

创新的电源分析与测试方案

泰克科技（中国）有限公司



Tektronix®

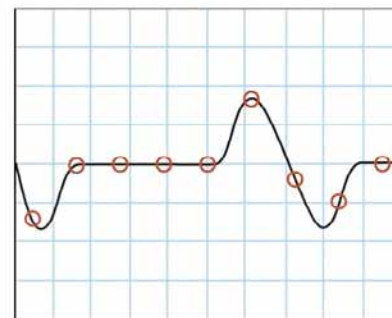
内容

- 电力电子测量中的注意事项
 - 如何选择示波器
 - 安全测量浮地信号
 - 校准探头偏差
- 以示波器为基础的泰克电力电子测试方案
 - 功率和电能质量测量
 - 谐波分析
 - 开关损耗和SOA测试
 - 输出纹波测量
- 新型电力电子应用中的测试技巧
 - LED驱动电流纹波测试
 - 变频驱动的驱动脉冲和PWM调制测试
 - 现代电源系统的总线分析和系统调试
 - 现代节能设计：待机电流测试

示波器性能考虑因素

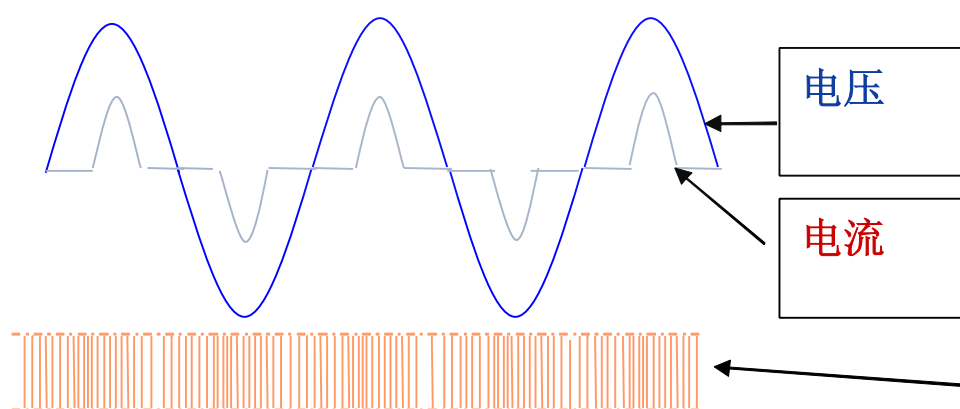
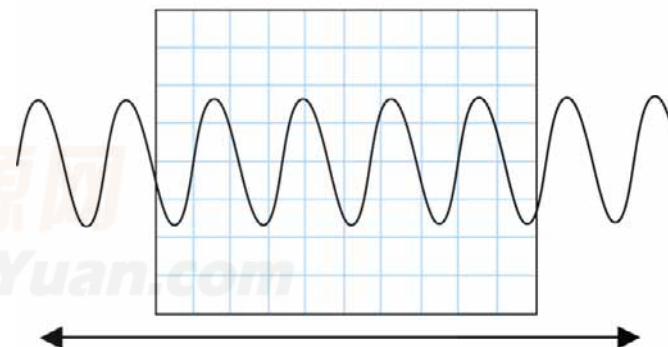
■ 采样率

- 采样率越快，分辨率越高，波形越真实



■ 记录长度

- 确定在采样率一定时捕获多长“时间”
- 实例：
 - 50 Hz的一半周期是 10 ms
 - 采样率为1 GS/s时，需要10 M点的记录长度



$$\text{时间} = \frac{\text{记录长度}}{\text{采样率}}$$

如何确定需要存储长度

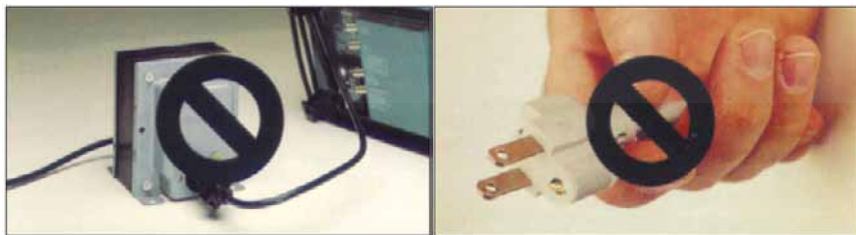
- 采样速率应该至少是被测的模拟信号带宽的5倍
- 对于快速变化的IGBT开关信号，在一个边沿上需要 8-10个样点；
100 ns转换至少要求 50 MS/s的取样速率
- 单次采集的记录时间与记录长度直接成正比

$$\text{记录时间 (秒)} = \frac{\text{记录长度 (样点数量)}}{\text{取样速率 (样点/秒)}}$$

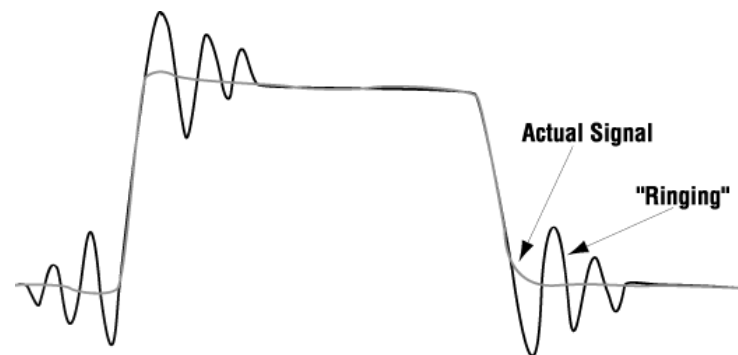
- 为同时查看 50 Hz工频信号（一个周期），和 100 ns（10个样点/边沿）边沿的PWM信号
- 每条通道2MB记录长度、1GSa/s取样速率的示波器可以满足这一要求

安全准确地探测“浮动”电压

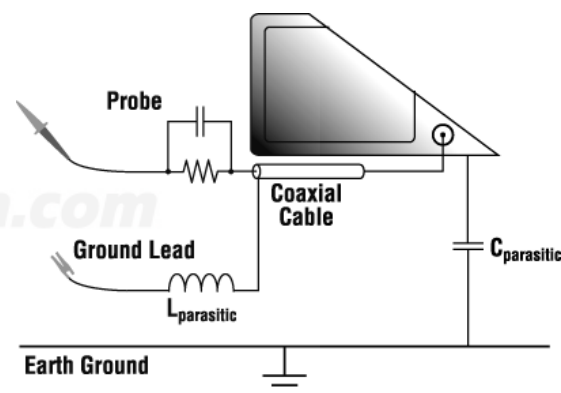
- 交流供电的普通示波器是以“地为参考点的测量”
- 示波器探头的地线与示波器的机壳和所有通道输入端电气相连
- 剪断示波器地线或使用隔离变压器将示波器从保护地线浮动起来的**危险**:
 - 操作人员触电
 - 示波器损毁
 - 测试结果不准确



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！！！！

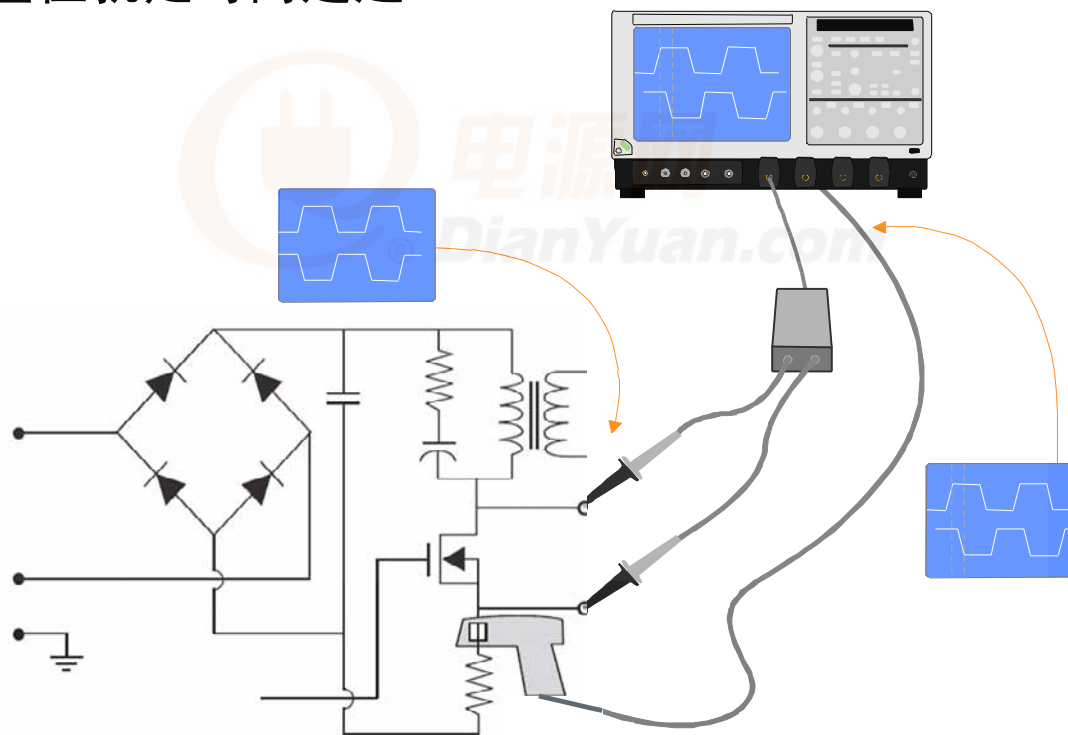


► 正确方法：

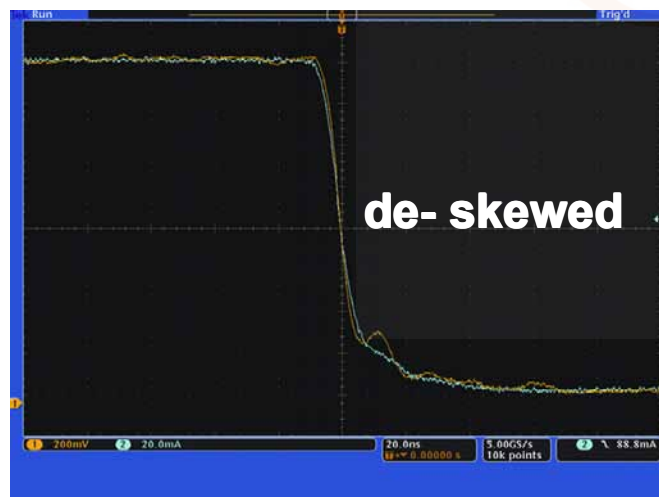
采用差分探头或采用隔离通道、电池供电示波器进行安全测量。

探头之间的时间延迟

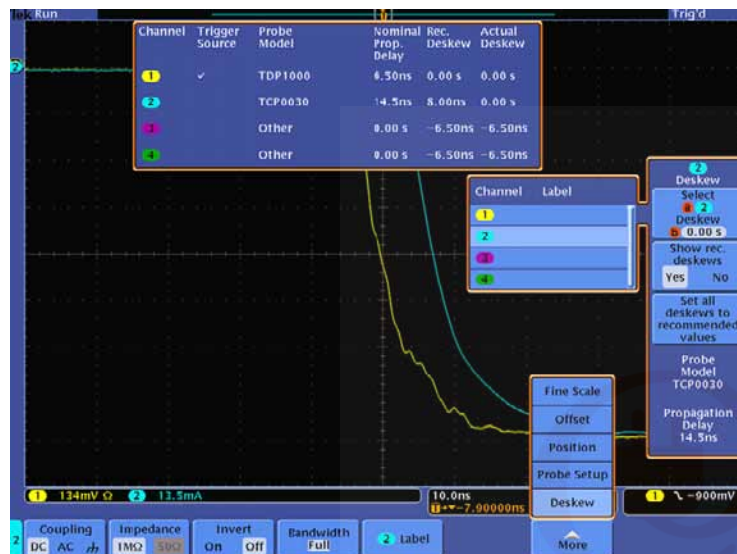
- 对电力电子器件做功率测量，必须同时测量器件上的电压和电流
 - 需要两个独立的探头：电压和电流
 - 每个探头有自己的延迟特性
 - 延迟的差值就是时间延迟



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：探头的偏置

- 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**



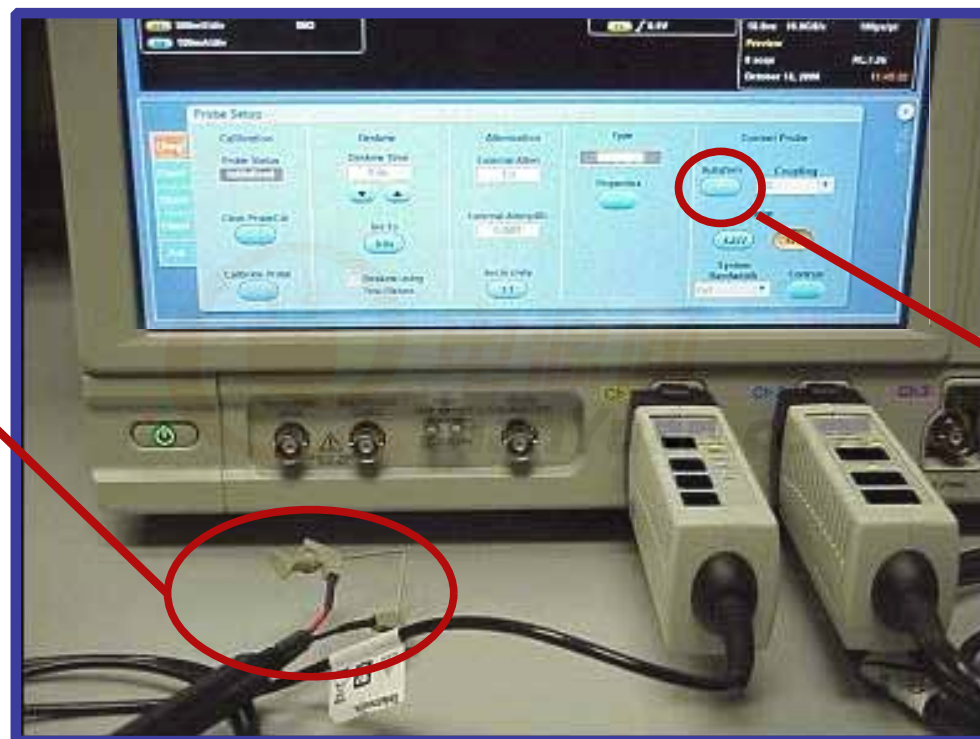
**With 1 V DC offset,
Conduction Loss = 86.13 mW.**



**With DC offset removed,
Conduction Loss = 72.75 mW.**

解决办法：消除探头偏置

短接探头尖

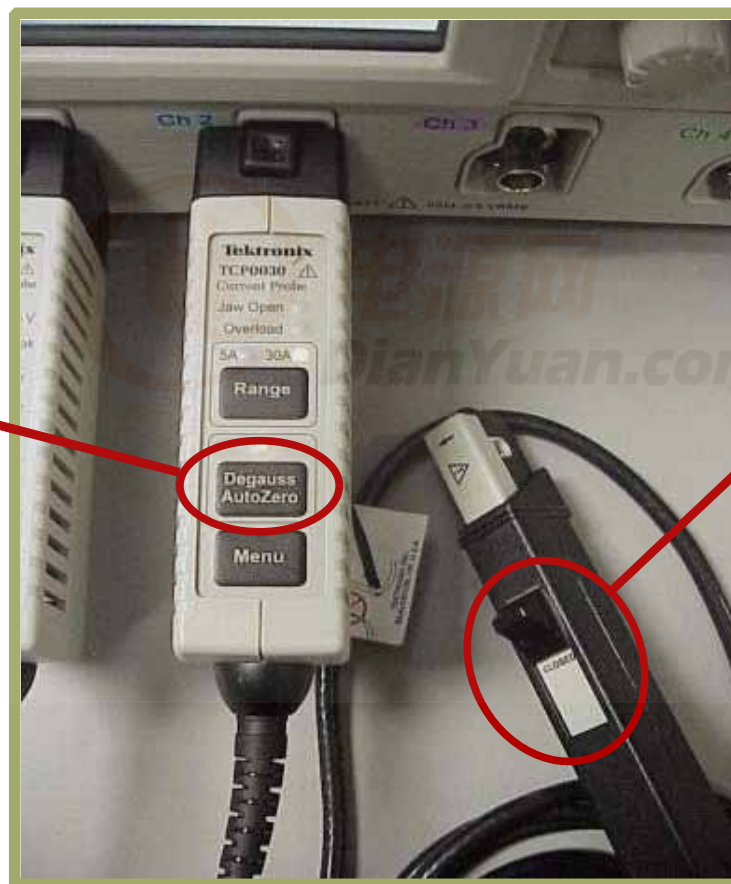


按示波器菜单中的“自动校零”功能

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

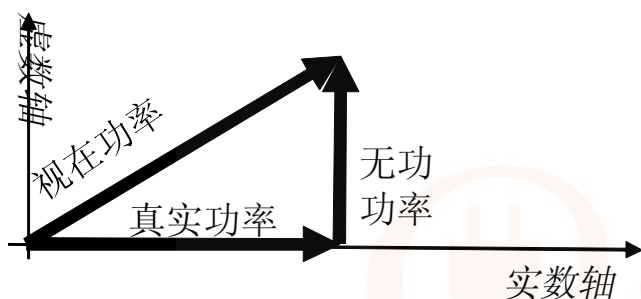
电能质量测量

- 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



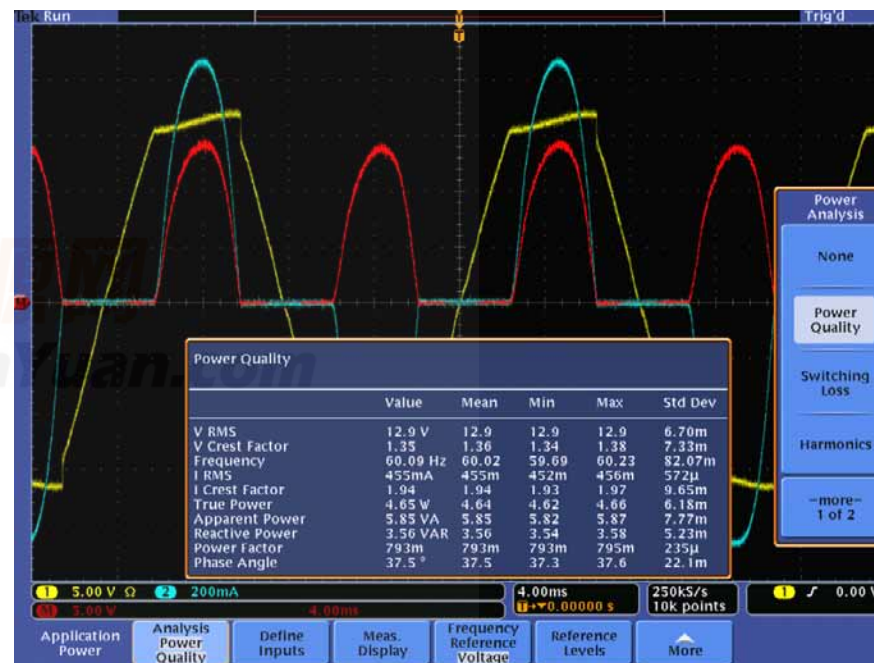
电源质量测量

- 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/DPO4000示波器

电源质量测量

AC输入电压和电流



谐波一致性测试标准

EN61000-3-2和MIL-STD-1399



BRITISH STANDARD

Electromagnetic compatibility (EMC) —

Part 3-2: Limits — Limits for harmonic

BS EN
61000-3-2:2006

MIL-STD-1399 (NAVY)
SECTION 300A
13 October 1987
SUPERSEDING
DOD-STD-1399 (NAVY)
SECTION 300
1 August 1979
(See 6.3)

ARY STANDARD

CE STANDARD FOR
DARD SYSTEMS

CTION 300A

, ALTERNATING CURRENT
(METRIC)

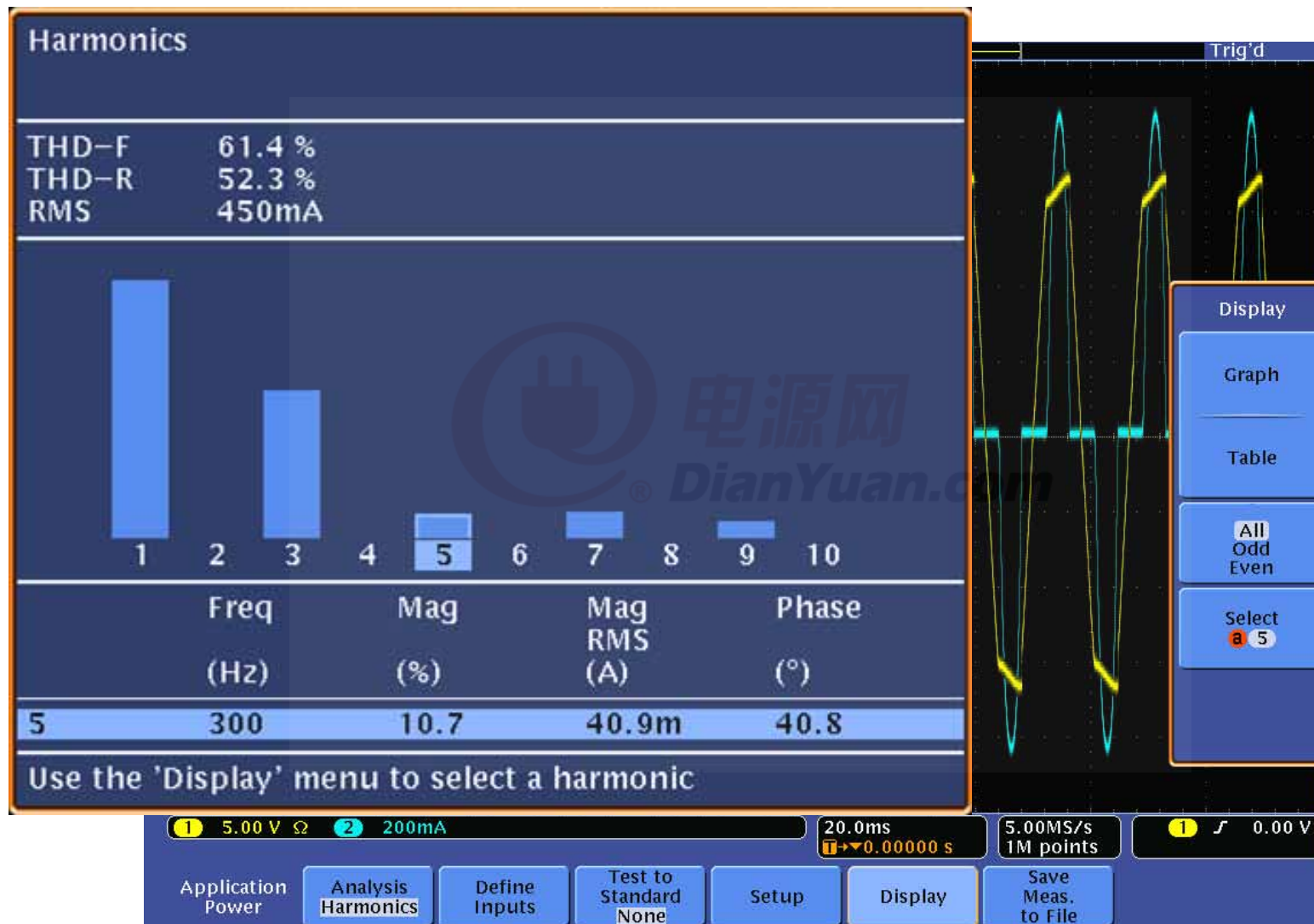


FSC 1990
public release; distribution unlimited

BSi
British Standards

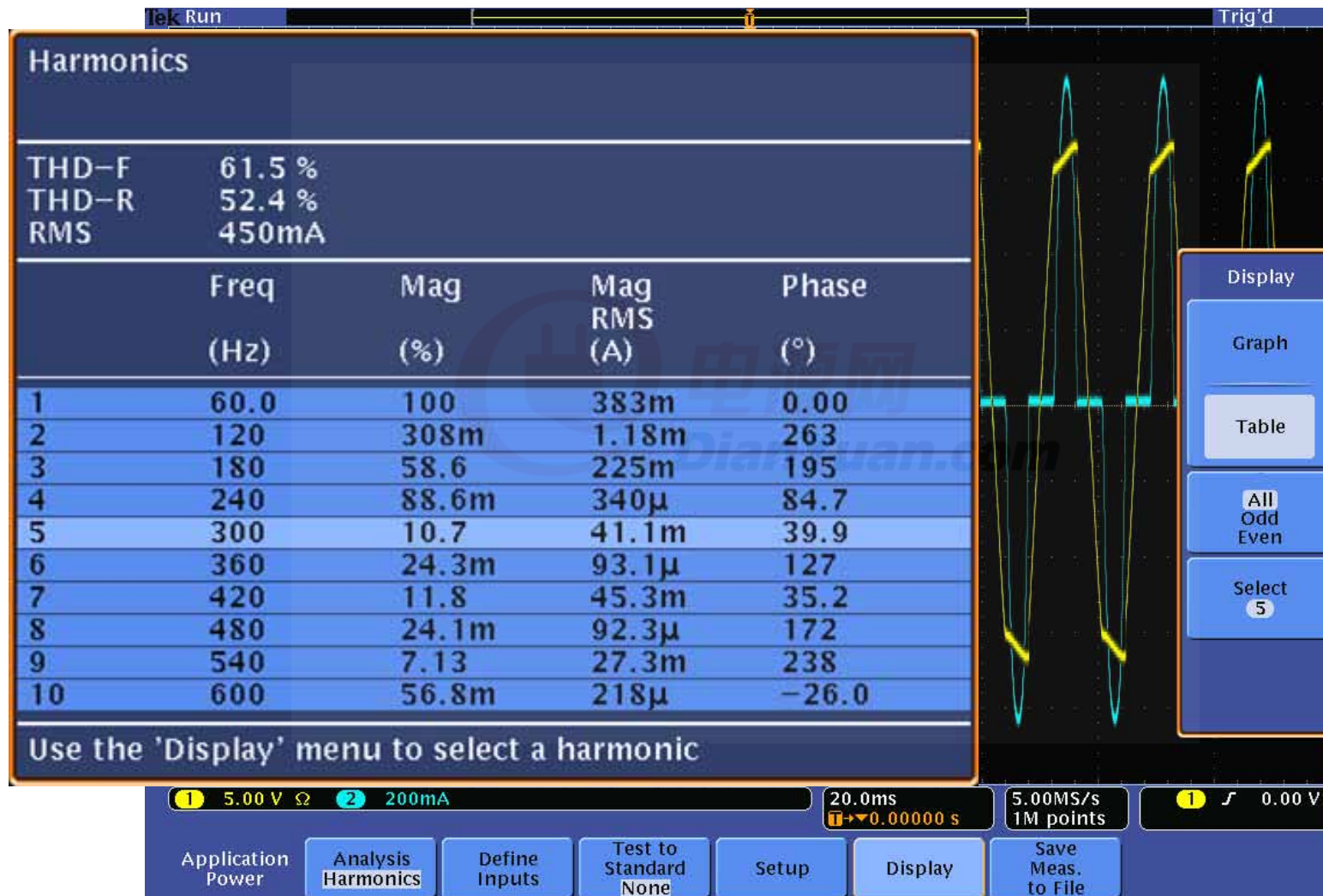
谐波测量图

AC输入

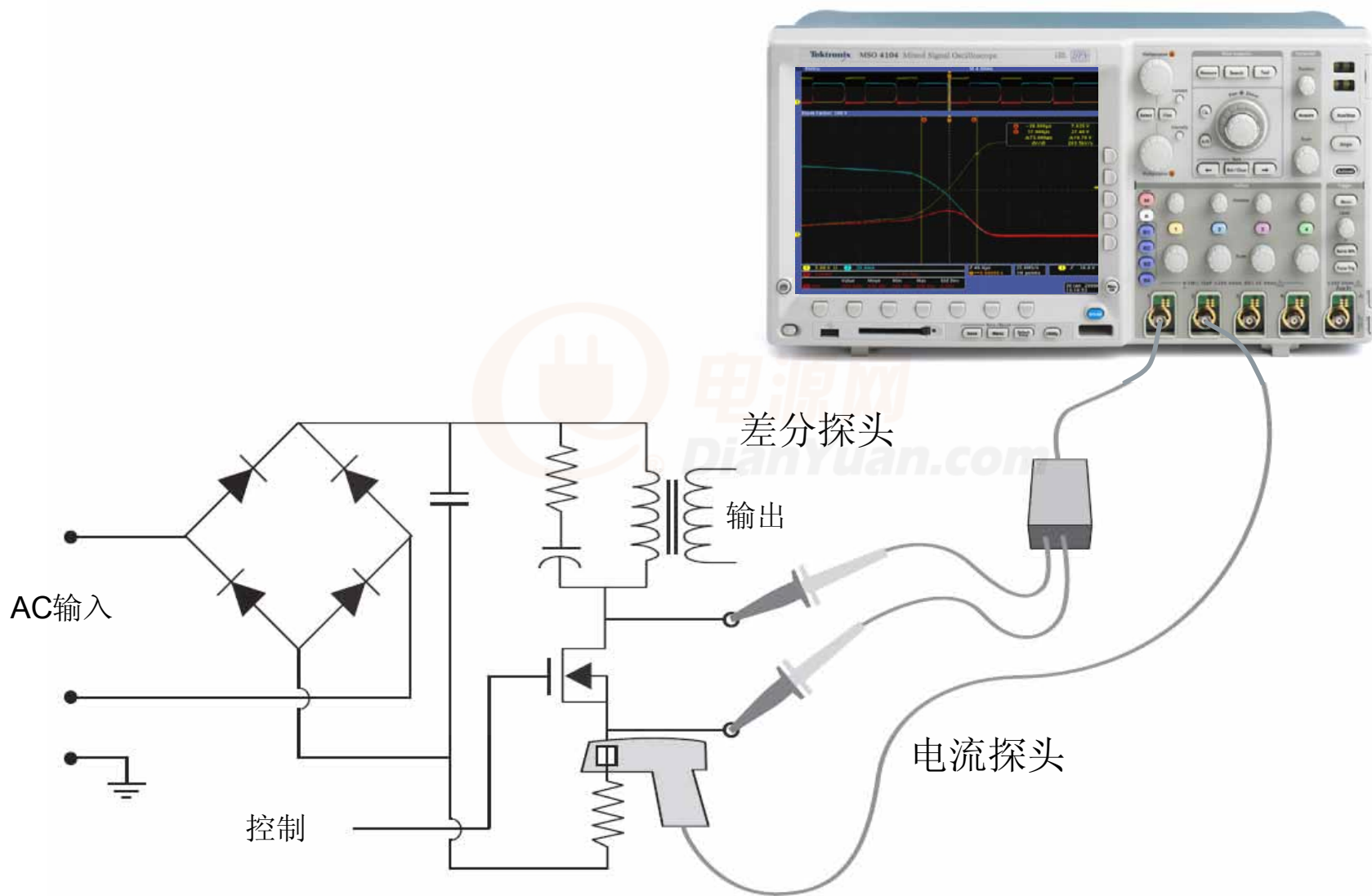


谐波测量表

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

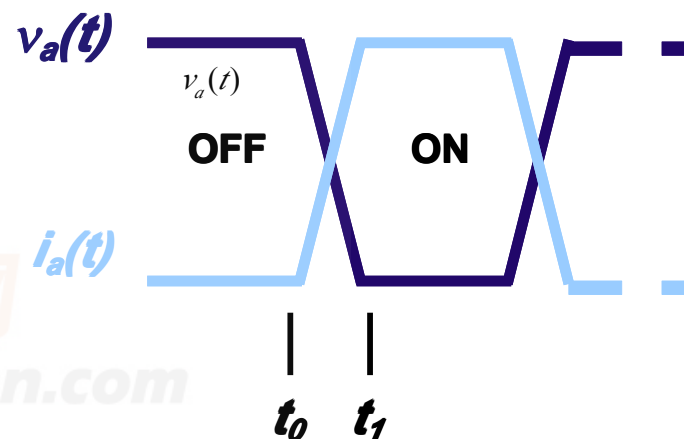
- 可以使用下面的公式估算转换过程中的能量损耗：

$$E_{on} = \int_{t_0}^{t_1} v_a(t) \cdot i_a(t) \cdot dt$$

- 其中：

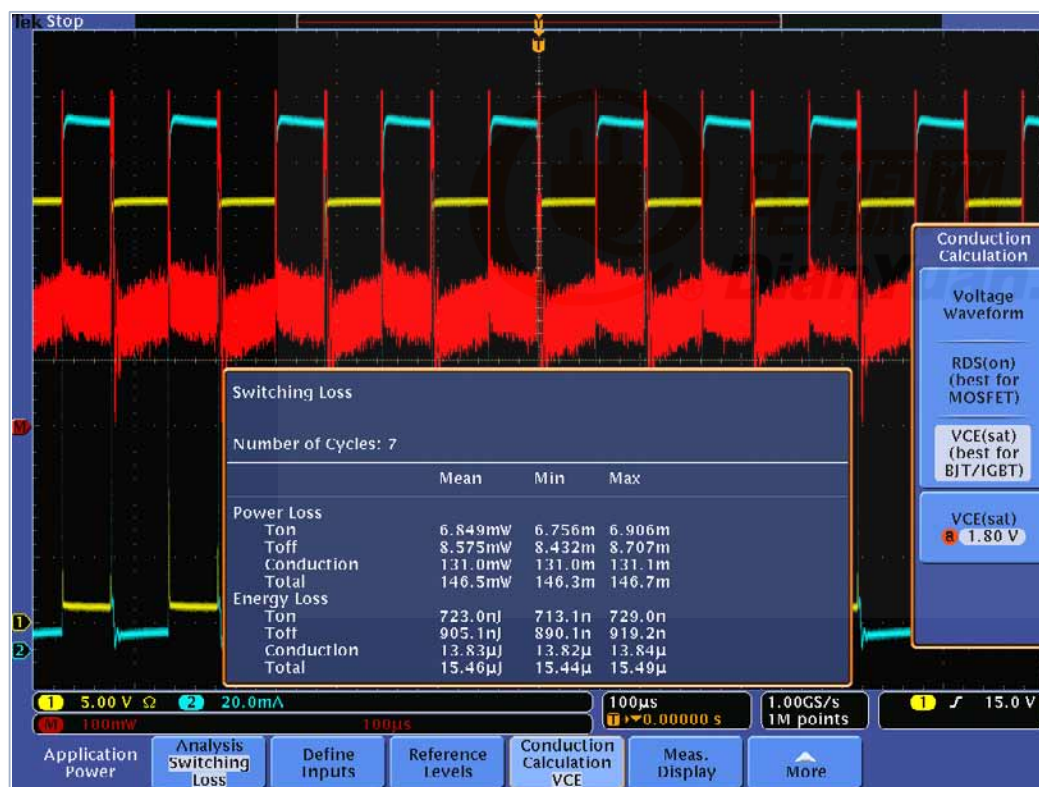
- E_{on} 是开关在转换过程中损耗的能量。
- $v_a(t)$ 是流经开关的瞬时电压。
- $i_a(t)$ 是流经开关的瞬时电流。
- t_1 是转换结束时间。
- t_0 是转换开始时间。

- 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/DPO4000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：

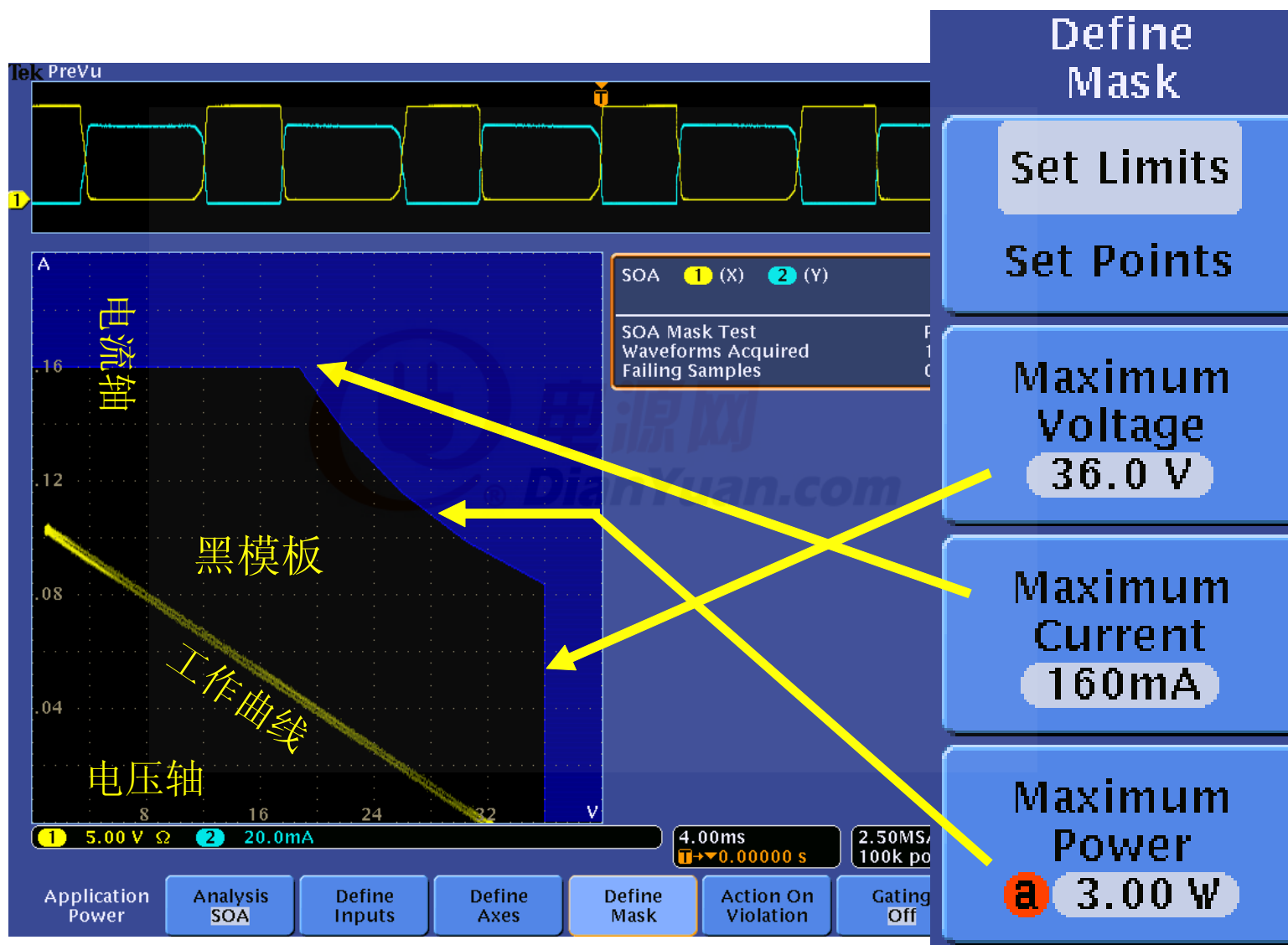
$$P_n = V_n I_n$$

- 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



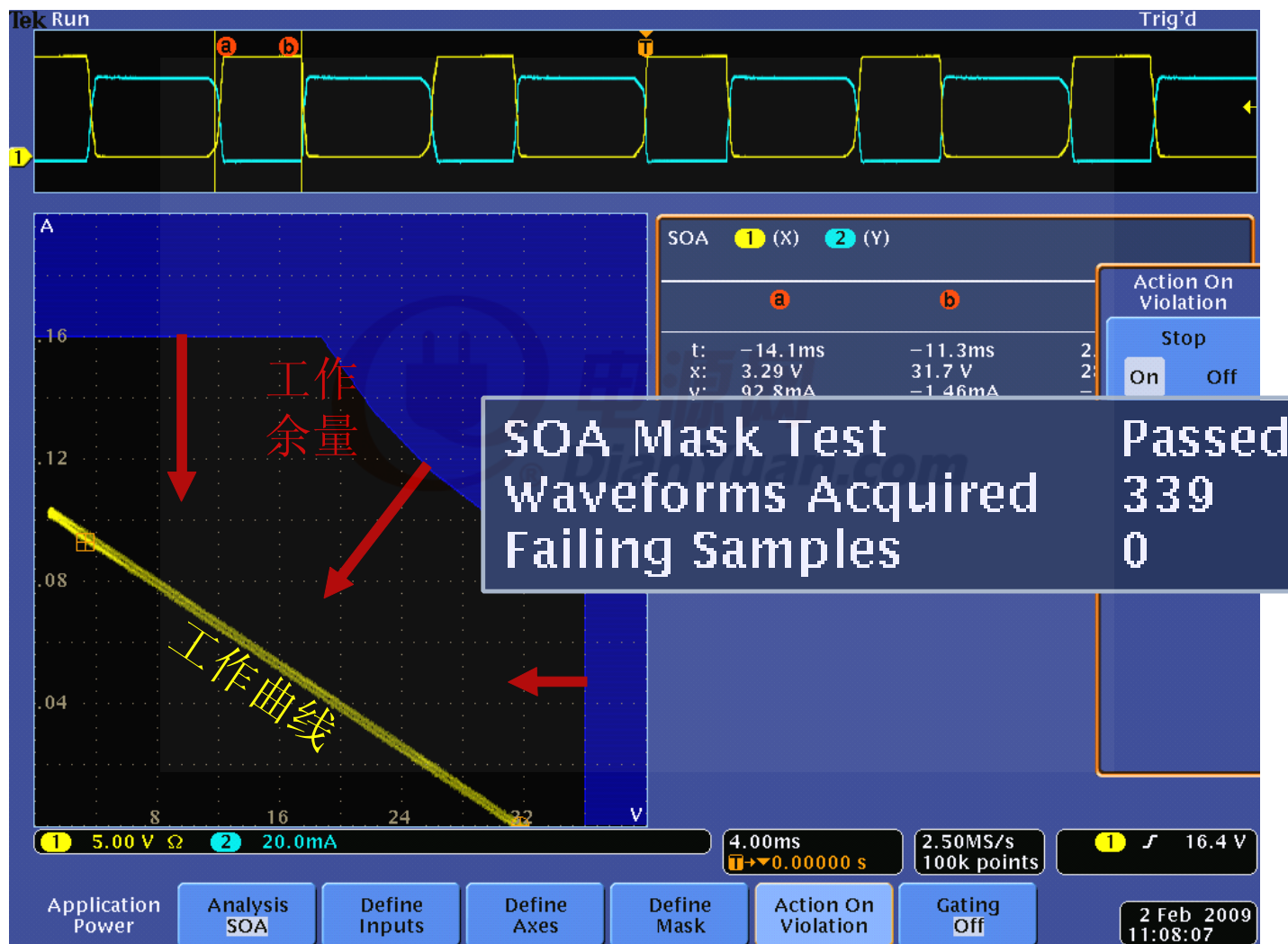
安全工作区模板测试

用户自定义模板



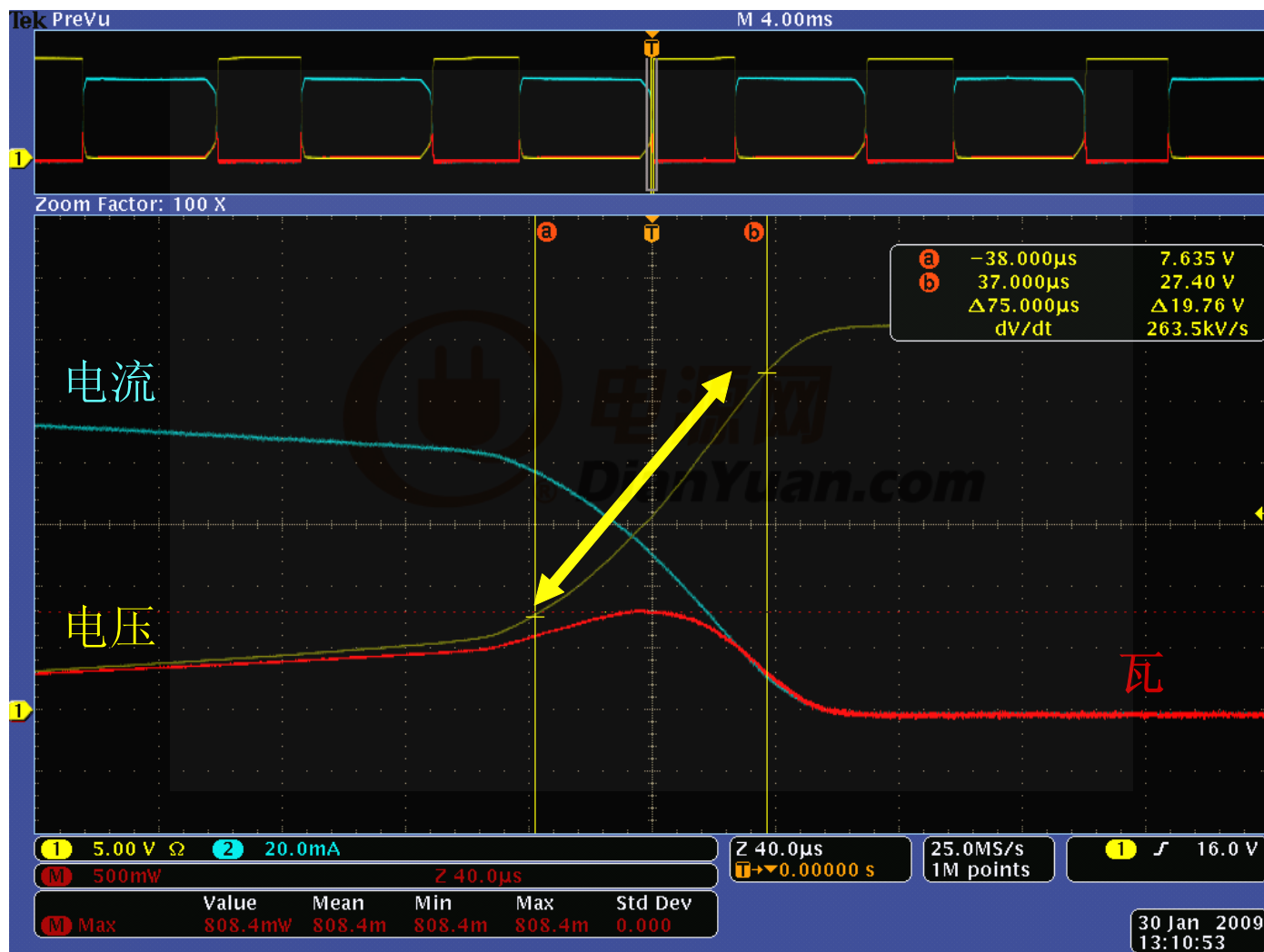
安全工作区模板测试

通过/失败结果



开关设备电压转换速率测量

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



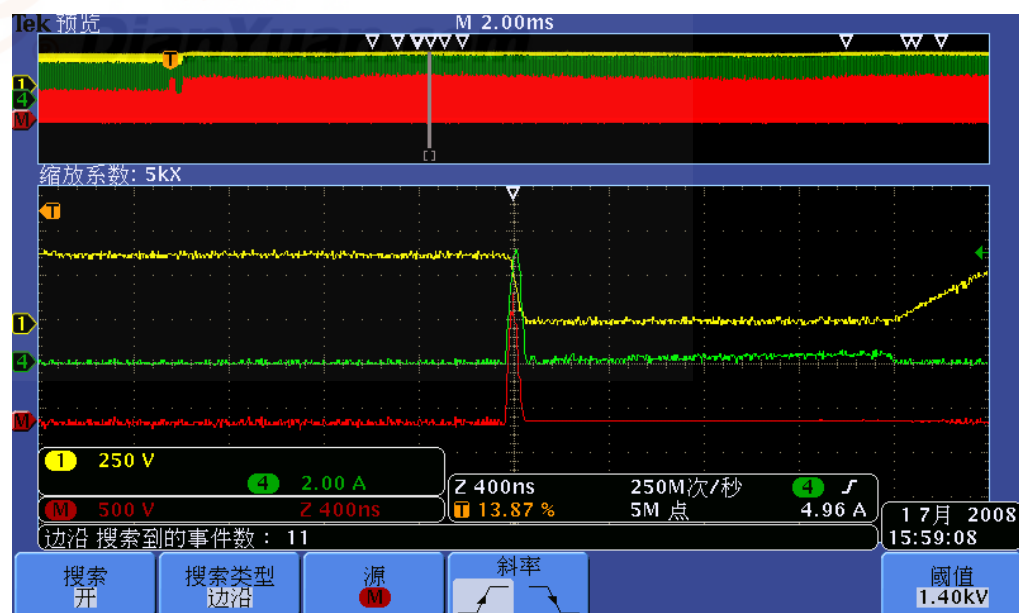
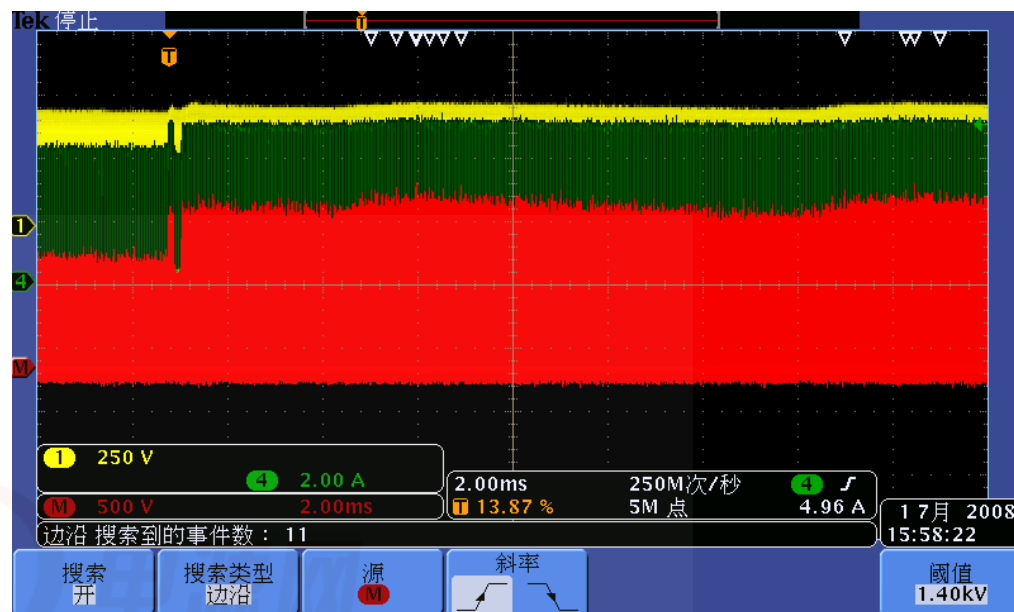
采用数学运算波形的开关功率

808.4 mW处的闭点最大功率峰值

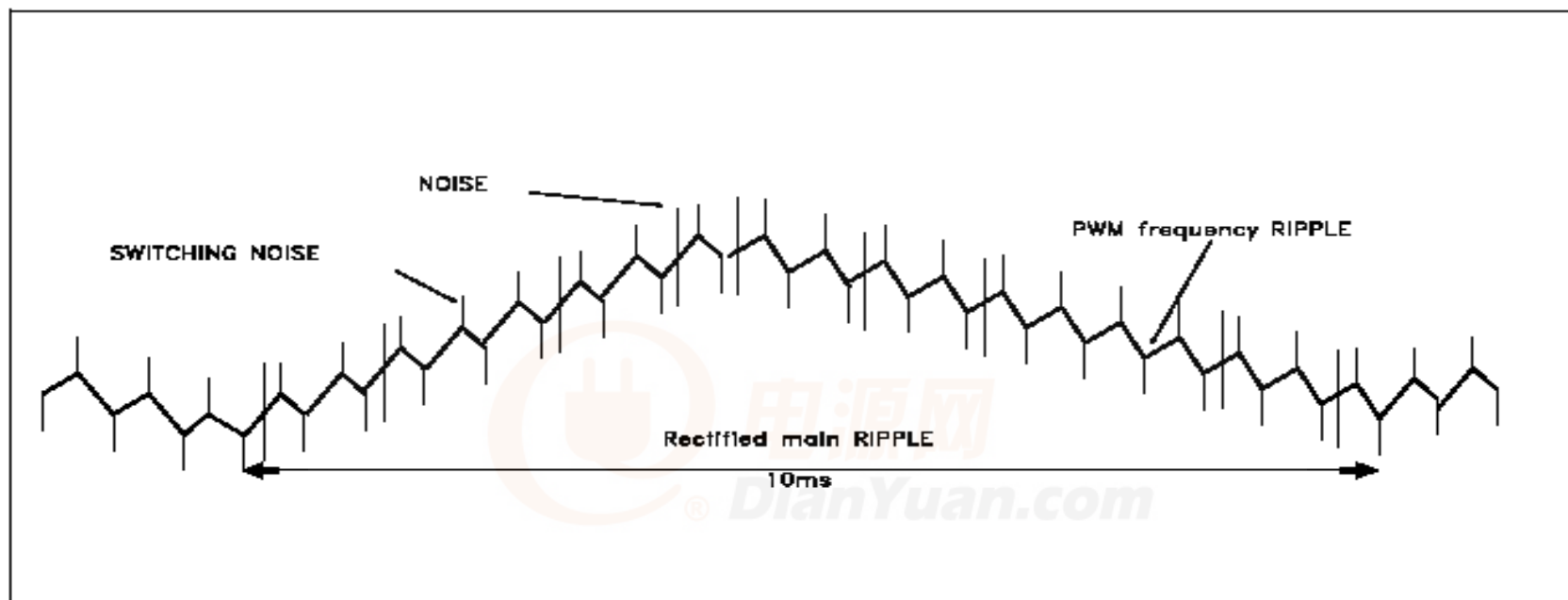


动态负载时的开关损耗

- 峰值功率定位
- 利用Wave Inspector技术捕捉负载变化事件
 - 追踪瞬态功率值
 - 将瞬态功率点与相应的时域波形对应分析
 - 放大波形细节



输出纹波测量



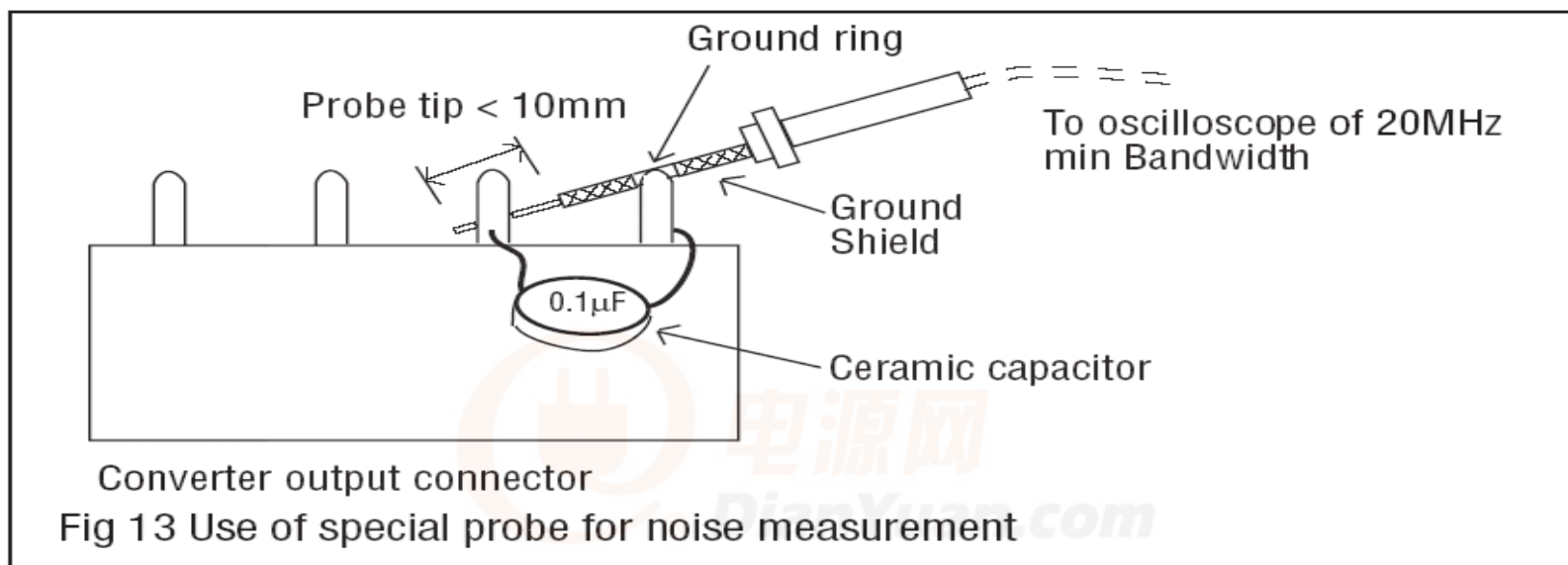
- 低频纹波：工频的2倍频（100Hz）
- 高频纹波：脉宽调制开关电路带来的纹波
- 开关噪声：与PWM信号同频的噪声
- 随即噪声：工频或者开关频率相关的噪声

输出纹波测量

- 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
- 纹波的典型值是输出电压的1—2%



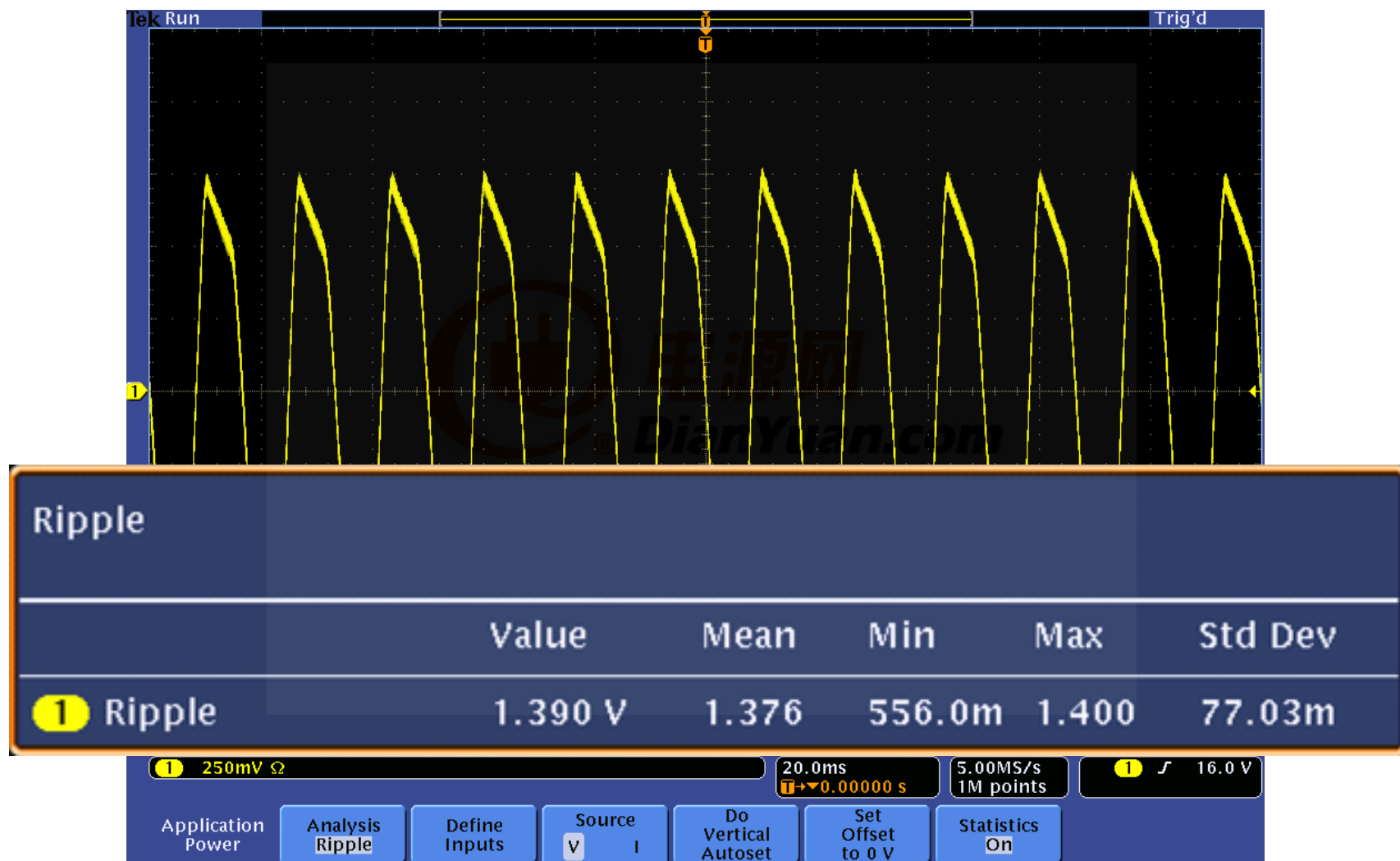
输出纹波测量 — 方法1



- 如果要带载测试，必须使用示波器探头时，必须注意：
 - 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

在DC输出上进行纹波测量

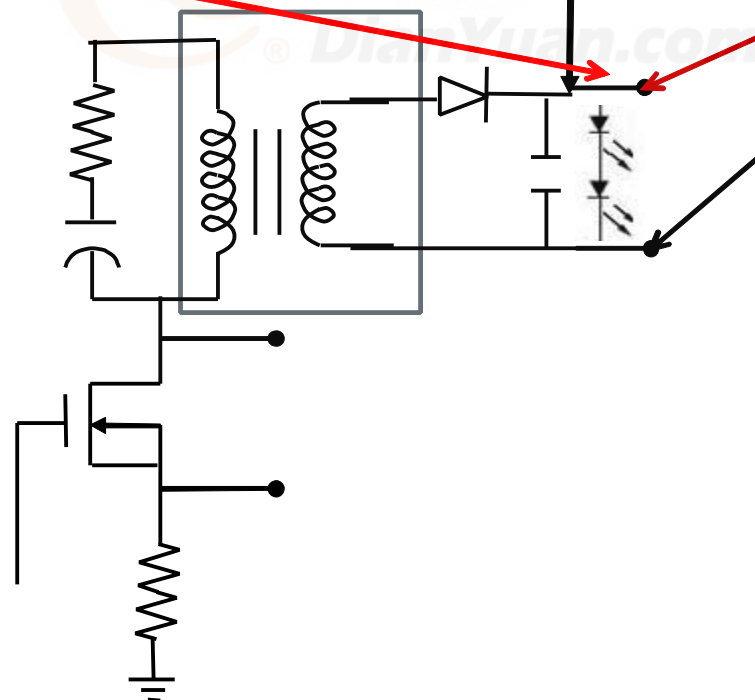
自动统计测量



LED照明的测试技术

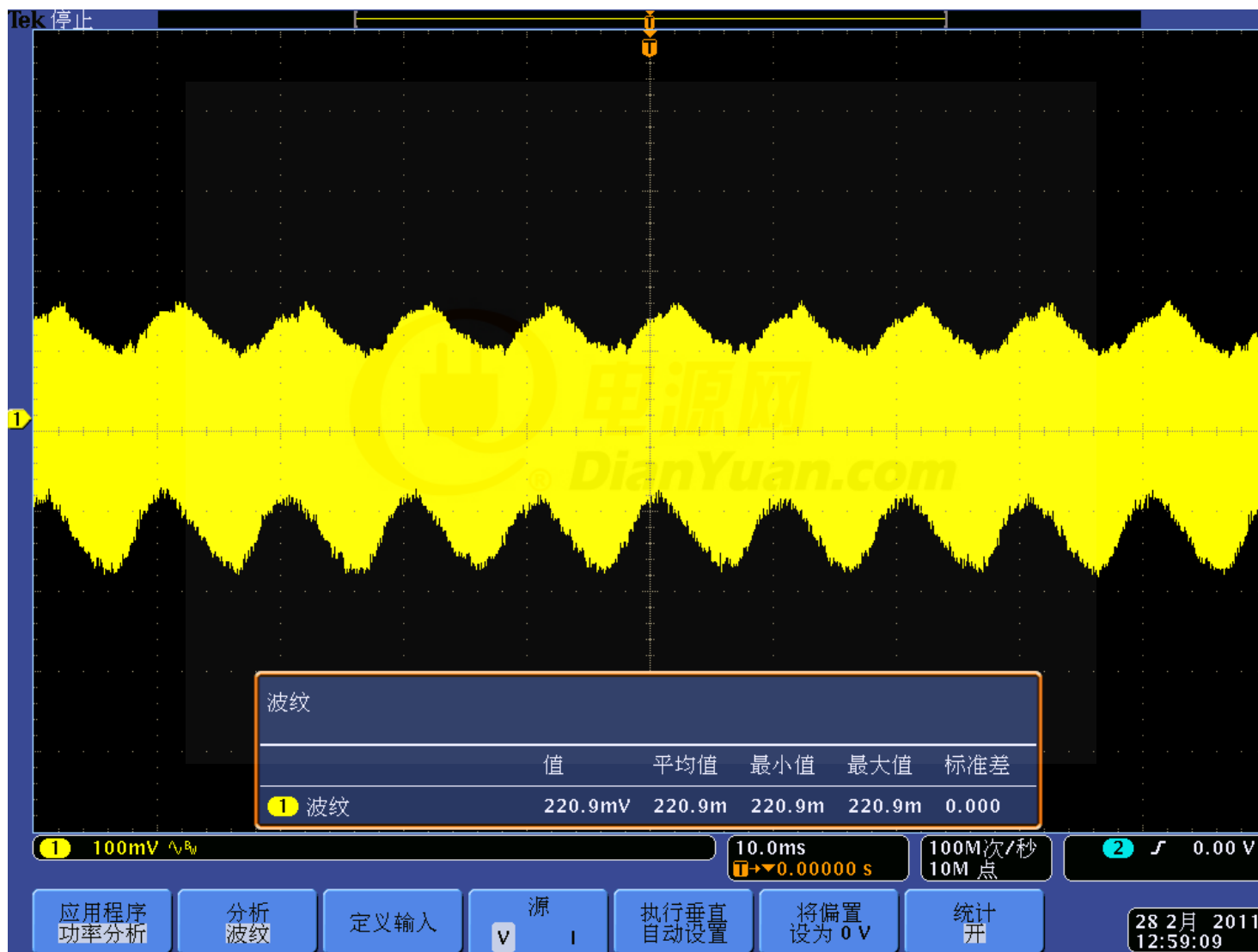


DC输出电压和电流
纹波测试
功率测试



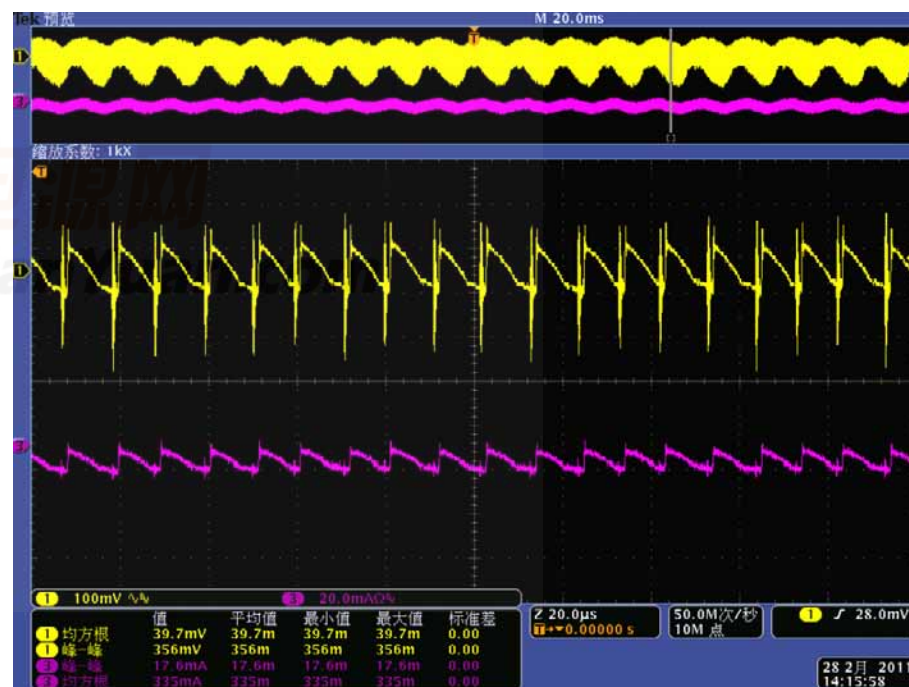
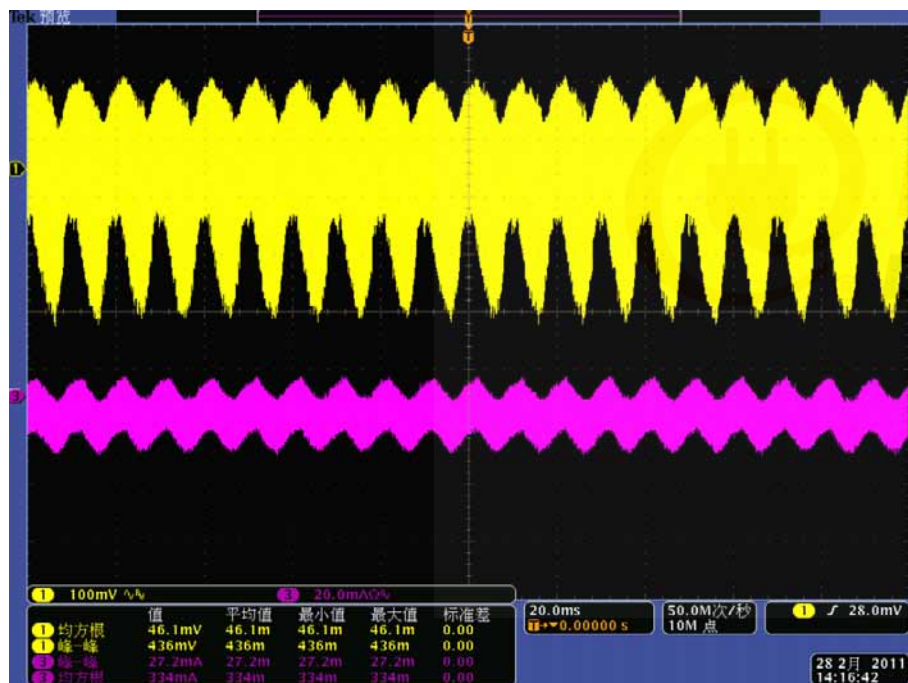
DC输出纹波电压测量

自动统计测量



DC输出纹波电流测量

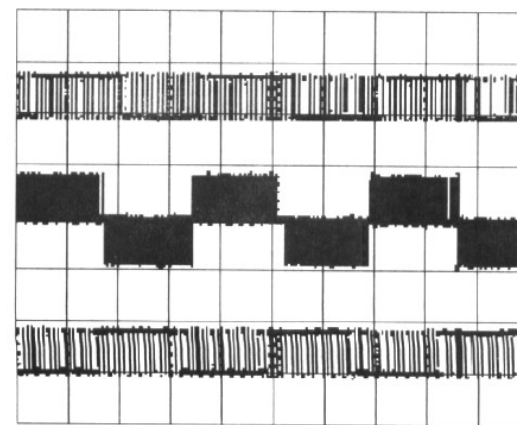
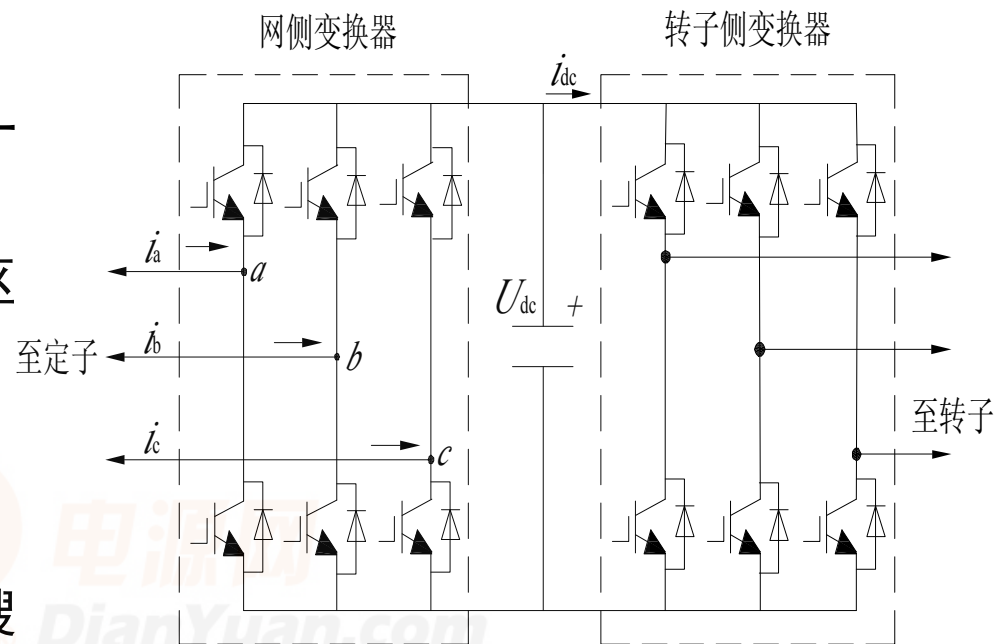
- LED的驱动一般多采用恒流驱动，才能发挥其亮度效率及色彩亮丽的优势
- LED生产商建议：纹波电流应介于正向电流的 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$
- 纹波电流越大，LED的热能损耗越大，对结温以及寿命会影响很大



CH1:电压纹波 CH3:电流纹波

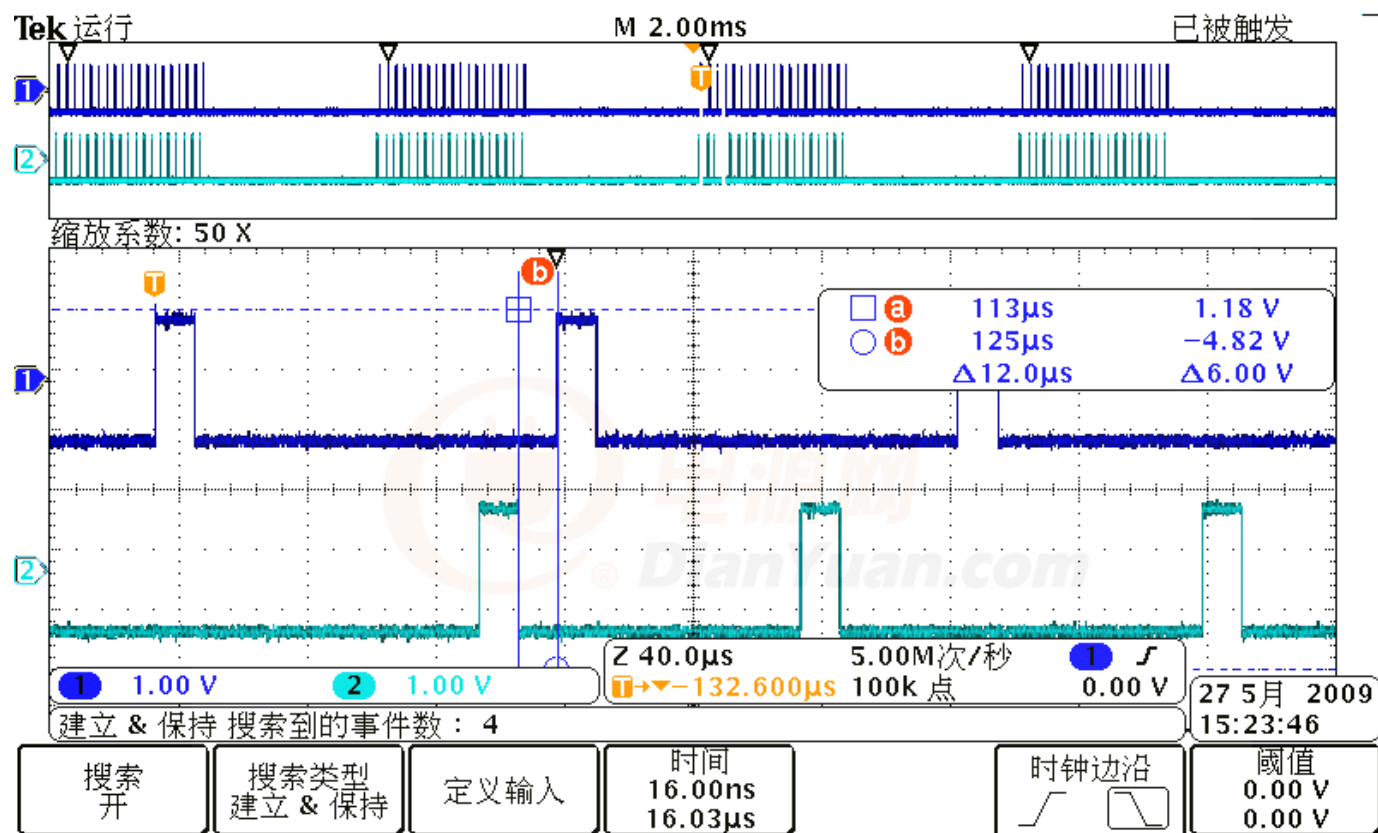
驱动脉冲测量

- 观测同组驱动脉冲时间上的一致性
- 观测同桥臂驱动脉冲间的死区互锁和保护机制是否奏效
- DPO系列示波器
- 优点：使用逻辑关系的波形搜索功能，查询长时间窗口下是否存在同时驱动同一桥臂 IGBT 的情况（CH1高且CH2也为高，或者CH1与CH2之间的死区互锁延时过短）



(a) 控制信号 PWM_1 、 PWM_3 及 $PWM_1 - PWM_3$ 的波形

驱动脉冲测量

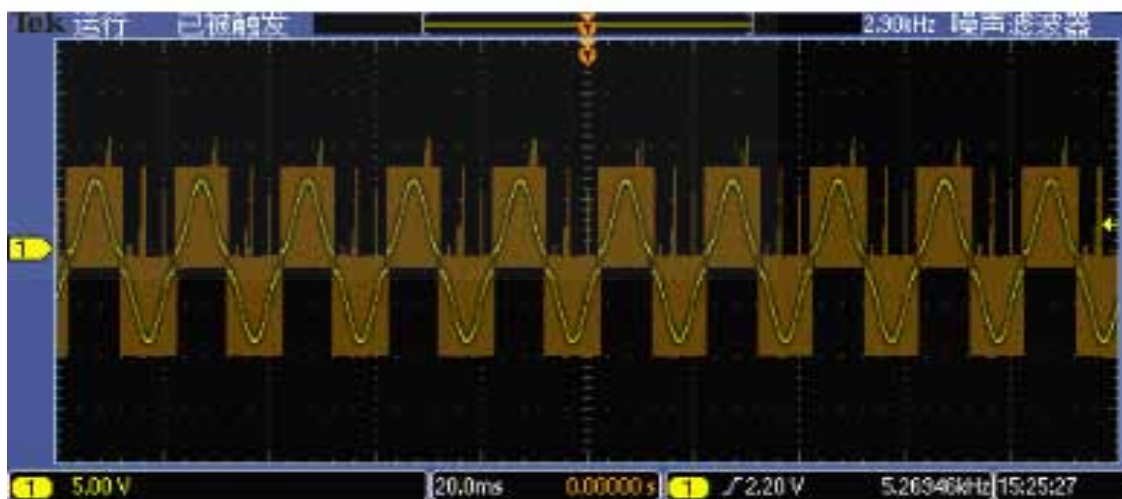
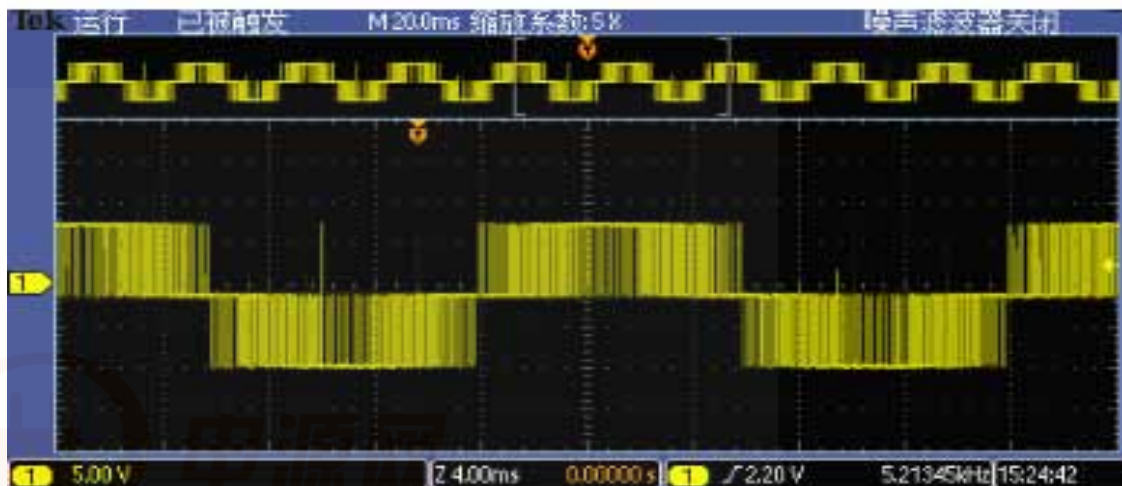


DPO3054 - 15:21:13 2009-5-27

- 使用泰克示波器独有的波形搜索功能，可以快速找到长时间范围内同一桥臂上可能存在的驱动脉冲重叠

PWM调制测试（FilterVu功能）

- SPWM、SVPWM、直接转矩控制等控制理论的本质是IGBT门级驱动按照设计规律变化
- 工程师需要测量变频输出电压与PWM信号是否一致
- 泰克方案：
- 泰克示波器独特的FilterVu功能可以滤掉输出电压信号的PWM方波波形，显示出PWM变化趋势



电源设计中的PMbus和SMbus挑战

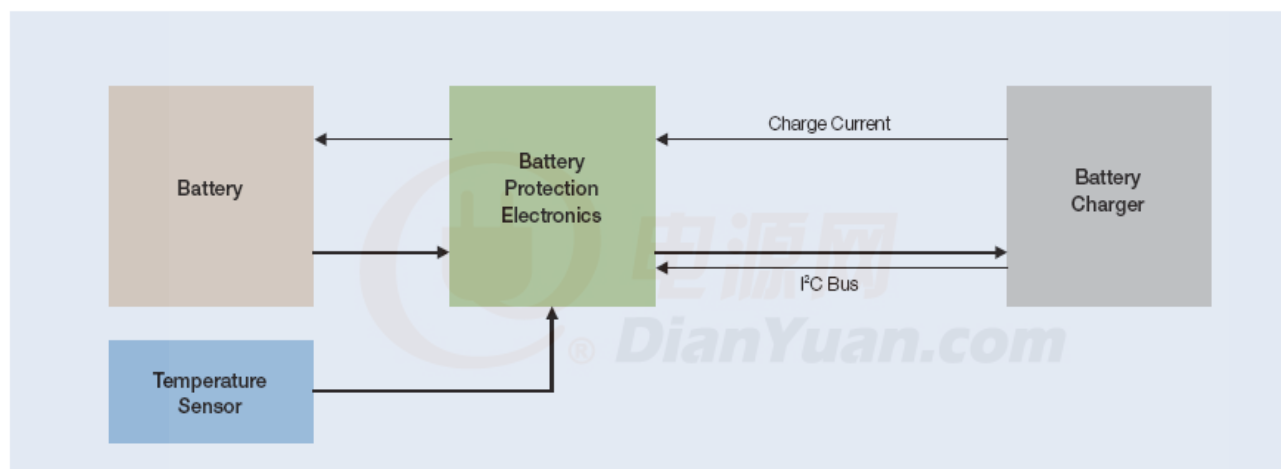
- I²C: 在1980s由飞利浦公司创立
- SMbus: 由I²C演变而来, 增加了SMBALERT中断信号线
- SBS: Smart Battery System, 基于SMbus。在1996由Intel和Duracell创立
 - 负责智能充电器、智能电池和智能选择器之间的通信
 - 监控电池的容量和条件属性
 - 设置充电器的输出电压和电流
- PMbus: Power Management bus在2004创立
 - 也是基于SMbus总线的
 - 包含可选的控制线和写保护信号线 (write-protect)
 - 允许管理和控制电源子系统

系统实例

串行通信，控制锂电池充电器

■ 概述

- 锂电池充电非常关键
- 电池温度应控制充电速度



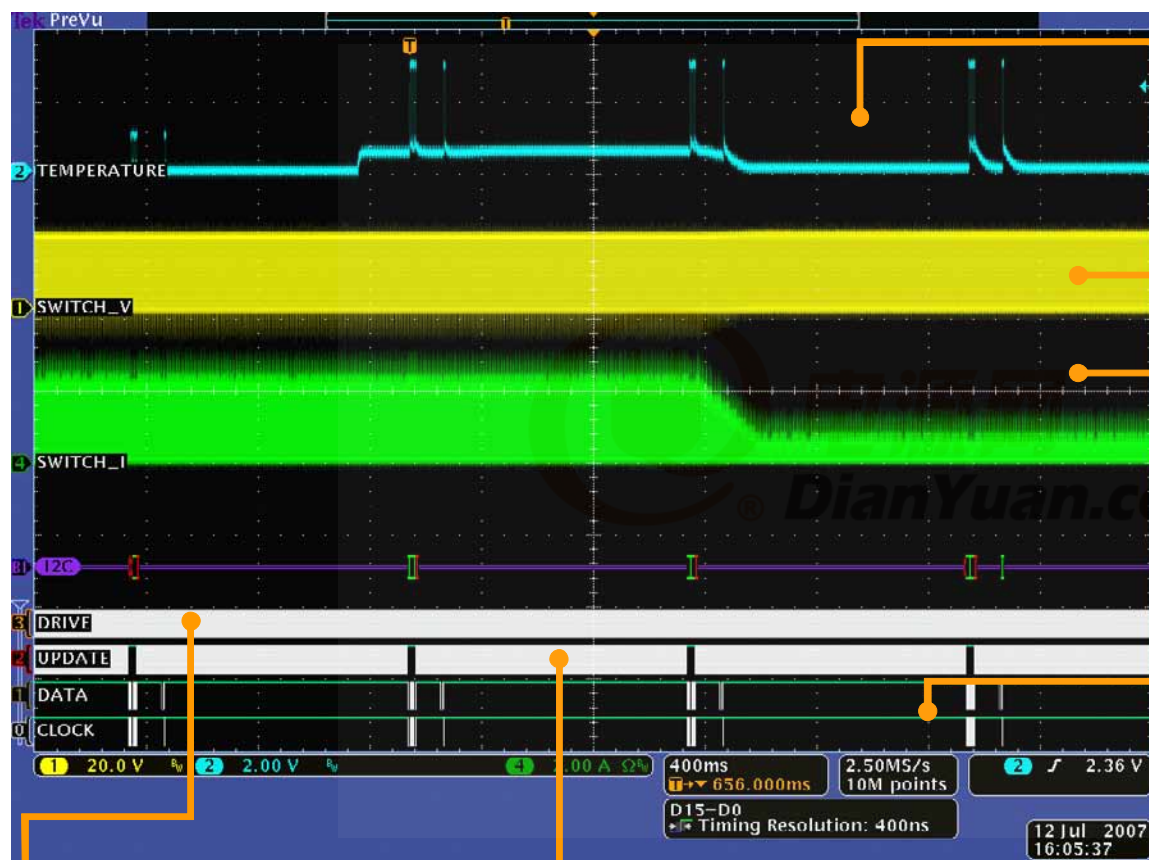
■ 目标

- 测量充电器对温度变化的响应
- 确认电流变化期间的控制稳定性

■ 挑战

- 解码I²C消息，确认读数正确
- 捕获整个电流校正周期中的数据

充电器操作概述



■ 温度

- 电池上采样的模拟读数

■ 电压和电流

- 电源晶体管的电压
- 电源晶体管的电流
- 对充电电流进行脉宽调制控制

■ 解码的I2C总线

- 通过标为“DATA”和“CLOCK”的两条数字线路监测
- 解码的数据显示在电流曲线下面，简化了通信流的调试

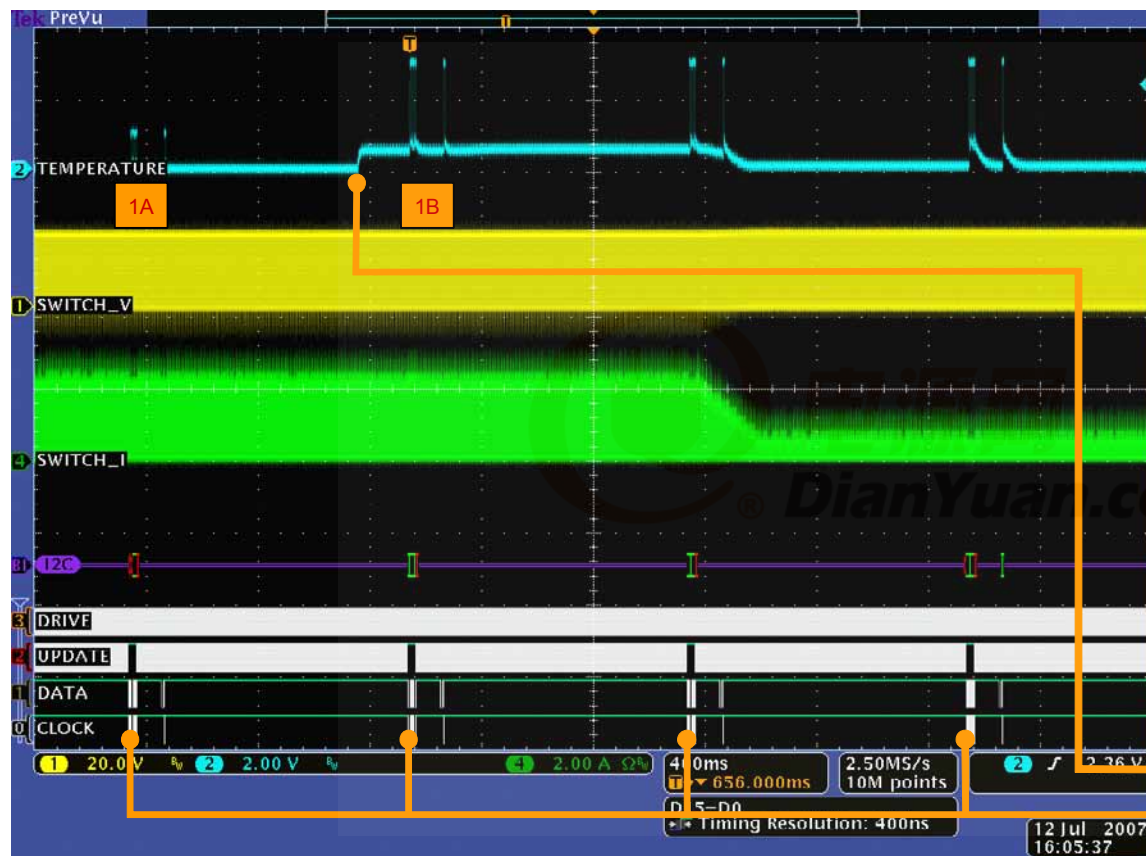
■ 数字信号

- 驱动到电源晶体管的门上

■ 临时标记

- 在微型控制器软件中插入
- 在充电器进行电流控制校正时，可以测量系统响应

在温度变化导致的电流变化期间 充电器的运行情况



- 周期
 - 屏幕显示充电器4秒中的运行情况，显示对温度变化作出响应
- 完整的视图
 - 激励 (温度)
 - 通信 (I2C)
 - 对充电器开关电源的影响 (电压和电流)
 - 监测控制环路中的线路 (更新)
- 对变化的响应
 - 温度变化
 - 由充电器读取

从初始读数中解码I²C数据



- 放大的总线解码位置
 - 一直保持查看总曲线时间
- 读命令 (0x17)
- 原来的温度值 (0x0BB8)
 - 先从低比特开始
- 还没有变化
 - 这个I²C读数是在电池保护电子器件测量新温度之前获得的
 - 因此，数据还没有变化 (0x0BB8)

在读取温度后解码I²C数据



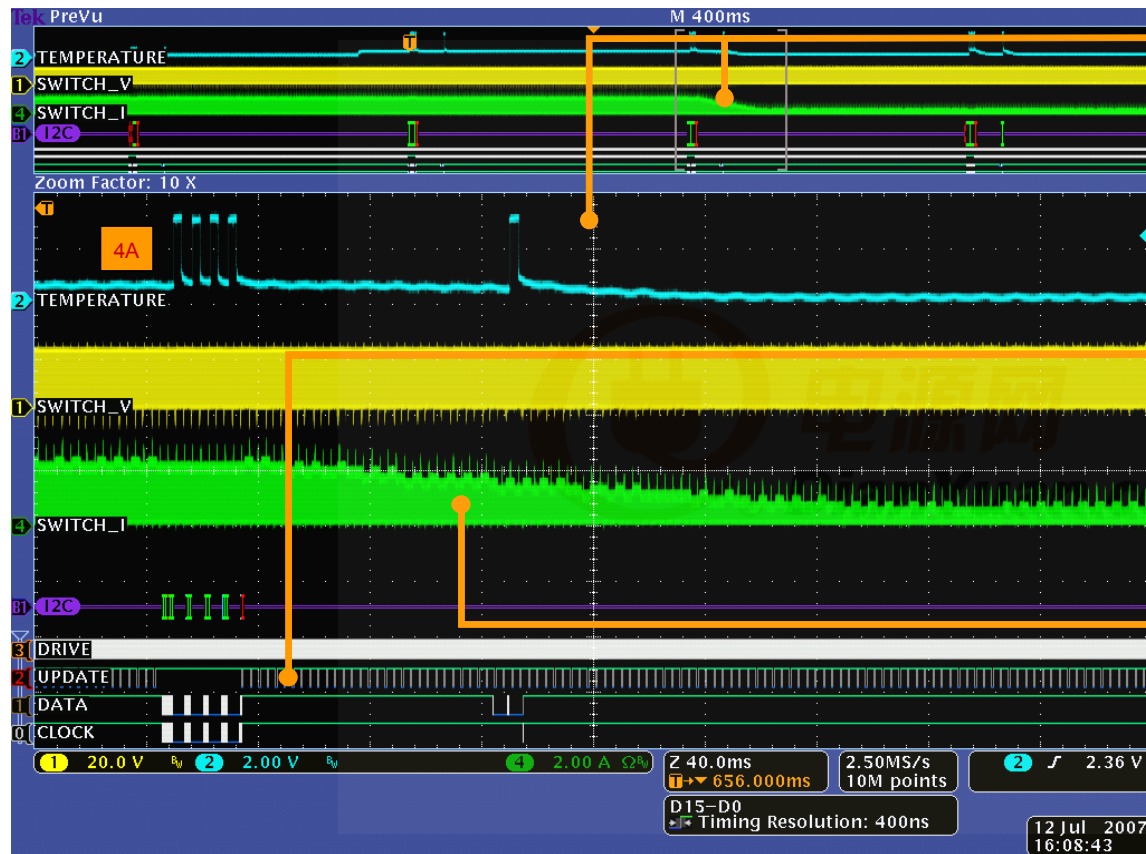
■ 下一个样点上放大的位置

— 发生在电池保护电子器件测量温度变化之后

■ 读命令 (0x17)

■ 更新的温度值 (0x08D4)

电流逐渐下降



放大的视图

- 获得I2C读数之后的周期中显示了逐渐调节电流

电流更新

- 每个“Update”脉冲会递增校正电流，直到它到达较低温度要求的新的较低值
- 从高到低平稳调节电流电平
 - ~ 10 ms间隔
 - ~ 200 ms跳变
 - 从~ 2 A变成~ 0.25 A

开关供电电流和电压波形



■ 深存储器的的好处

- 放大同一捕获数据，显示详细的电流波形和电压波形

■ 完整的视图

- 与模拟信号同时显示数字驱动信号，因此可以测量驱动延迟和开关时间
- 电流波纹测量结果显示，在电流电平从高跳变到低期间可以很好地控制电源电感器波纹

锂电池充电器应用总结

- 实现的目标
 - 测量充电器对温度变化的响应
 - 在温度变化大约**200**毫秒后电流变化
 - 解码的**I²C**数据正确显示了温度
 - 确认电流变化期间的控制稳定性
 - 电流从**2A**平稳变成**0.25 A**
- 我们了解了哪些内容
 - 示波器的**I²C**解码功能对观察采用该通信系统的系统具有重要意义
 - 单一采集显示了整个变化周期，同时也显示了开关电源的详细运行情况

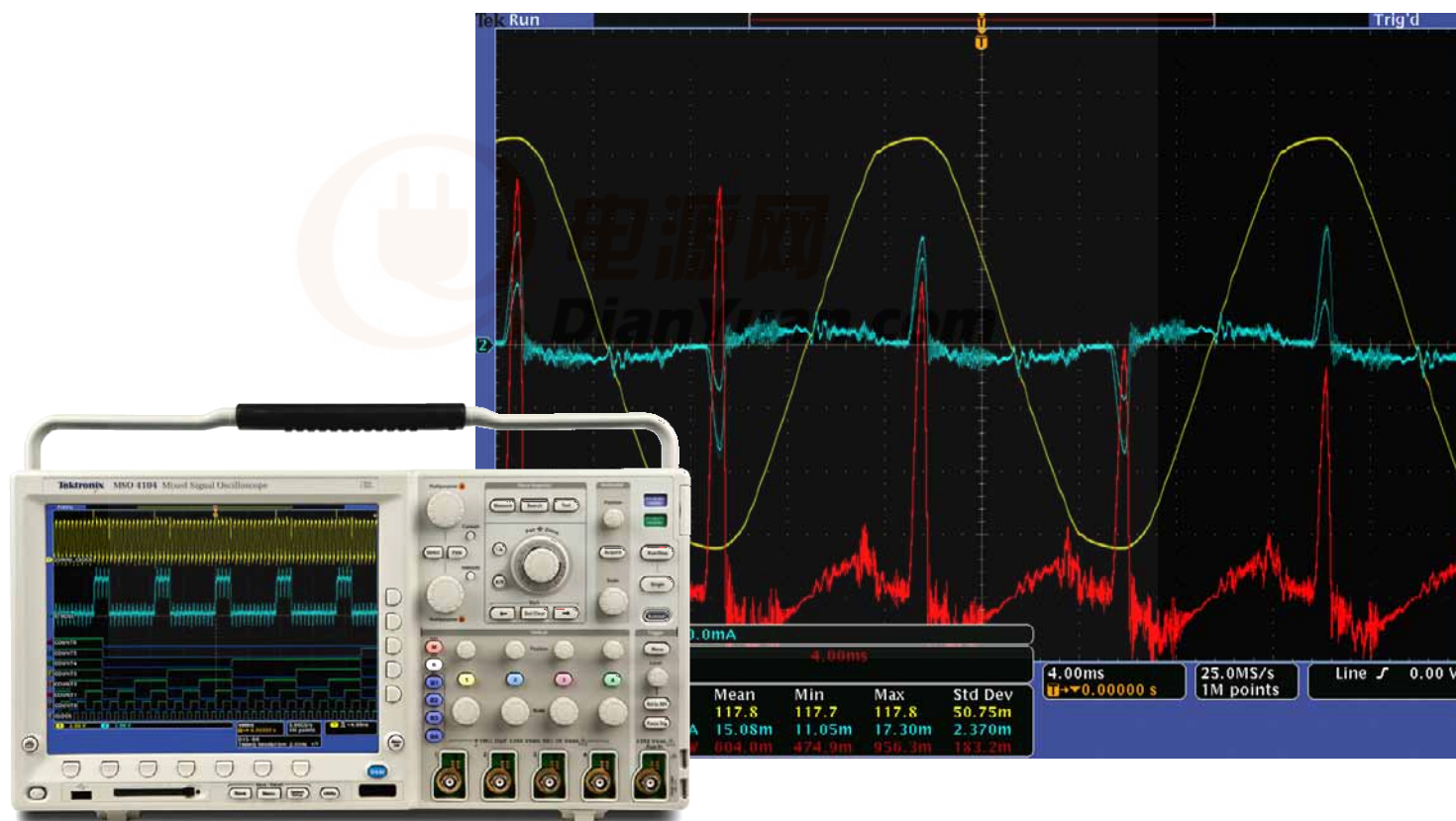
节能设计:减小待机电流

- 待机功率是电子产品在关机状态下消耗的能量
- 测量待机功率需要长时间测量很小的电压、电流信号



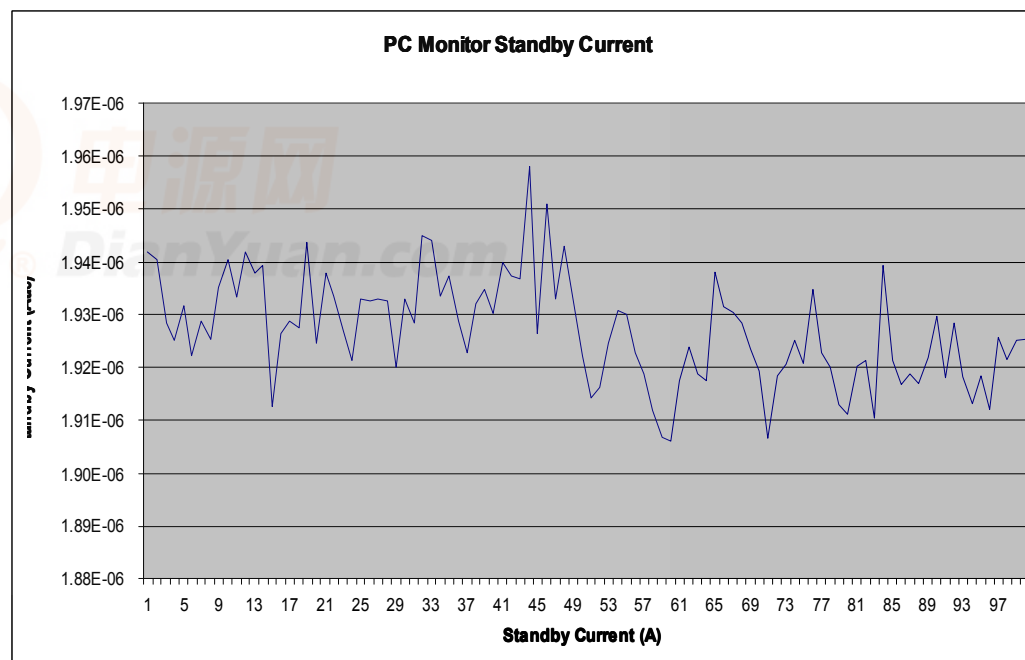
AC 待机功率测量

- 测量设备进入待机状态或离开待机状态的过程，示波器是最好的测试工具



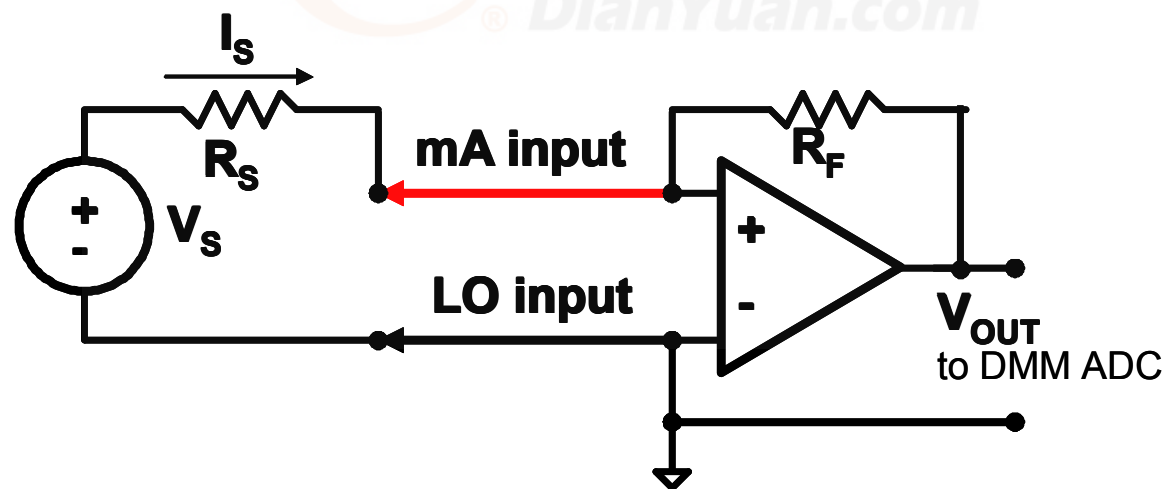
AC 待机状态测试

- 在待机状态中，使用数字多用表是理想的选择
- 泰克DMM4000数字多用表独有的趋势绘图功能方便长时间监测



nA级别的 DC电流测量

- 对于高精度的测试，需要DMM具有nA级的电流测试能力。
- DMM4020使用低阻抗运算放大器，将未知的电流转化为电压，降低了由于分流电阻带来的负载压降误差
- 具有1nA分辨率， 准确度 $\pm (0.03\% \text{ 读数} + 0.005\% \text{ 量程})$
- 测量电池供电设备在待机状态下的泄漏电流
- 敏感电路和器件的泄漏电流测试



电流探头
TCP0030
TCPA300+TCP312
TCP202



DPO3000

电压探头
P5200、P5205
P2221、TPP0502
THDP0100/0200



DPO2000

Tektronix的电源
测试方案
及特点

PWR电源测量
和分析模块



DPO4000



DMM4000



AFG3021B

MSO/DPO系列示波器



Features	MSO/DPO5000 Series	NEW MDO4000 Series	MSO/DPO4000B /LSeries	MSO/DPO3000 Series	MSO/DPO2000 Series
Bandwidth	350 MHz to 2 GHz	500 MHz to 1 GHz	350 MHz to 1 GHz	100 MHz to 500 MHz	100 MHz to 200 MHz
Sample Rate	5 GS/s to 10 GS/s	2.5 GS/s to 5 GS/s	2.5 GS/s to 5 GS/s	2.5 GS/s	1 GS/s
Channels	4 analog 16 digital (MSO)	4 analog, 16 digital, 1 RF	2, 4 analog, 16 digital (MSO)	2, 4 analog, 16 digital (MSO)	2, 4 analog, 16 digital (MSO)
Record Length (Max)	12.5M – 250 M	20 M	20 M/5M	5 M	1 M
Display Size	10.4 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	9.0 inch, WVGA color	7.0 inch, WQVGA color
Parallel Bus Analysis	Yes (MSO Series)	Yes	Yes (MSO Series)	Yes (MSO Series)	Yes (MSO Series)
Optional Serial Bus Analysis	I ² C, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART, and USB 2.0,	I ² C, SPI, USB, Ethernet, CAN, LIN, FlexRay, RS-232/422/485/ UART, MIL-STD-1553,I2S/LJ/RJ/TDM	I ² C, SPI, USB, Ethernet, CAN, LIN, FlexRay, RS-232/422/485/ UART, MIL-STD-1553,I2S/LJ/RJ/TDM	I ² C, SPI, CAN, LIN RS-232/422/485/UART, I ² S/LJ/RJ/TDM	I ² C, SPI, CAN, LIN RS-232/422/485/UART
Optional Analysis Packages	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, HDTV and Custom Video	Power Analysis, HDTV and Custom Video	FilterVu™ Variable Low-pass Filter

Tektronix

更新！P5200A系列高压差分探头



Characteristic	P5200A	P5202A	P5205A	P5210A	P5201
Attenuation	50X / 500X	20X / 200X	50X / 500X	100X / 1000X	20X / 200X
Differential Voltage	500X: ± 1300 V	200X: ± 640 V	500X: ± 1300 V	1000X: ± 5600 V	200X: ± 1400 V
	50X: ± 130 V	20X: ± 64 V	50X: ± 130 V	100X: ± 560 V	20X: ± 140 V
Common Mode Voltage	± 1300 V	± 640 V	± 1300 V	± 5600 V	± 1400 V
Maximum Input Voltage-to-Earth	1000 V CAT II	450 V CAT I 300 V CAT II	1000 V CAT II	2300 V CAT I 1000 V CAT III	1000 V CAT III
Bandwidth	50 MHz	100 MHz	100 MHz	50 MHz	25 MHz
Rise Time	<7 ns	<3.5 ns	<3.5 ns	<7 ns	<14ns
Input Impedance between each Input and Ground	5 M Ω , 4 pF	2.5 M Ω , 4 pF	5 M Ω , 4 pF	20 M Ω , 5 pF	4 M Ω , 5.5 pF
Differential Input Impedance	10 M Ω , 2 pF	5 M Ω , 2 pF	10 M Ω , 2 pF	40 M Ω , 2.5 pF	
Typical CMRR	DC: >80 dB 100 kHz: >60 dB 3.2 MHz: >30 dB 50 MHz: >26 dB	DC: >80 dB 100 kHz: >60 dB 3.2 MHz: >40 dB 50 MHz: >30 dB			50 Hz: >80 dB 20 kHz: >60 dB
Cable Length	1.8 m				1.5 m
Termination	BNC	TEKPROBE	TEKPROBE	TEKPROBE	BNC

更新 ! 高压探头



	P5100A	P6015A	P5122	TPP0850	P5150
Bandwidth	500 MHz	75 MHz	200 MHz	800 MHz	500 MHz
Input Impedance	40 MΩ / 1.5 pF	75 MΩ / 3 pF	100 MΩ / 4.0 pF	40 MΩ / 1.5 pF	40 MΩ / 3.8 pF
Maximum Voltage	2.5 kV Peak, 1000 V RMS CAT II	20 kV	1000 V RMS CAT II	2.5 kV Peak, 1000 V RMS CAT II	2.5 kV Peak, 1000 V RMS CAT II
Attenuation	100X	1000X	100X	50X	50X
Connectivity	BNC	BNC	BNC	BNC	BNC
Rise Time	<700 ps	4.0 ns	2.2 ns	<525 ps	<700 ps

电流探头



	A622	TCP0030	TCP0150	TCP202	TCP303 W TCPA300	TCP305 W TCPA300	TCP312 W TCPA300	TCP404XL W TCPA400
上升时间	3.5 uS	< 2.92 nS	< 17.5 nS	< 7 nS	< 23 nS	< 7 nS	< 3.5 nS	< 175 nS
带宽	100 kHz	120 MHz	20 MHz	50 MHz	15 MHz	50 MHz	100 MHz	2 MHz
最大电流DC / RMS / Peak AC	100A / 70.7 A / 100 A	30 A / 30 A / 42 A	150 A / 150 A / 212 A	15 A / 10.6 A / 15 A	150 A / 150 A / 212 A	50 A / 35.4 A / 50 A	30 A / 21.2 A / 30 A	750 A / 500 A / 750 A
最小电流	10 mA	1 mA	5 mA	10 mA	5 mA	5 mA	1 mA	1 mA
说明（接口）	BNC	VPI	VPI	TEKPROB E	BNC,TEKPROB E	BNC,TEKPRO BE	BNC,TEKPRO BE	BNC,TEKPROBE

AFG3000函数信号源产品

	AFG3011	AFG3021B	AFG3022B	AFG3101	AFG3102	AFG3251	AFG3252
通道数量	1	1	2	1	2	1	2
标准波形	正弦波, 方波, 脉冲, 锯齿波, 噪声, sin(x)/x, 指数上升/下降, 高斯, 罗伦兹, Haversine, DC						
正弦	1 μHz - 10 MHz	1 μHz - 25 MHz	1 μHz - 100 MHz		1 μHz - 240 MHz		
方波	1 μHz - 5 MHz	1 μHz - 12.5 MHz	1 μHz - 50 MHz		1 μHz - 120 MHz		
脉冲	1 mHz - 5 MHz	1 mHz - 12.5 MHz	1 mHz - 50 MHz		1 mHz - 120 MHz		
其它	1 μHz - 100 kHz	1 μHz - 250 kHz	1 μHz - 1 MHz		1 μHz - 2.4 MHz		
任意	1 mHz - 5 MHz	1 mHz - 12.5 MHz	1 mHz - 50 MHz		1 mHz - 120 MHz		
垂直分辨率	14位	14位	14位		14位		
波形存储器	128K	128K	128K		128K		
采样率	250 MS/s	250 MS/s	高达1 GS/s		高达2 GS/s		
幅度 (50Ω)	20 mV to 20 Vpp	10 mV - 10 Vpp	20 mV - 10 Vpp		50 mV to 5V _{pp}		
调制	AM, FM, PM, FSK, PWM, 扫描, 突发						
远程接口	USB, GPIB, LAN						

数字万用表——DMM4000系列

轻松完成精密多功能测量与分析



		DMM4020	DMM4040	DMM4050
分辨率		5.5	6.5	6.5
准确度		0.015%	0.0035%	0.0024%
高级测量/功能		2x4 线电阻测量, 频率	2x4 线电阻测量, 频率, 周期	2x4 线电阻测量, 频率, 周期, 电容, 温度
分析		极限对比	极限对比, TrendPlot™, 直方图, 统计	
显示		双显: 数字	双显: 数字与图形	
外部存储		没有	USB	USB
连接性		RS232 & USB 转接	LAN, GPIB, RS232 & USB 转接	
传送速度 （读数/秒）		100	1000	
保修期		3 years		
软件		NI LABVIEW SignalExpress Tek 版本		

完美的测试平台

助您轻松应对调试复杂设计





谢谢！



更多资料请访问：www.tektronix.com