

功率IC 测试解决方案

第一部分

从调试到系统全面测试



Tektronix®

功率IC测试解决方案

1

- 功率IC 的未来趋势

2

- 电源效率的重要性

3

- 电源IC解决方案中调试问题

4

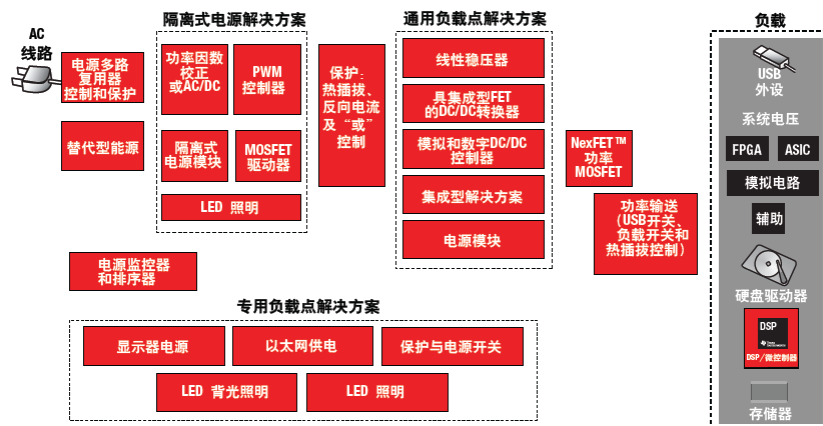
- 电源调试中的方法小结

5

- 电源整体性评价及标准测试

功率IC 未来的发展趋势

线路电源解决方案



- 任何电子产品都离不开电源，为了更加合理、有效和可靠地对电源进行利用，就需要进行电源管理，正是基于这样一个根本原因，功率IC技术才不断会进步，市场才会不断发展。
- 功率IC的目的是使电能更高效、更节能、更环保并给使用者提供更多方便。
- 应对市场对电源的要求功率IC 的发展趋势：
 - 综合市场的需求对功率IC的要求是微型化，智能化，高效率，高稳定性，低功耗，高节能等趋势。

功率测试概述

- 典型客户应用 – 提高电源效率
 - 什么是电源效率？
 - 电源效率有什么意义？对客户有什么意义？
- 改善功率测量精度和可重复性
 - 先从完善的探测技术开始
 - 采用优秀的测量技术
 - 使用信号处理技术，实现高分辨率信号测量
 - 自动进行测量，实现易用性和可重复性
- 对电源谐波及待机的一致性测试

典型客户应用

提高电源效率



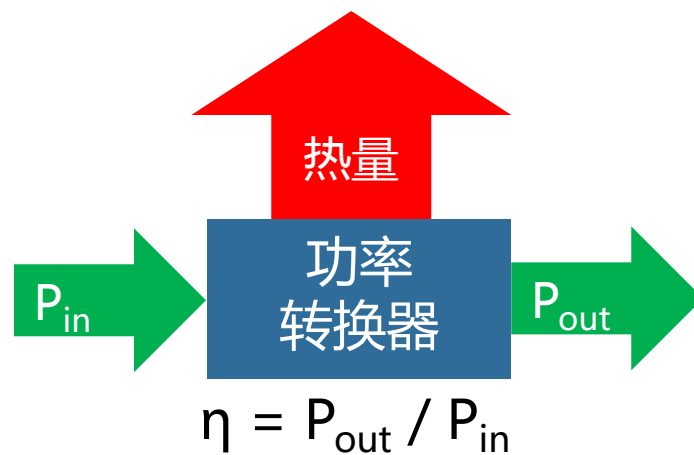
功率效率

■ 功率效率

- 输出功率与输入功率之比
- 损耗是输出功率与输入功率之差
$$P_{\text{loss}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}}$$
- 发生损耗的原因有很多，必须逐个把损耗降到最低
- 大多数功率损耗会变成热量

■ 为什么您的客户关注功率效率？

- 他们的产品必需满足规范，通常包括效率
- 必须把过热排放到环境中
 - 需要使用风扇(增加尺寸、噪声、成本)
 - 需要增加散热器(增加重量、尺寸、成本)
 - 提高设计成本和制造成本
 - 降低对产品的欲求
 - 缩短电池续航时间
- 过热会降低产品可靠性
 - 维修费用和保修费用更高
 - 损害公司信誉



功率效率

■ 为什么您的客户关注功率效率？

- 想想自己的手机！
 - 规格/体积
 - 重量
 - 热量
 - 性能
 - 功能
 - 价格
 - 电池充电间隔时间
 - 电池使用寿命
 - 可靠性/维修费用

- 你更愿意带哪个？



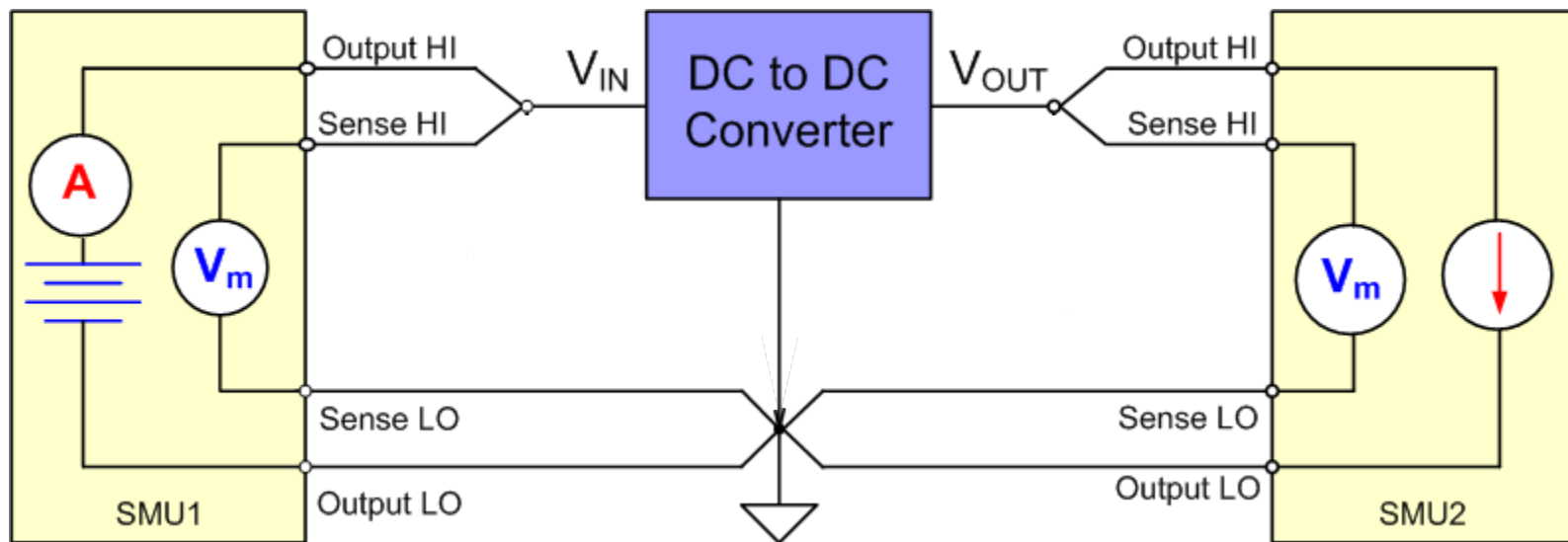
效率测量实例

DC到DC转换器

$$V_{IN} = 5 V_{DC}$$



$$V_{OUT} = 3.6 V_{DC}$$



简单的功率效率测量

■ 电压和电流测量

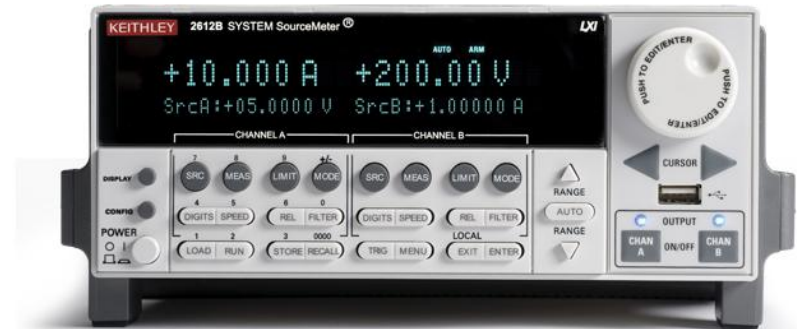
- $V_{in} = \underline{5.00} \text{ V}$
- $I_{in} = \underline{0.48} \text{ A}$
- $V_{out} = \underline{3.58} \text{ V}$
- $I_{out} = \underline{0.51} \text{ A}$

■ 功率计算

- $P_{in} = V_{in} * I_{in} = 2.40 \text{ W}$
- $P_{out} = V_{out} * I_{out} = 1.83 \text{ W}$
- $P_{loss} = P_{in} - P_{out} = 0.57 \text{ W}$

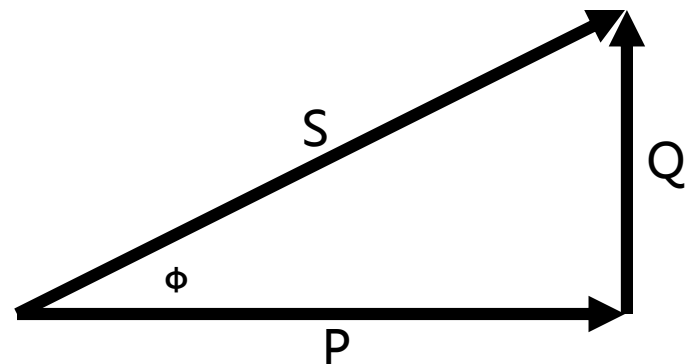
■ 效率计算

- $\eta = P_{out} / P_{in} = 76 \%$



基本功率测量

- 均方根电压和电流
 - $V_{\text{RMS}} = \sqrt{V^2}$, 在整数个周期中测得
 - $I_{\text{RMS}} = \sqrt{I^2}$, 在整数个周期中测得
- 相位角
 - 对简单的波形 , $\phi = 360^\circ * (\text{从V到I的时延}) / (\text{波形周期})$
- 瞬时功率
 - $p(t) = v(t) * i(t)$
- 平均功率
 - 整数周期内瞬时功率的平均值
 - $P_{\text{avg}} = V_{\text{RMS}} * I_{\text{RMS}}$
- 表现功率
 - $S = V * I$
- 真实功率
 - $P = V * I * \cos \phi$
- 无功功率
 - $Q = V * I * \sin \phi$



简单的波形实例

比较基本的功率测量

- 功率因数
 - $PF = \text{真实功率} / \text{表现功率} = P / S$
- 波峰因数
 - $CF_V = V_{\text{peak}} / V_{\text{RMS}}$
 - $CF_I = I_{\text{peak}} / I_{\text{RMS}}$
- 启动时间
 - 从输入电压越过门限到输出电压越过门限的时延
- MOSFET启动损耗
 - 启动损耗 = $V_{DS} * I_D$, 在启动阶段门控
- MOSFET关闭损耗
 - 关闭损耗 = $V_{DS} * I_D$, 在关闭阶段门控
- MOSFET传导损耗
 - 传导损耗 = $V_{DS} * I_D$, 在传导阶段门控
- 能量
 - 能量 = 瞬时功率 * 时间
- 转换速率
 - dv/dt = 电压变化/时间变化, 在关心的时间间隔中门控
 - di/dt = 电流变化/时间变化, 在关心的间隔时间中门控

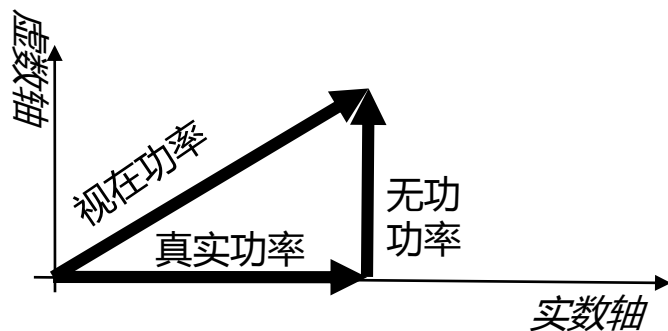
要记住的功率测量有很多, 这些只是简单的几个!

电能质量测量

- 事实上，输入电压和电流波形并不是完全一样的
 - 实际环境中的电源线永远不会提供理想的正弦波
 - SMPS是相对于电源的非线性负载
- 电源类产品都会在输入电流波形上生成谐波，谐波的大小不得违反EN61000-3-2之类标准
- 电源质量测量包括：
 - 真实功率
 - 无功功率
 - 视在功率
 - 功率因数
 - 波峰因数
 - 电流谐波测量
 - THD

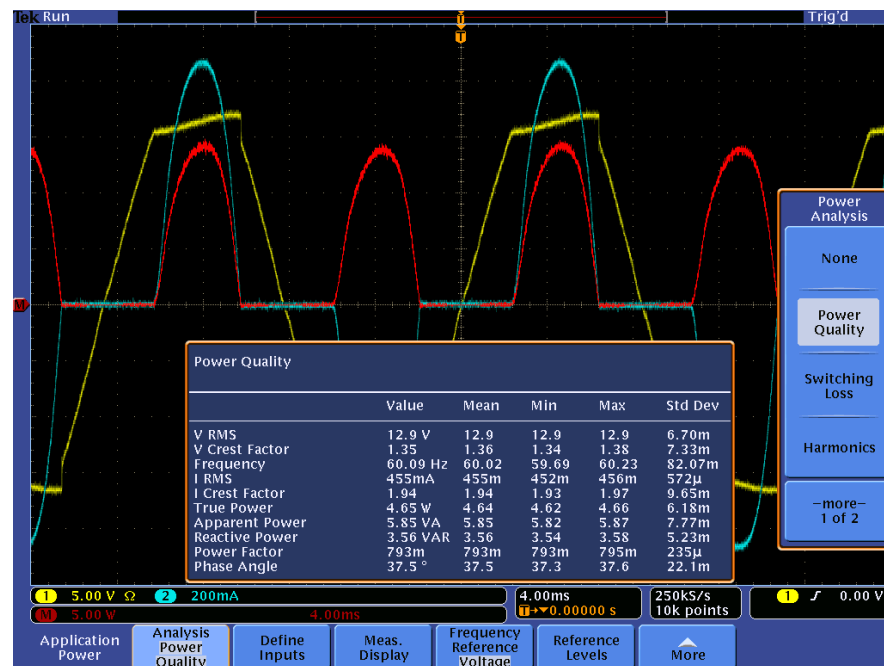
电源质量测量

- 视在功率 = $I_{\text{rms}} * V_{\text{rms}}$



- 功率因数 = $\frac{\text{真实功率}}{\text{视在功率}}$

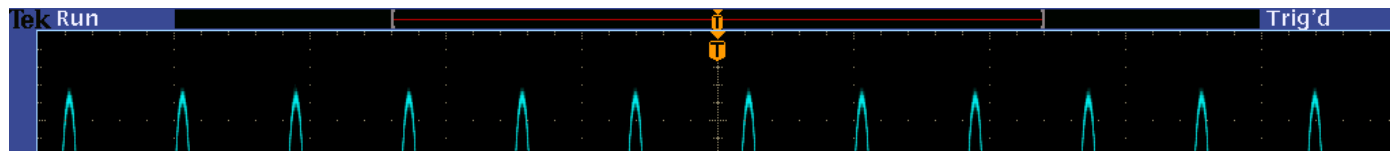
- 波峰因数 = $\frac{V_{\text{peak}}}{V_{\text{rms}}}$



带有DPO4PWR的泰克MSO/DPO4000B示波器

电源质量测量

AC输入电压和电流



Power Quality

| | Value | Mean | Min | Max | Std Dev |
|----------------|----------|-------|-------|-------|---------|
| V RMS | 12.9 V | 12.9 | 12.9 | 12.9 | 7.64m |
| V Crest Factor | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.39 | 3.70m |
| Frequency | 60.01 Hz | 60.01 | 59.89 | 60.11 | 46.15m |
| I RMS | 447mA | 447m | 446m | 447m | 298μ |
| I Crest Factor | 1.95 | 1.96 | 1.95 | 1.97 | 8.20m |
| True Power | 4.64 W | 4.63 | 4.61 | 4.64 | 6.03m |
| Apparent Power | 5.78 VA | 5.78 | 5.77 | 5.79 | 6.03m |
| Reactive Power | 3.45 VAR | 3.46 | 3.44 | 3.48 | 9.09m |
| Power Factor | 802m | 801m | 799m | 803m | 942μ |
| Phase Angle | 36.7 ° | 36.8 | 36.6 | 37.0 | 90.1m |

1 5.00 V Ω

2 200mA

20.0ms

5.00MS/s
1M points

1 \int 0.00 V

M 5.00 W

20.0ms

0.00000 s

Application Power

Analysis Power Quality

Define Inputs

Meas. Display

Frequency Reference Voltage

Reference Levels

More

EN61000-3-2和MIL-STD-1399

BS EN
61000-3-2:2006

Part 3-2: Limits — Limits for harmonic

ARY STANDARD
CE STANDARD FOR
OARD SYSTEMS
CTION 300A
, ALTERNATING CURRENT
(METRIC)



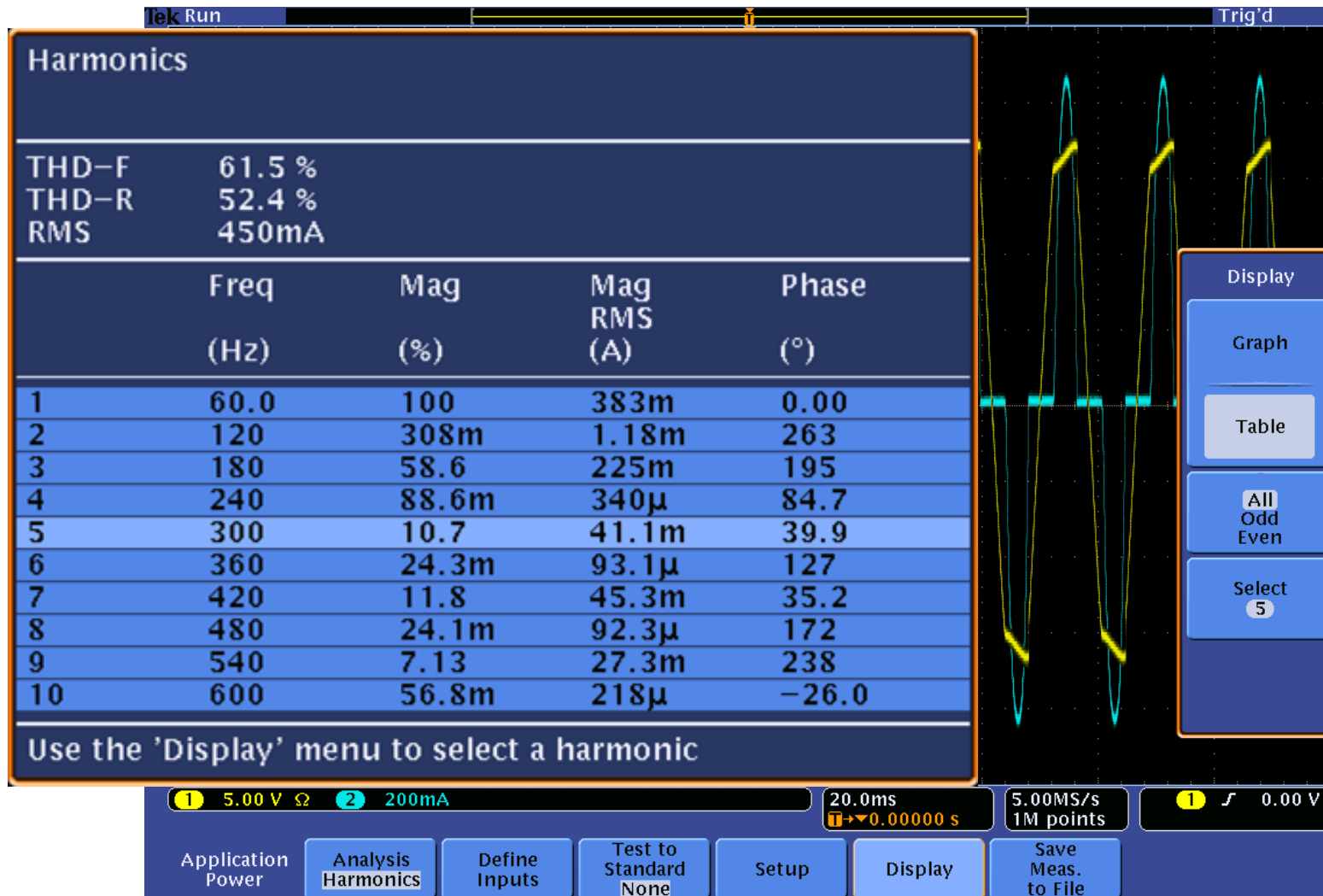
FSC 1990
r public release; distribution unlimited

BSI
British Standards Institution

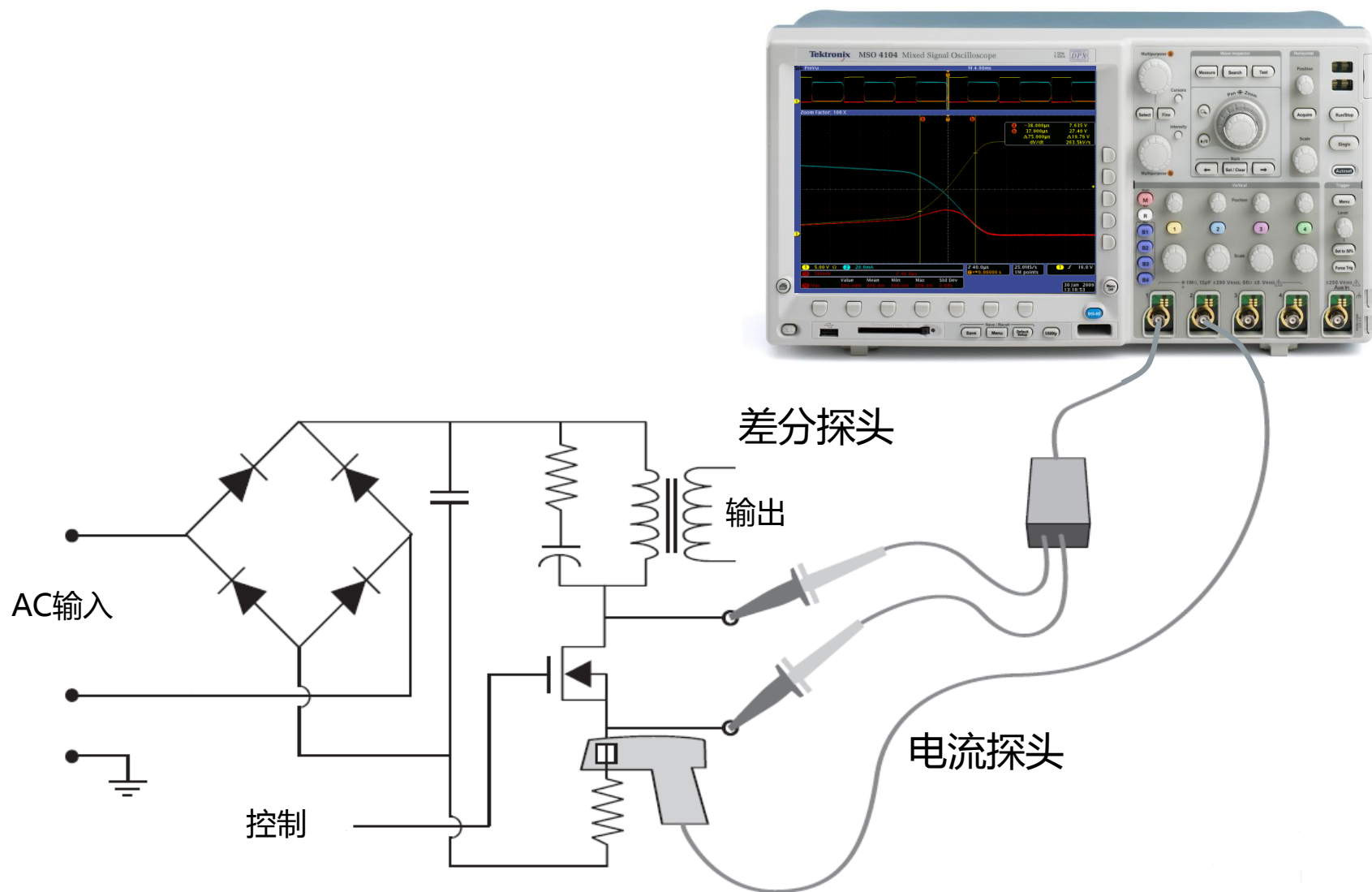


谐波测量表

AC输入



开关器件的开关损耗测量、转换速率和安全工作区

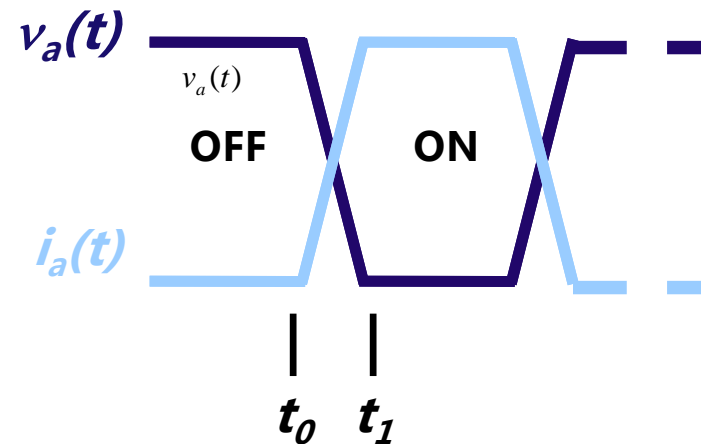


开关损耗基础知识

- 可以使用下面的公式估算转换过程中的能量损耗:

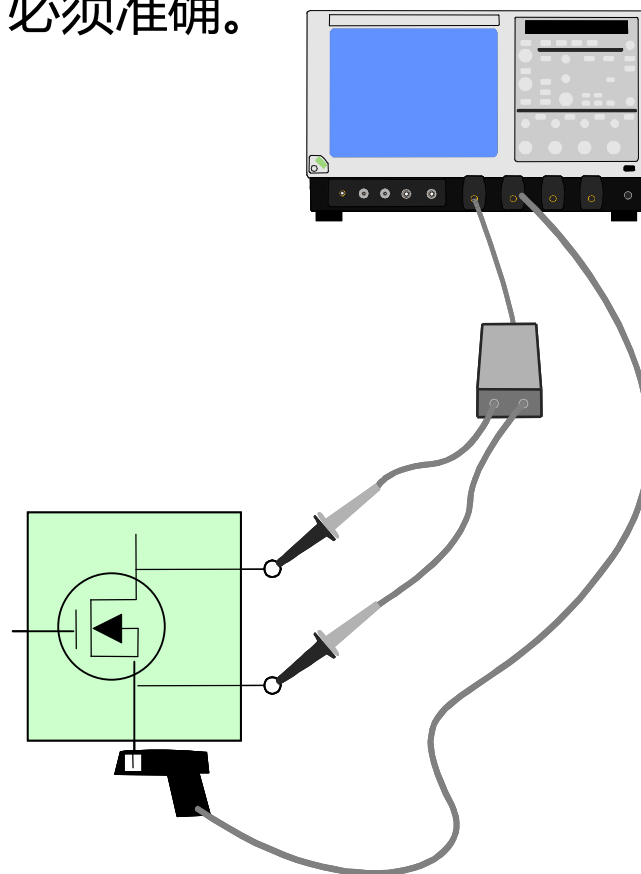
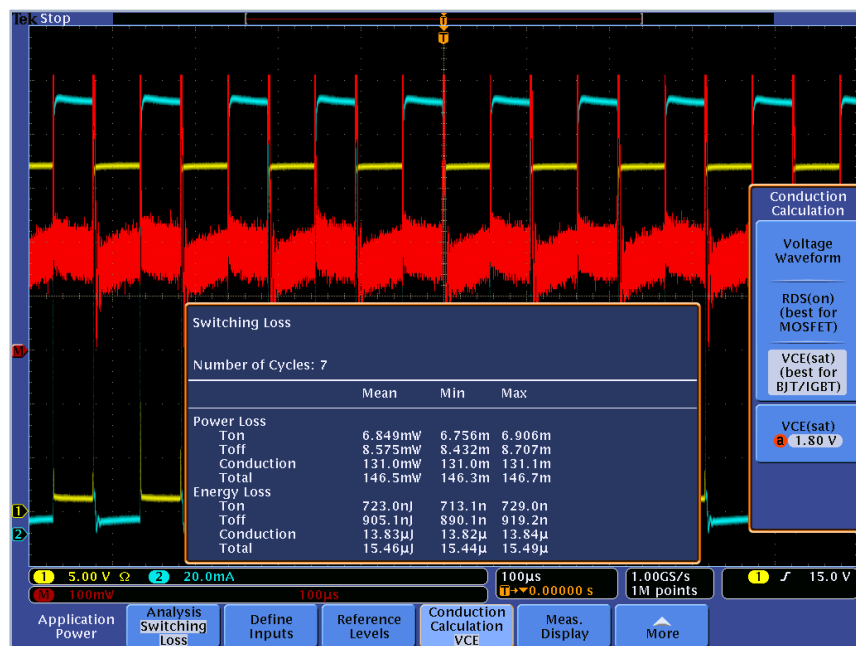
$$E_{on} = \int_{t_o}^{t_1} v_a(t) \cdot i_a(t) \cdot dt$$

- 其中:
 - E_{on} 是开关在转换过程中损耗的能量。
 - $v_a(t)$ 是流经开关的瞬时电压。
 - $i_a(t)$ 是流经开关的瞬时电流。
 - t_1 是转换结束时间。
 - t_o 是转换开始时间。
- E_{off} 的公式类似



开关损耗测量

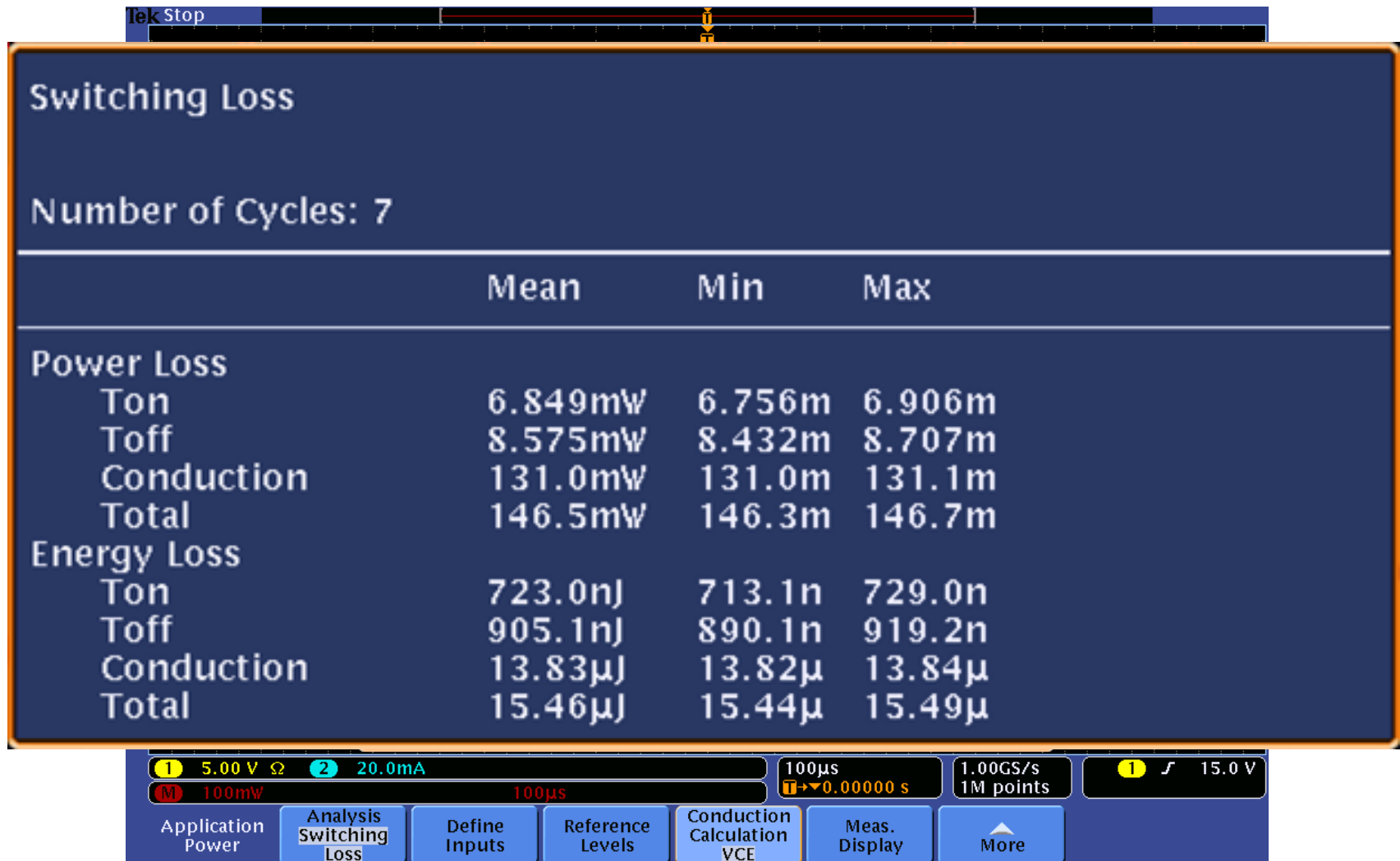
- 简单的开关损耗测量是测量流经开关设备的电压及流经开关设备的电流。
- 电源分析软件将计算开点损耗、闭点损耗和传导损耗。
- 警告：电压波形和电流波形之间的定时必须准确。



带有DPO4PWR模块的泰克MSO/DPO4000B示波器

开关电源和能量损耗测量

总和 = 开点损耗 + 闭点损耗 + 传导损耗

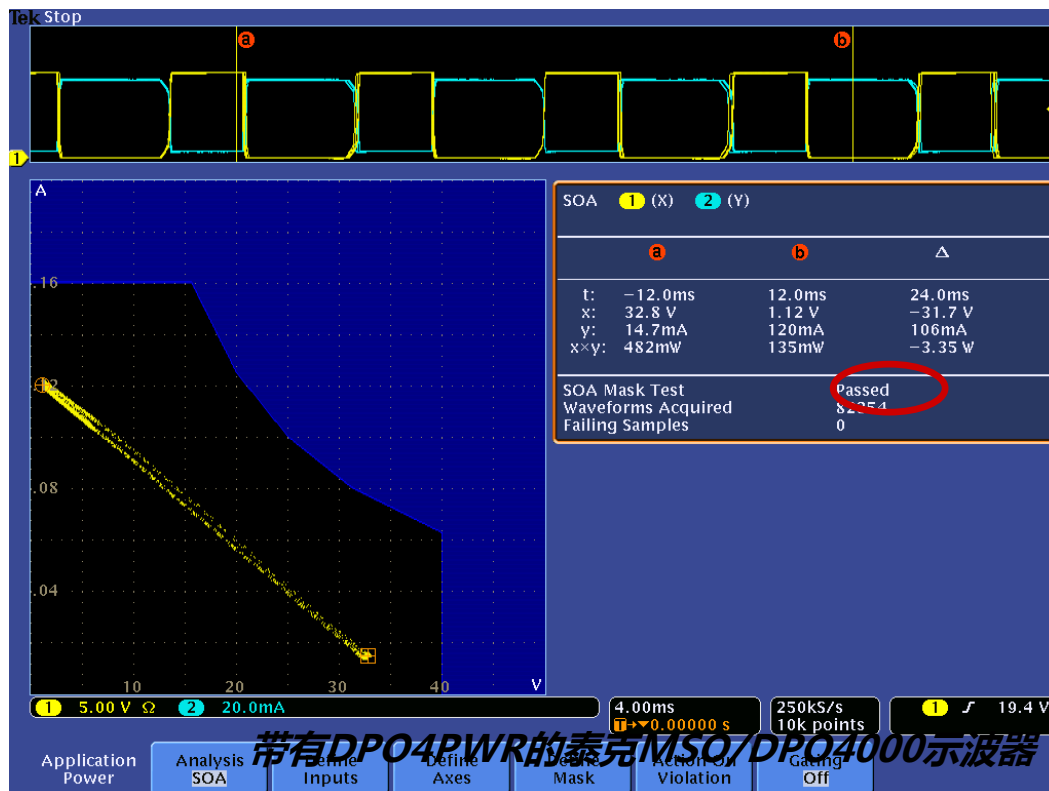


安全工作区测量

- 检定设备的工作区域
- 使用下面的公式计算瞬时功率:

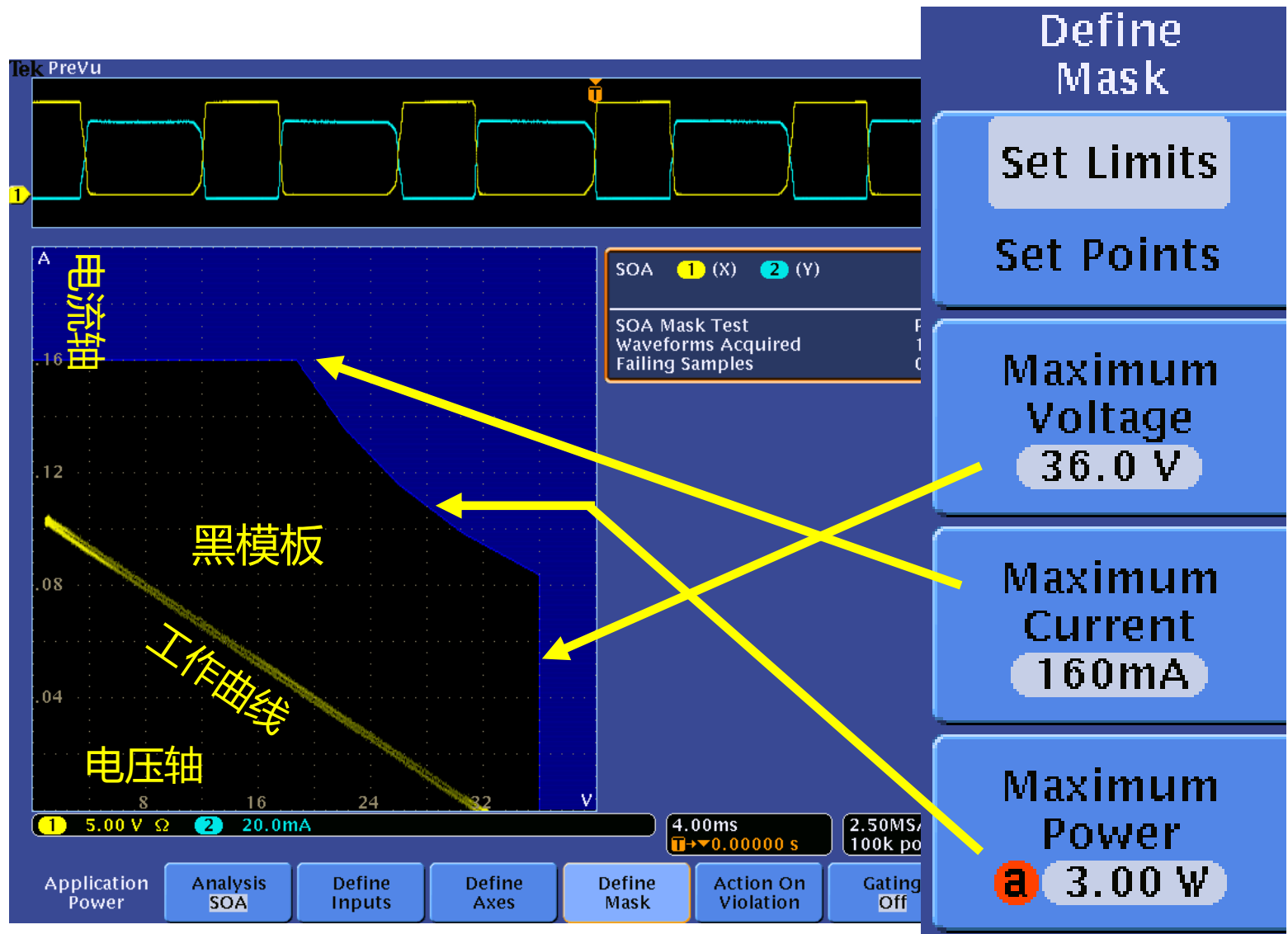
$$P_n = V_n I_n$$

- 其中:
 - P_n 是瞬时功率。
 - V_n 是电压。
 - I_n 是电流。
 - n 是样点。
- 测量变量可以包括不同的负载、工作温度、高和低压线路输入电压、等等



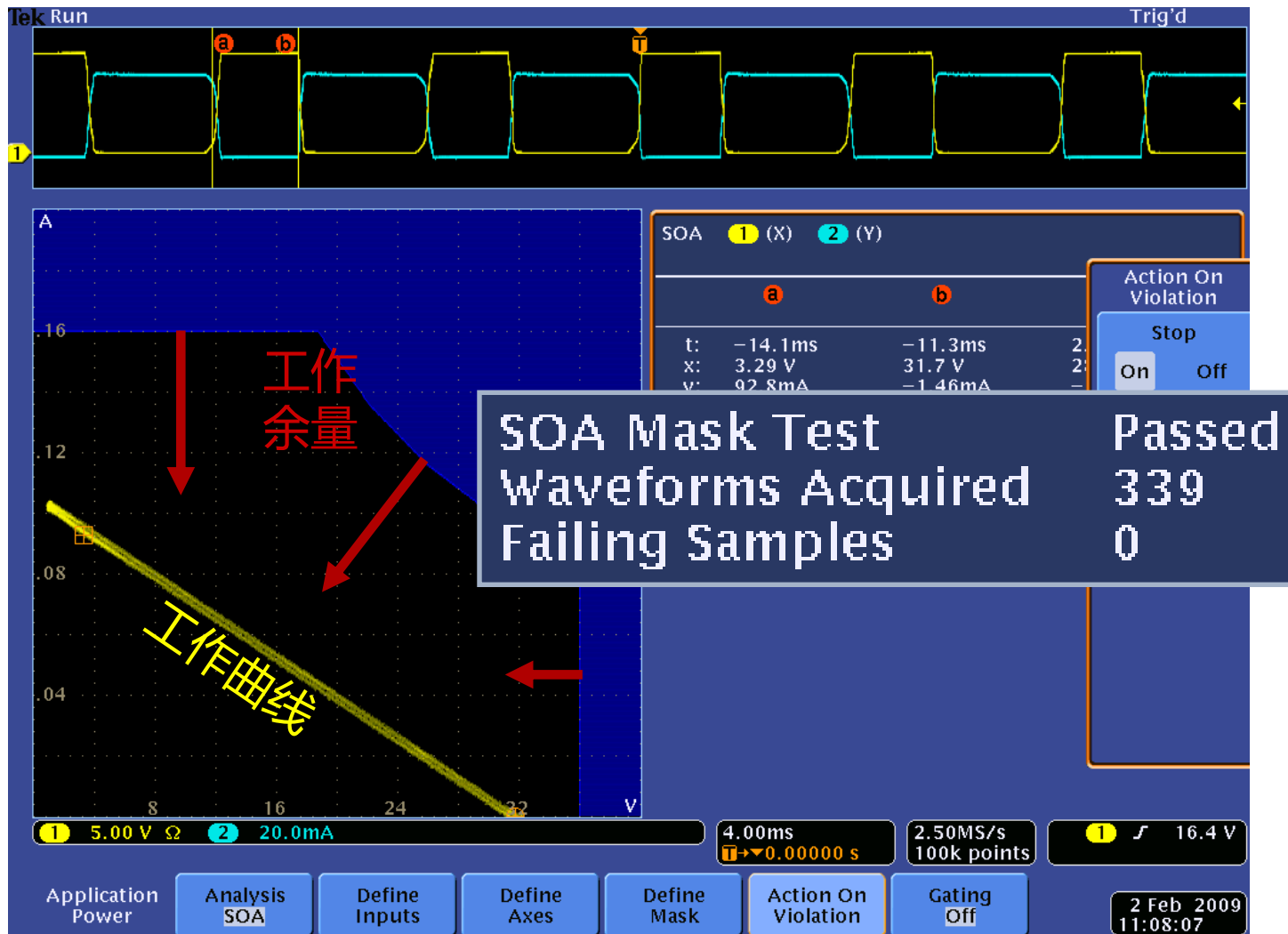
安全工作区模板测试

用户自定义模板



安全工作区模板测试

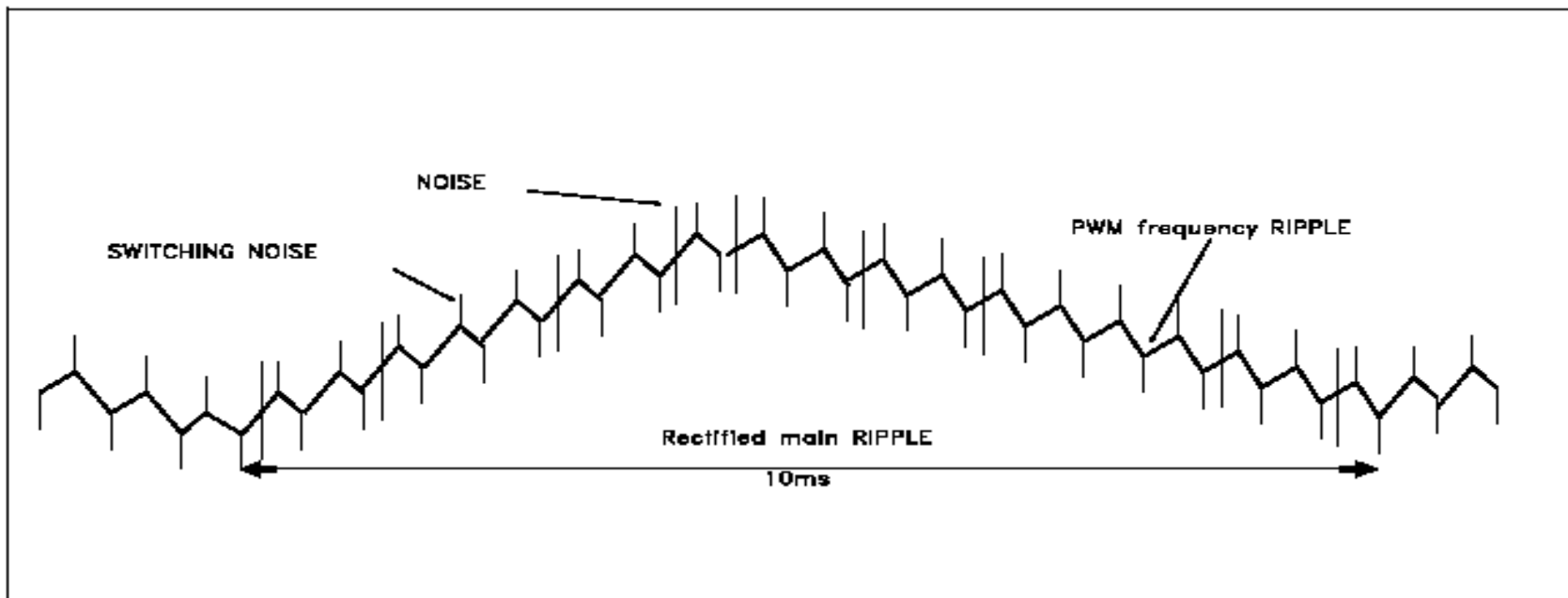
通过/失败结果



关闭 $\Delta V/\Delta t = 263.5 \text{ kV/s}$

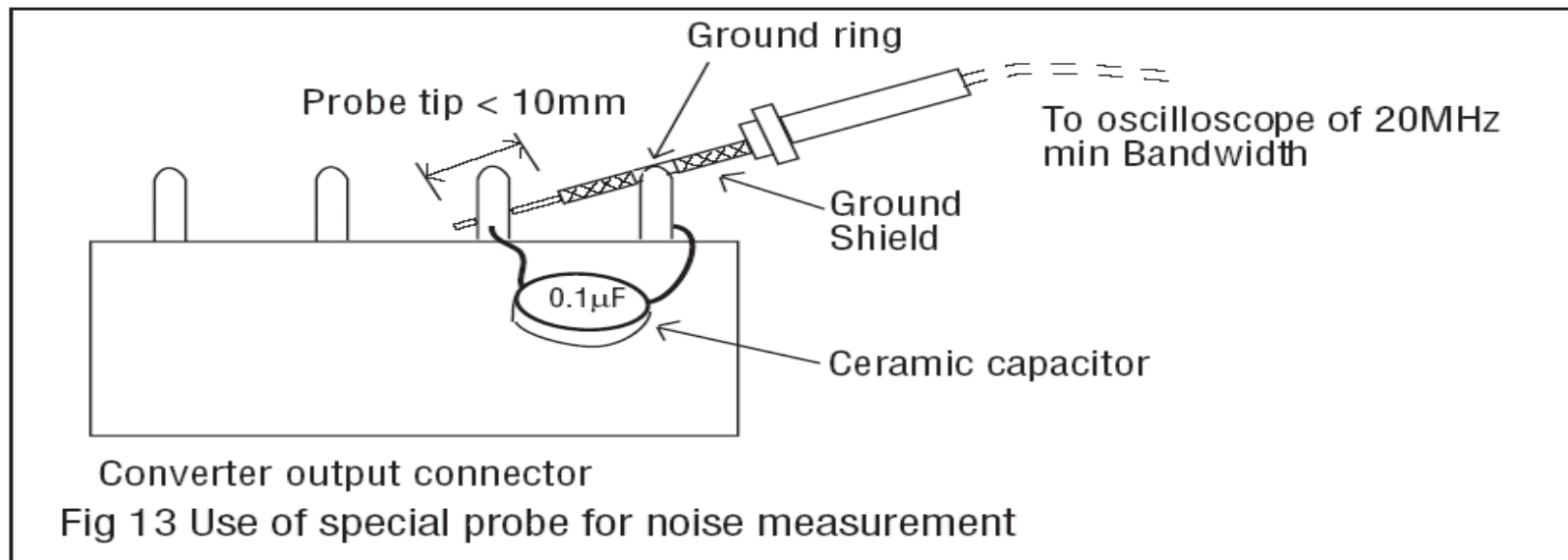


输出纹波测量



- **低频纹波**：工频的2倍频（100Hz）
- **高频纹波**：脉宽调制开关电路带来的纹波
- **开关噪声**：与PWM信号同频的噪声
- **随机噪声**：工频或者开关频率相关的噪声

输出纹波测量 - 方法1



- 如果要带载测试，必须使用示波器探头时，必须注意：
 - 纹波的测量一般使用峰峰值
 - 一般使用20MHz带宽的示波器进行测量
 - 尽量减少示波器探头接地线的影响（使用BNC到探头尖转换或者至少拔掉探头帽，去掉探头地线）
 - 需要并联0.1uF电容
 - 示波器良好接地
 - 测量共模噪声大小
 - 推荐探头TPP0502 500MHZ带宽，2*衰减比，300Vrms 动态范围

功率探测

■ 改善功率测量精度和可重复性首先要从行业领导者提供的完美的探头入手

— 选择最能满足性能要求的探头

- 带宽/上升时间
- 低探头负载，使对被测器件的影响达到最小
- 高灵敏度，分辨最小的信号/范围，处理最大的信号
- 最小的衰减，使信噪比达到最大
- 充足的绝对最大值指标，安全地进行测量
- 适当的附件，连接被测器件

选择和示波器一起使用的探头

- 智能通信，自动选择标度、单位、端子
- 通过泰克设计、制造和提供支持的探头，您的客户可以从示波器投资中获得最大的好处

— 使用互动探头选型工具找到合适的探头



Tektronix

HOME PRODUCTS APPLICATIONS SERVICE SUPPORT PURCHASE ABOUT US

Tektronix » Oscilloscope Probe & Accessory Selector Tool

Oscilloscope Probe & Accessory Selector Tool

powered by ADVIZIA

Select your requirements below. The list of matching products will update with each click.

Probe Recommendation Selector (Start by clicking the arrow to the left or clicking inside this box): Use this Selector to find out what are the most commonly used probes.

Select the Instrument Series:

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> MDO3000 | <input type="checkbox"/> MDO4000 | <input type="checkbox"/> MSO/DPO2000B |
| <input type="checkbox"/> MSO/DPO3000 | <input type="checkbox"/> MSO/DPO4000B | <input checked="" type="checkbox"/> MSO/DPO5000 |
| <input type="checkbox"/> DPO7000C | <input type="checkbox"/> DPO/DSA/MSO70000 | <input type="checkbox"/> TDS1000B |
| <input type="checkbox"/> TDS2000C | <input type="checkbox"/> TDS3000C | <input type="checkbox"/> THS3000 |
| <input type="checkbox"/> TPS2000B | <input type="checkbox"/> TBS1000 | <input type="checkbox"/> RSA5000/6000 |

Choose the Desired Measurement:

If an option is grayed out a recommended solution is not available.

| | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> High Voltage Differential | <input type="checkbox"/> Low Voltage Differential |
| <input type="checkbox"/> High Voltage Single-ended | <input type="checkbox"/> Low Voltage Single-ended |
| <input type="checkbox"/> Current | <input type="checkbox"/> Passive |

Probe Compatibility Selector (Start by clicking the arrow to the left or clicking inside this box): Use this Selector to determine if a probe or accessory is compatible with an Instrument Series.

3 Matches [Compare](#) [Start Over](#)

| | | |
|----------|----------|----------|
| | | |
| THDP0200 | THDP0100 | THDP0200 |

高压差分探测

■ 最好的测量精度

- 性能最高的产品系列支持各种动态范围和分辨率要求
- 示波器与探头智能通信，自动完成设置、定标和带宽



最高的质量

- 由泰克设计、制造和提供支持
- 所有其他厂商的高压差分探头都是贴牌OEM

■ 安全保证

- 泰克承诺安全，采用第三方认证



- 其他厂商只是自行认证

■ 灵活性高，优异的价值

- 标配最全面的一系列探头附件

■ 最流行的探头：

- TMDP0200 ($\pm 750\text{ V}$ / $\pm 75\text{ V}$, 200 MHz)



- THDP0200 ($\pm 1500\text{ V}$ / $\pm 150\text{ V}$, 200 MHz)



- THDP0100 ($\pm 6500\text{ V}$ / $\pm 650\text{ V}$, 100 MHz)



AC/DC电流探测

■ 最好的测量精度

- 性能最高的产品系列，带宽最高 和 灵敏度最高的电流钳夹探头
- 示波器与探头智能通信，自动完成设置和定标



最高的质量

- 由泰克设计、制造和提供支持
- 所有其他厂商的高压差分探头都是贴牌OEM

■ 安全保证

- 多种产品可供裸线使用！
- 泰克承诺安全，采用第三方认证



- 其他厂商只是自行认证

■ 最流行的探头：

- TCP0030A (30 A, 120 MHz)



- TCP0020 (20 A, 50 MHz)

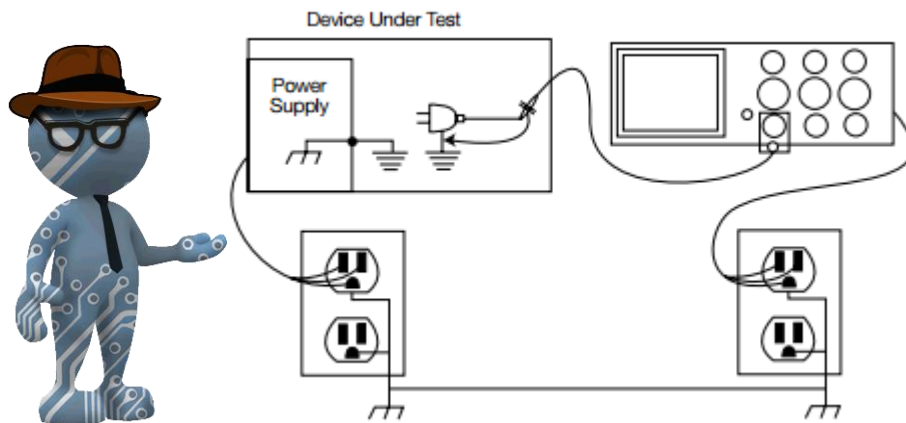


- TCP0150 (150 A, 20 MHz)



优秀的功率测量技术

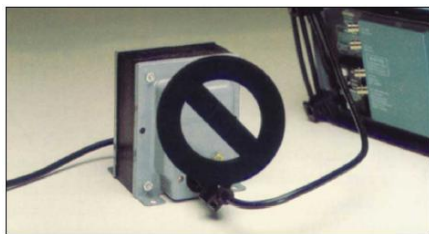
- 在功率系统中没有“接地”一说！
 - 电压测量一直是相对于参考点进行的
 - 但如果示波器接地，电源中没有接地，那么使用无源探头很难进行良好的功率测量！
 - 只有差分探头可以准确地进行电压测量



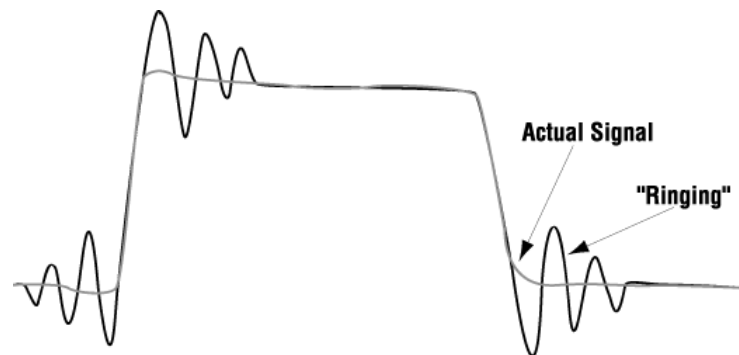
- 使测量系统内部的误差来源减到最小
 - 定期运行信号路径补偿(Signal Path Compensation)，最大限度地提高示波器精度
 - 使用AutoZero消除有源探头和差分探头中的DC偏置
 - 使用DeGauss/AutoZero消除电流探头中的DC偏置
 - 使用时延校正消除通道间定时误差

安全准确地探测“浮动”电压

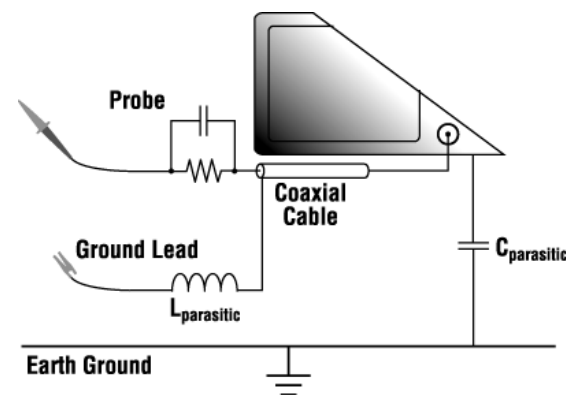
- 交流供电的普通示波器是以“地为参考点的测量”
- 示波器探头的地线与示波器的机壳和所有通道输入端电气相连
- 剪断示波器地线或使用隔离变压器将示波器从保护地线浮动起来的**危险**：
 - 操作人员触电
 - 示波器损毁
 - 测试结果不准确



不可用剪断示波器接地线的方法进行差分测量！
不可使用隔离变压器进行差分测量！



分布电容和电感还可能带来原本没有的振铃！！！！

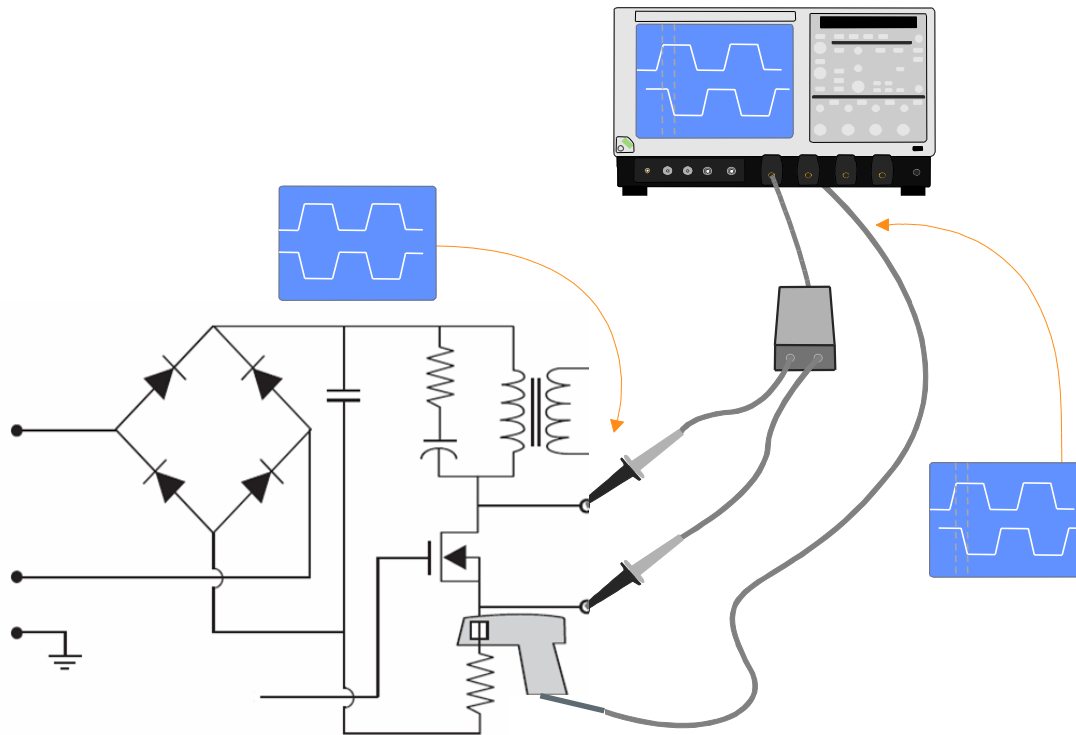


► 正确方法：

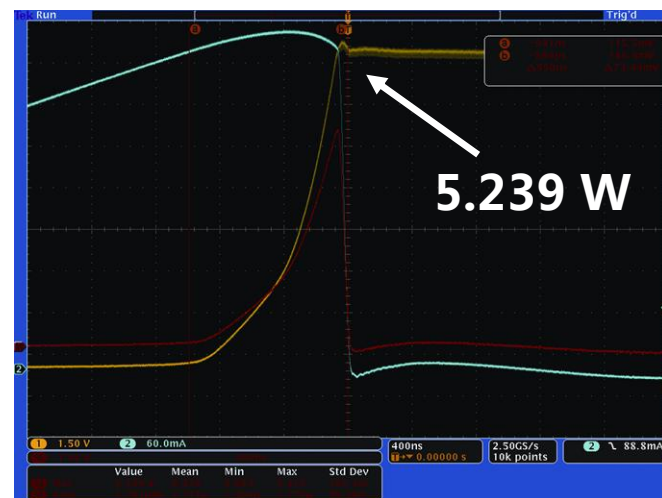
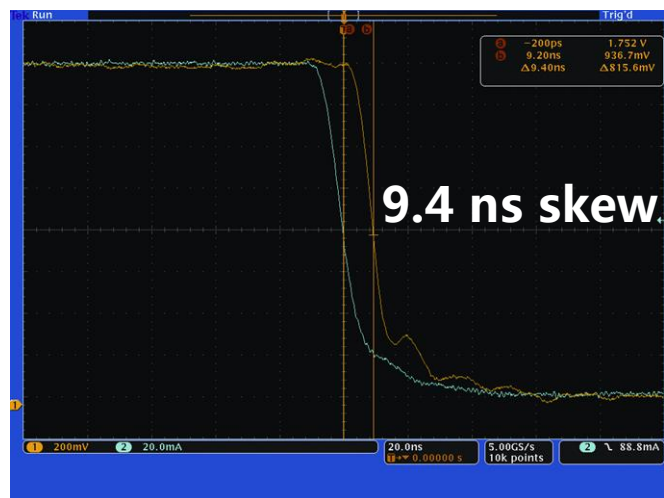
采用差分探头或采用隔离通道、电池供电示波器进行安全测量。

探头之间的时间延迟

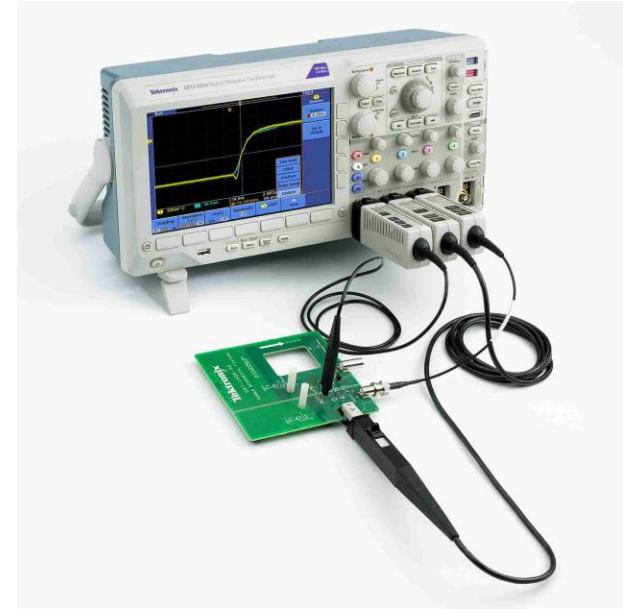
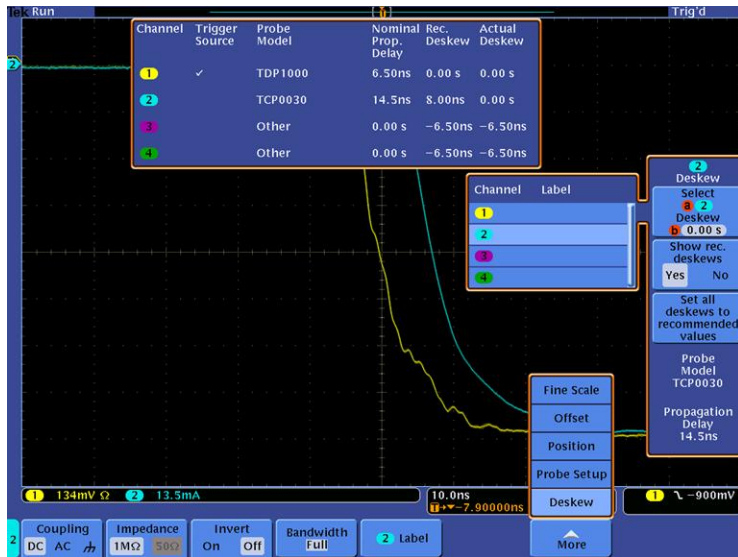
- 对电力电子器件做功率测量，必须同时测量器件上的电压和电流
 - 需要两个独立的探头：电压和电流
 - 每个探头有自己的延迟特性
 - 延迟的差值就是时间延迟



一个时间延迟的例子



解决办法：消除电压和电流探头的时间延迟



***Tektronix DPO3000 Oscilloscope
with TekVPI® probes and deskew
kit***

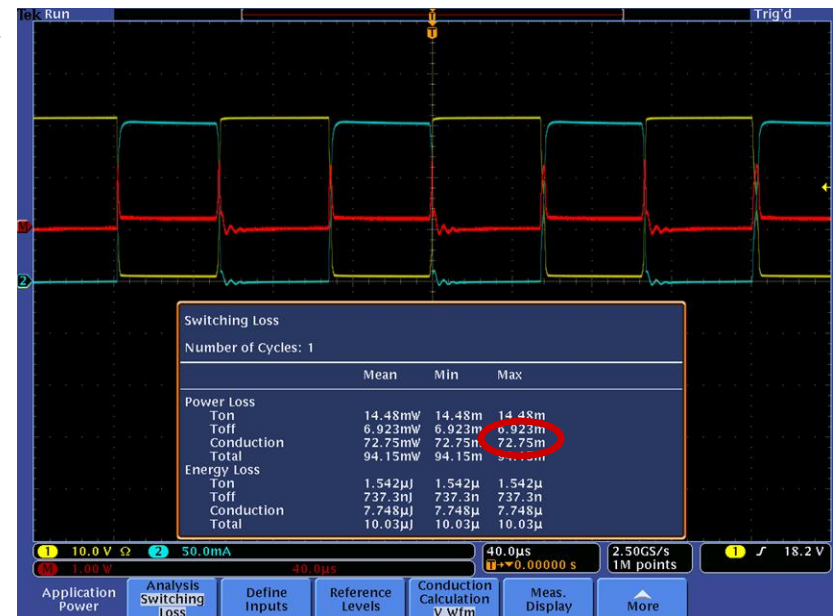
测试挑战：直流偏置

- 示波器，差分探头和电流探头可能有轻微的直流（DC）偏置
- 做高精度测试前需要消除掉

**15.5%
Error**



With 1 V DC offset,
Conduction Loss = 86.13 mW.



With DC offset removed,
Conduction Loss = 72.75 mW.

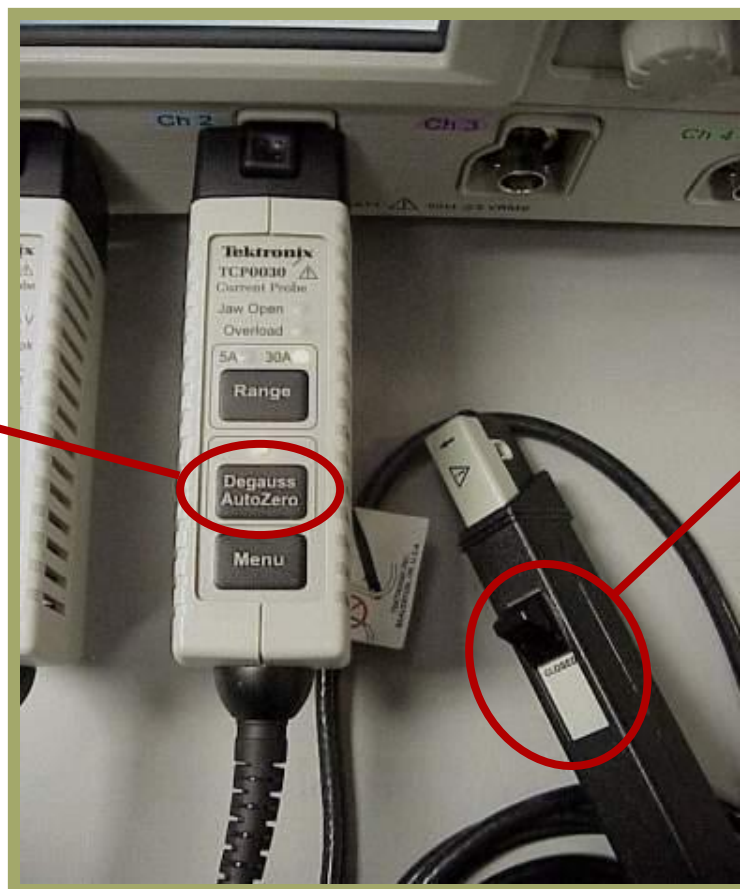
示波器DC偏置的调整方法

- 信号路径补偿
 - 信号路径补偿(SPC) 可修正由于温度变化和/或长期漂移引起的直流误差。
1. 将示波器**预热至少20 分钟**。删除从通道输入的所有输入信号（探头的和电缆的）。输入信号的交流分量对SPC 具有不良影响。
 2. 按下Utility。
 3. 按“辅助功能页面”
 4. 旋转通用旋钮a 选择“校准”
 5. 在下方屏幕菜单中按“信号路径”
 6. 在出现的侧面屏幕菜单中按“OK执行补偿信号路径”。OK执行补偿校准大约需要10 分钟完成。

解决方案：电流探头的消磁功能

- 消除探头磁性器件中的剩余磁通

按探头补偿盒上的
自动消磁
“Degauss
AutoZero” 键



把探头卡钳推至
“关闭” 位置

解决方案：差分探头的偏置调整

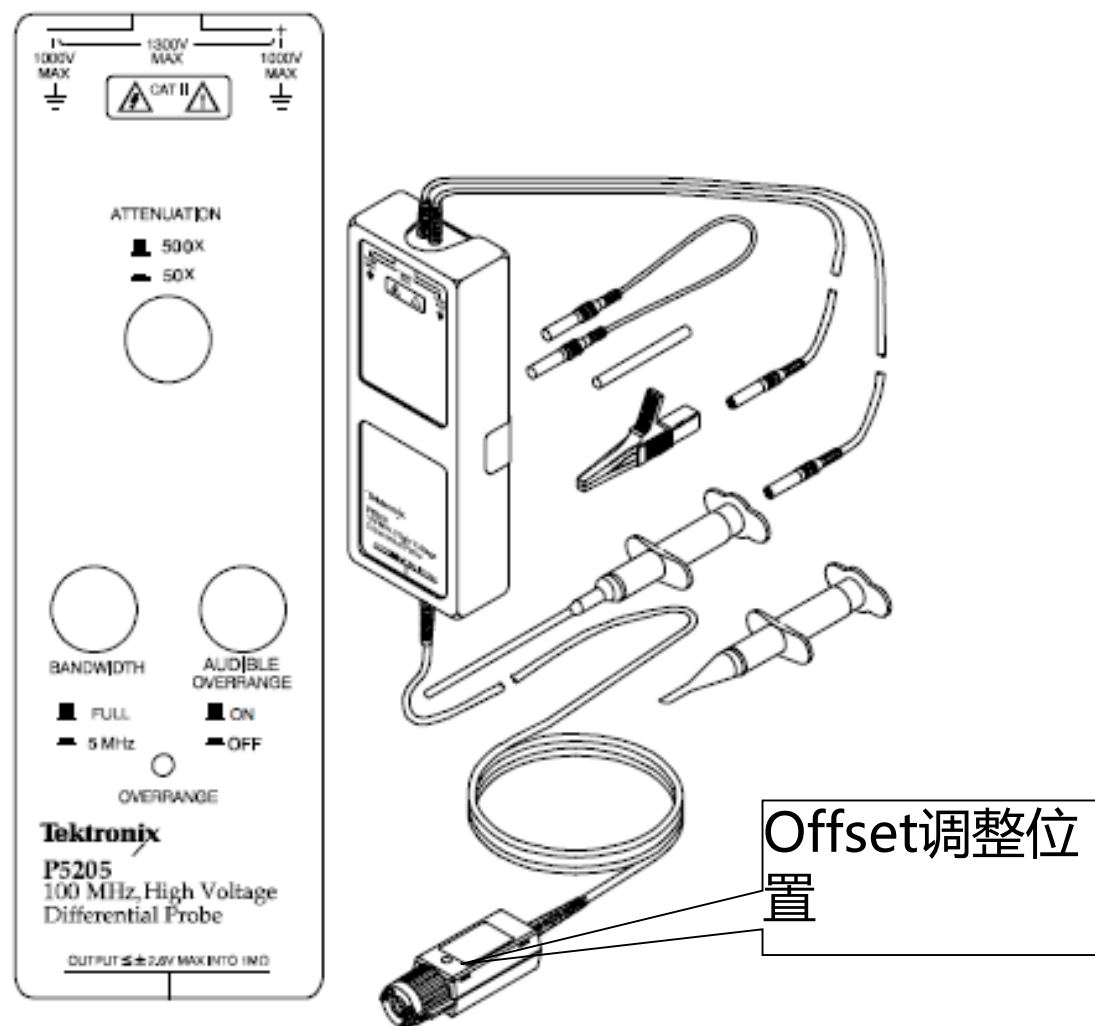
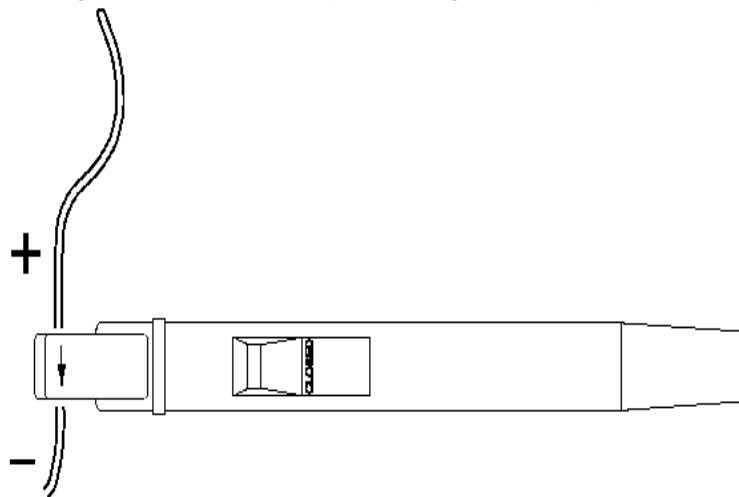


Figure 1: High Voltage Differential Probe

电流探头的使用

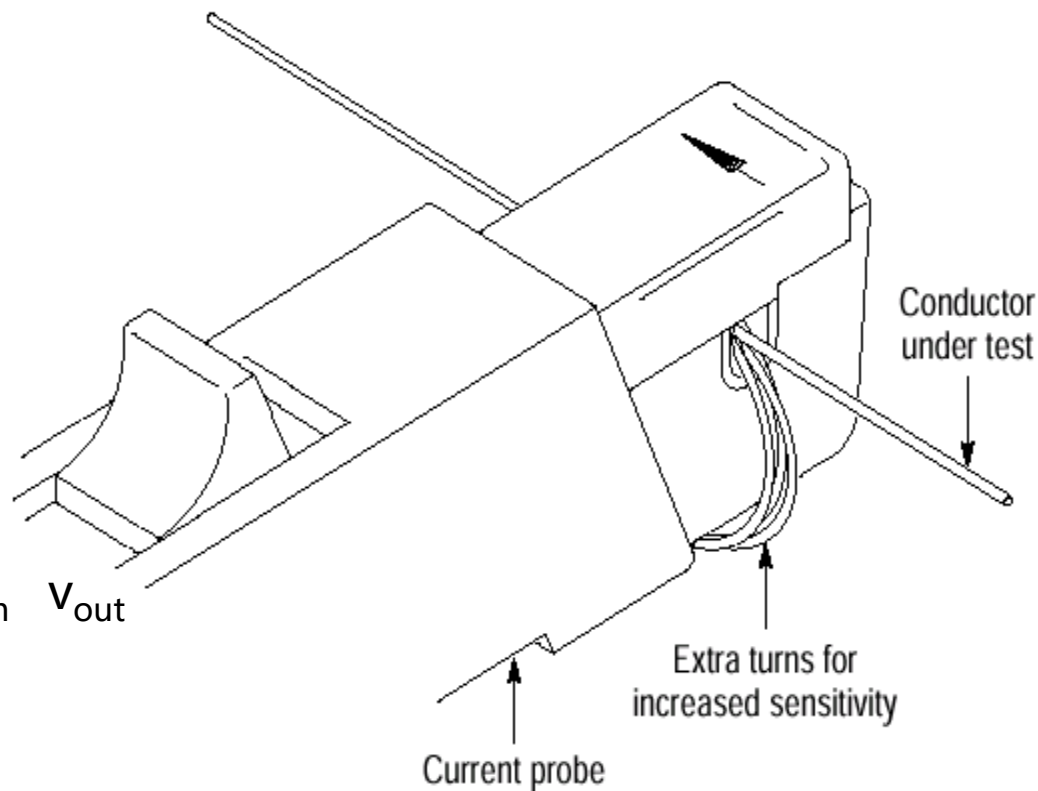
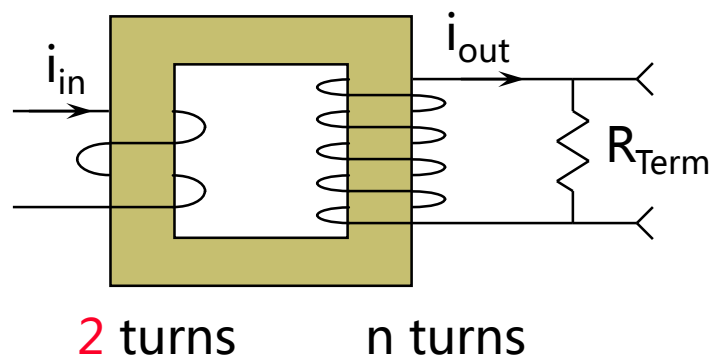
- 请仔细阅读说明书上的安全注意事项以及探头量程
- 钳式电流探头将测试电路去除，必须将滑块推到底，直到探头显示：“CLOSED”。
- 第一次测量之前有源电流探头需要**预热20分钟**以上才能保证测量结果的精确
- 每一次测量之后都需要进行探头消磁（Degauss），避免剩磁对测量结果的影响，为提高调零效果，将探头的测试量程调成最小，然后消磁调零，测试时调整回正常的量程。
- 如果需要更高的测量精度，在每次使用前，请使用泰克专用的电流校准夹具进行校正



测量微小电流

- 通过增加绕组的方法

$$V_{\text{out}} = 2 (i_{\text{in}} / n) R_{\text{Term}}$$



泰克示波器

| | DPO/MSO5000B | MDO/MSO4000B | MDO3000 | DPO/MSO2000B |
|----------------|---|---|---|--|
| 带宽 | 350 MHz – 2 GHz | 100 MHz – 1 GHz | 100MHz-1 GHz | 70 –200MHz |
| 模拟通道数量 | 4 | 2, 4 | 2 4 | 2, 4 |
| 数字通道数量 | 16 (仅MSO) | 16 (仅MSO) | 16 (仅MSO) | 16 (仅MSO) |
| 模拟通道采样率 | 5 GS/s (全通道) 10 GS/s (半通道) | 2.5 - 5 GS/s | 2.5 GS/s (全通道) 5 GS/s (半通道) | 1 GS/s |
| 记录长度 | 25 M (全通道) | 20 M | 10M | 1M |
| 输入阻抗 | 50Ω, 1 MΩ | 50Ω, 1 MΩ | 50Ω , 1 MΩ | 1 MΩ |
| 显示屏尺寸 (分辨率) | 10.4" (1024x768) XGA | 10.4" (1024x768) XGA | 9" | 7" (480x234) WQVGA |
| 串行触发和解码 | 选配:I2C, SPI,USB, 以太网, CAN, LIN, FlexRay, RS- 232/422/485/UART,MIL- STD-1553, I2S/LJ/RJ/TDM | 选配:I2C, SPI,USB, 以太网, CAN, LIN, FlexRay, RS- 232/422/485/UART,MIL-STD- 1553, I2S/LJ/RJ/TDM | 选配:I2C, SPI,USB, 以太网, CAN, LIN, FlexRay, RS- 232/422/485/UART,MIL- STD-1553, I2S/LJ/RJ/TDM | 选配: I2C, SPI, CAN, LIN, RS-232/ 422/485/UART,并行 |
| 一致性测试 | 选件: DDR分析, 高级抖动 和眼图, 以太网USB 2.0一 致性测试 | 无 | 无 | 无 |
| 连接和存储 | LAN, USB, VGA 选配: GPIB | LAN, USB, VGA GPIB 选配: | LAN, USB, VGA 选配: GPIB | USB, LAN , VGA ,GPIB 选配 |
| 电池操作 | 否 | 否 | 否 | 否 |
| 保修 | 1年 | 3年 | 3年 | 5年 |

更新 ! 高压探头

| | 类型 | 带宽 MHZ | 接口形式 | 衰减比 | 差分输入电压 DC+ACpk |
|----------|-------------------------|-----------|----------|--------------------------|------------------------------|
| P5200A | 高压差分 | DC-50 | BNC | 500X 50X | 1300V |
| P5205A | 高压差分 | DC-100 | TEKPROBE | 500X 50X | 1300V |
| P5210A | 高压差分 | DC-50 | TEKPROBE | 1000X 100X | 5600V |
| P5202A | 高压差分 | DC-100 | TEKPROBE | 20x 200x | 640V |
| P5201 | 高压差分 | DC-25 | BNC | 20X 200X | 1400V |
| TMDP0200 | 高压差分 | DC-200 | TEKVPI | 25X 250X | 750V |
| THDP0200 | 高压差分 | DC-200 | TEKVPI | 50X 500X | 1500V |
| THDP0100 | 高压差分 | DC-100 | TEKVPI | 100X 1000X | 6000V |
| TDP0500 | 高频差分 | DC-500 | TEKVPI | 50X 5X | ±42V ±4.2V |
| TDP1000 | 高频差分 | DC-1000 | TEKVPI | 50X 5X | ±42V ±4.2V |
| P6246 | 高频差分 | DC-400 | TEKPROBE | 10X 1X | ±8.5V ±850mV |
| P6247 | 高频差分 | DC-1000 | TEKPROBE | 10X 1X | ±8.5V ±850mV |
| ADA400A | 微伏差分 最小分辨率 10uV/格 | DC-1M | TEKPROBE | X100 X10 X1 10X | ±10V ±10V ±40V ±40V |

电流探头

| | 带宽Hz | 电流量程A | 钳口直径mm | 接口类型 |
|---------------------|----------|-------------------------------------|--------|-------------|
| 电流测试系统 | | | | |
| TCPA300 TCP312 | DC-100M | 5A (DC+ACPeak) 30A (DC+ACPeak) | 3.8 | BNC |
| TCPA300 TCP305 | DC-50M | 25A (DC+ACPeak) 50A (DC+ACPeak) | 3.8 | BNC |
| TCPA300 TCP303 | DC-15M | 25A (DC+ACPeak) 150A (DC+ACPeak) | 21X25 | BNC |
| TCPA400 TCP404XL | DC-2M | 750A (DC+ ACPeak) | 21X25 | BNC |
| 直接连接型电流探头 | | | | |
| TCP0020 | DC-50M | 20 (DC+ACPeak) | 5 | TEKVPI |
| TCP0030 | DC-120M | 5A (DC+ACPeak) 30A(DC+ACPeak) | 3.8 | TEKVPI |
| TCP2020 | DC-50M | 20A(DC+ACPeak) | 5 | BNC |
| TCP0150 | DC-20M | 25A(DC+ACPeak) 150A(DC+ACPeak) | 21x25 | TEKVPI |
| TCP202A | DC-50M | 15 A(DC+ACPeak) | 5 | TEKPROBE |
| 其他电流探头 | | | | |
| P6021 | 120-60M | 15A (peak) | 3.8 | BNC |
| P6022 | 935-120 | 6A (peak) | 3.58 | BNC |
| CT1 | 25K-1G | 450mA | 1.78 | P6041BNC 电缆 |
| CT2 | 1.2K-200 | 2.5A | 1.32 | P6041BNC 电缆 |
| CT6 | 250K-2G | 120mA | 0.8 | SMA-BNC 电缆 |
| A621 | 5-50K | 2000A (peak) | 54 | BNC |
| A622 | DC-100K | 100A (DC+ACpeak) | 11.8 | BNC |

感谢您关注泰克

- 了解更多信息可登陆：

<http://info.tek.com/cn-mdo-portfolio-em.html>

- 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



