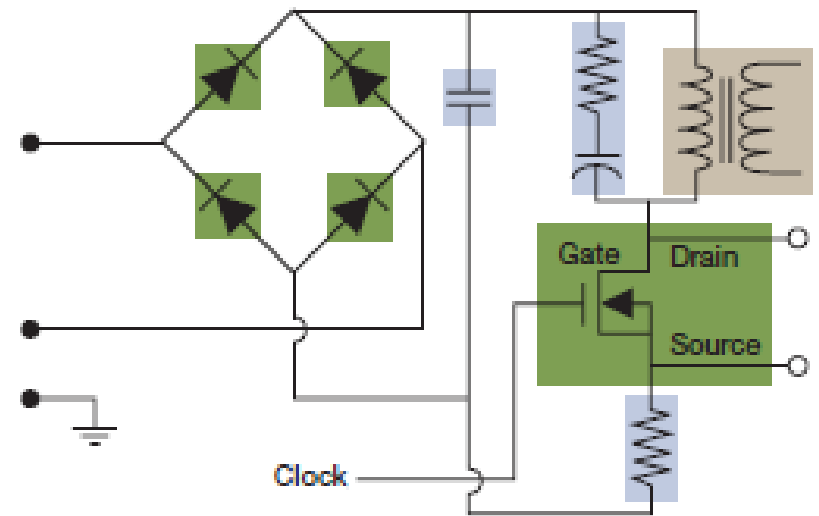
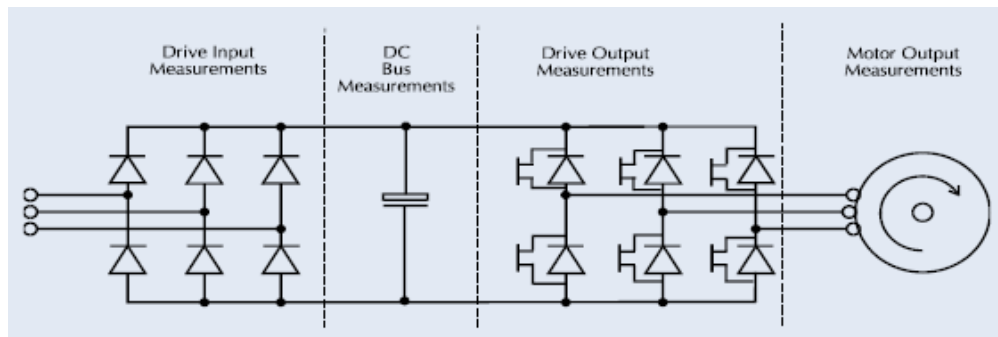


RF信号峰值在时域与USB信号的出现对应

# 差分测量

# 最常见的电源情况

测试两点之间的电压，不是参考对地

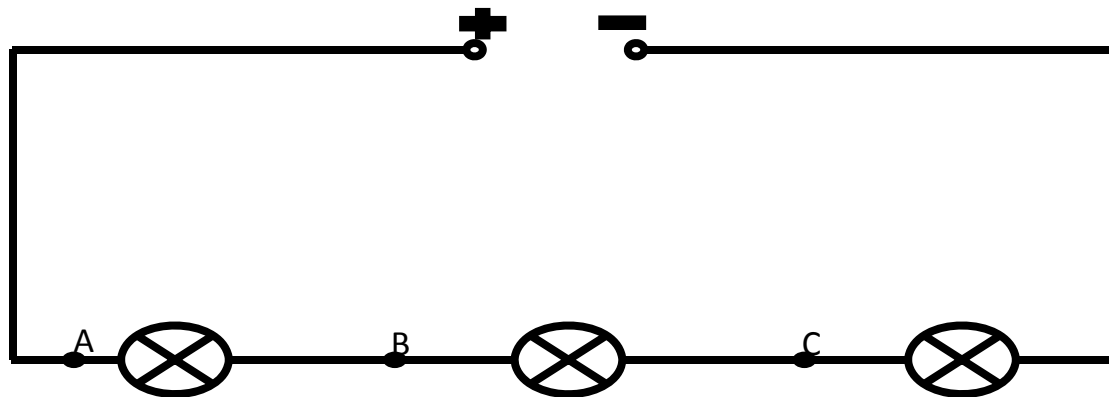


# 接地 vs. 浮动测量

浮地测量是常见的电源应用测量

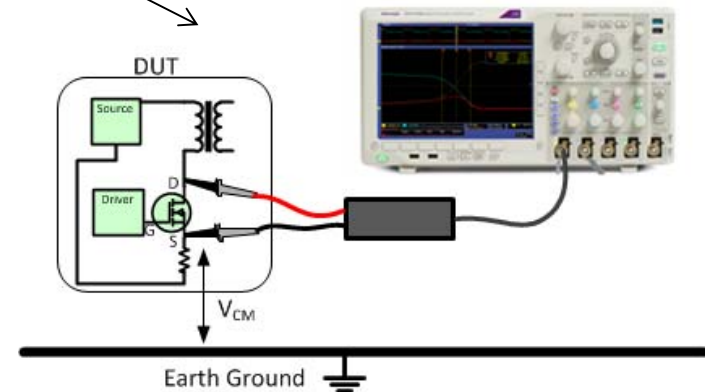
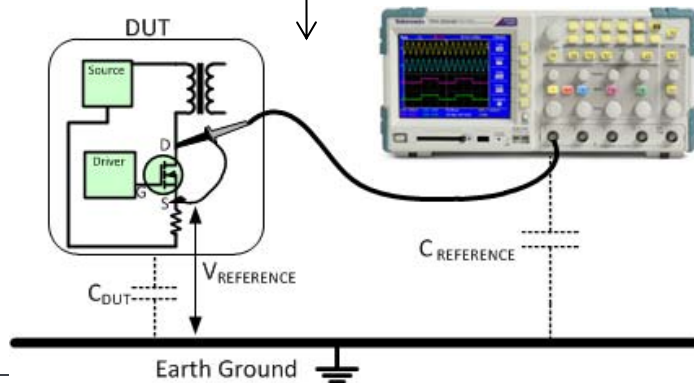
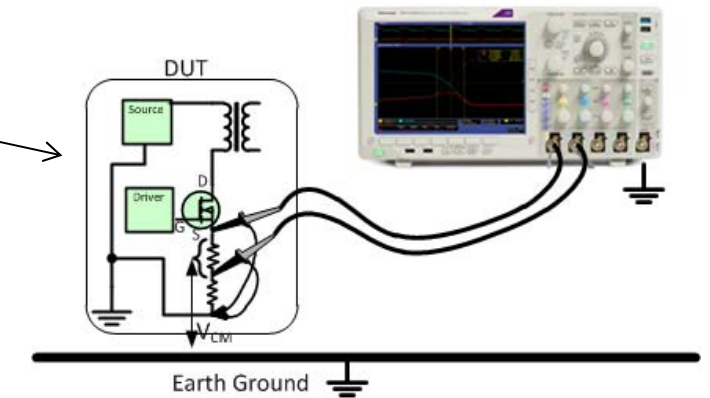
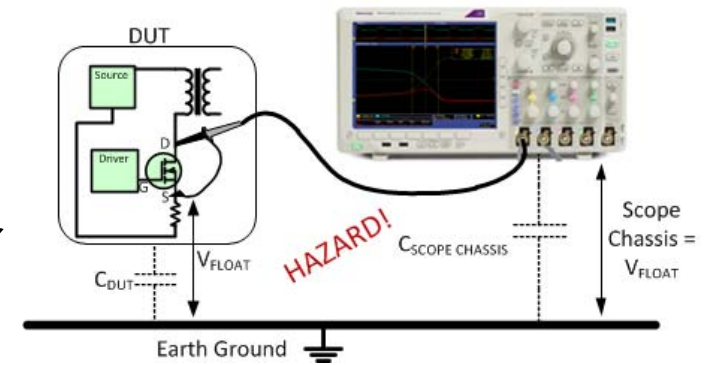
- 接地(以地为参考 )
  - 测量实现是对大地
  - 典型使用单端探头
  - 可用任何示波器
- 浮动(非接地/地隔离)
  - 测量实现是对非大地来参考的
  - 使用差分或者单端探头
  - 要求专用示波器或探头组合
- 例子

传统示波器+无源探头若测试B&C将会给出错误的测量结果



# 差分 / 浮地测量

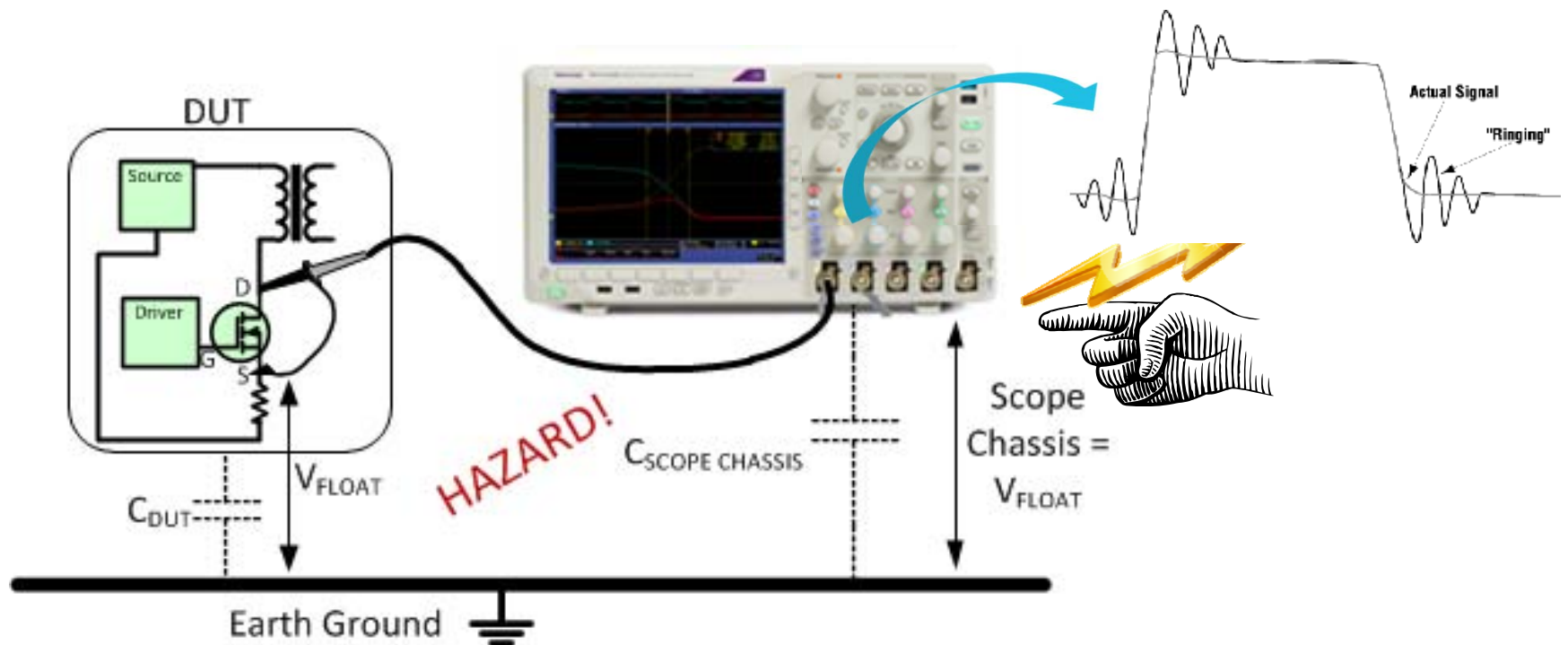
- 差分/浮地测量法能测量两个节点之间的电压差
  - 方法1: 浮动示波器  
(不推荐)
  - 方法2: 用两个单端探头和示波器的运算(CH1-CH2) 来测量差值
  - 方法3: 用差分探头/放大器
  - 方法4: 用隔离的输入和隔离探头



# 方法1: 浮动示波器

危险！但大多数客户使用

- 浮动电压,  $V_{\text{FLOAT}}$ , 可能有几百伏电压!

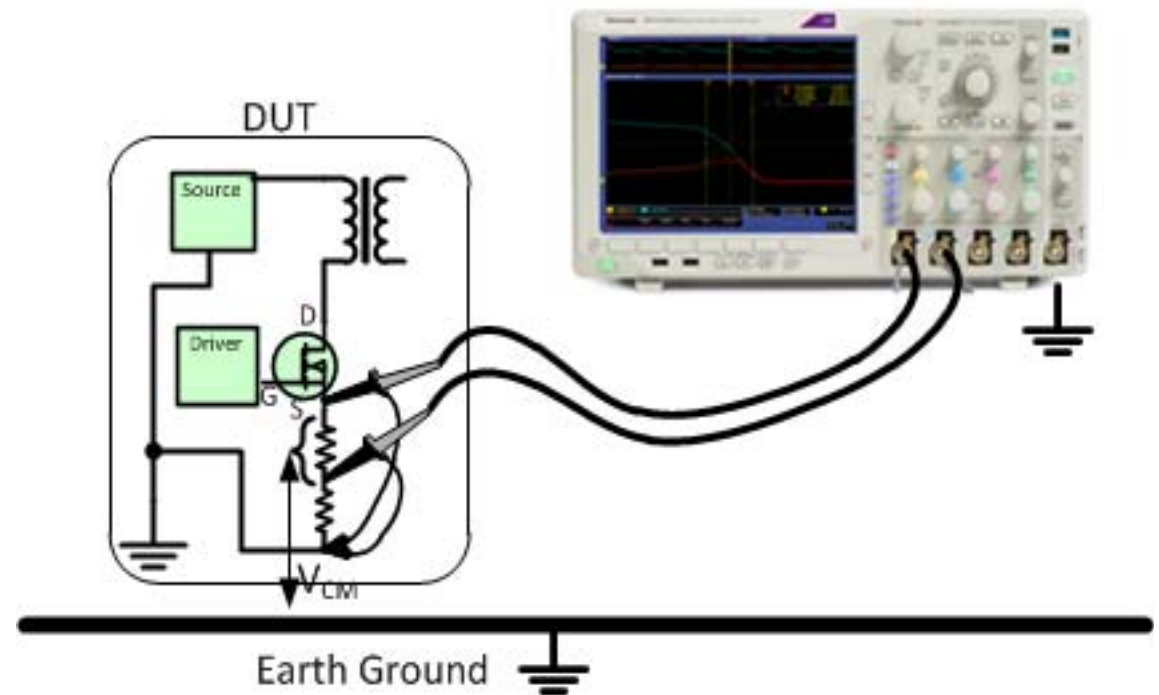




# 方法 2: 单端探头 & CH1-CH2

## 错误的做法

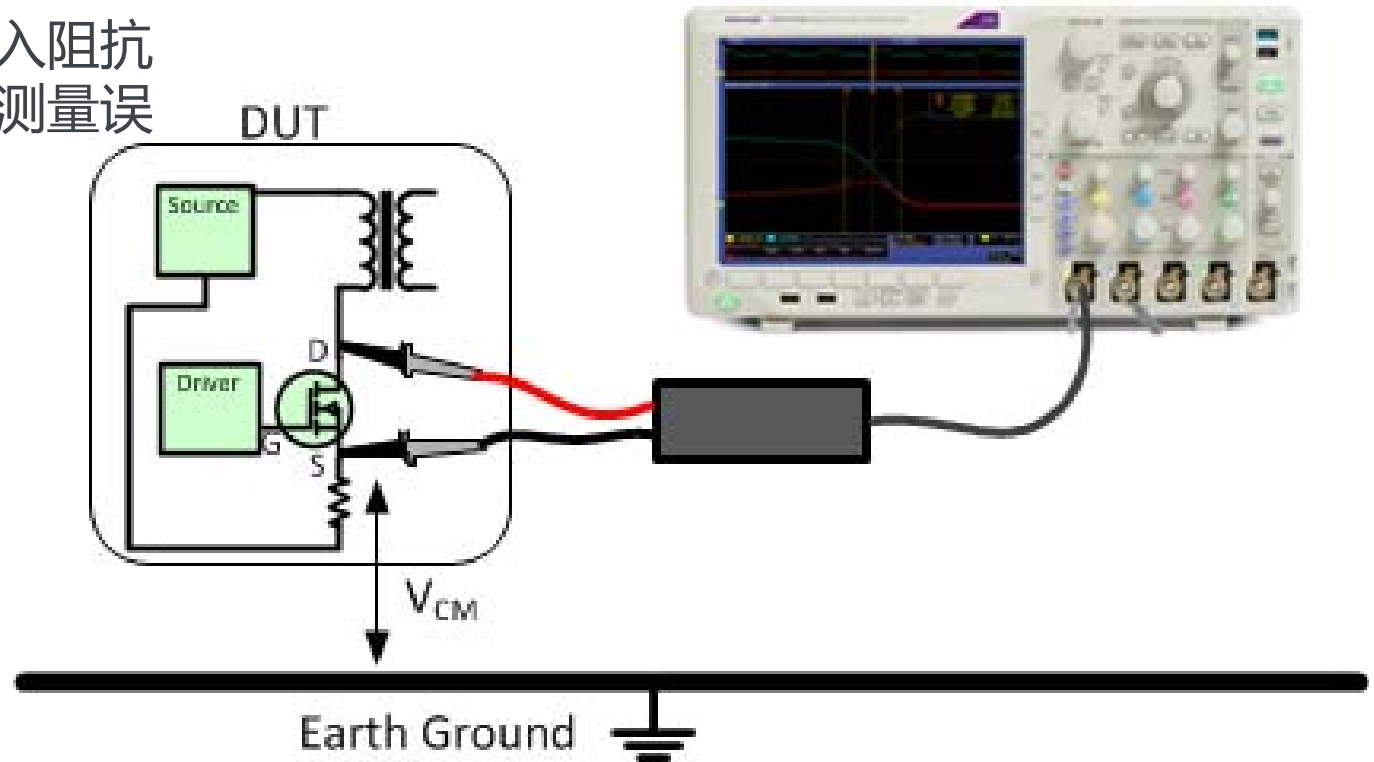
- 技术上讲仅适合于低频且低共模信号.
- 测量高共模信号上的小差分信号将会使示波器的输入过载.
- 两个探头必须同型号, 必须调整到相互匹配



# 方法 3: 用差分探头

最准确但价高的方案

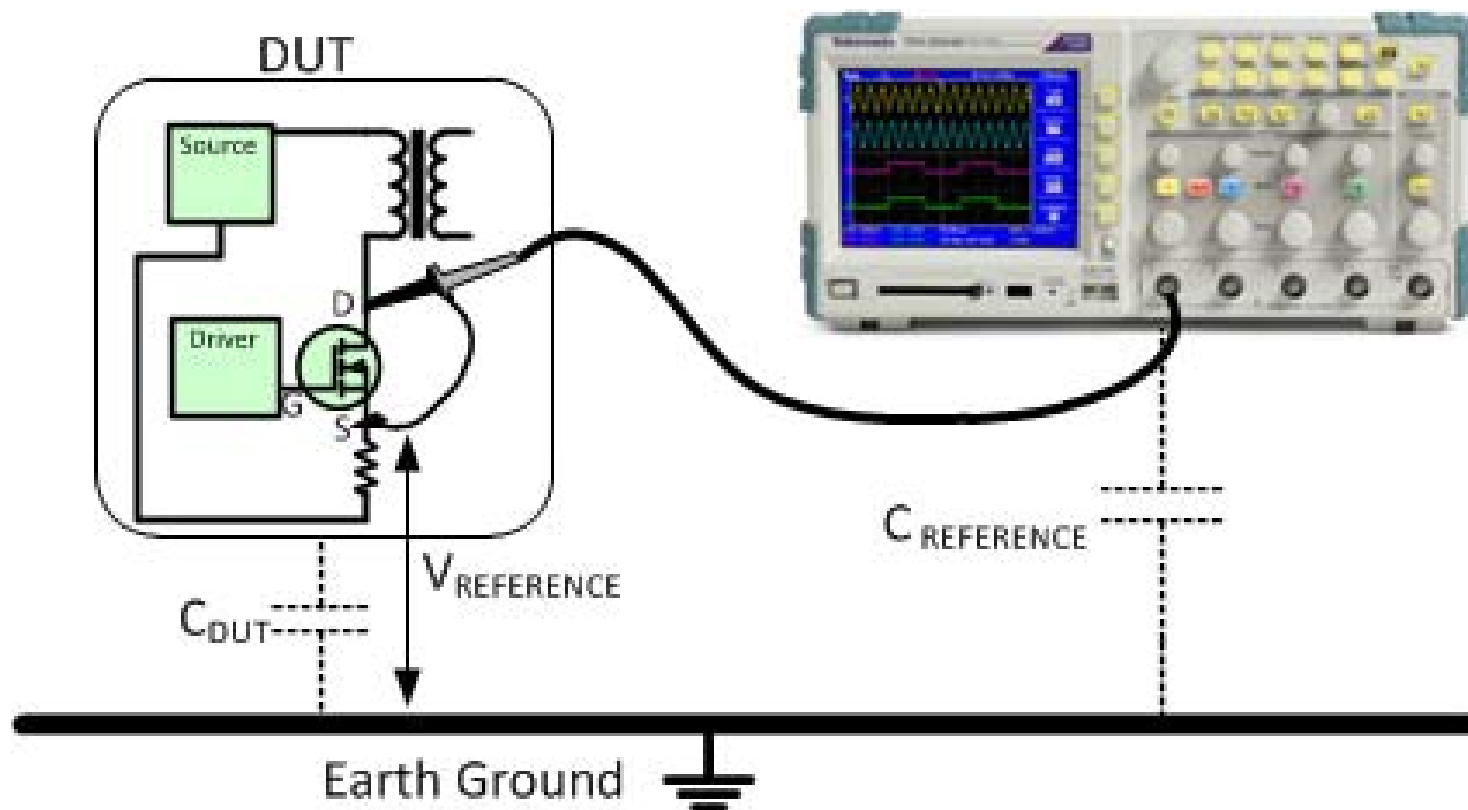
- 能精确测量大的共模电压  
至上千伏的小差分电压值
- 两个输入端的高输入阻抗  
减小了负载效应和测量误差
- 高成本



# 方法4: 隔离通道示波器

成本、安全和精度的较好权衡

- 隔离的输入没有直接的电气连接到地，大的DC&相对较高的CMRR



# 离不开的多通道（温度）测量

# 产品的表征

## 验证和测量产品和设计在不同状态下的工作特性

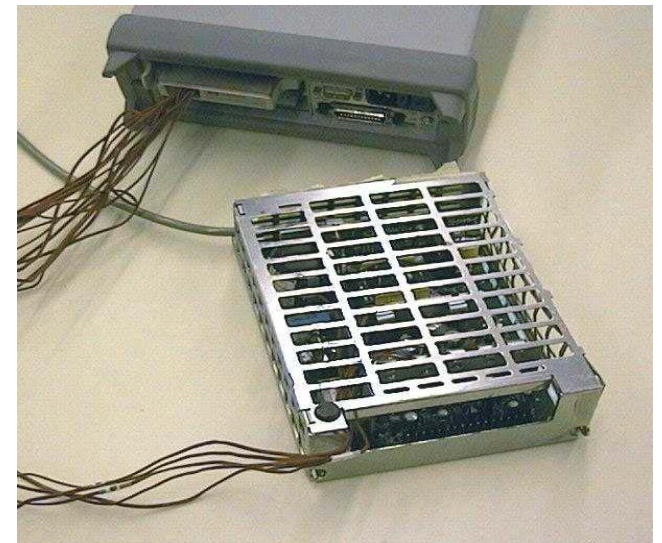
- 是否能达到设计要求?
- 是否符合相关标准 (UL,CUL,CSA, GS/TUV,CE, etc.)?
- 是否可靠?
- 是否能投入生产 ?
- 是否节能?
- 产品是否安全?

自动的测试能获取更多的数据，而且可以得到可重复的结果

# 产品的表征---应用举例

- PC 主板 / 元器件
  - 寿命和耐久力测试
  - 不同温度、湿度条件下的工作状态
  - 噪声、精度、增益的检查
- 电池测试
  - 充/放电率
  - 寿命测试
  - 温升
    - 结构测试
      - 温升、发热点
      - 冷却效率
      - 空气流量
    - 整机测试
      - 温度、湿度的环境测试
      - 安全标准 (UL, CE, etc.)
      - 通过极限测试, 定义产品指标
      - 可靠性测试 – 振动、曲张力测试

在产品表征中，多点温度、电压、电流测量和监控是最常用。





# 经常测试的几种物理属性

温度	30%
流量	27%
压力	12%
高度	10%
重量	5%
其它	16%



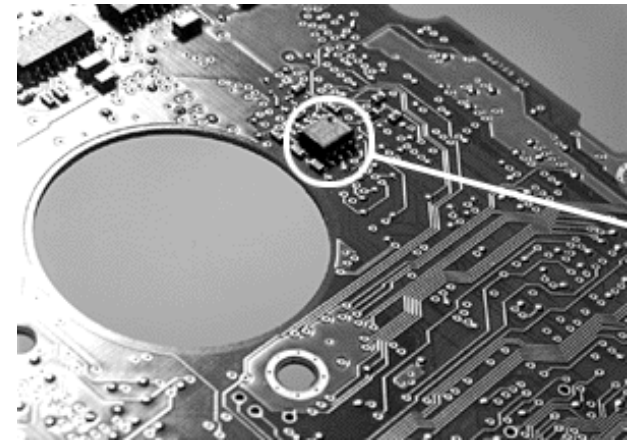
# 为什么要进行产品的表征

## 温度会影响产品的可靠性

- 在系统启动后，由于发热点的存在，造成的温度梯度引发结构的变化
  - 改变温度，产生机械弯曲
  - 张力会导致产品实效，甚至引起安全问题

发热点产生的原因：

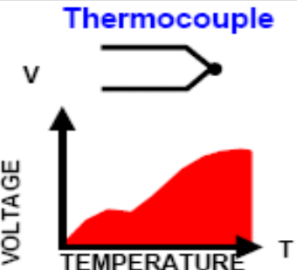
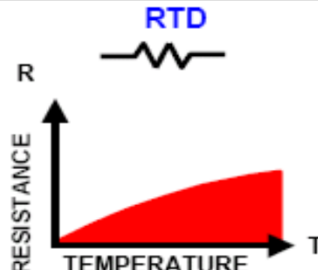
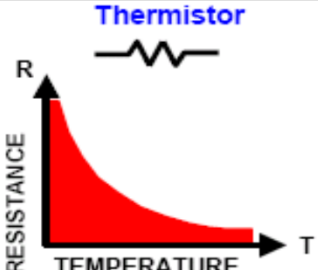
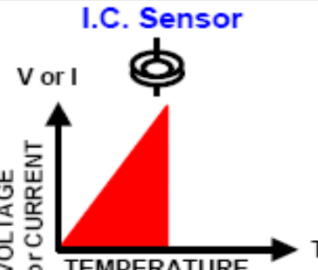
- 元器件
  - 冷却气流的死角
- 
- 产品性能
    - 温度的改变会造成频率的漂移
    - 电压也可能随着温度的变化而改变
    - 温度会影响节能效果



解决方案 – 减小温度的变化

- 增加冷却风扇
- 优化结构设计（尺寸、费用、待机工作、功率消耗、磁通量等）

# 四种常用温度传感器对比表

	<b>Thermocouple</b> 	<b>RTD</b> 	<b>Thermistor</b> 	<b>I.C. Sensor</b> 
<b>优点</b>	无源 简单 适用于恶劣环境 低廉 宽的物理形态 宽的温度范围	最稳定 最精确 比热电偶线性度更好	高输出 双线电阻测量	最好的线性度 最高的输出 不贵的价格
<b>缺点</b>	非线性 低电压输出 需温度参考节点 最差的稳定性 最差的灵敏度	昂贵 需要电流源激励 小的电阻变化率 4线测量 自热问题	非线性 限定的温度范围 脆弱 需电流源激励 自热	$T < 250^{\circ}\text{C}$ 需要电源激励 自热 可配置的地方有限

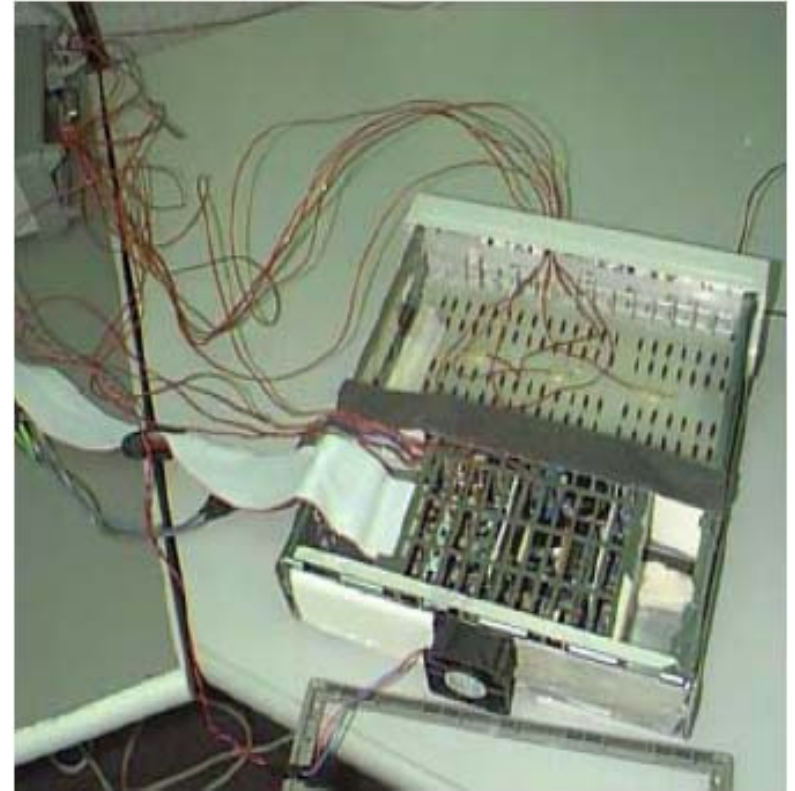
# 数据采集应用：温度检测

## 检察新产品内部散热性能

- 用电阻负载仿真PC板的发热
- 采用热电偶测量内部和外部温度
- 不同风扇测试；不同速度测试

## 好处：

- 可验证不同风扇、不同速度下的散热性能
- 缩短判定的时间



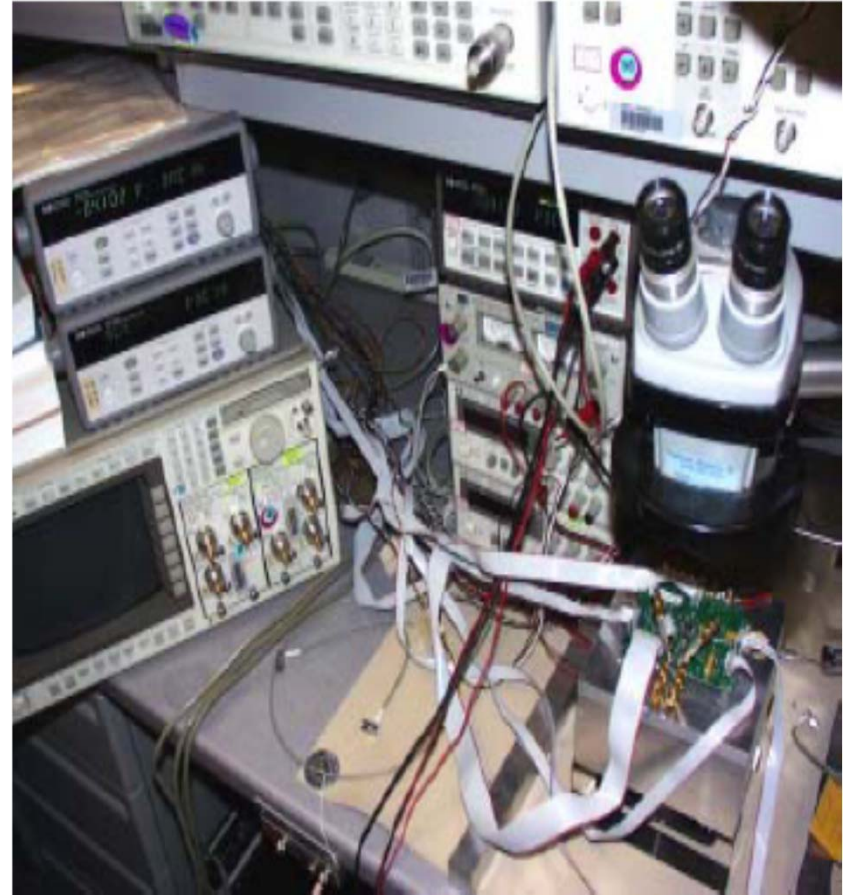
# 数据采集应用：器件验证

## 自动测试评估IC耐热性能

- 可在测试PC上快速安装插孔。
- 用加热器/冷却器改变温度环境，测试IC性能。
- VB编程、GPIB连接、自动化测试。

## 好处：

- 缩短评估的时间
- 精确、一致的结果
- 快速生成测试报告



# 2700、2701、2750系统架构

提供多点的温度、电压、电流、频率的测量

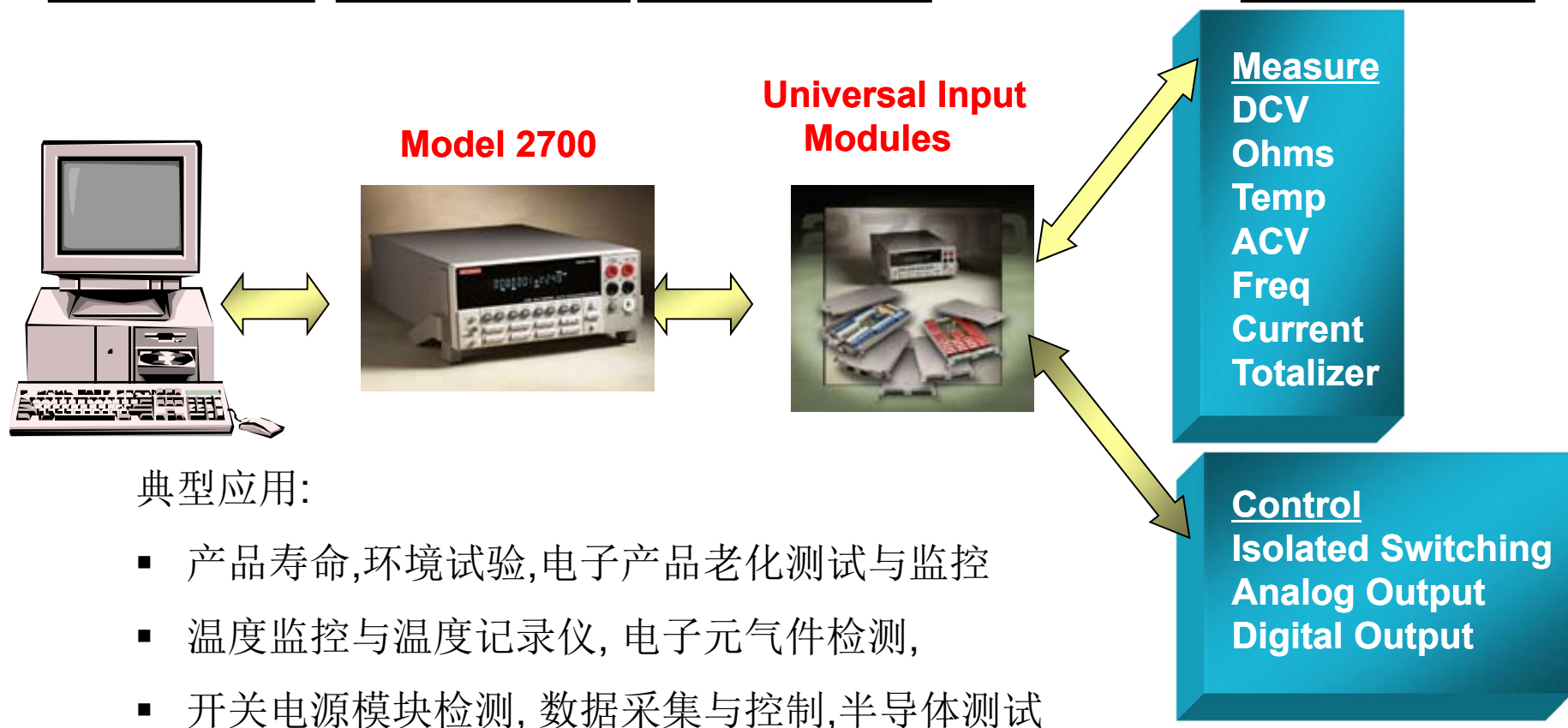
传感器

信号调理

多路开关

数字万用表

显示分析  
报表生成



光电器件与模块检测, 工业控制与ATE自动化测试

REVOLUTION  
SALES UNIVERSITY 2016  
ENGINEERING™

# 2700系列介绍

型号	2700	2701	2750
描述	GPIB接口, 通用性系统	以太网接口, 高速系统	GPIB接口, 扩展的低阻测量能力, 高容量系统
测量引擎	6位半数字万用表	6位半数字万用表	6位半数字万用表
扩展槽	2个	2个	5个
差分输入通道	80	80	200
矩阵节点数	96	96	240
测量速度	2000/秒	3500/秒	2500/秒
扫描速度	180/秒	500/秒	230/秒
存储能力	55K	450K	110K
干电路测阻	NO	NO	YES
通讯接口	GPIB, RS232	以太网, RS232	GPIB, RS232

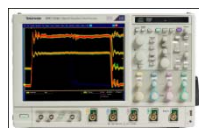




# 泰克方案



# 混合示波器---从混合信号到混和域分析



	DPO7000C	MSO/DPO5000	NEW MDO4000C	MDO3000 Series
带宽	500 MHz to 3.5 GHz	350 MHz to 2 GHz	200 MHz to 1 GHz	100 MHz to 1 GHz
采样率	5 GS/s to 40 GS/s	5 GS/s to 10 GS/s	2.5 GS/s to 5 GS/s	2.5 GS/s
通道	4 analog	4 analog 16 digital (MSO)	4 analog, 16 digital, 1 RF	2, 4 analog, 16 digital , 1 RF
记录长度	50 M – 500 M	12.5M – 250 M	20 M	10 M
显示	12.1 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	9.0 inch, WVGA color
带宽升级	No	No	Yes	Yes
并行总线	No	Yes (MSO Series)	Yes (option)	Yes (option)
串行总线分析 (选件)	I <sup>2</sup> C, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART, USB 2.0	I2C, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART USB 2.0, MIPI D-PHY	I <sup>2</sup> C, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART, I2S/LJ/RJ/TDM FlexRay /USB, STD-1553, Ethernet	I <sup>2</sup> C, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART, I2S/LJ/RJ/TDM FlexRay /USB, STD-1553
扩展分析能力 (选件)	MIPI® D-PHY DSI-1 and CSI-2, Ethernet, and USB 2.0 Compliance Testing, Jitter, Timing, Eye Diagrams, Power, DDR Memory Bus Analysis, Wideband RF	Ethernet and USB 2.0 Compliance Testing, Jitter, Timing, Eye Diagrams, Power, DDR Memory Bus Analysis, and Wideband RF	Advanced RF Triggering, Power Analysis, Limit/Mask Testing, HDTV and Custom Video	Power Analysis, Limit/Mask Testing, HDTV and Custom Video
硬件扩展	NO	NO	AFG/SA/DVM/COUNTER	AFG/SA/DVM/COUNTER
特色功能	N/A	N/A	Act on Event Video Picture mode 同时时域和频域相关分析 频谱时变分析 波形直方图	Act on Event Video Picture mode



# MDO3000 vs. MDO4000C 比较

	MDO3000 6-in-1	MDO4000C 6-in-1 Plus
Base Configuration (Oscilloscope)	<b>Starting at 3,420</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 M record length</li> <li>• 4-ch at 2.5 GS/s</li> <li>• 2 USB ports</li> </ul>	<b>Starting at \$7,300</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ 50% larger display</li> <li>+ 4-ch at 5 GS/s</li> <li>+ 4 USB ports</li> <li>+ Reference in/out</li> <li>+ (2x) the record length with 20 M</li> </ul>
AFG	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Up to 50 MHz waveforms</li> <li>• 128 k arbitrary record</li> <li>• 250 MS/s arbitrary sample rate</li> </ul>	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Up to 50 MHz waveforms</li> <li>• 128 k arbitrary record</li> <li>• 250 MS/s arbitrary sample rate</li> </ul>
Logic Analyzer	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8.25 GS/s MagniVu™ sample rate</li> <li>• One threshold per 8-ch</li> </ul>	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ (2x) the MagniVu™ maximum sample rate at 16.5 GS/s</li> <li>+ Independent logic thresholds</li> <li>+ Better input specifications</li> </ul>
Protocol Analysis	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Two buses simultaneously</li> <li>• Two application module slots</li> <li>• 50 MS/s serial trigger</li> </ul>	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Three buses simultaneously</li> <li>+ (2x) the number of application module slots with four</li> <li>+ (10x) faster serial trigger at 500 MS/s</li> </ul>
DVM / Frequency Counter	<b>Free option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4-digit AC<sub>RMS</sub>, AC+DC<sub>RMS</sub>, DC voltage</li> <li>• 5-digit frequency</li> </ul>	<b>Free option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4-digit AC<sub>RMS</sub>, AC+DC<sub>RMS</sub>, DC voltage</li> <li>• 5-digit frequency</li> </ul>
Spectrum Analyzer 9 kHz - 3 GHz	<b>Standard</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9kHz to bandwidth of scope</li> </ul> <b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9kHz to 3GHz</li> </ul>	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Best views of analog, digital and RF</li> <li>+ Better DANL, much better phase noise</li> <li>+ RF power trigger</li> <li>+ Calibrated I/Q data for vector signal analysis</li> <li>+ SignalVu-PC support with Live Link</li> </ul>
Spectrum Analyzer 9 kHz - 6 GHz	N/A	<b>Option</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Widest capture bandwidth in the industry</li> </ul>



# 最新Tektronix Rogowski 探头

TRCP0300 / TRCP0600 / TRCP3000

Models	Description	Bandwidth	Peak Current
TRCP0300	Tek Rogowski Current Probe 300 Amps	20 MHz	300 A
TRCP0600	Tek Rogowski Current Probe 600 Amps	30 MHz	600 A
TRCP3000	Tek Rogowski Current Probe 3,000 Amps	16 MHz	3,000 A



# 高性能的电参数测试----万用表系列



	DMM4020	2110	DMM4050/4040	2000/2100	2001/2010	2002	7510
分辨率	5.5位	5.5位	6.5位	6.5位	7.5位	8.5位	7.5位
基本量程直流电压的精度	0.015%	0.012%	4050: 0.0024% 4040: 0.0035%	2100 : 0.0038% 2000 : 0.0020%	0.0018%	0.0006%	14 ppm
测量功能	交流电压、电流、直流电压、电流、电阻、通断、二极管、频率	交流电压、电流、直流电压、电流、电阻、通断、二极管、频率、电容、TC/RTD	交流电压、电流、直流电压、电流、电阻、通断、二极管、频率、周期 4050:RTD、电容	交流电压、电流、直流电压、电流、电阻、通断、二极管、频率、周期 2000:dBd\Bm\TC 2100:RTD	交流电压、电流、直流电压、电流、电阻、频率、周期、TC/RTD 2010:接触电阻、比率、通断、二极管 2001:尖峰电压	交流电压、电流、直流电压、电流、电阻、频率、周期、TC/RTD、尖峰电压	电压和电流、电容、交流电压、交流电流、温度(RTD、电热调节器和热电偶)、2线和4线电阻、干电路电阻、周期、频率、二极管测试和直流电压比
分析模式	极限比较	无	趋势、统计、直方图	无	无	无	5"显示触摸、图形1MS/S数字化仪
扫描卡扩展	无	无	无	2000 : 10ch	10CH	10CH	无
接口	RS232	USB、GPIB	RS232/USB/GPIB	2100 : USB 2000 : GPIB	RS232/GPIB	GPIB	GPIB, USB, LAN/LXI



# 系统、功能测试--数采和开关系列

产品	产品描述	插槽数	插入卡	测量分辨率	低频通道数 (最多)	通道/秒	最高频率	连通性
2700	便携式/台式数据采集系统 内置 6 ½ 位数字万用表	2	多路复用器	22 位	80 个 2 线多路复用器 96 个 2 线开关矩阵交叉点	250 通道/秒	3.5 GHz	GPIB、RS-232 ExcelINX
2701	12 种插卡可供选择 板上温度参考	2	开关矩阵 通用	22 位	80 个 2 线多路复用器 96 个 2 线开关矩阵交叉点	500 通道/秒	3.5 GHz	LAN、RS-232 ExcelINX
2750	台式数据采集系统 内置 6 ½ 位数字万用表 12 种插卡可供选择 板上温度参考	5	RF 数字 IO 数模转换器	22 位	200 个 2 线多路复用器 240 个 2 线开关矩阵交叉点	2500 通道/秒	3.5 GHz	GPIB、RS-232 ExcelINX

型号	描述	通道数	连接器	最大电压	最大电流	备注
7700	差分多路复用器 带CJC	20	接线柱	300VDC	1A	2- or 4-wire, 2 Current Channels, 3A Max
7701	低压差分多路复用器	32	50-pin D-sub 25-pin D-sub	150VDC	1A	Commo 2- or 4-w
7702	差分多路复用器	40	接线柱	300VDC	1A	2- or 4-w Max
7703	高速差分多路复用器	32	Dual 50-pin D-sub	300VDC	0.5A	Reed R
7705	控制模块	40	Dual 50-pin D-sub	300VDC	2A	SPST S
7706	I/O 模块	20AI、6 DO 2 AO、1 CT	接线柱	300VDC	1A	Automa Max Count = 4billion+
7707	多路复用器 – 数字 I/O 模块	10 Analog In 32 Digital I/O	50-pin D-sub 25-pin D-sub	300VDC (analog) 33VDC (digital)	1A (analog) 0.1A (digital)	Configi
7708	差分多路复用器带CJC	40	接线柱	300VDC	1A	Autom:
7709	6x8 矩阵	48 Crosspoints	50-pin D-sub 25-pin D-sub	300VDC	0.5A	25-pin
7710	长寿命差分多路复用器	20	接线柱	60VDC	0.1A	Autom: 10 billi
7711	2Ghz, 50 Ohm RF 模块	Dual 1x4	SMA	60VDC	0.5A	Max power = 10W/channel <300ps Rise Time
7712	3.5Ghz, 50 Ohm RF 模块	Dual 1x4	SMA	42VDC	0.5A	Max power = 10W per channel <200ns Rise Time



REVO  
SALES UNIT

# 供电、老化、寿命测试---DC程控型电源



特点	PWS4000 和 2200 系列	2220/G	2230/G	2260B	2268	2280S
通道	1	2	3	1	1	1
电压	20V/30V/32V/60V/72V	Ch 1&Ch 2:30V	Ch1&Ch 2: 30V, Ch 3: 6V	30/80	20V, 40V, 60V, 80V, 100V和 150V	30/80
电流	5A/5A/3A/2.5A/1.2A	Ch1&Ch 2: 1.5A	Ch1&Ch 2: 1.5A, Ch 3: 5A	26/72/13.5/27	42A, 21A, 14A, 10.5A, 8.5A和 5.6A	26/72/13.5/27
功率	80--150W	45W/channel; 90W total	Ch 1 and CH 2: 45W Ch 3: 30W, 120W total	360W/720W	850W	360W/720W
纹波、噪声	<1mV <sub>RMS</sub> , <4mV <sub>P-P</sub>	<1mV <sub>RMS</sub> , <3mV <sub>P-P</sub>		<1mV <sub>RMS</sub> , <3mV <sub>P-P</sub>	50mV--100mVp-p	<1mV <sub>RMS</sub> , <3mV <sub>P-P</sub>
分辨率	1mV, 0.1mA	1mV, 1mA		1mV, 1mA	2.4mV,5.04mA	1mV, 1mA
电压精度	0.03%	0.03%		0.03%	0.5% of output voltage or current $\pm 1$ count	0.03%
电流精度	0.05%	0.1		0.1		0.1
接口	USB (PWS4000) USB, GPIB ( 2200)	USB/GPIB		USB,LAN	LAN, USB, GPIB, RS-232,RS-485	USB,LAN



# 最新: 2380系列电子负载

性价比出色的紧凑型独立直流电子负载

2380 系列可编程直流电子负载是单输出独立负载，包括 200W、250W 和 750W 三个型号。2380 系列具有多种操作模式，高达 25 kHz 的动态循环，出色的电压/电流分辨率和回读精度，以及多种接口可供选择，最适合测试工作台电源

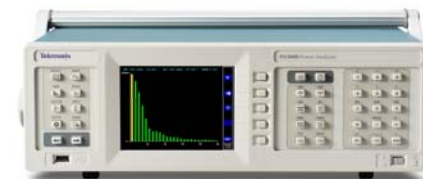


	输出	最大电压	最大电流	最大功率	连接	操作模式
2380-120-60	1	120 V	60 A	250 W	GPIO、USB、RS232	CV、CC、CR、CP
2380-500-15	1	500 V	15 A	200 W	GPIO、USB、RS232	CV、CC、CR、CP
2380-500-30	1	500 V	30 A	750 W	GPIO、USB、RS232	CV、CC、CR、CP





# PA3000、1000功率分析仪



	PA1000	PA3000
通道数	1	1--4
基本精度 (V & I)	0.04% 读数 + 0.04% 范围	0.04% 的读数 + 0.04% 的范围
最大电压输入	600 Vrms	600 Vrms
最大电流输入	20 Arms	30 Arms
测量	Vrms、Irms、瓦特、VA、VAr、频率、功率因数、波峰因数、谐波、THD、相角、Vpeak、Ipeak、W-Hr、VA-Hr、A-Hr	
PC 分析软件范围	是	
电压范围	1000V, 500V, 200V, 100V, 50V, 20V, 10Vpeak	
测量带宽范围	直流至 1 MHz	
连接	USB 设备、数据分析 USB 主控、LAN、GPIB	
显示器	3.4 英寸彩色 TFT LCD	
高电流旁路范围	100A, 50A, 20A, 10A, 5A, 2A, 1A, 0.5A, 0.2A, 0.1 Apeak	
低电流旁路范围	2.0A, 1.0A, 0.4A, 0.2A, 0.1A, 0.04A, 0.02A, 0.01A, 0.004A,	
保修	五年保修	

# Hands-on Labs



# Hands-on Labs---仪器及附件

- MDO4000 +DPO4PWR
- TCP0030A Current Probe
- THDP0200 diff probe
- 开关电源板
- 2380电子负载
- 2700+7700多通道系统
- PA1000/3000
-



# Hands-on Labs

- 电源品质参数的测量
- AC-DC电源输入电流谐波测量
- DC输出电源的纹波测量及FFT分析
- 直方图的波形分析应用
- 多通道参数（温度）测量.

# 1、电源品质参数的测量

- 测量步骤：**必须注意安全**
  - 连接好测试系统：开关电源、示波器、电子负载
  - 接通电源
  - 负载吸收电流设置为5A
  - 操作示波器，捕捉正确的电压和电流波形，CH1=V,CH2=A
  - 按MDO上的TEST键，选择“功率分析”，在分析菜单选择“电源质量”
  - 如有需要，设置“电源质量”的其它参数
  - 观察和读出示波器屏幕上的各项参数
  - 改变负载的电流为10A，再观察和读出示波器屏幕上的各项参数的变化
  - 可以用2000DMM来测量开关电源输出的电压或电流

## 2、AC-DC电源输入电流谐波测量

- 测量步骤：**必须注意安全**
  - 连接好测试系统：电源、示波器、负载
  - 接通电源
  - 负载电流设置为5A
  - 操作示波器，捕捉正确的电压和电流波形，CH1=V,CH2=A
  - 按MDO上的TEST键，选择“功率分析”，在分析菜单选择“谐波”
  - 设置“谐波”的其它参数，如测试标准、选择IEC，在设置IEC的标准内容等,开关电源属于D类。
  - 观察和读出示波器屏幕上的各项参数



# HANDSON

- FFT 在电源噪声、纹波测试中的应用
  - FFT是示波器中的重要运算功能
  - FFT能实现普通频谱仪不能分析的低频特性：DC---BW/2
  - 泰克示波器提供了最大1M点的FFT分析





# HANDSON

- 事件动作 ( Act On Event )
  - 触发事件发生时
  - 指定的采集事件数量完成时.
- 动作



- DEMO操作
  - 设置触发事件：RARE ANOMALY signal on the demo board
  - 采集次数事件：Stop After 10,000 Waveforms Lab

# HANDSON

- 波形直方图
  - 直方图 (Histogram) 也叫柱状图，它是用一系列宽度相等、高度不等的长方形表示数据的图，长方形的宽度表示数据范围的间隔，长方形的高度表示在给定间隔内的数据数量。在统计学上这是很常用的用来表示样本各组概率分布的一种直观的图表。如果样本容量取得足够大，分组的间隔取得足够小，柱状的直方图就会变成曲线图
  - 在用示波器对波形参数进行测量时，我们可以利用直方图，根据测量结果的统计分析确定产品的一些关键指标，通过大量数据样本的数值范围和分布情况可以验证产品的性能和质量并识别和诊断一些间歇性的问题。尤其是对于随机事件（如噪声或抖动）的了解，它是一个很好的工具。由于在抖动分析中所有信号均包含有随机成分的抖动，因此必须采用统计的手段来分析和检定抖动，而直方图就是最常用的统计分析工具，所以说直方图是抖动分析的基础。
  - 直方图的主要参数有平均值 (mean)、标准偏差 (standard deviation)、样本峰-峰值和样本总量，最大值、最小值和峰-峰值
- DEMO操作
  - The MDO Demo 1 board (878-0623-XX) has a FAST\_FF\_CLK signal which we will use for this lab. This is a 1.25 MHz signal with a slow variation in duty cycle. (The timing of the falling edges vary at about a 1 Hz rate.):

## 5、多通道参数（温度）测量

- 测量步骤

- 测量前准备：电脑必须安装KICKSTART，并用网线或者GPIB连接电脑和2700/2701
- 连接K型热电偶到7700端子，裸线为负端，分别连接到CH1,CH10，测量选择后面板端子
- 手动操作
  - 按2700前面板的TEMP选择温度测量，按SHIFT和SENSOR 设置温度测量参数，
  - 用《》 Δ和 ∇以及OPEN、CLOSE、ENTER按键选择通道
  - 观察2700面板的显示读数，读取温度值，用手握住热电偶，看温度的变化。
  - 可以按SCAN来完成多通道扫描测量

Step	Menu structure	Description
1	UNITS: C, F, or K	Select temperature measurement units (°C, °F, or K).
2	SENS: TCOUPLE	Select the thermocouple transducer.
3	TYPE: J, K, T, E, R, S, B, or N	Select thermocouple type.
4	JUNC: SIM, INT, or EXT SIM: 000°C to 065°C, 273K to 338K, or 032°F to 149°F	Select the SIMulated, INTernal or EXTernal reference junction*. For the SIMulated reference junction, set the reference junction temperature. The displayed units depend on the present UNITS setting.
5	OPEN DET: Y or N	Enable (Y) or disable (N) the open thermocouple detector.

- 程控操作：

- 打开KICKSTART，验证正确连接了2700到电脑
- 设置2700的CH的测量项目：温度，K型



- 运行软件，观察测量结果

### 3、DC输出电源的纹波测量

- 测量步骤：**必须注意安全**
  - 连接好测试系统：电源、示波器、负载
  - 接通电源
  - 负载电流设置为5A
  - 操作示波器，捕捉正确的电压和电流波形，CH1=V,CH2=A，探头选择TPP0500\TPP0502\P2220
  - 按MDO上的TEST键，选择“功率分析”，在分析菜单选择“纹波”
  - 如有需要，设置“纹波”的其它参数
  - 观察和读出示波器屏幕上的各项参数
  - 改变连接的探头，再观察和读出示波器屏幕上的各项参数的变化

## 4、开关电源的器件损耗测量、SOA

- 测量步骤：**必须注意安全**
  - 连接好测试系统：电源、示波器、负载
  - 接通电源
  - 负载电流设置为5A
  - 操作示波器，捕捉正确的电压和电流波形
  - 按MDO上的TEST键，选择“功率分析”，在分析菜单选择“开关损耗”
  - 如有需要，设置“开关损耗”的其它参数
  - 观察和读出示波器屏幕上的各项参数
  - 改变负载的电流为10A，再观察和读出示波器屏幕上的各项参数的变化
  -