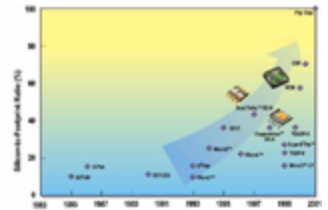


# 创新的自动功率电子分析与测试方案



# 开关电源 (SMPS) 技术的发展趋势

- 效率越来越高
- 功率密度越来越高
- 瞬时负荷
- 低电压，高电流
- 宽带供电技术
- 符合 EN61000-3-4 A14 标准



# 开关电源设计中的挑战

- 提升开关电源效率
  - 降低开关损耗
  - 最大限度地降低磁性器件的功率损耗
  - 需要更快的控制环路响应
- 提高开关电源系统可靠性
  - 海量数据分析
  - 符合宽带技术标准
- 需要简便易用、可靠的工具，定位问题

# 开关电源设计中的测试需求

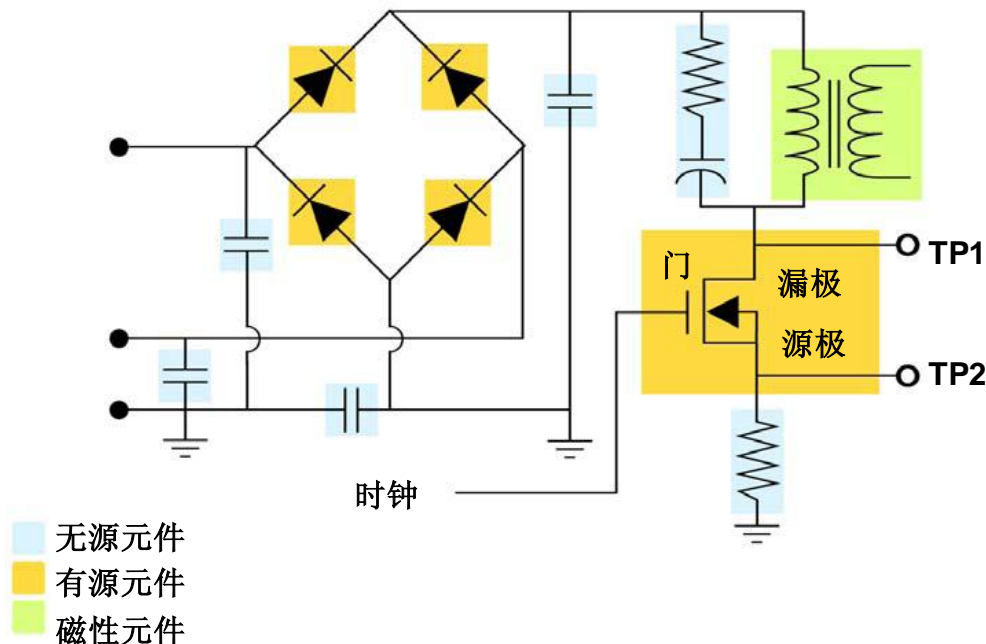
- 国家和地区电源质量标准
  - 电源的功率电平
  - 输出纯度
  - 电源线的谐波反馈
  - 开关损耗
  - 调制分析等等
- 从历史上看
  - 利用万用表进行静态电流和电压测量
  - 通过PC或计算器进行麻烦的计算
- 今天
  - 示波器成为首选电源测量平台

# 如何有效执行电源设计测量

- 对习惯使用示波器进行高带宽测量的工程师来说，电源测量频率相对较低，似乎非常简单。事实上，电源测量也有很多高速电路设计人员从未见过的一系列挑战。经过开关设备的电压可能会非常大，而且是“浮动的”，即没有参考接地。信号的脉宽、周期、频率和占空比会变化，必须如实地捕获波形，分析其不理想特点。
- 因此必须考虑以下因素：
  - 是否提供安全精确的电压和电流探测解决方案？
  - 是否有一种快速方式，调节探头的不同延迟？
  - 是否有使探头偏置达到最小的有效流程？
  - 仪器能否配备充足的记录长度，以高分辨率捕获很长的工频波形？

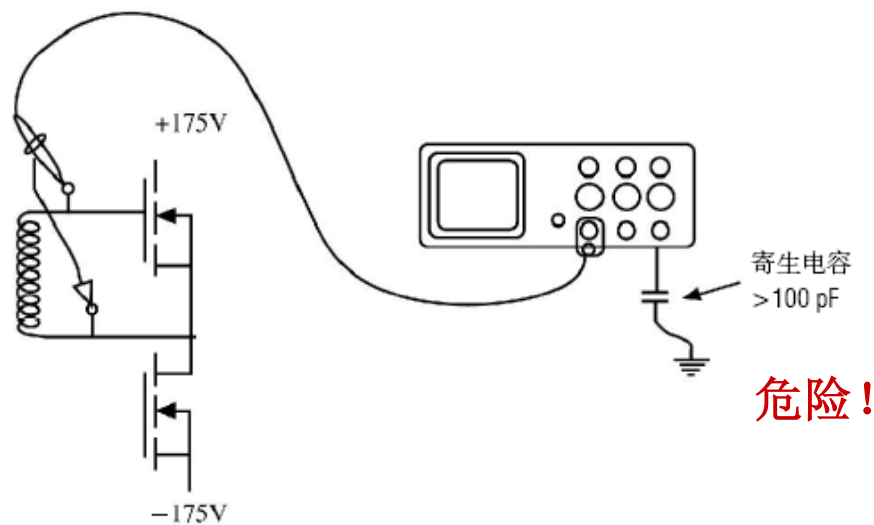
# 安全准确地探测电压和电流波形

- 图中，在范围在几kHz 到几MHz 的时钟驱动下，金属氧化物场效应晶体管(MOSFET)控制着电流。
- 然而MOSFET 没有连接到交流电源接地或电路输出接地上。因此，不可能使用示波器进行接地参考电压测量，因为把探头的地线连接到任何MOSFET端子上都会使通过示波器接地的电路短路。
- 如何有效的测量Vds，即MOSFET漏极和源极端子中的电压。（Vds可能位于几十伏到几百伏电压的顶部）？
  - 浮动示波器的机箱接地。**绝对不要采用这种方式，因为这种非常不安全，会给用户、被测设备和示波器带来危险。**
  - 使用传统无源单端探头，把地线相互连接起来，使用示波器的通道匹配功能。这种测量方式称为准差分测量。但是，无源探头与示波器的放大器结合使用时，不能提供充分阻塞任何共模电压的共模抑制比(CMRR)。尽管用户可能很想使用这种方法，因为可以使用已有的探头，但它并不能准确地测量电压。
  - **使用真正差分探头。高压差分探头(如泰克P5205)可以准确安全地测量VDS。**

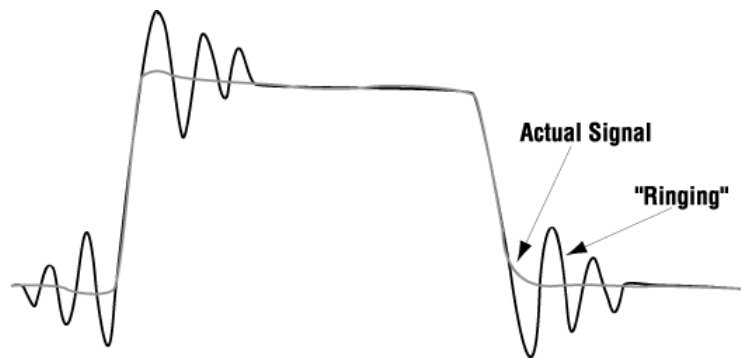


简化的开关电源视图

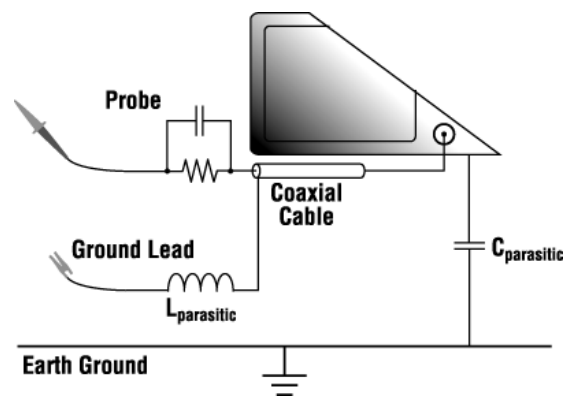
# 安全准确地探测“浮动”电压



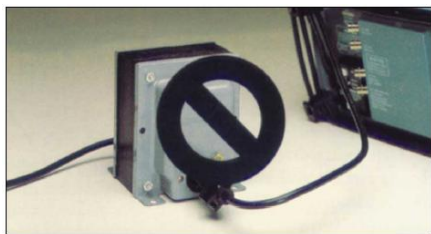
即便示波器处于“浮动”状态，寄生电容也会形成交流分压器从而增加测量的误差。注意：回动的探头引线会给栅极增加 $>100\text{ pF}$ 的电容，有可能破坏电路。将示波器的公共端接到逆变器上部的栅极可以使栅极驱动信号滞后，阻碍器件的关断并破坏输入桥。这种故障通常还会在工作台上出现小火花，很多功率电子器件的设计人员都可以作证。



分布电容和电感还可能带来原本没有的振铃！！！！



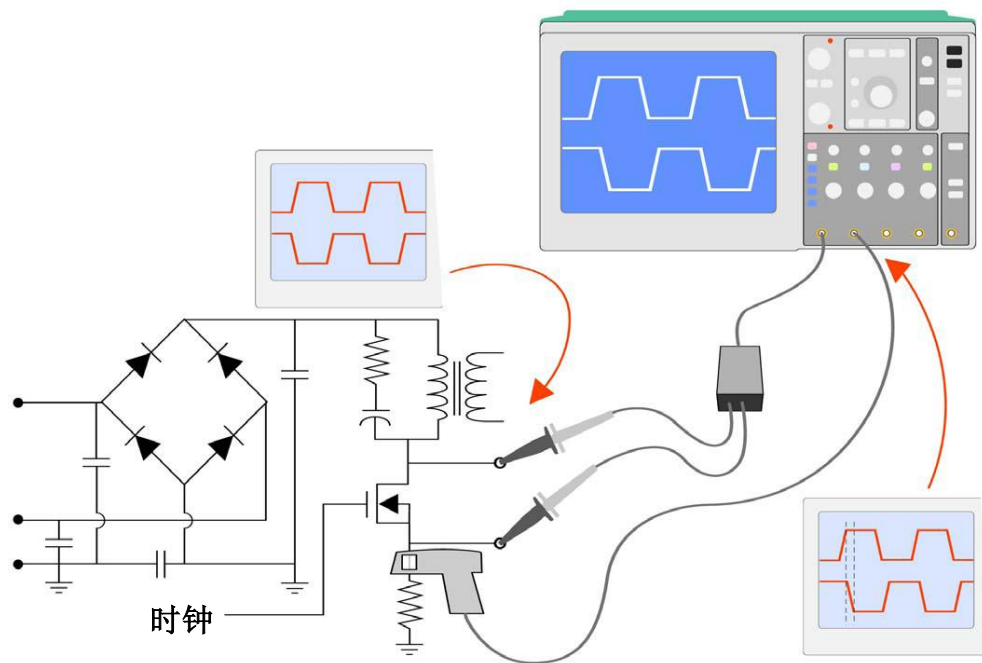
示波器在没有接地的情况下，其电磁兼容特性降达不到设计要求，可能干扰待测电路或受到空间电磁波的干扰，影响测量结果！



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！

# 消除电压探头和电流探头之间的时滞

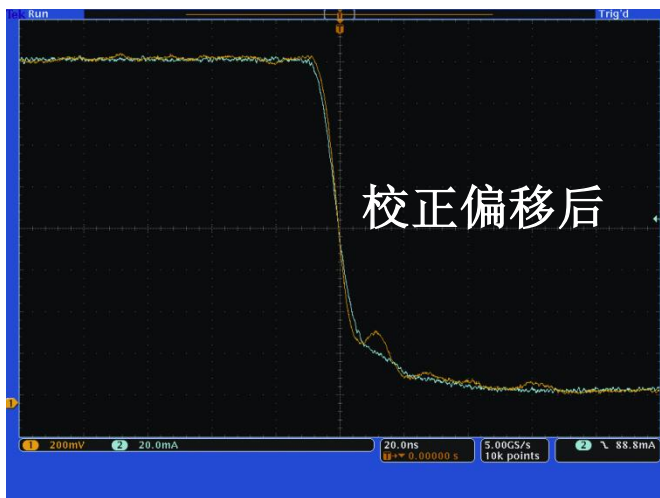
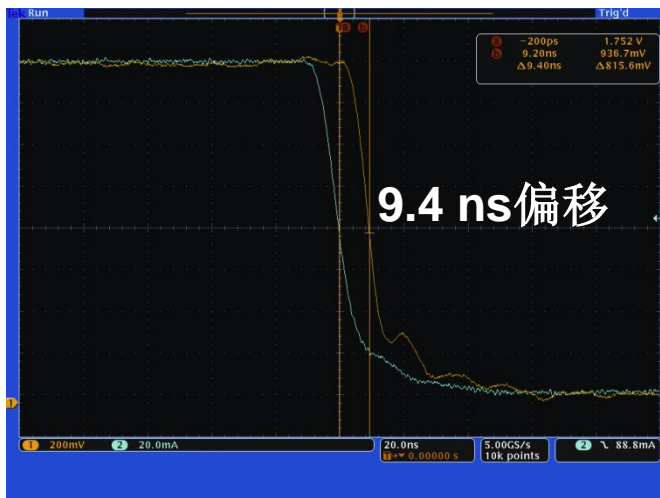
- 每只电压探头和电流探头都有自己的特性传播延迟。电流探头和电压探头之间的延迟差称为时滞，会导致幅度和定时测量不准确。
- 必需了解探头的传播延迟对最大峰值功率和面积测量的影响，因为功率是电压和电流的乘积。如果两个相乘的变量没有完美对准，那么会得到不正确的结果。在探头没有正确“校正时滞”时，测量精度会下降，如开关损耗。



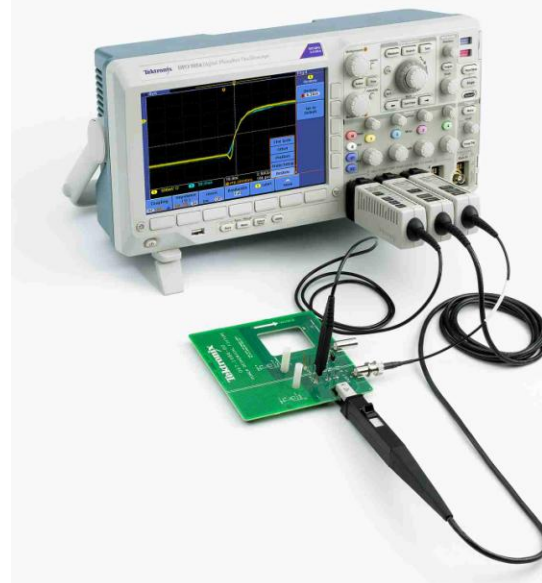
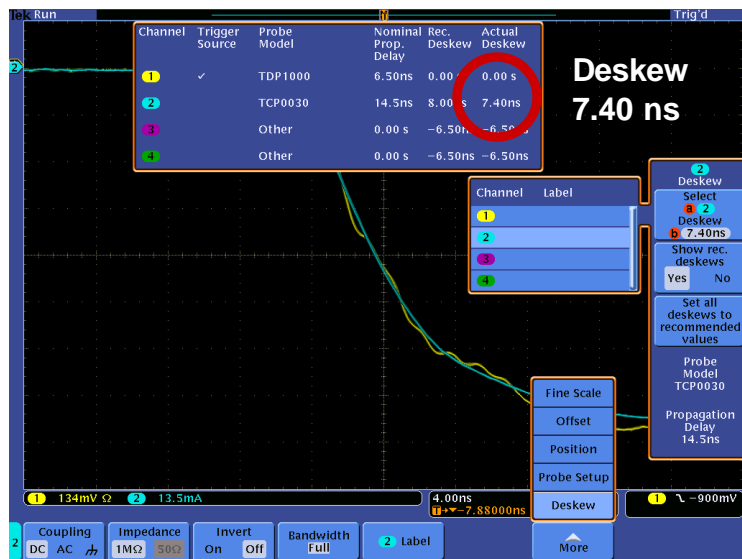
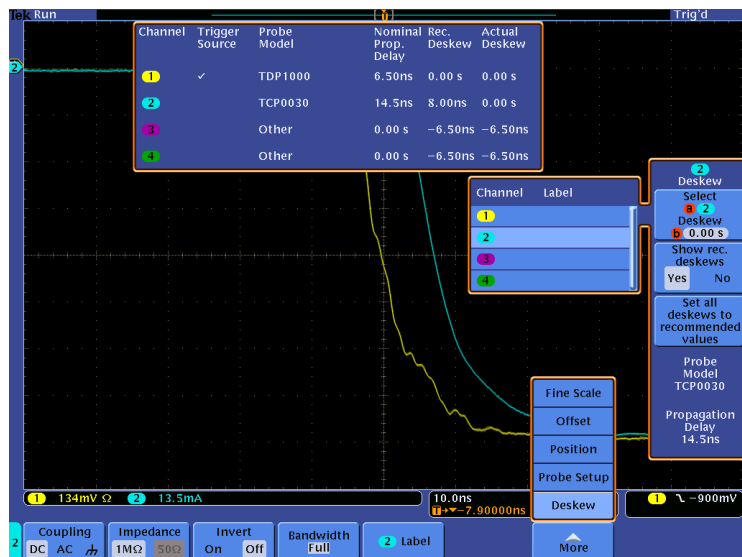


# 偏移实例

**5.6%**  
误差



# 解决方案: 消除电压探头与电流探头之间的偏移



泰克DPO3/4000示波器, 带有TekVPI®  
探头和偏移校正套件

**DPO/MSO4000以及DPO3000继续提供  
泰克独有的强大静态时间偏移校正功能  
(+/-100ns)支持所有泰克探头**

# 消除探头偏置

差分探头一般会有较小的电压偏置。这会影晌精度，在继续测量前必须消除这个电压偏置。大多数差分电压探头拥有内置的DC偏置调节控制功能，可以相对简单地消除偏置。在预热后：

- 把示波器设置成测量电压波形的平均值。
- 选择实际测量中将使用的灵敏度(垂直)设置。
- 在不存在信号的情况下，把平均电平调节到0 V (或尽可能接近0 V)。
- 类似的，必需在执行测量前调节电流探头。在消磁后：
  - 把示波器设置成实际测量中将使用的垂直灵敏度。
  - 在不存在信号的情况下，关闭电流探头。
  - 把DC 平衡调节到零。
  - 把平均值调节到0 A 或尽可能接近0 A。
- 注意，某些探头(如支持TekVPI 的TCP0030)内置了自动消磁/ 自动清零程序，用户只需在探头comp 盒上按一个按钮就可以了。

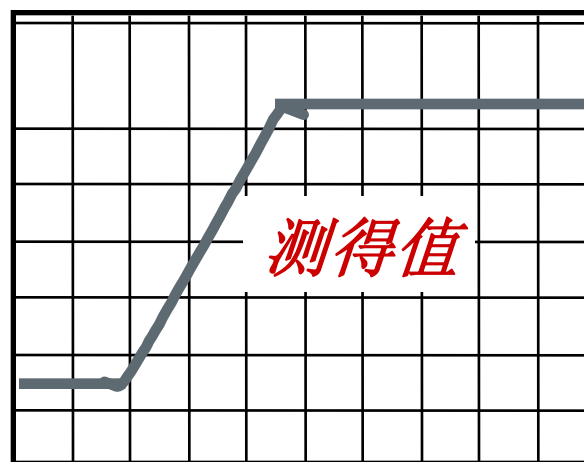
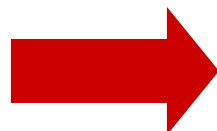
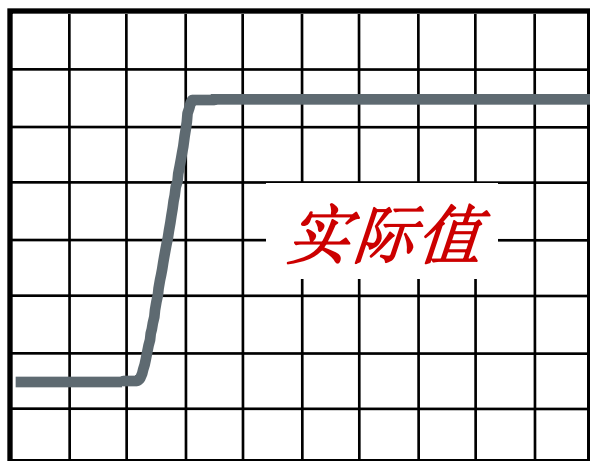
# 示波器性能考虑因素

## ■ 上升时间

- 开关信号上升时间可能会相当快
- 为准确地进行测量，测量系统(示波器 + 探头)的上升时间应该 **快五倍**

$$\text{测量系统上升时间} = \frac{\text{信号上升时间}}{5}$$

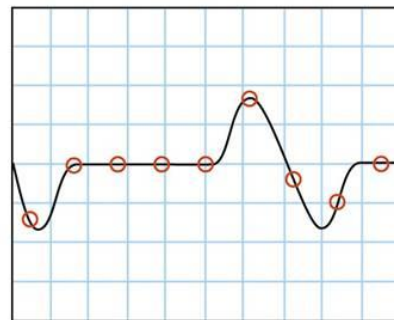
$$\text{测得的上升时间} = \sqrt{\left[ \text{测量系统上升时间} \right]^2 + \left[ \text{信号上升时间} \right]^2}$$



# 示波器性能考虑因素

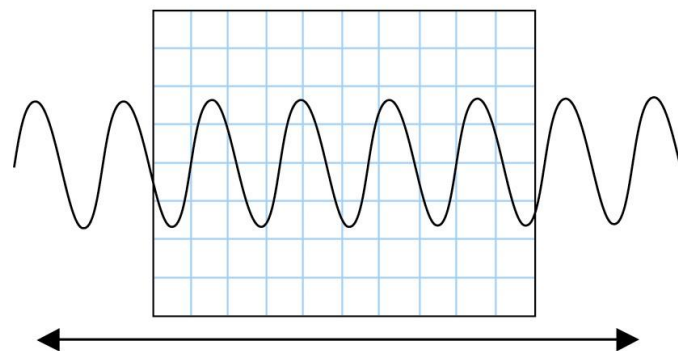
## ■ 采样率

- 采样率越快，分辨率越高，波形越详细



## ■ 记录长度

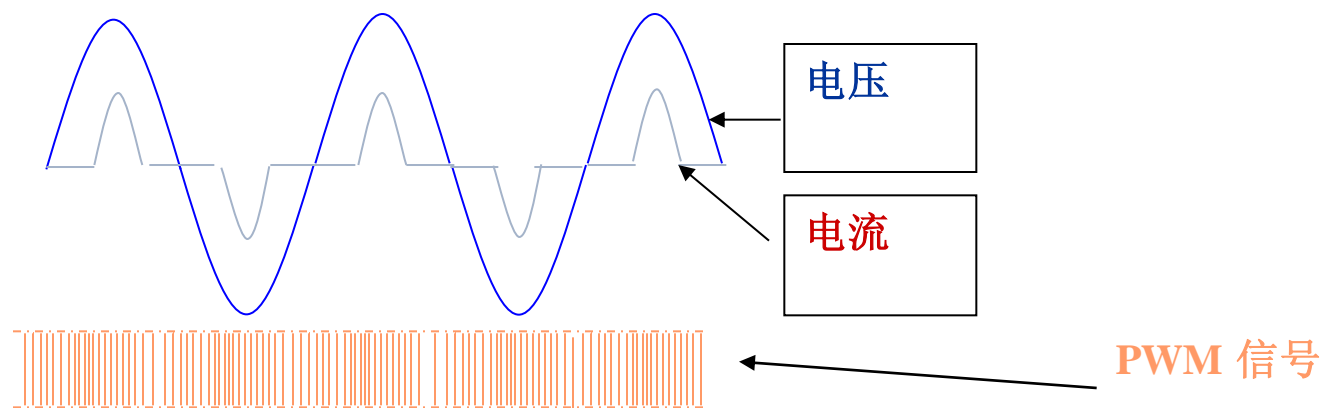
- 确定在采样率一定时捕获多长“时间”
- 实例:
  - 60 Hz的一半周期是 8 ms多
  - 采样率为1 GS/s时，需要8 M点的记录长度



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

# 记录长度在电源测量中的作用

- 有源功率因数校正电路 APFC SMPS
  - 改变脉宽，以在输出上保持恒定的电压
  - 经过开关器件的电流会变化
- 示波器捕获测量期间事件的能力取决于使用的采样率及存储采集的信号样点的存储器的深度(记录长度)。存储器的填充速度与采样率直接成正比。在采样率设置得足够高，能够以高分辨率详细地信号时，存储器会迅速填充。对许多电源测量，必需捕获1/4 周期或1/2 周期(90度或180度)的工频信号；有些测量甚至要求捕获整个周期。泰克3000系列示波器标配5M样点的记录长度，轻松地满足了这一需求。



对50Hz工频供电来说，10ms的记录长度可以保证捕获所有开关变化

# 确定DSO记录长度的参数

- 取样速率应该至少是测得的模拟信号带宽的5倍
- 一般在一个边沿上需要 5 - 8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

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

## 计算记录长度

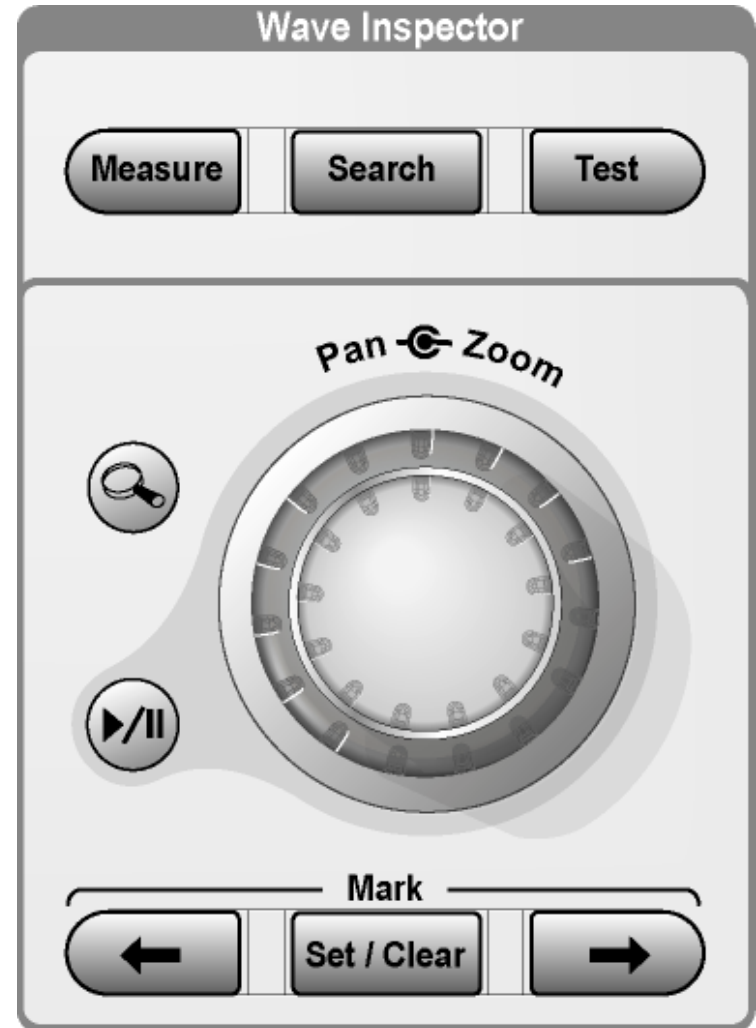
- 为同时查看 50 Hz工频信号 (一个周期), 和 100 ns (8个样点/边沿) 边沿的PWM信号
- 每条通道2MB记录长度、1.25GSa/s取样速率的示波器可以满足这一要求

$$\begin{aligned} \text{记录长度 (样点数量)} &= \frac{20\text{ms}}{12.5 \text{ ns}} \\ &= 1.6\text{MB} \end{aligned}$$



# 利用Wave-Inspector进行电源系统查障

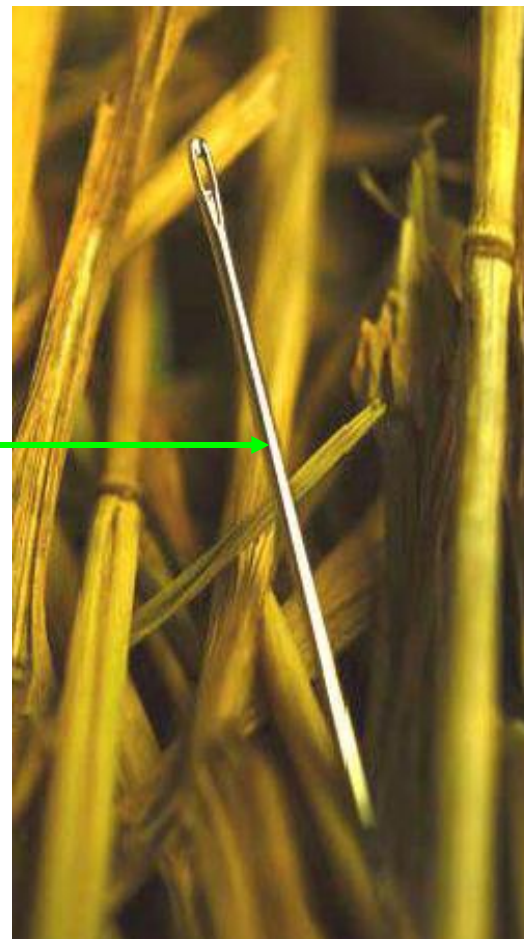
- 比长记录长度更重要的是提供能够利用所有这些数据的工具
- 4000 系列的Wave Inspector 是业内第一套为轻松处理长记录设计的工具
- Wave Inspector对示波器就象是Google<sup>®</sup> 对互联网
- 专用前面板控制功能：
  - 缩放
  - 平铺
  - 播放 / 暂停
  - 设置 / 清除标记
  - 在标记之间导航
  - 搜索和标记
- 强制外圈反馈
  - 旋转得越远，速度越快
  - 反向旋转旋钮，改变方向或减慢速度
  - 异常直观
- 大大改善了几乎每个客户都会关注的操作便捷性！



# 你了解Wave-Inspector吗?!

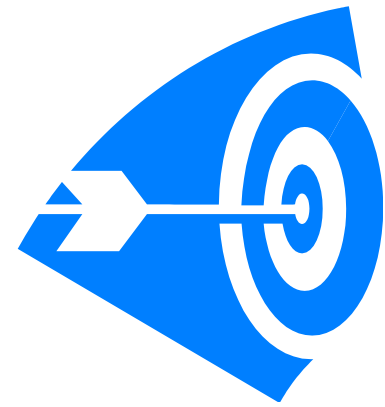
- 针在哪里? 3m左右,  $2.5 \times 10^{-10}$

0.03m左右



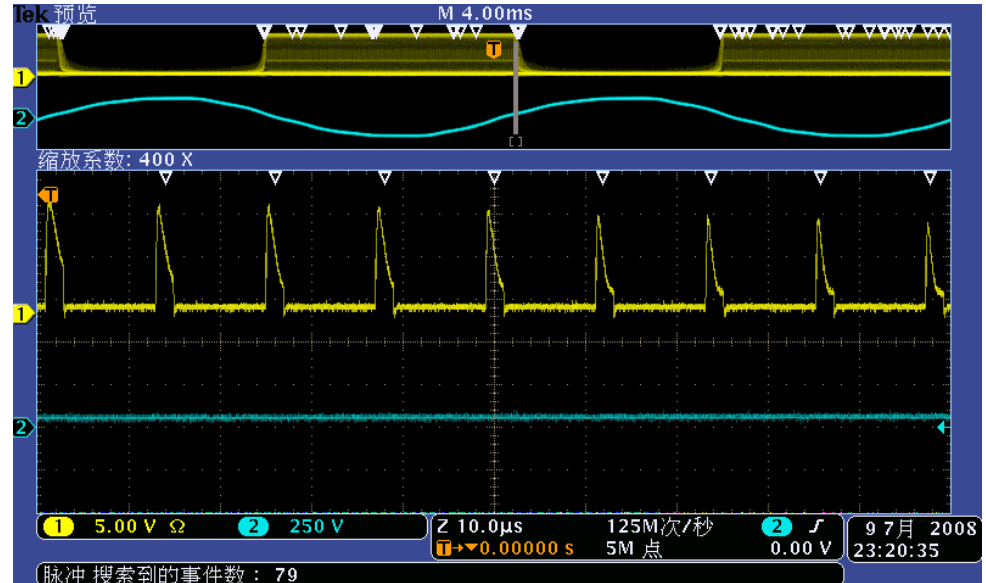
# 利用Wave-Inspector进行电源系统查障

- 现代数字示波器可以捕获海量数据，这既是好事，也是坏事。您想要所有数据，正因如此，您需要使用示波器。但直到现在，在庞大的数据中找到所需的数据不亚于大海捞针，是一个非常耗时麻烦的过程。配有Wave Inspector的DPO4000系列为您提供了所需的功能，可以高效地满足您的需求，而这种效率是以前的示波器所不能想象的。



# 利用Wave-Inspector查找门驱动脉冲

- 使用3000系列全部5M 点记录长度，以8ns 分辨率捕获AC 电源两个周期期间的每个门驱动脉冲。
  - 上面的窗口显示了整个采集
  - 下面的窗口显示了放大的采集部分
  - 这一采集包含大约2,000个脉冲
  - 在输入几个简单的搜索参数后
    - 如通道1上的正脉冲，宽度小于1.2 $\mu$ s，门限为7 V，
- Wave Inspector会迅速识别满足标准的79个脉冲，并在格线顶部用白色三角形标出了这些波形。然后通过再次使用前面板Previous和Next按钮，我们可以迅速从一个事件跳到另一个事件。以前需要几个小时完成的工作，现在只需几秒钟就可以完成。



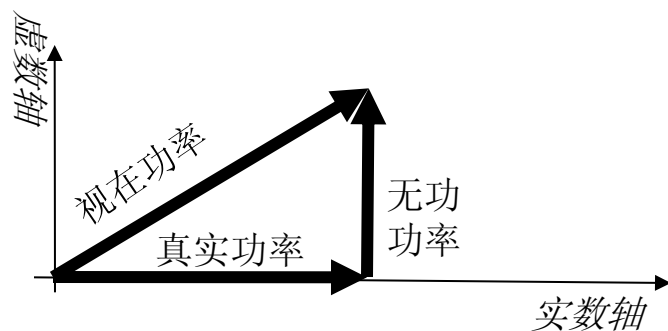
使用Wave Inspector 在包含数千个脉冲的长5M 样点采集中找到发生的79 个宽度小于1.2 $\mu$ s 的脉冲

# 电源质量测量基础知识

- 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
- **SMPS**在输入电流波形上生成谐波，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**

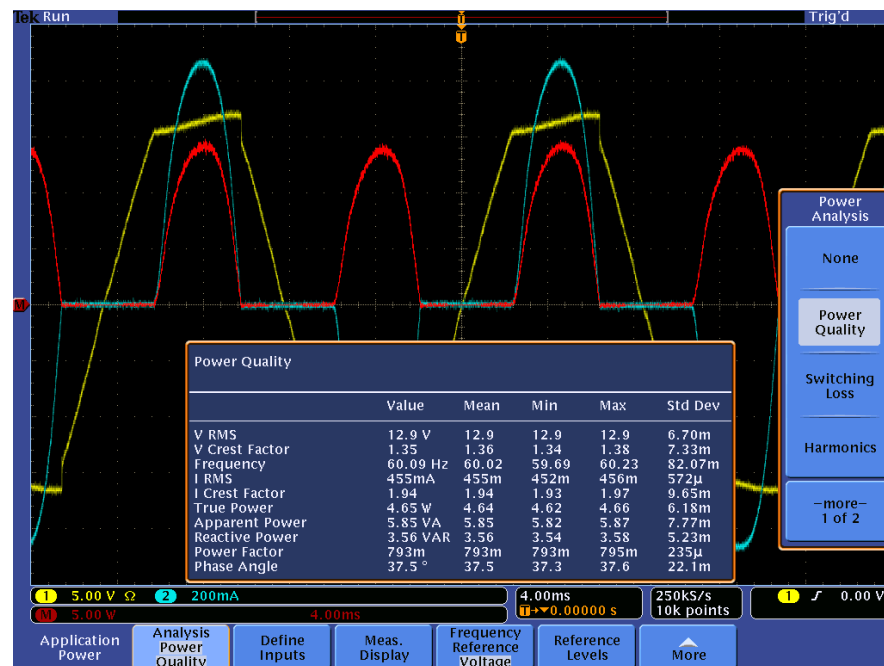
# 电源质量测量

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



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

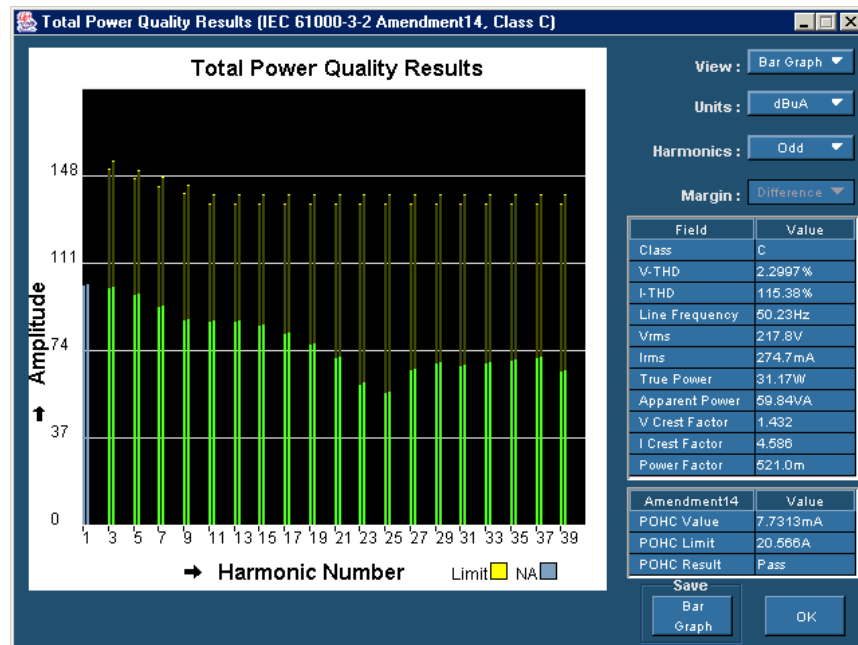
- 波峰因数 =  $\frac{V_{\text{peak}}}{V_{\text{rms}}}$



带有DPO4PWR的泰克MSO/DPO4000示波器

# 谐波和预一致性测量

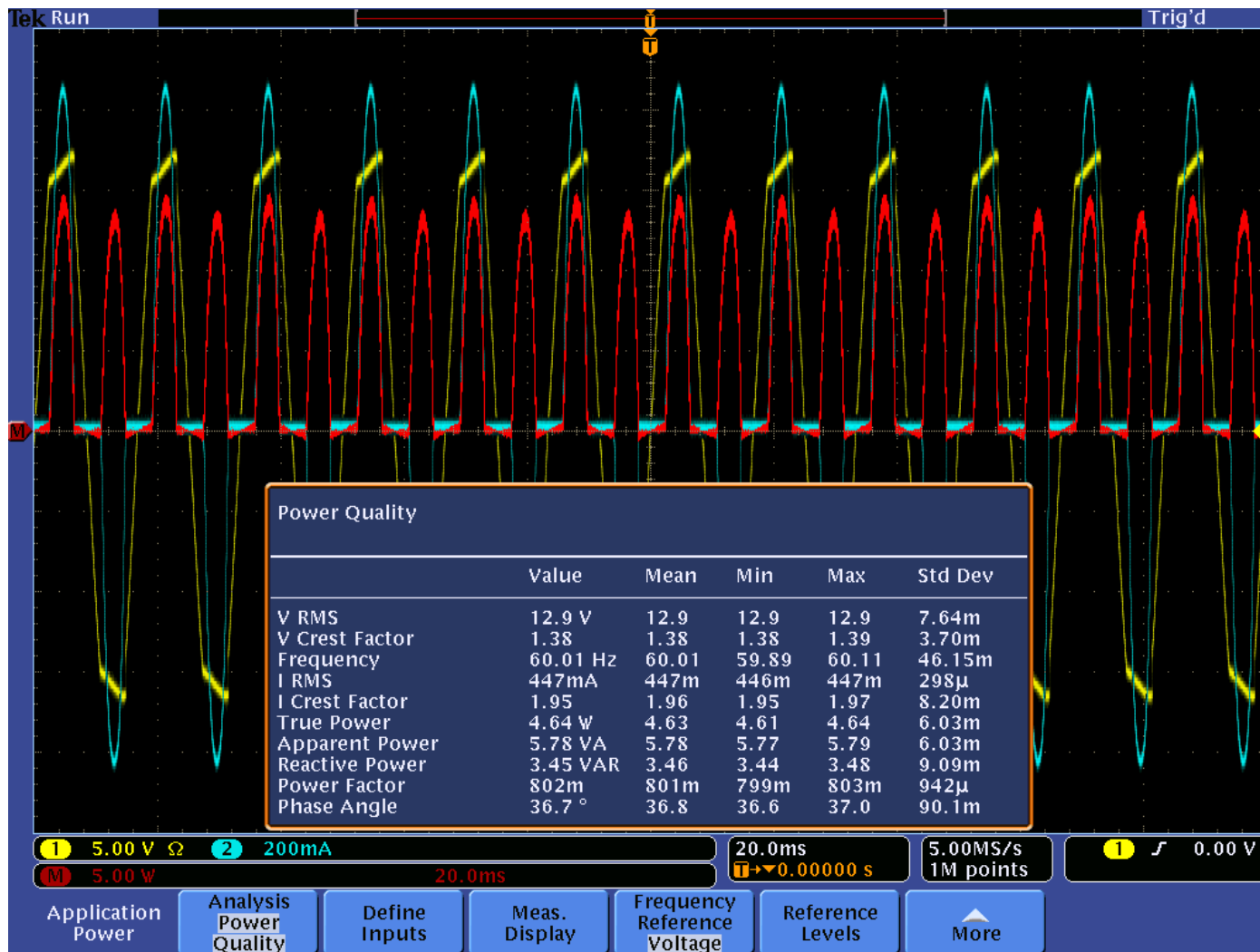
- 必须捕获直到40阶谐波
- 对比谐波和THD与行业标准(如EN61000-3-2)



带有TDSPWR3的泰克TDS5000B示波器

# 电源质量测量

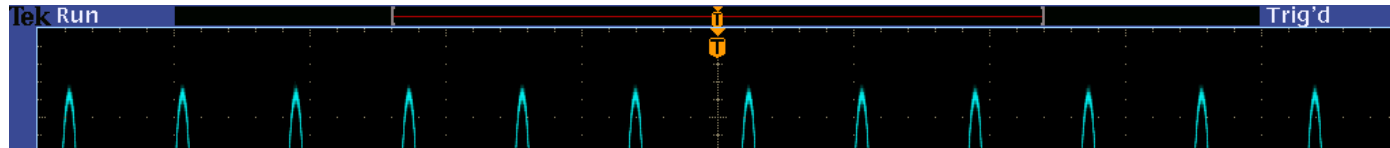
## AC输入电压和电流





# 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  $\Omega$  2 200mA 20.0ms 5.00MS/s 1 5.00 V  
M 5.00 W 20.0ms 0.00000 s 1M points

Application  
Power

Analysis  
Power  
Quality

Define  
Inputs

Meas.  
Display

Frequency  
Reference  
Voltage

Reference  
Levels

More

# 输入电路部分功率测量

- 为了得到视在功率，我们将测量到的有效值相乘，得到视在功率=215.7 V\*158.8mA =34.3 W
- 为了得到有效功率，我们使用DPO3000的数学运算 (Math)按钮，对电压和电流的波形“逐点”相乘，得到有效功率=18.6 W。注意，这里使用的是相乘后的“平均值 (Mean)”而不是“有效值(RMS)”来得到有效功率，这是根据前面所叙述的平均功率的定义来的。
- 这样，我们很容易的得到该设备的功率PF=18.6 W / 34.3 W=0.54,从而为设计功率校正电路PFC提供数据。
- 对三相电路的功率测量---单路法（适用平衡负载）通过一台DPO3000示波器，测量出平衡负载的一相的RMS电压和RMS电流，乘以1.732即可的到三相的全部功率
- 对三相电路的功率测量---双功率计法  
不同于“双功率计”法的名称，实际测量中只需要一台DPO3000示波器即可，电压测量的公共端接在三相中的任意一相，比如B相，然后测量B相同A相和C相的电压差以及A相和C相的电流。  
$$W_{total}=W_1+W_2$$
- 需要注意的问题：电压探头的接地和电流探头的方向

# 谐波预一致性测试标准

## EN61000-3-2和MIL-STD-1399

BRITISH STANDARD

BS EN  
61000-3-2:2006

### Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 3-2: Limits — Limits for harmonic

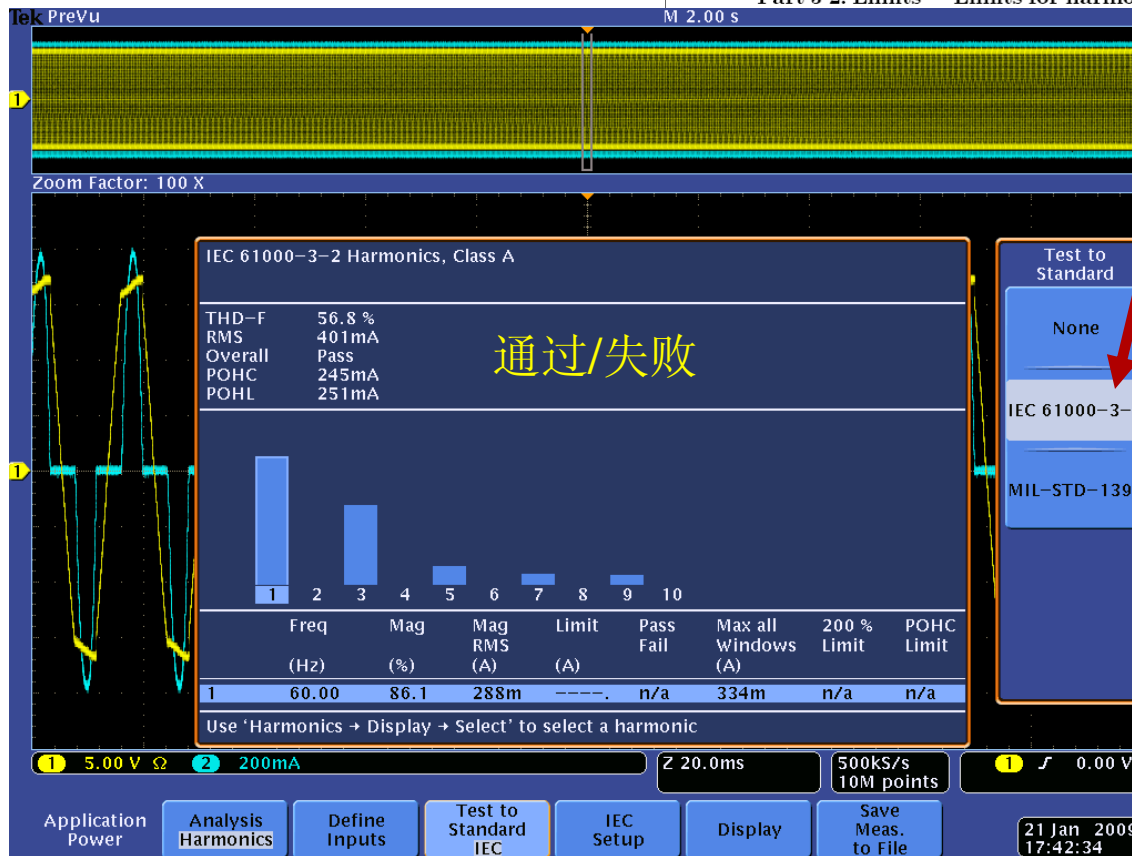
**METRIC**  
MIL-STD-1399 (NAVY)  
SECTION 300A  
13 October 1987  
SUPERSEDED  
DOD-STD-1399 (NAVY)  
SECTION 300  
1 August 1978  
(See 6.3)

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



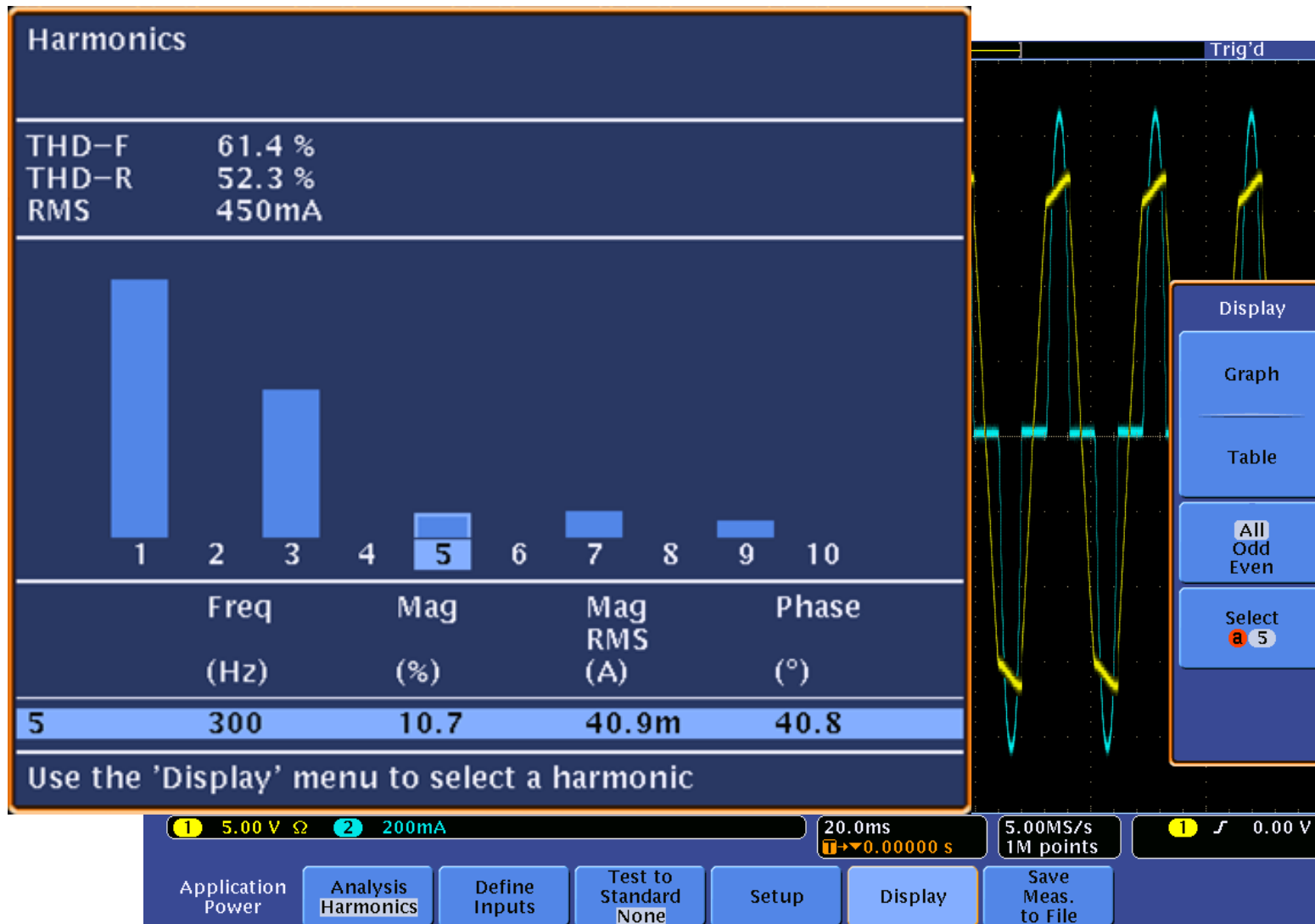
FSC 1990  
public release; distribution unlimited

**BSI**  
British Standards



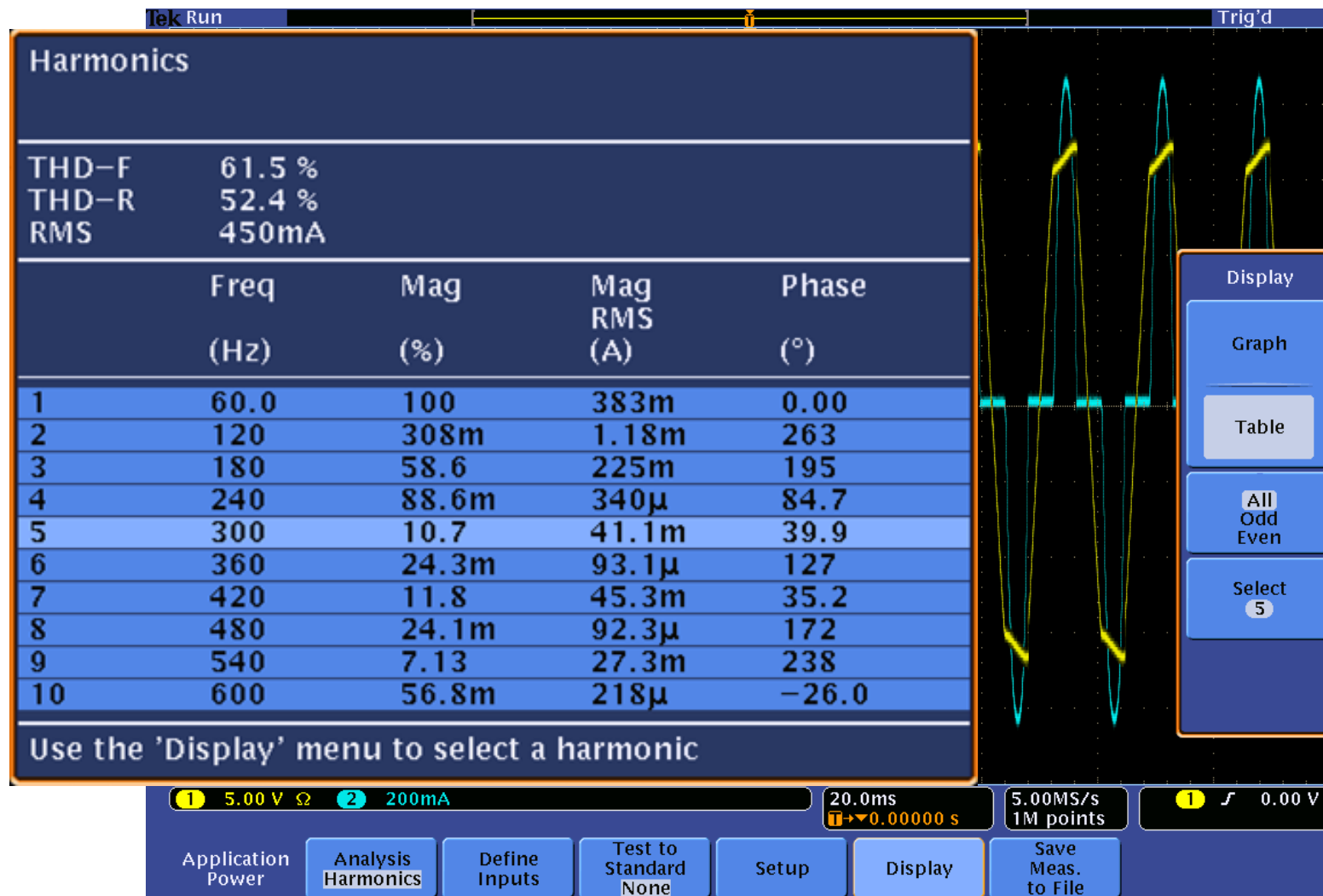
# 谐波测量图

## AC输入

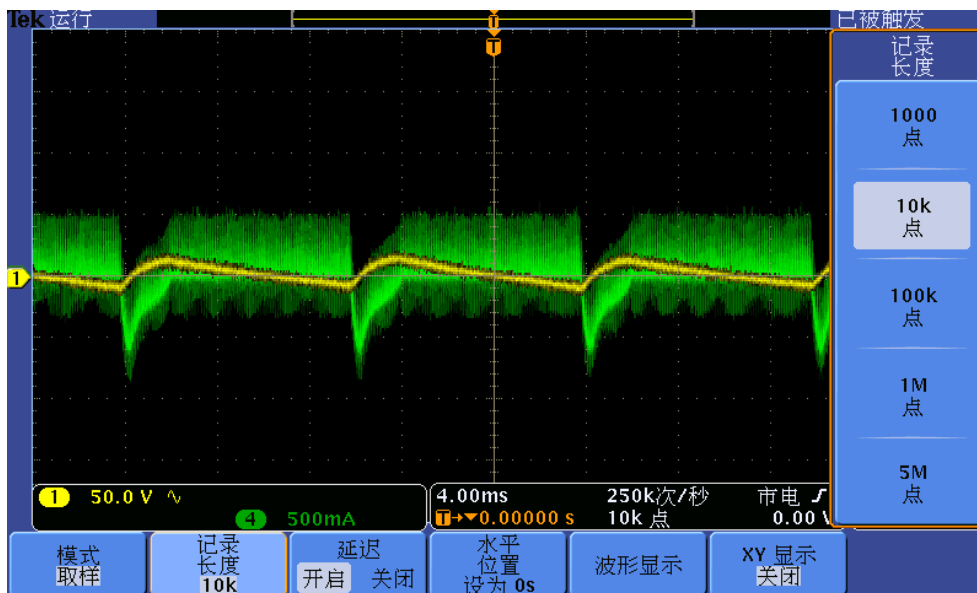


# 谐波测量表

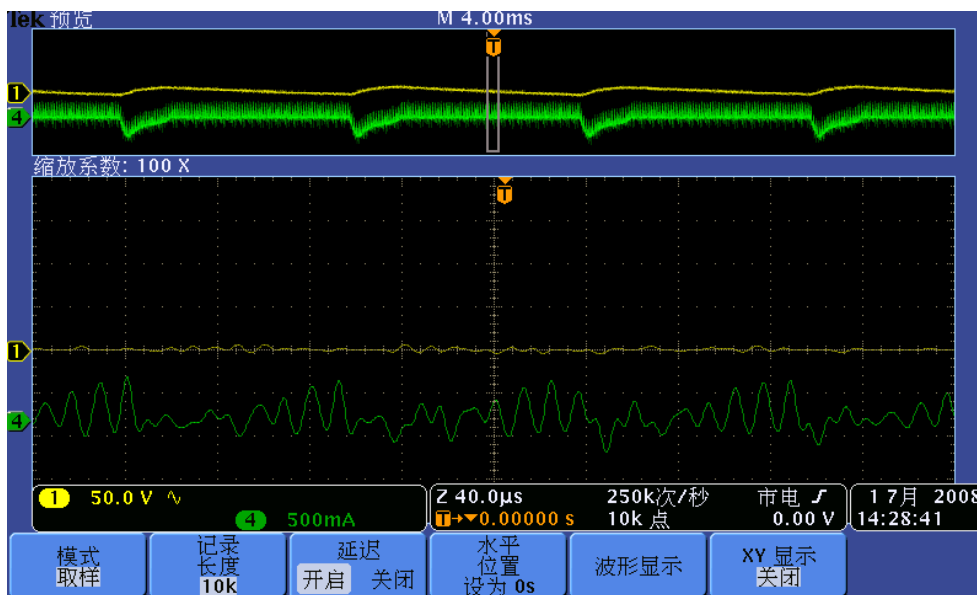
AC输入



# Buck测试----记录长度很重要!

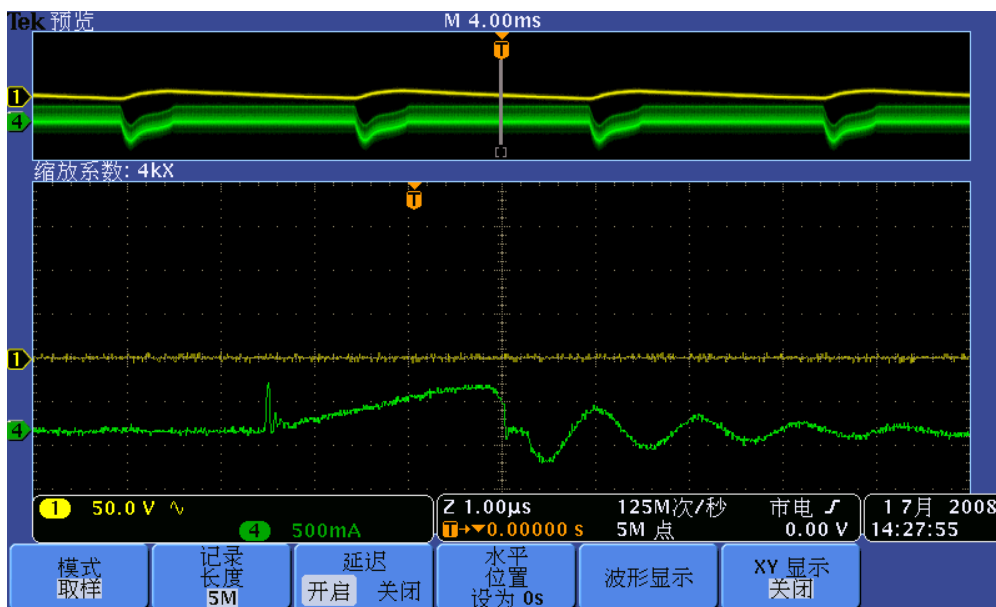
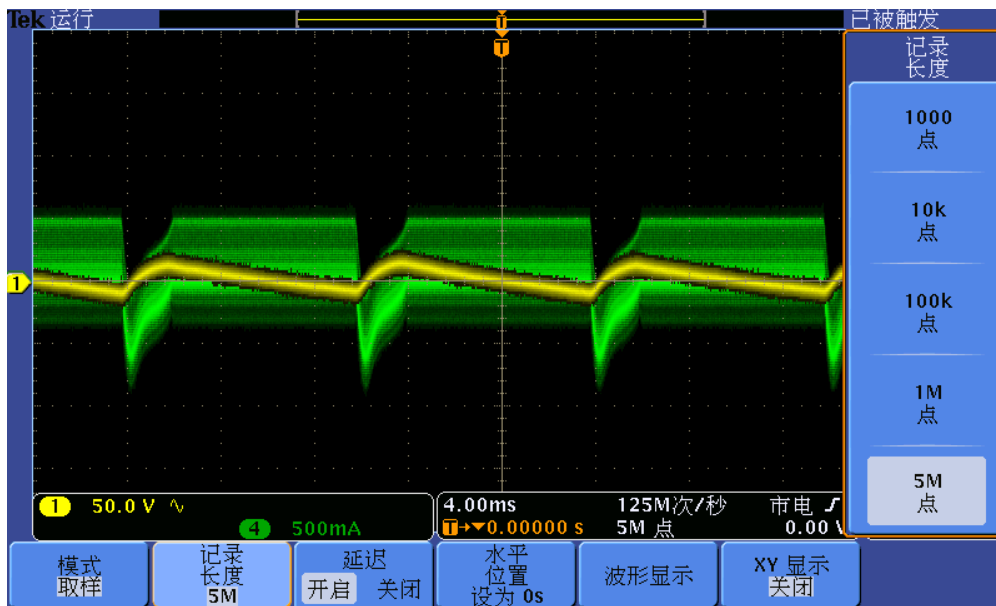


由于存在工频调制因此至少捕获1-2个工频调制周期(一个工频调制周期为10ms)是必须的



10K记录长度时Buck电流完全失真

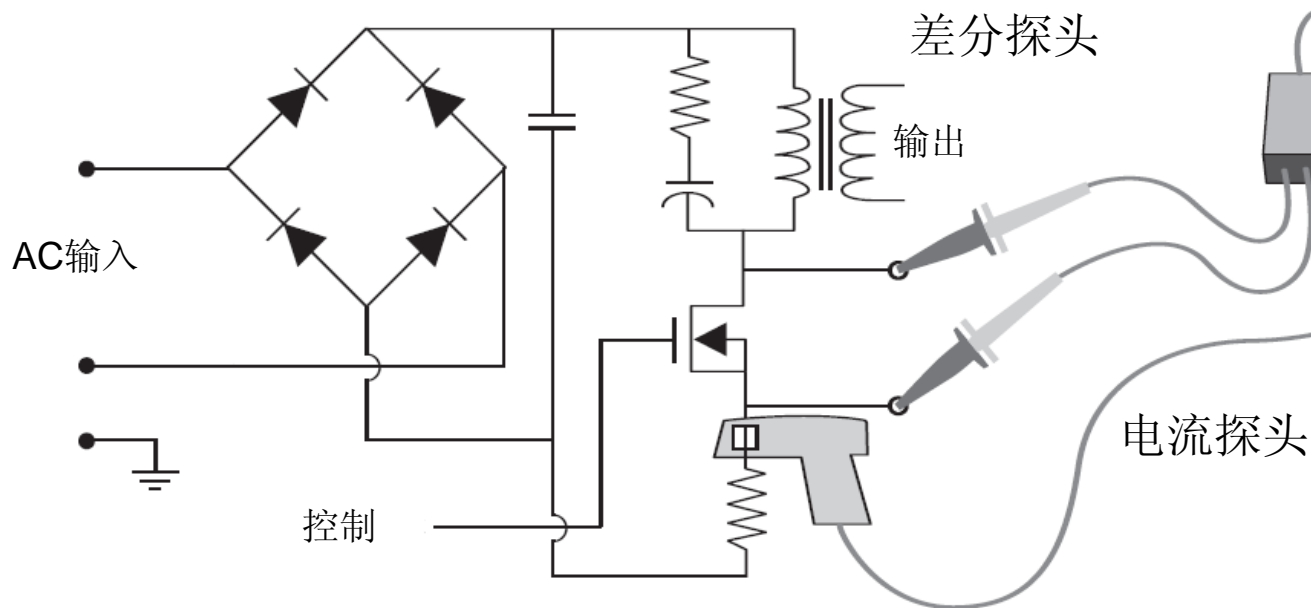
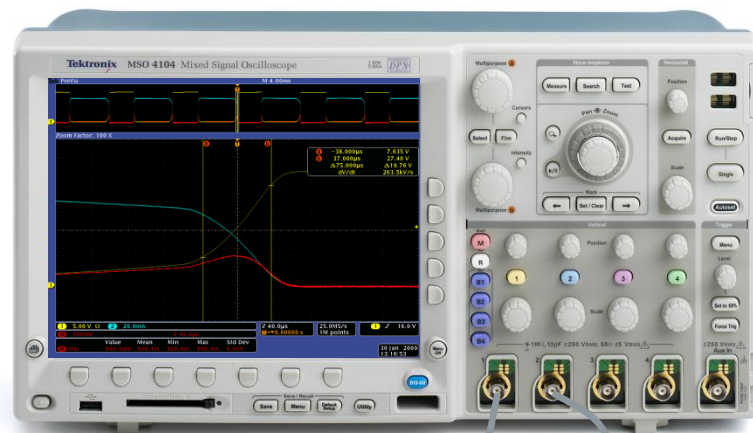
# Buck测试----记录长度很重要!



5M记录长度可以完美呈现Buck电流的细节!

# 开关设备探测

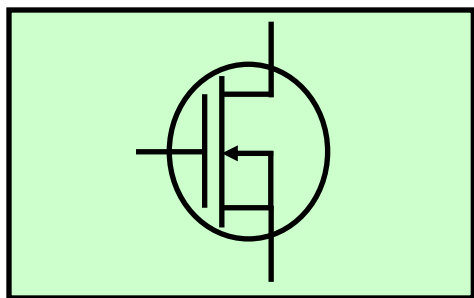
转换速率、安全工作区和开关损耗测量





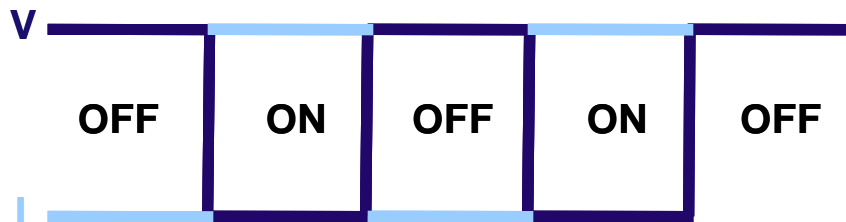
# 有源元件测量： 开关设备

- 晶体管开关电路在转换过程中消耗的能量最大
- 常用测量：
  - 闭点损耗
  - 开点损耗
  - 功率损耗
  - 动态开点电阻
  - 安全工作区

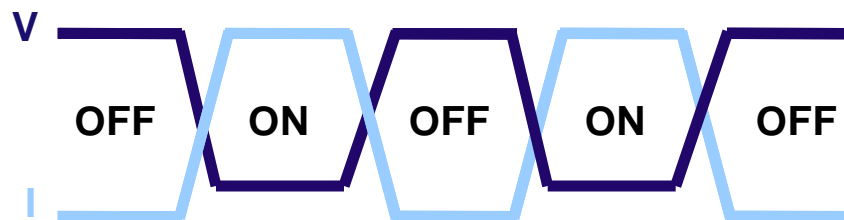


开关

理想的开关



“实际的” 开关



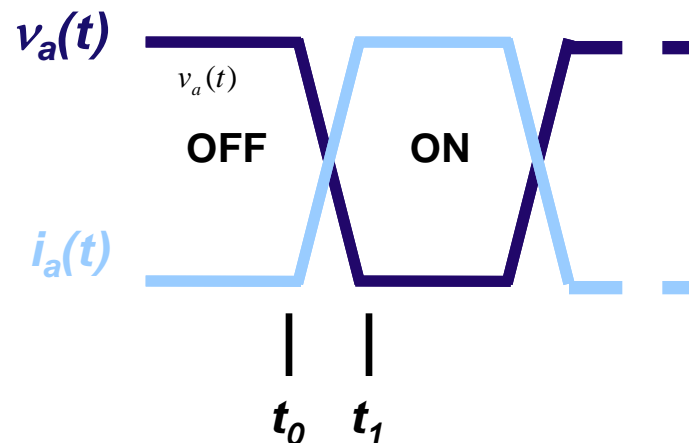
# 开关损耗基础知识

- 可以使用下面的公式估算转换过程中的能量损耗:

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

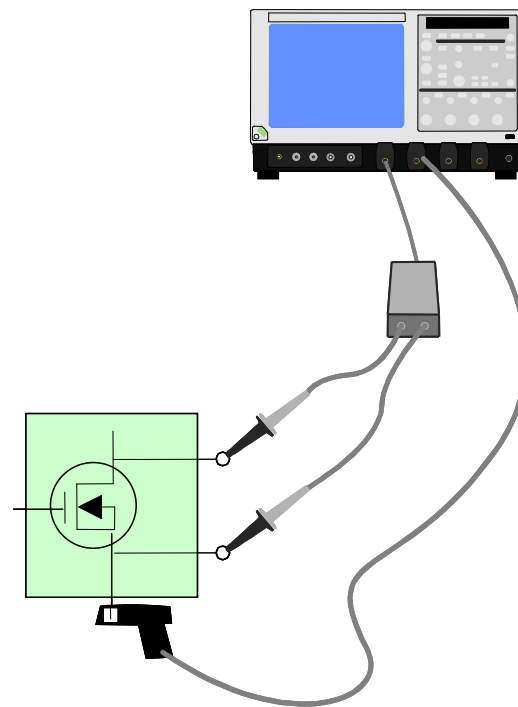
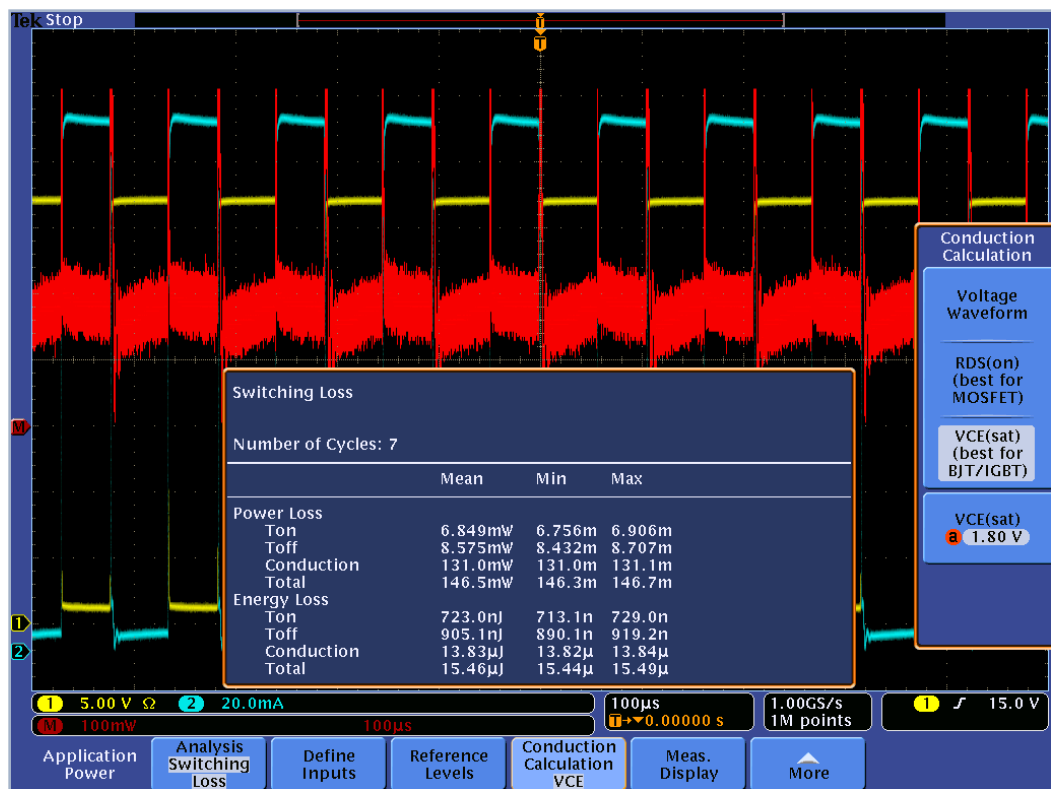
- 其中:
  - $E_{on}$  是开关在转换过程中损耗的能量。
  - $v_a(t)$  是流经开关的瞬时电压。
  - $i_a(t)$  是流经开关的瞬时电流。
  - $t_1$  是转换结束时间。
  - $t_0$  是转换开始时间。

- $E_{off}$  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

# 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

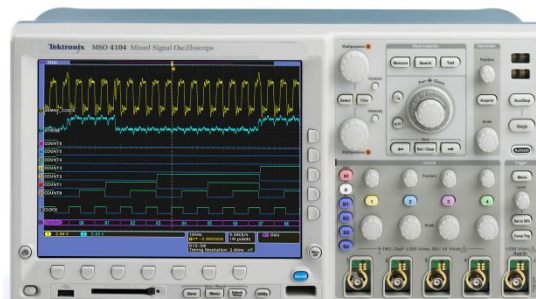


带有DPO4PWR的泰克MSO/DPO4000示波器

# 有源元件测量: 选择适当的测量解决方案

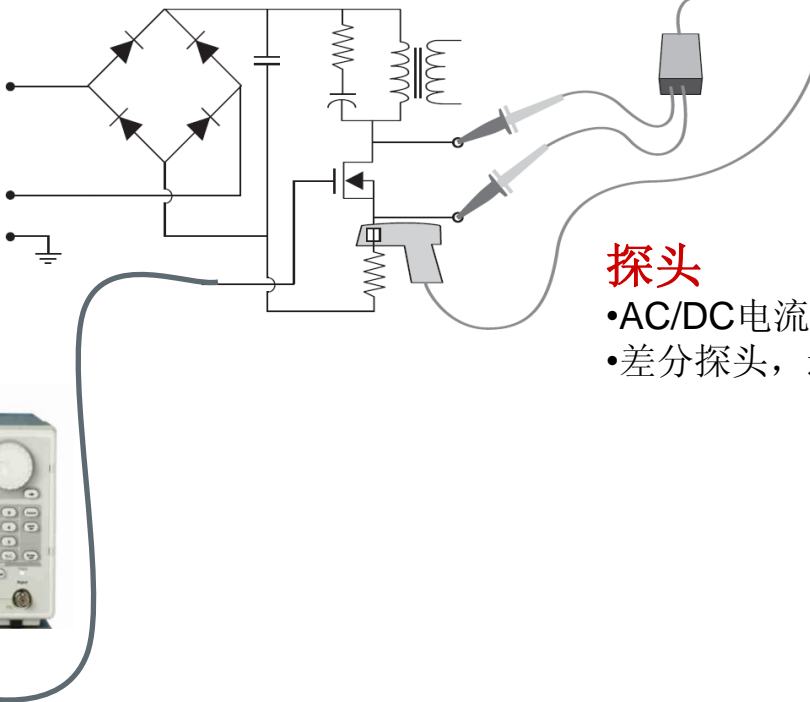
## 示波器

- 为处理开关信号频率成分提供足够的带宽和上升时间
- 快速采样率，捕获跳变
- 深记录长度，长采集



## 信号源

- 模拟门驱动信号
- 可以调节占空比、边沿跳变时间和频率
- 许多信号源需要12V - 15V输出

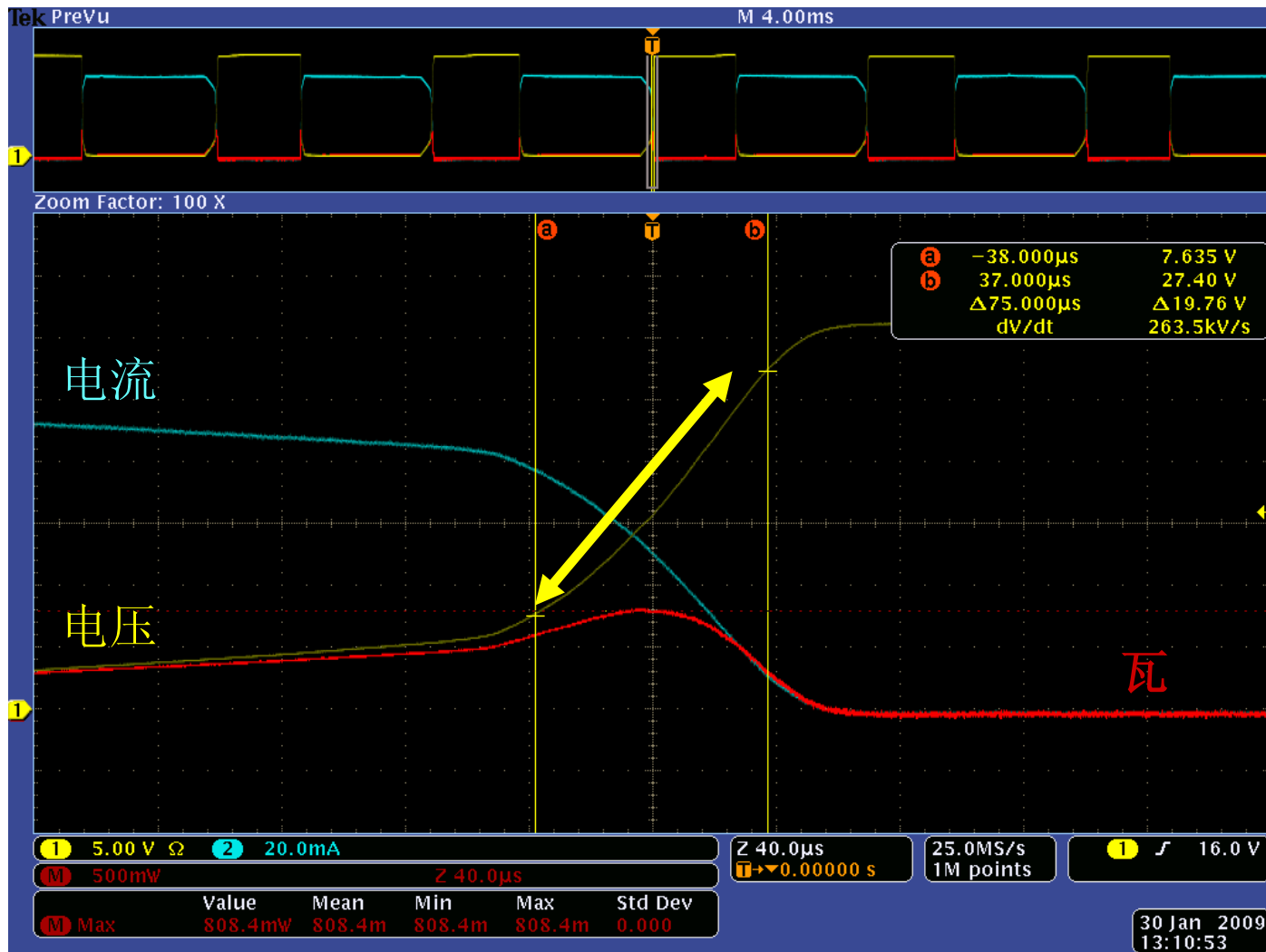


## 探头

- AC/DC 电流探头
- 差分探头，进行浮动测量

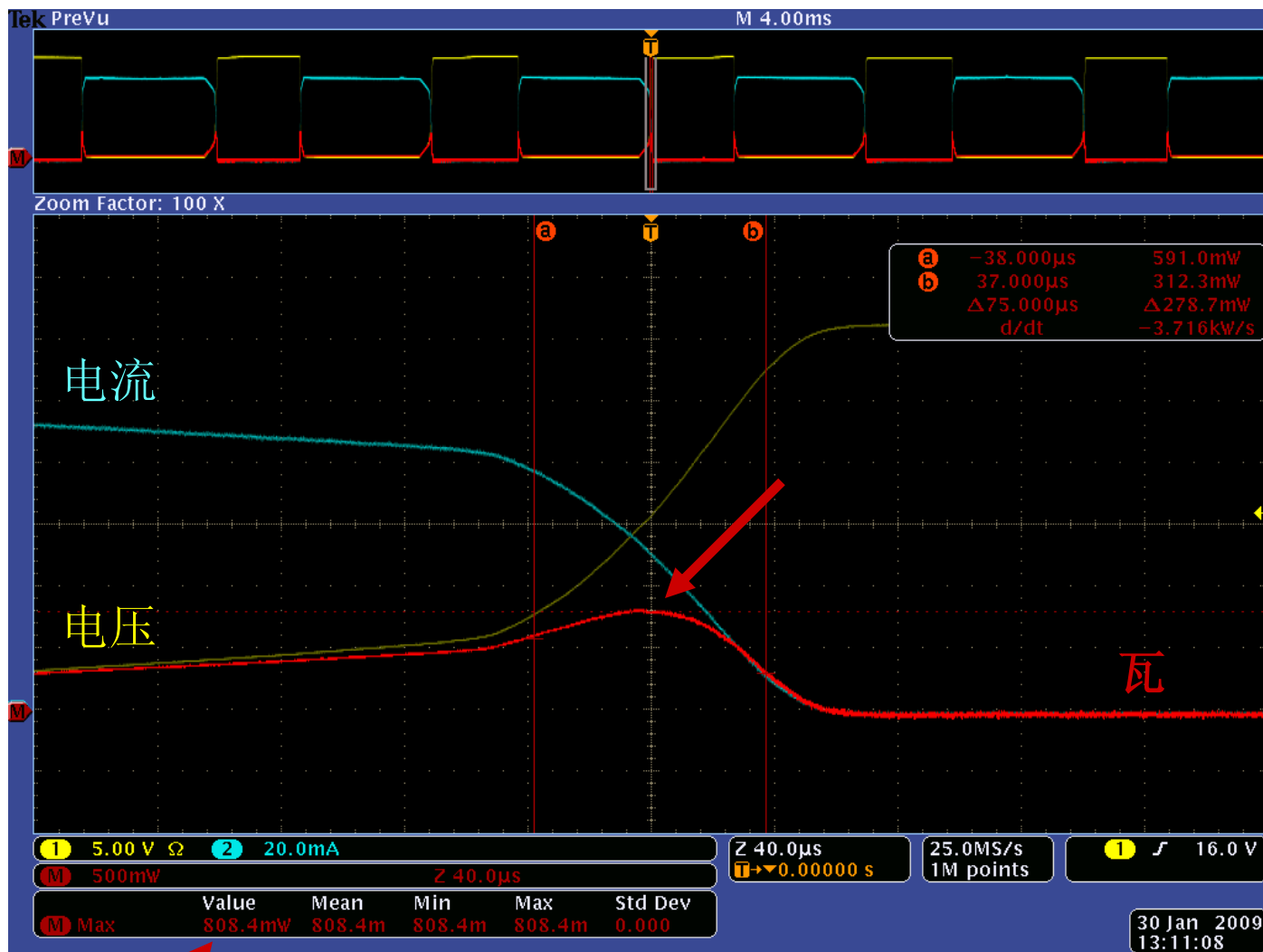
# 开关设备电压转换速率测量

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



# 开关损耗测量

- 开点损耗

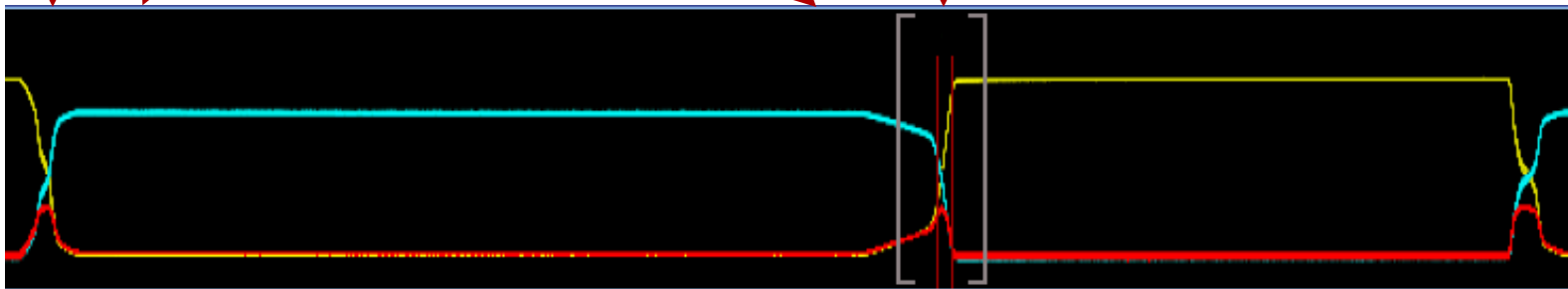
- 在开关设备从非传导状态变成传导状态时的能量损耗

- 传导损耗

- 开关设备在饱和时的损耗

- 闭点损耗

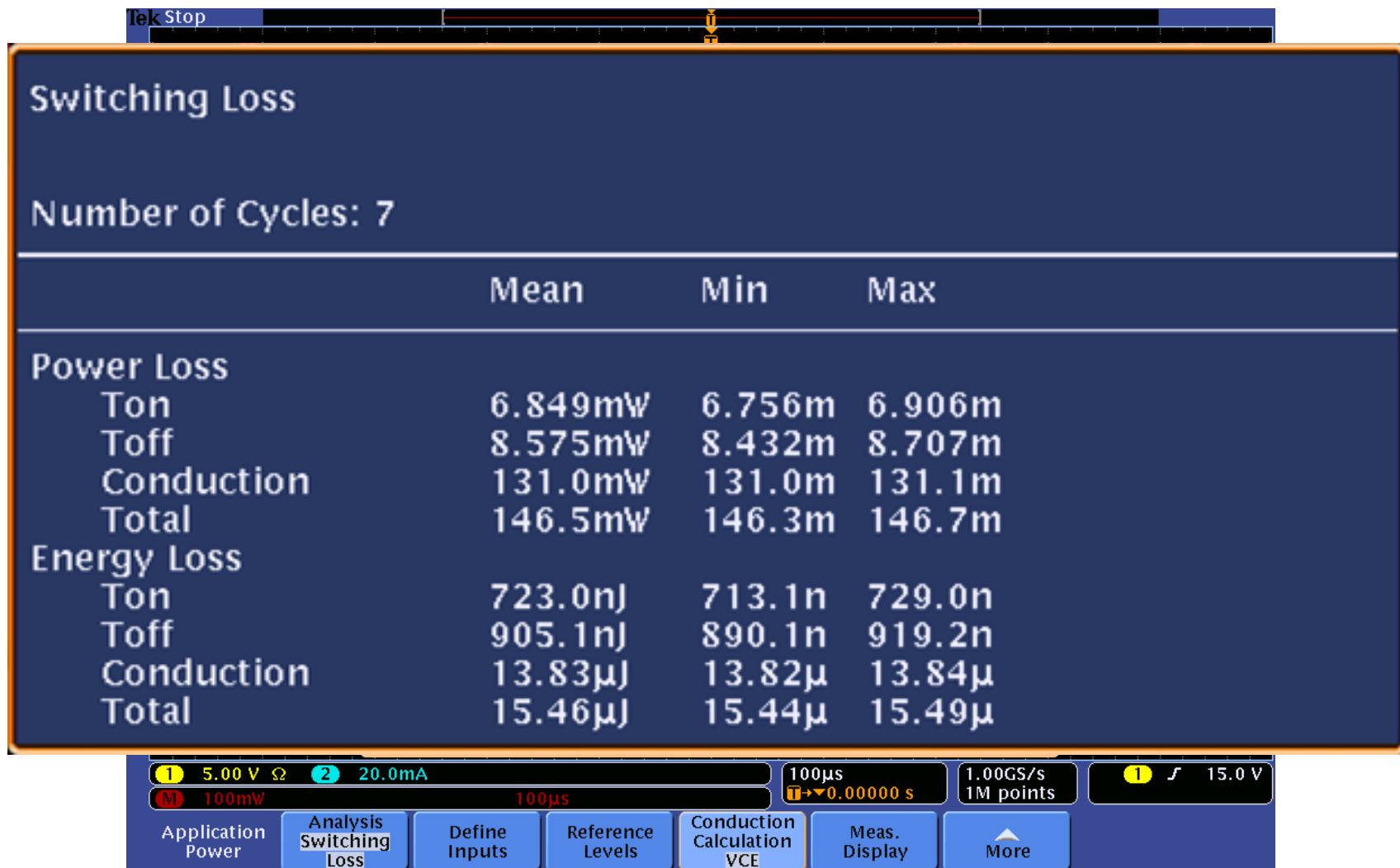
- 在开关设备从传导状态变成非传导状态时的能量损耗





# 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



# RDS ON或Vset的测试

## 测试技巧

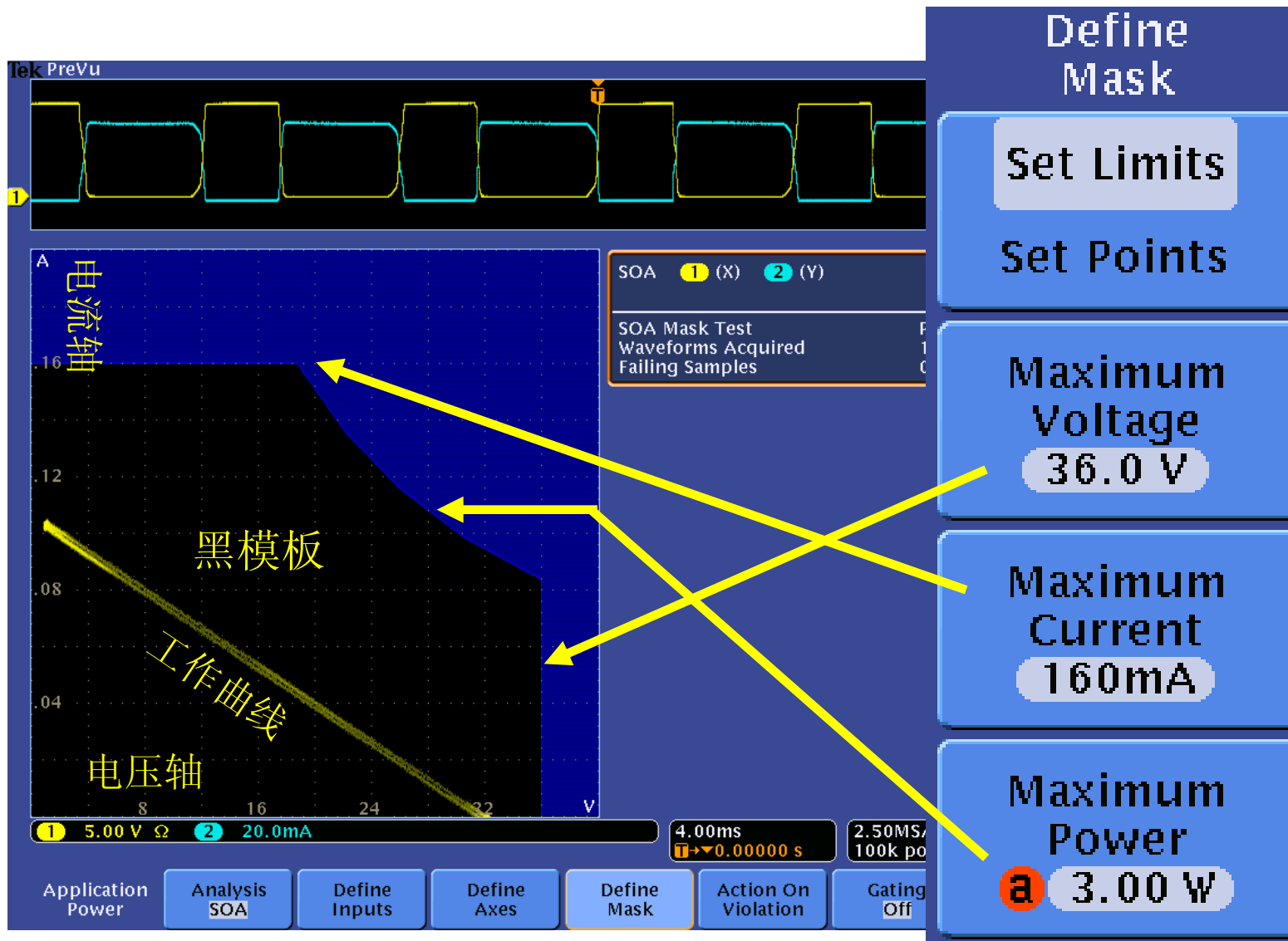
- P5205预热后不接信号短接调整直流偏置
- 设 $I_{ds}$ 为触发源
- P5205接 $V_{ds}$ 在DUT不通电的条件下在做一次直流偏置调整
- 选择高分辨率模式
- 通电后尽可能垂直放大 $V_{ds}$ (以通道不饱和为基准)



此MOSFET的Vset为1.3V

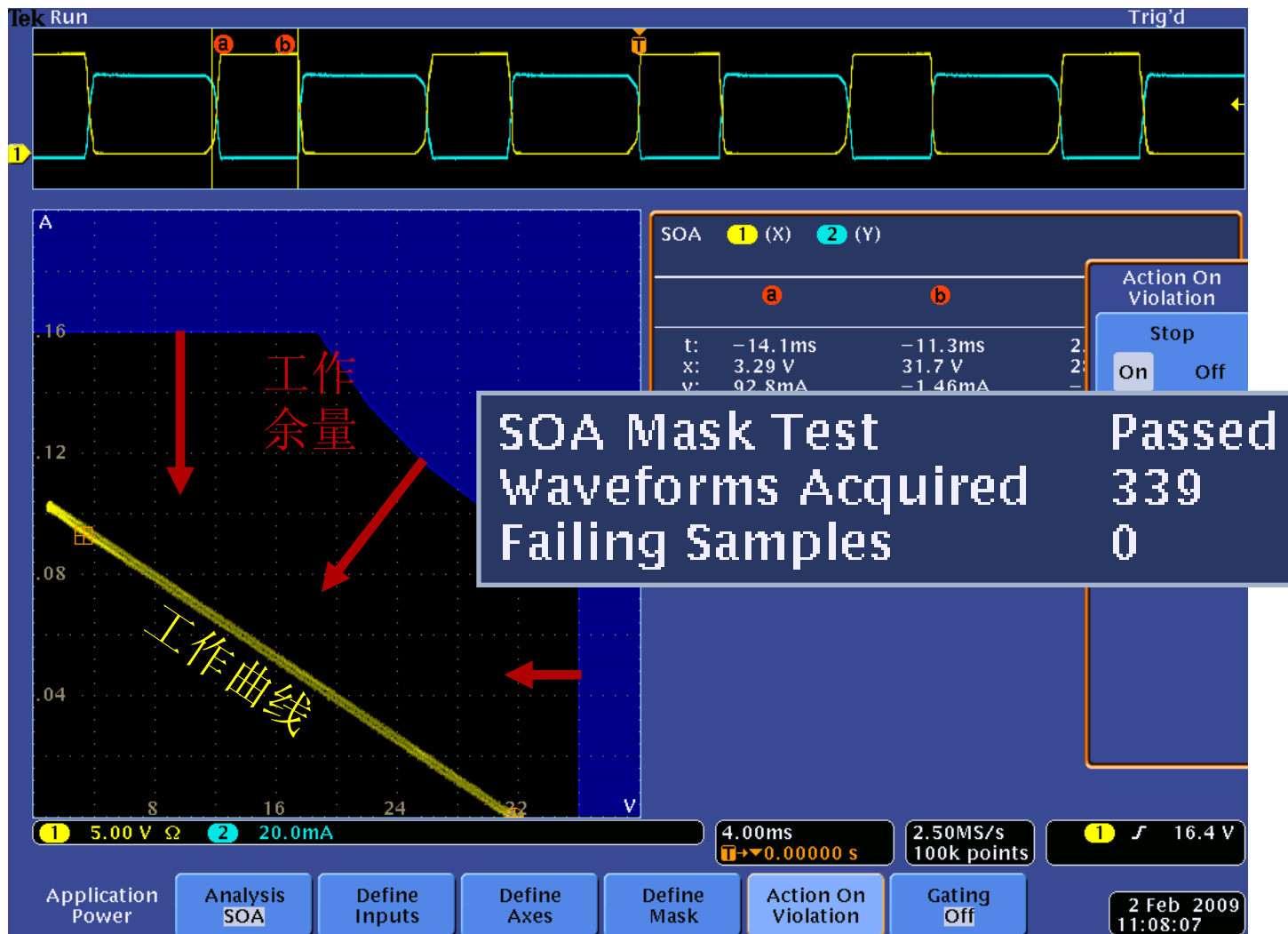
# 安全工作区模板测试

## 用户自定义模板



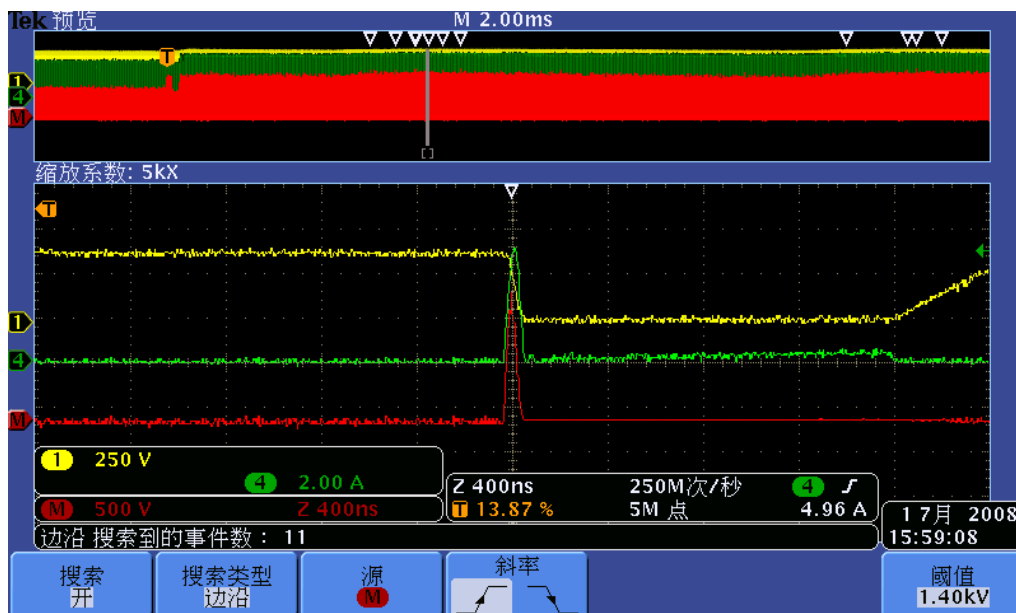
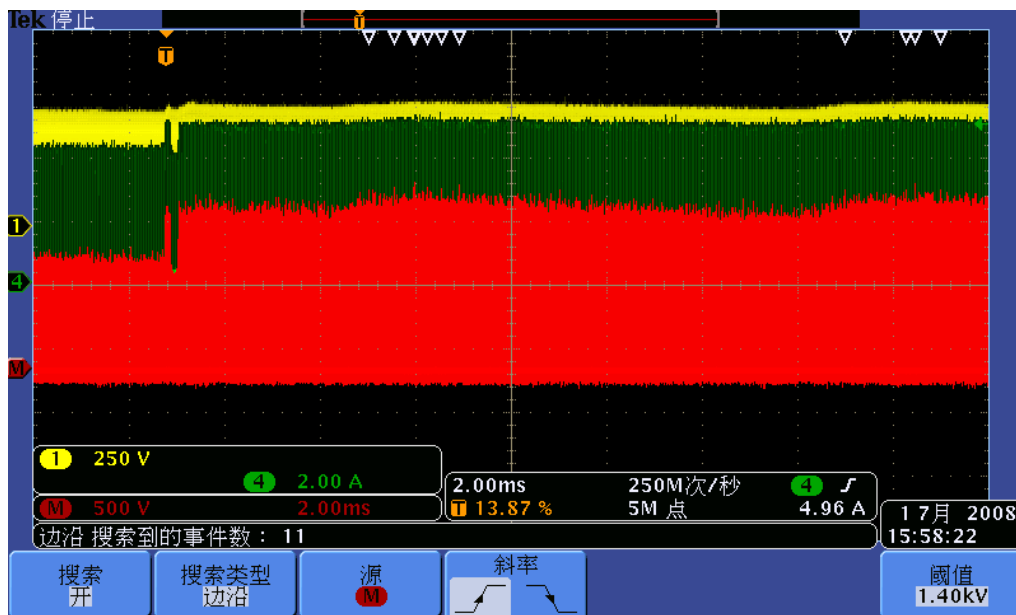
# 安全工作区模板测试

## 通过/失败结果

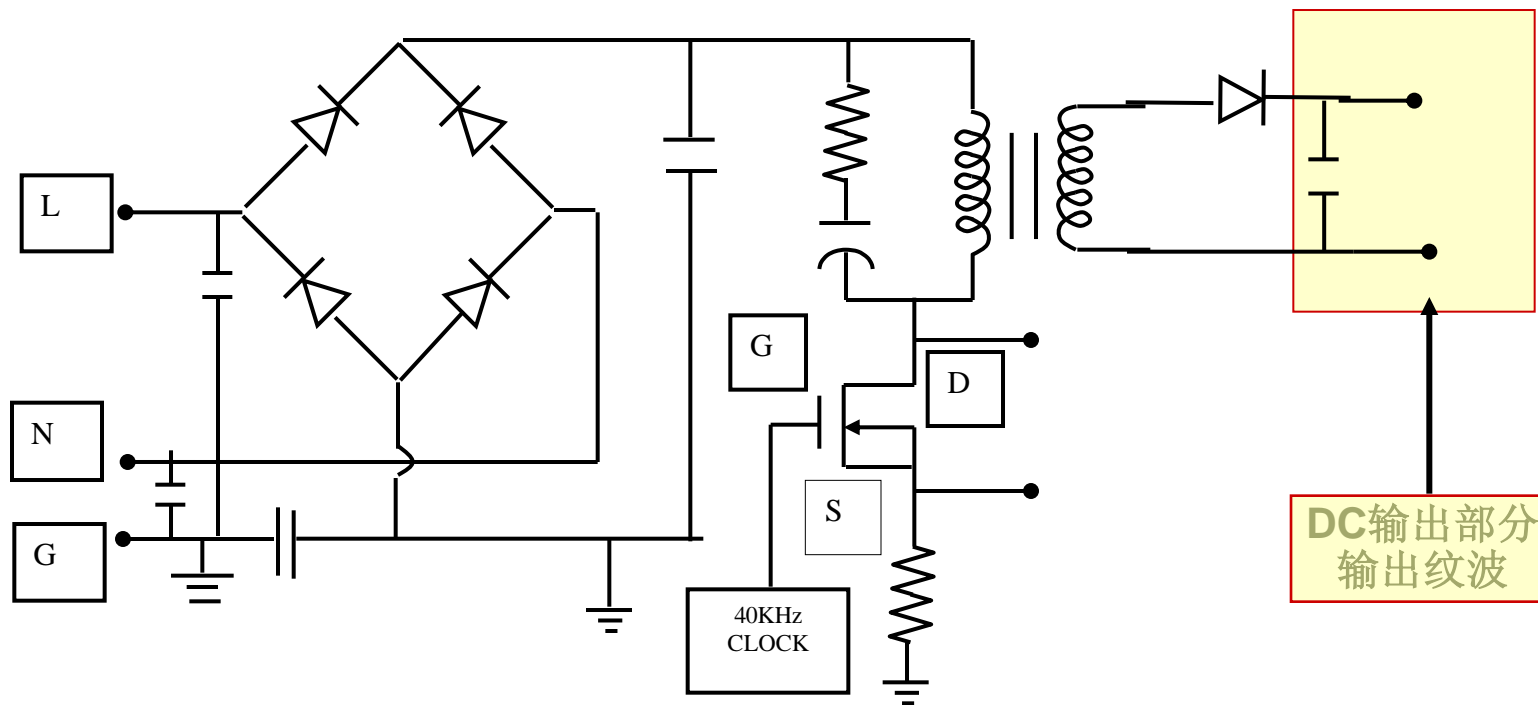


# 动态负载时的开关损耗

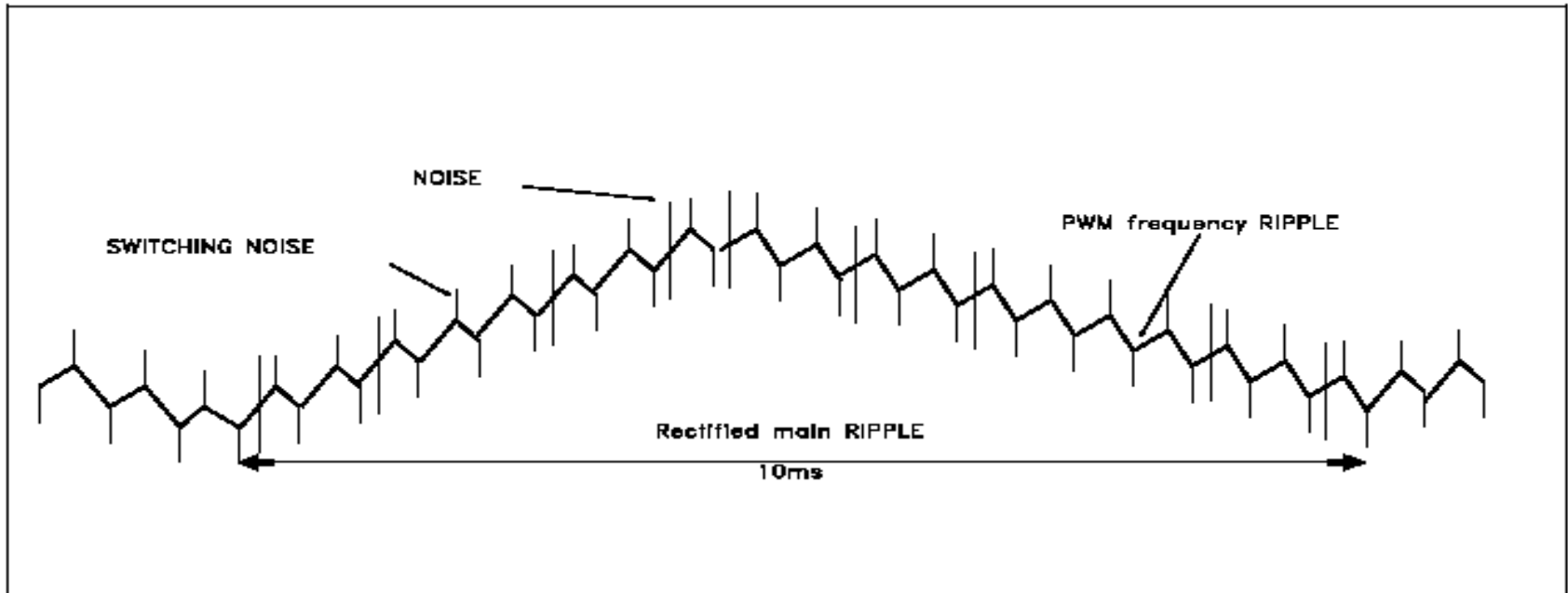
- 峰值功率定位
- 利用Wave Inspector技术捕捉负载变化事件
  - 追踪瞬态功率值
  - 将瞬态功率点与相应的时域波形对应分析
  - 放大波形细节



# 开关电源及其测量问题一 DC 输出部分



# 输出纹波测量



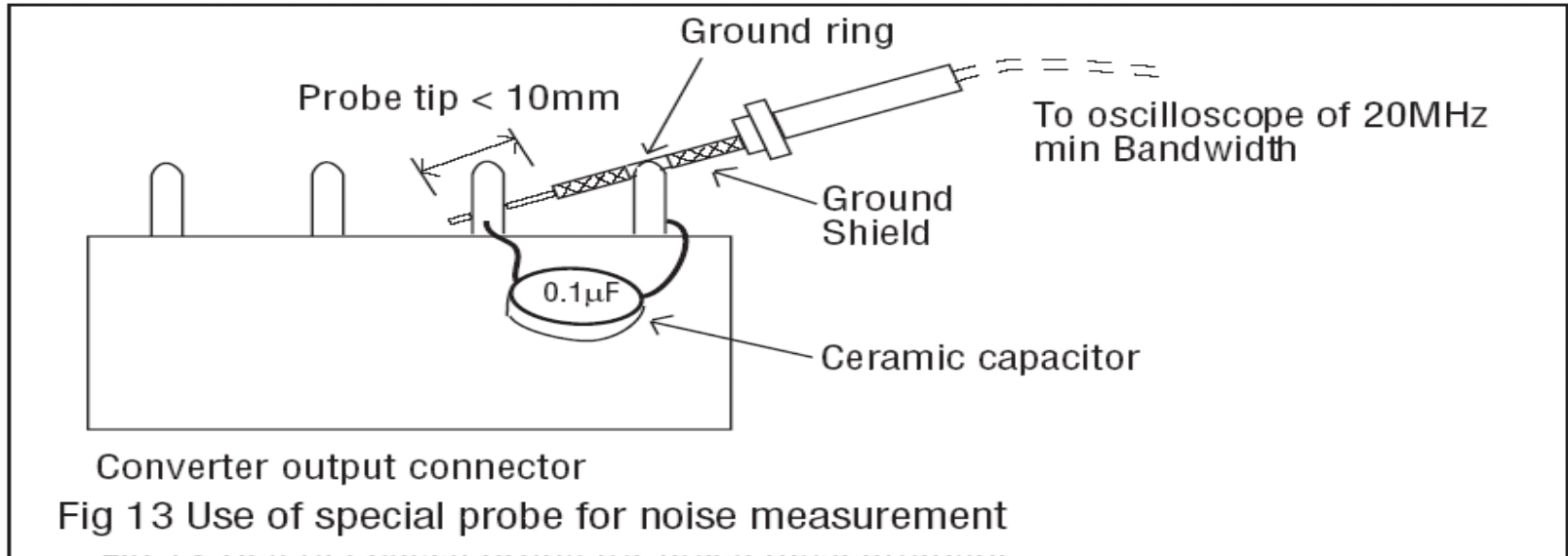
- 低频纹波：工频的**2倍频**（**100Hz**）
- 高频纹波：脉宽调制开关电路带来的纹波
- 开关噪声：与**PWM**信号同频的噪声
- 随即噪声：工频或者开关频率相关的噪声

# 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%**

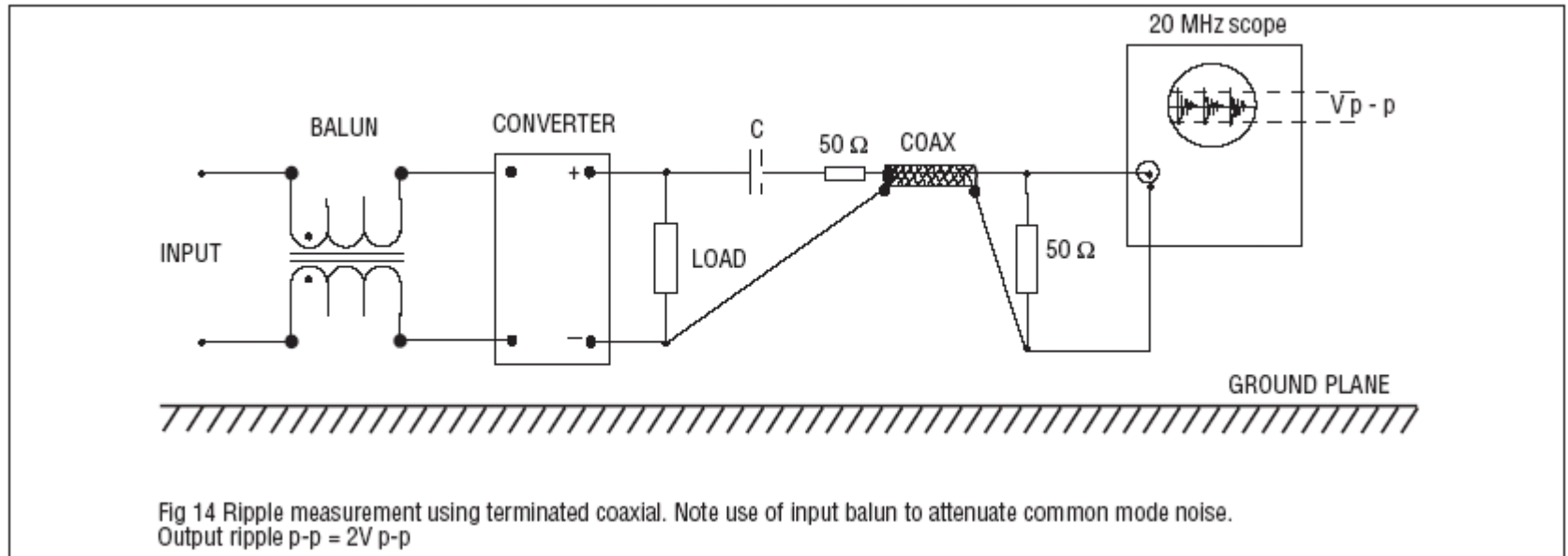


# 输出纹波测量 — 方法1



- 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

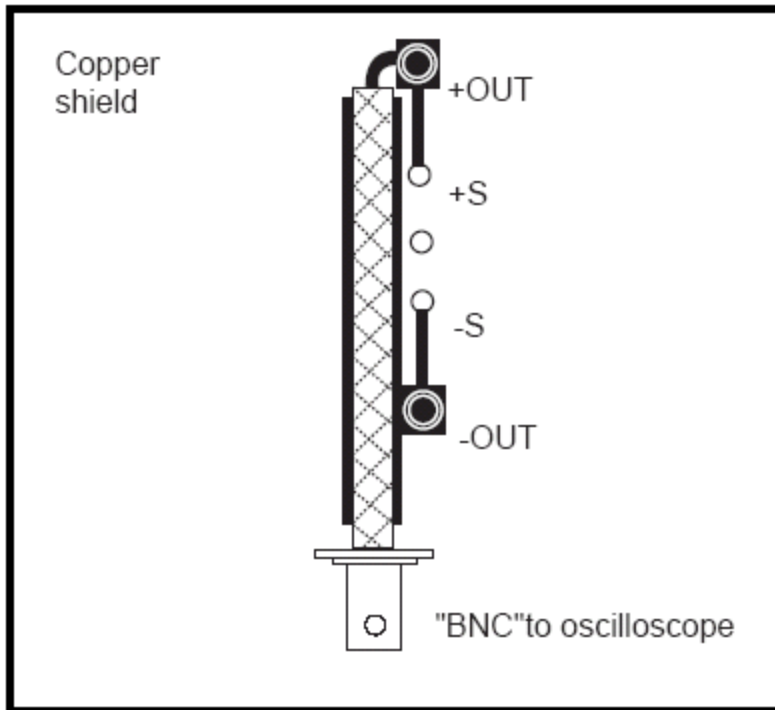
## 输出纹波测量 — 方法2



- 测量结果应该 **X 2**
- 示波器良好接地
- 电容**C**为低**ESR**型，不小于**10uF**

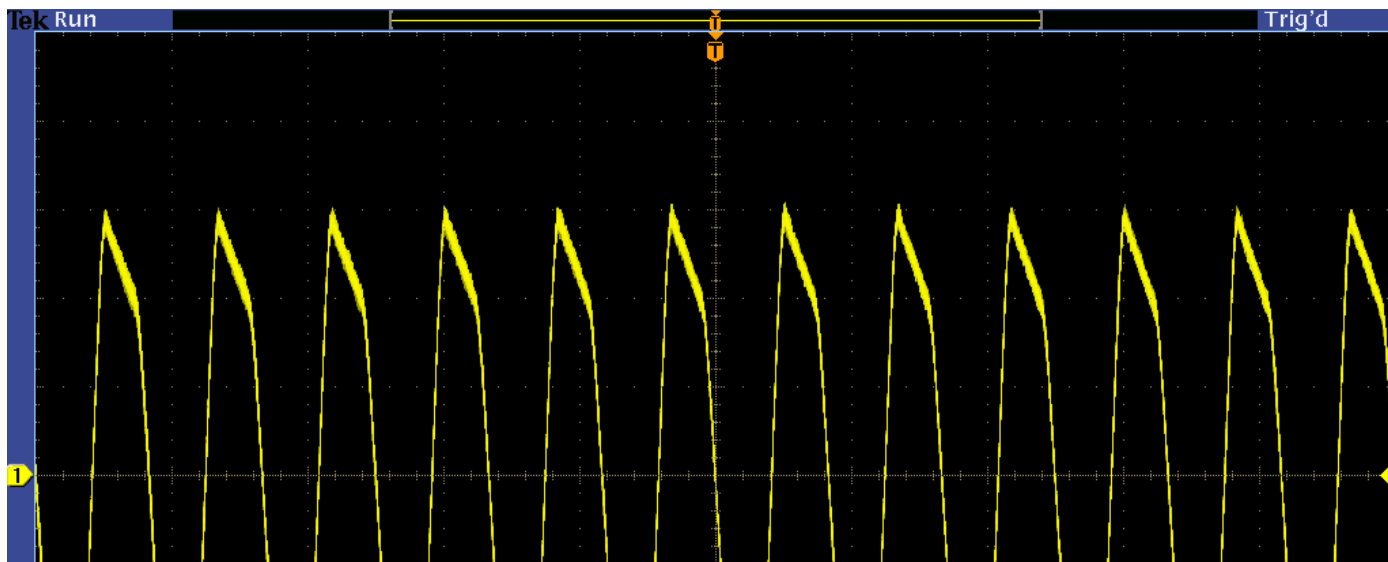
## 输出纹波测量 — 专门的测试夹具

- 比如，特制的测试盒，测试板
- **BNC**测试线等



# 在DC输出上进行纹波测量

## 自动统计测量

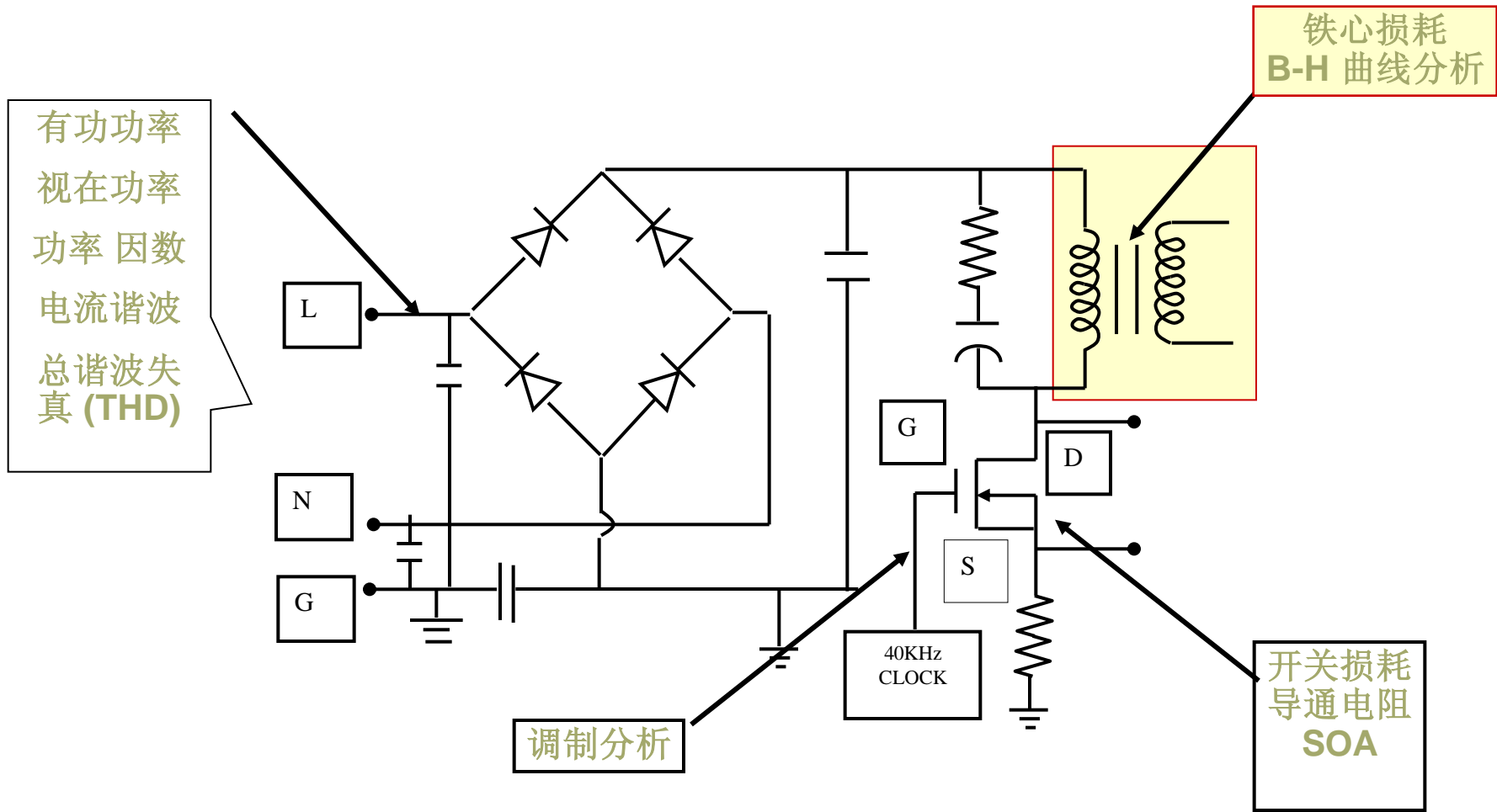


Ripple						
	Value	Mean	Min	Max	Std Dev	
1	Ripple	1.390 V	1.376	556.0m	1.400	77.03m

1 250mV  $\Omega$       20.0ms  $\rightarrow$  0.00000 s      5.00MS/s 1M points      1  $\int$  16.0 V

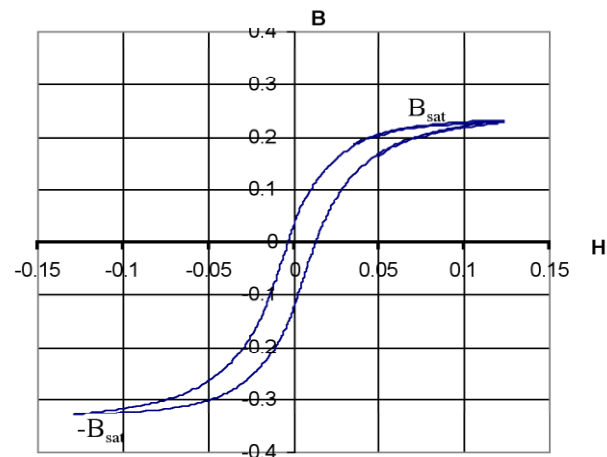
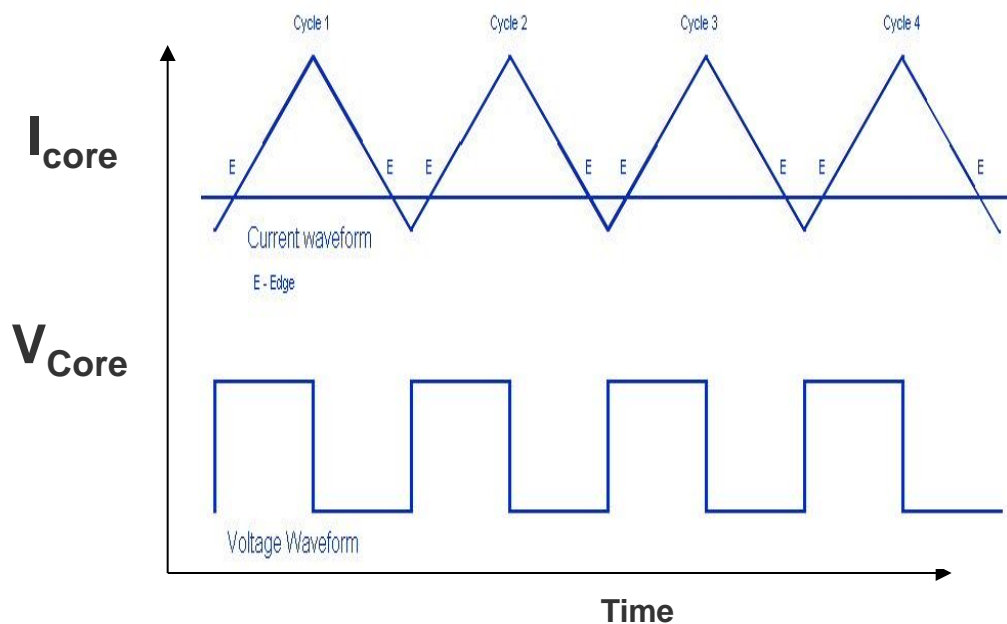
Application Power    Analysis Ripple    Define Inputs    Source V I    Do Vertical Autoset    Set Offset to 0 V    Statistics On

# 开关电源及其测量问题



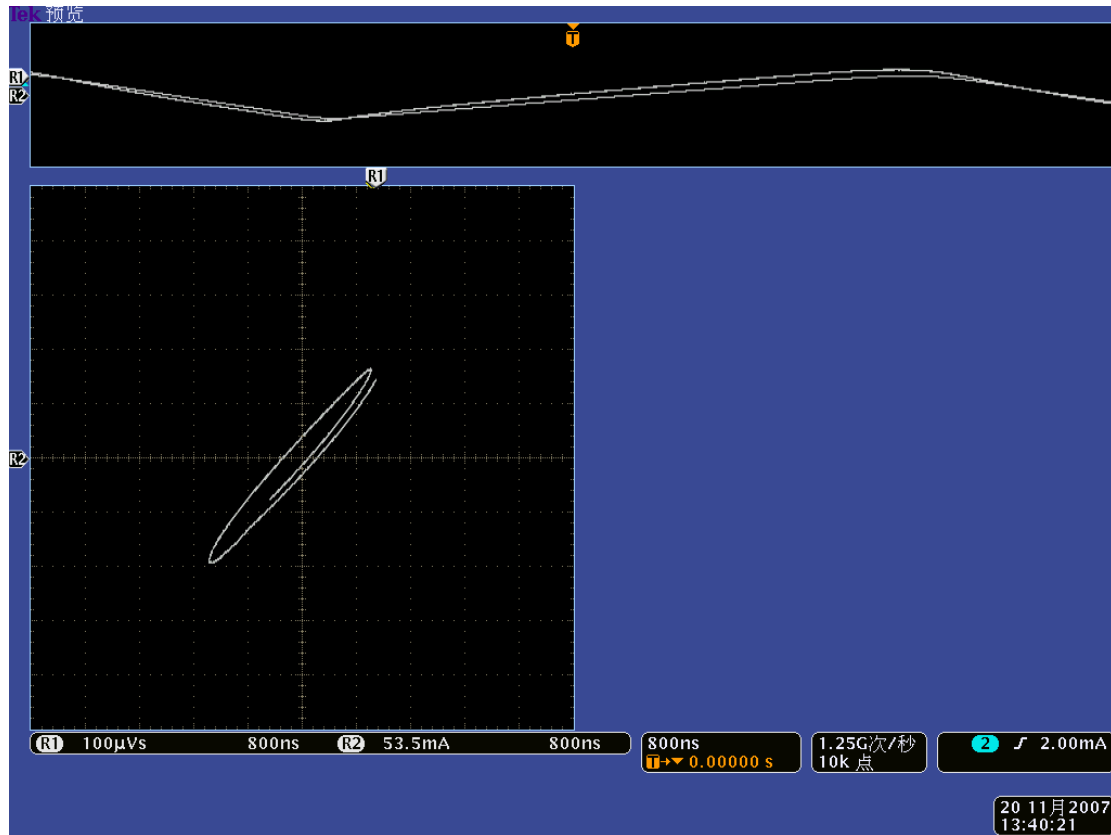
# 电感/变压器的测试

- 电感/变压器
  - 铁心损耗
  - 在线电感值
  - B-H曲线分析
  - 实际上 $B = (\int V(t) dt) / N \cdot S$ ;  
 $H = I \cdot N / L$  的XY显示



# DP04/3000的B-H曲线分析

- ▶ 为提高性能而设计的磁性元件可能带来功率损耗
- ▶ 了解这些元件的限制对于电源系统安全工作非常重要
- ▶ 目前大部分测量仪器还不能解决这些问题



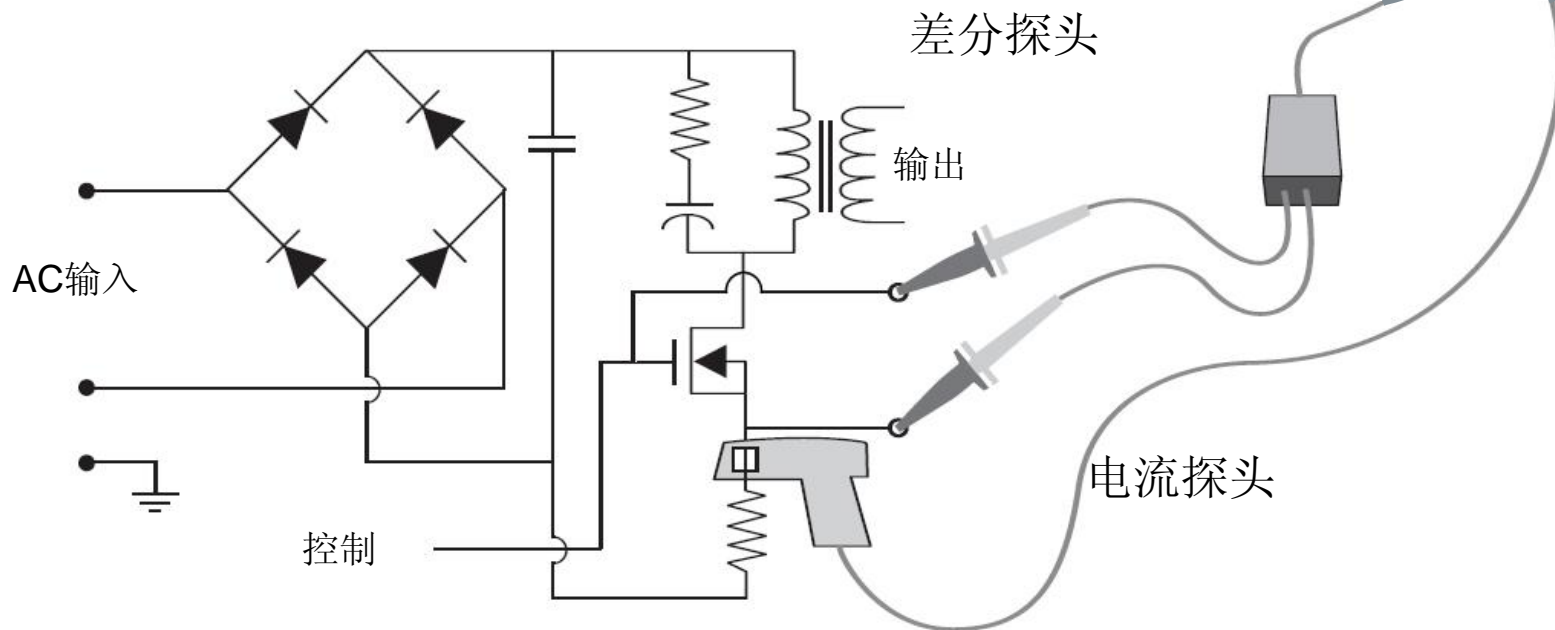
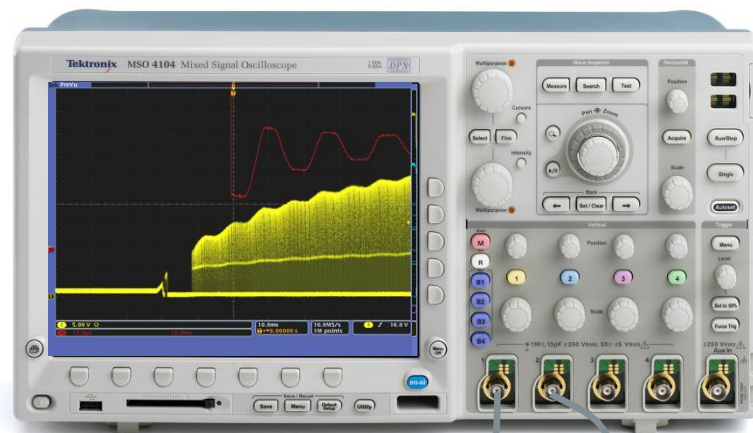
# 分析SMPS的调制效应

- 数字化示波器在电源测量领域中非常常见，但数字荧光采集技术在调试时有着很大的差异，特别是在识别开关电源的调制效应过高时
  - DPO系列的波形捕获速率要比典型的数字存储示波器(DSO)高出许多倍
  - 数字荧光显示可以更简便地实时查看被调制波形
  - DPO显示屏会加强信号曲线经过频次最高的区域，这在很大程度上与模拟示波器类似
  - 调制要比连续重复的主要波形暗



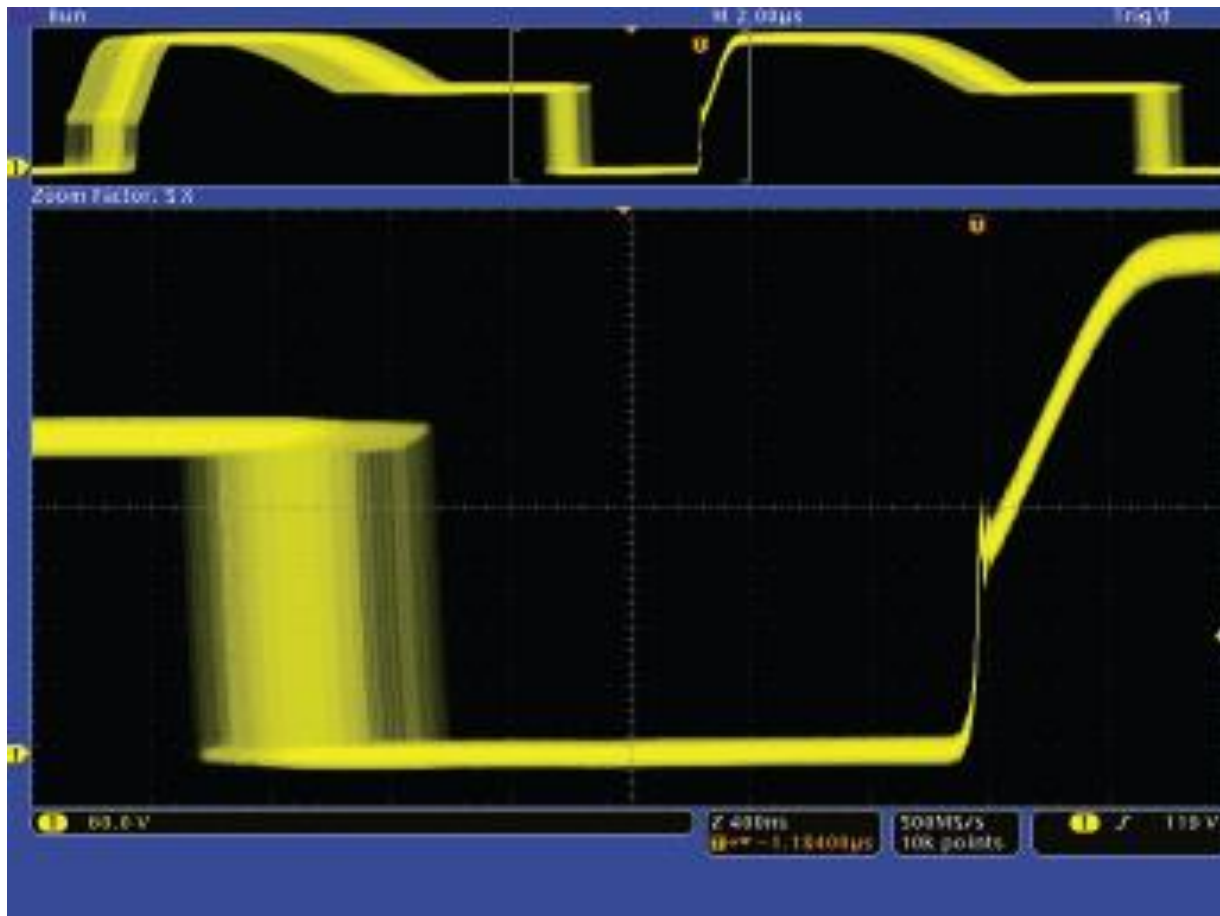
# 调制分析探测

探测开关设备的控制信号电压



# 使用DPO系列查看调制影响

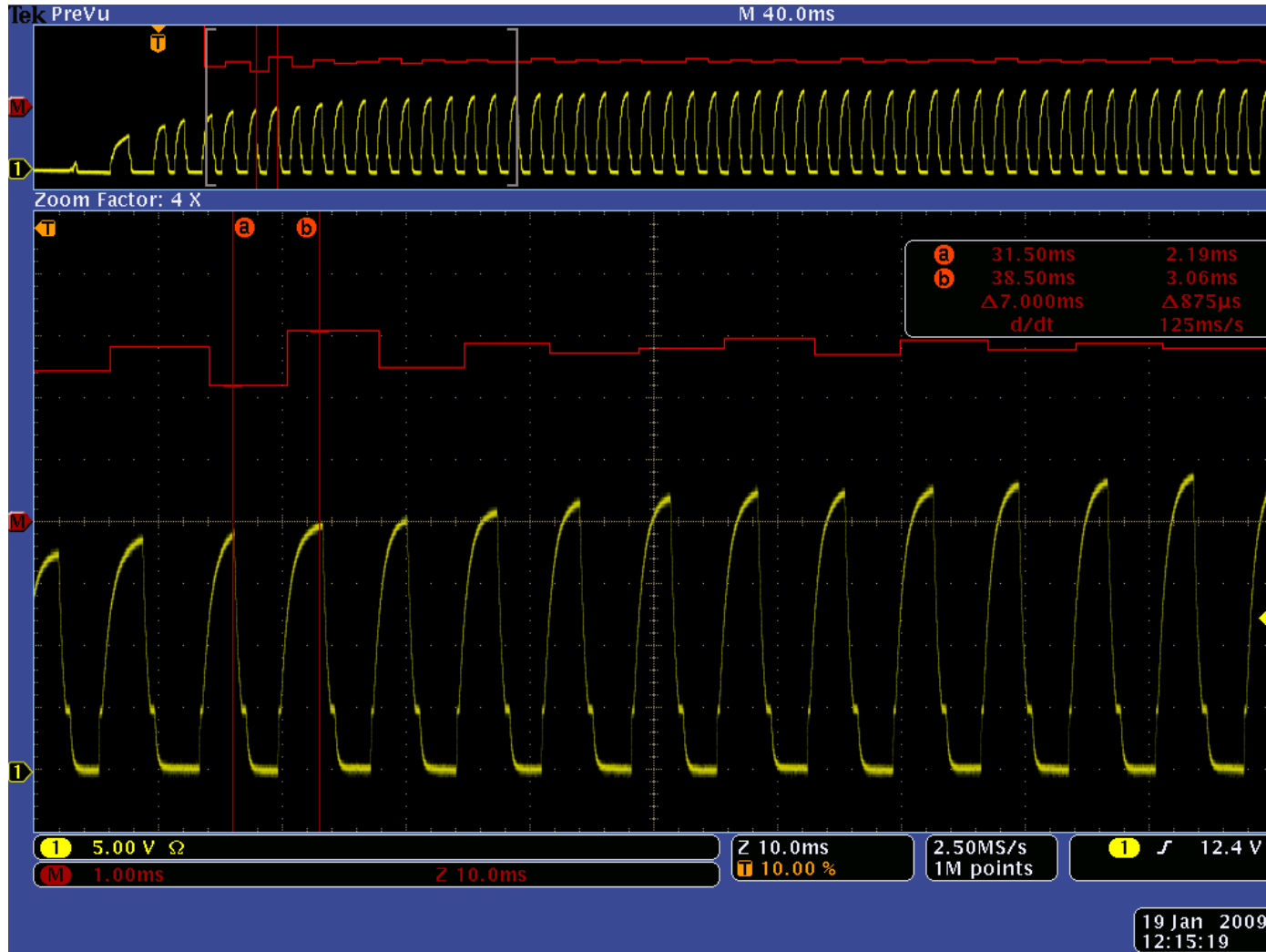
- 调制在控制环路的反馈系统中具有重要意义
  - 调制太多会导致环路变得不稳定
  - 在调制频次较低的区域中，波形较暗



控制着电源中电源模式控制环路输出的被调制信号

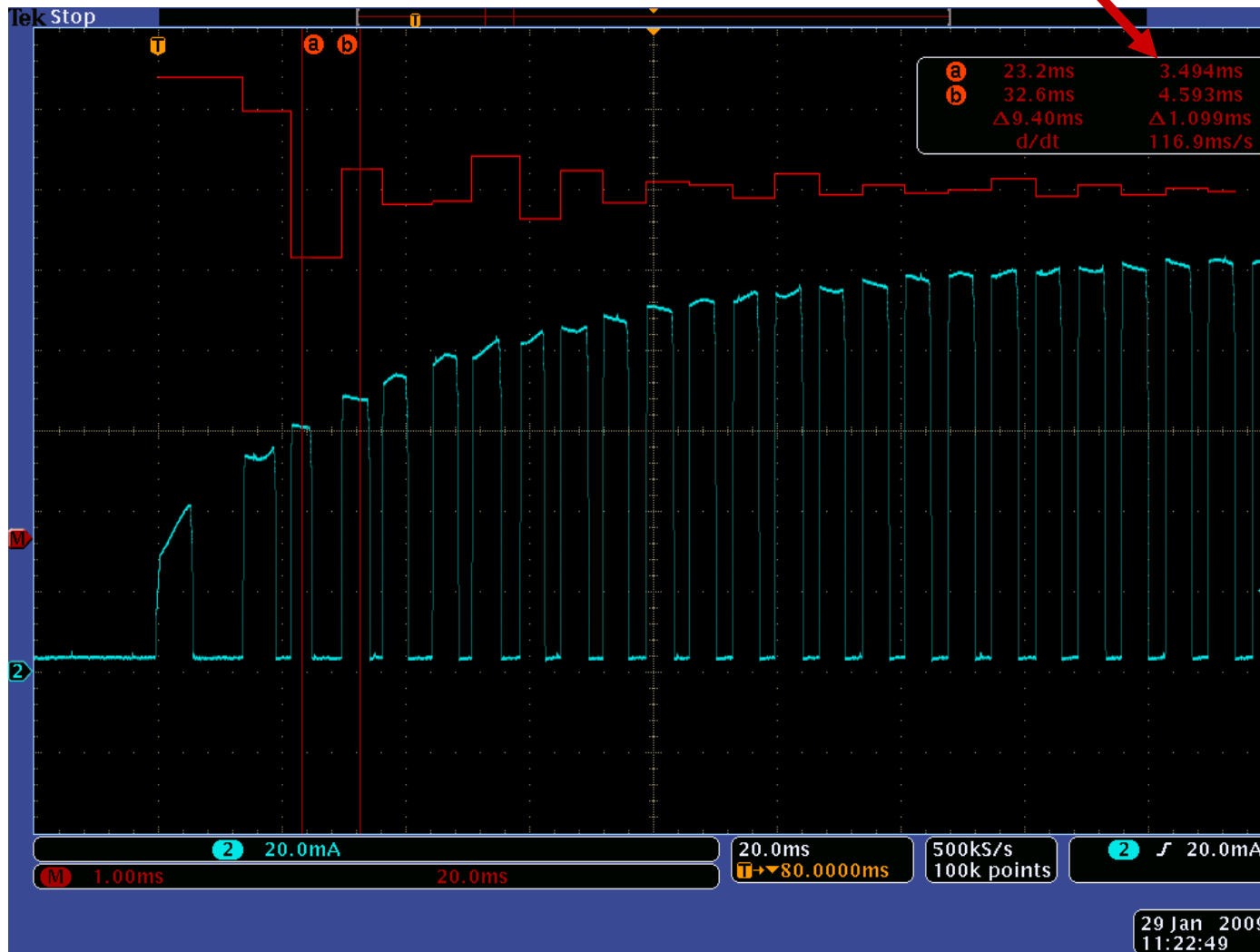
# 开点调制分析

## 开关设备的控制信号电压



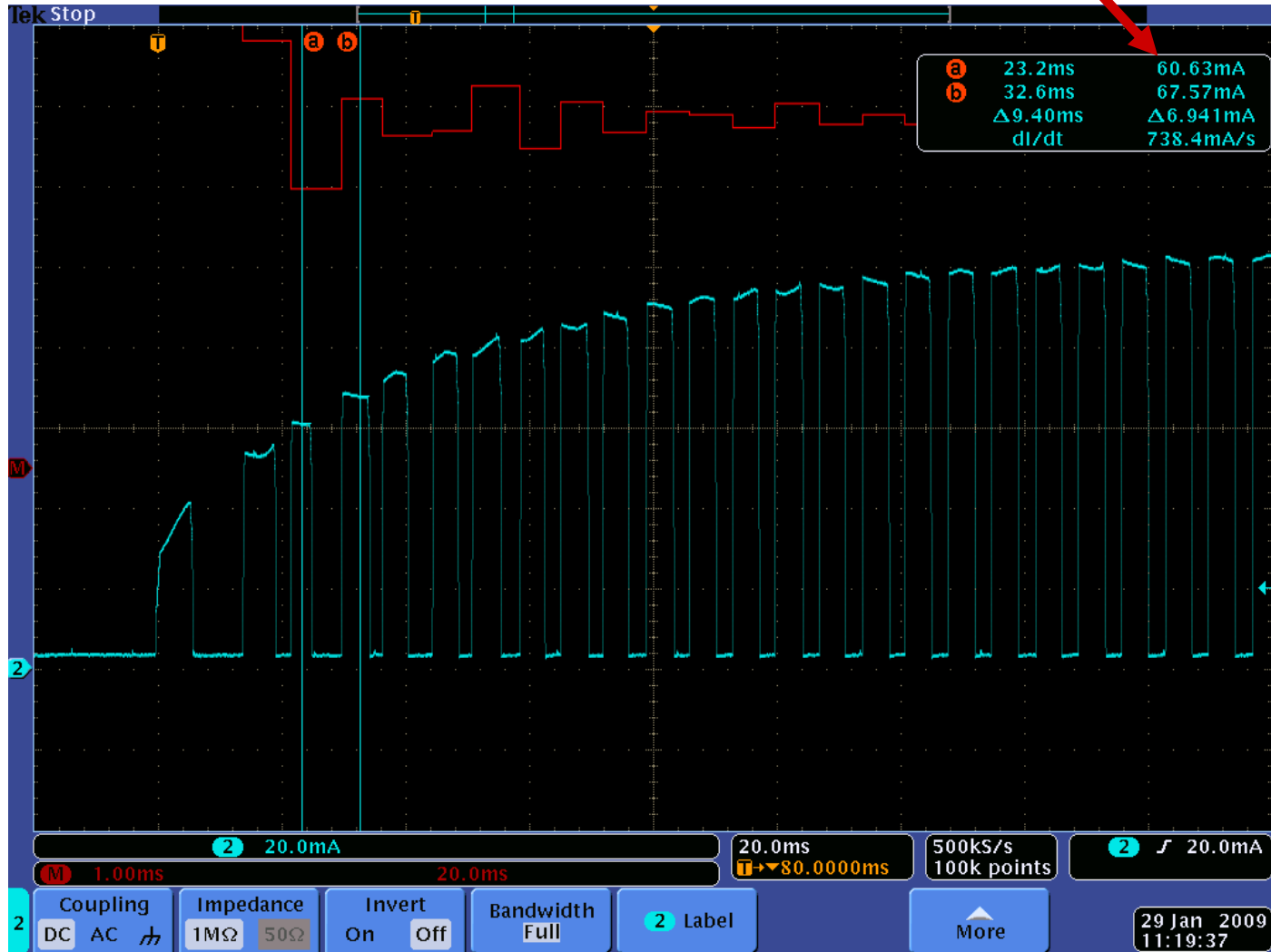
# 开点调制分析

开关设备电流，光标读取正脉宽



# 开点调制分析

开关设备电流, 光标读取电流幅度



# 如何应对电源设计中的 PMbus和SMbus挑战



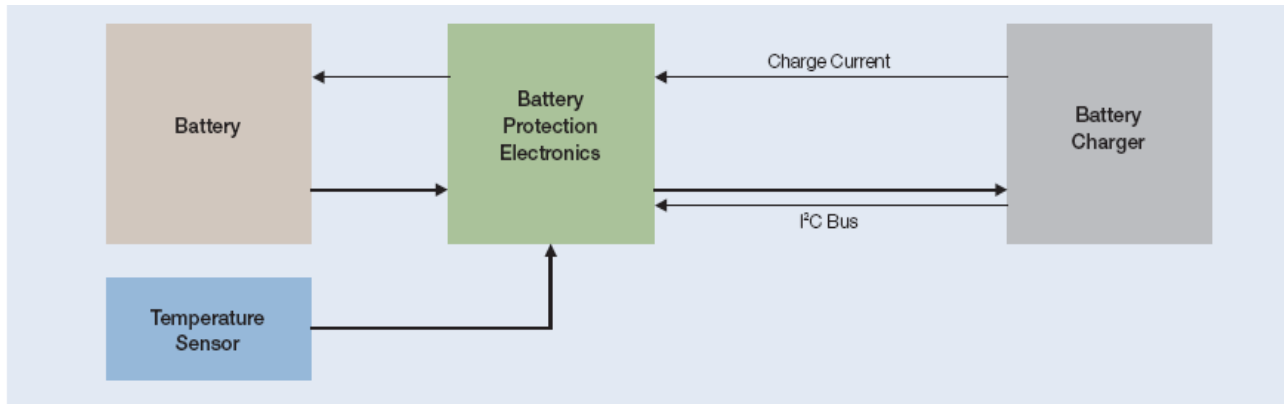
# 低速串行总线在电源中的演变

- I<sup>2</sup>C: 在1980s由飞利浦公司创立
- SMBus: 由I<sup>2</sup>C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

# 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

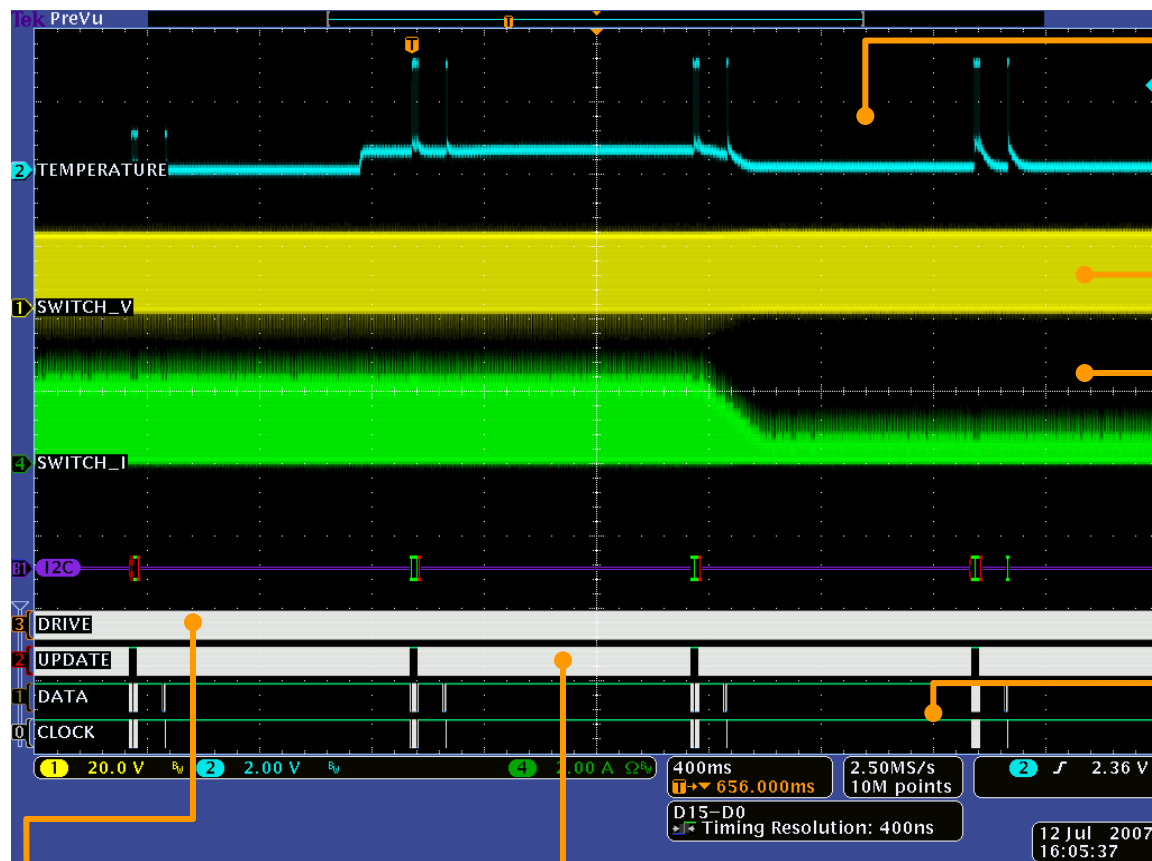
- 测量充电器对温度变化的响应
- 确认电流变化期间的控制稳定性

## ■ 挑战

- 解码I<sup>2</sup>C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

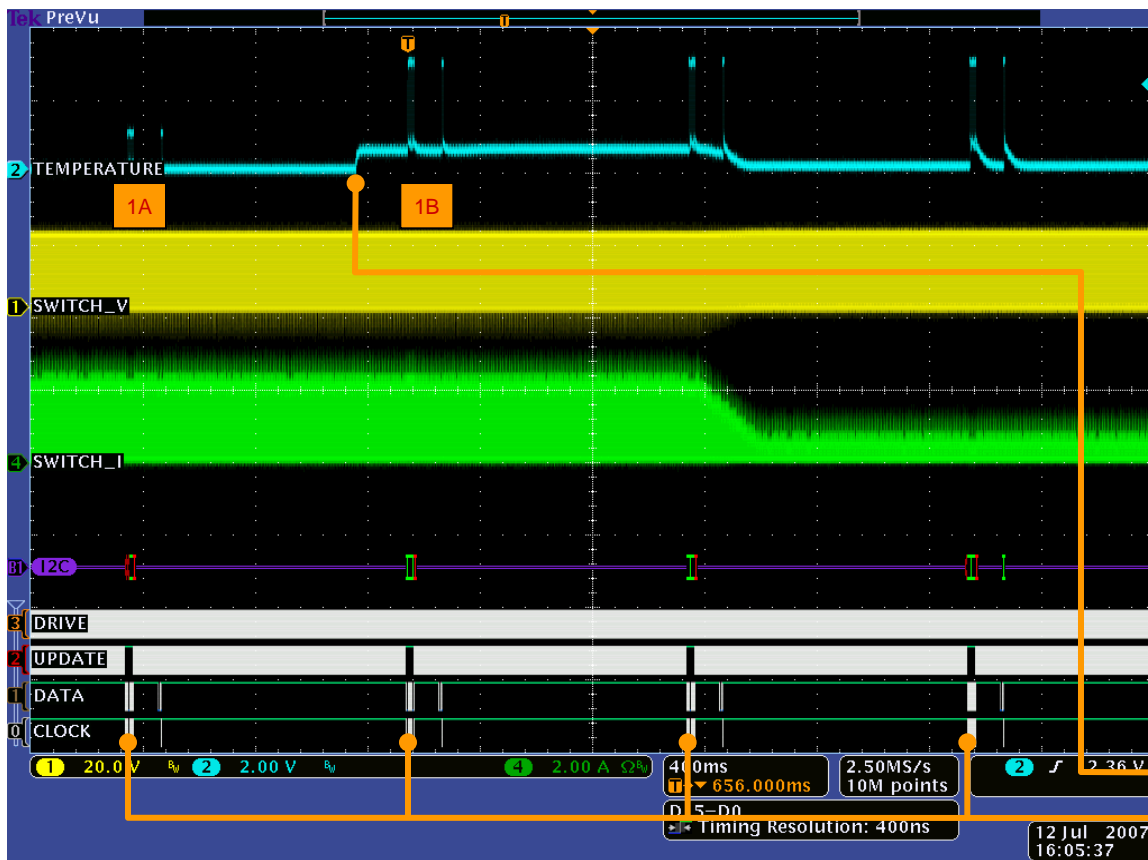
## ■ 数字信号

- 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

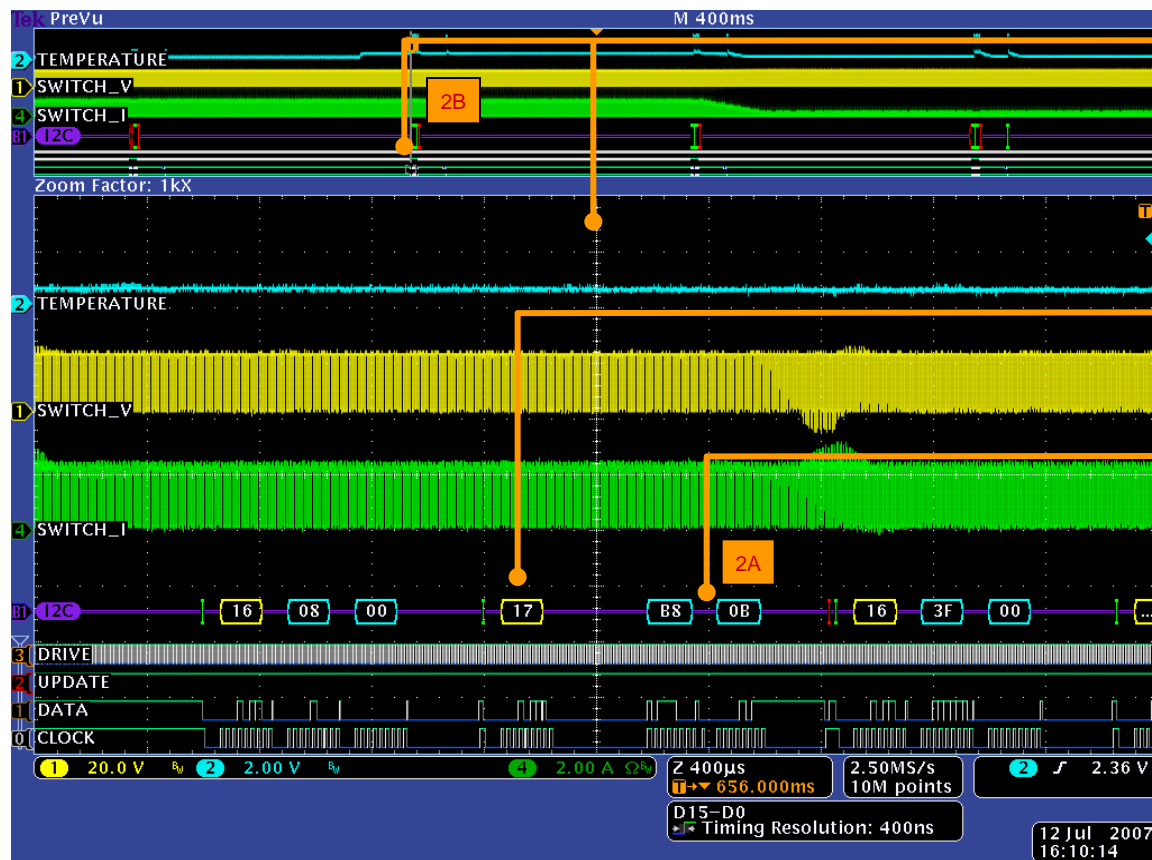
## ■ 完整的视图

- 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

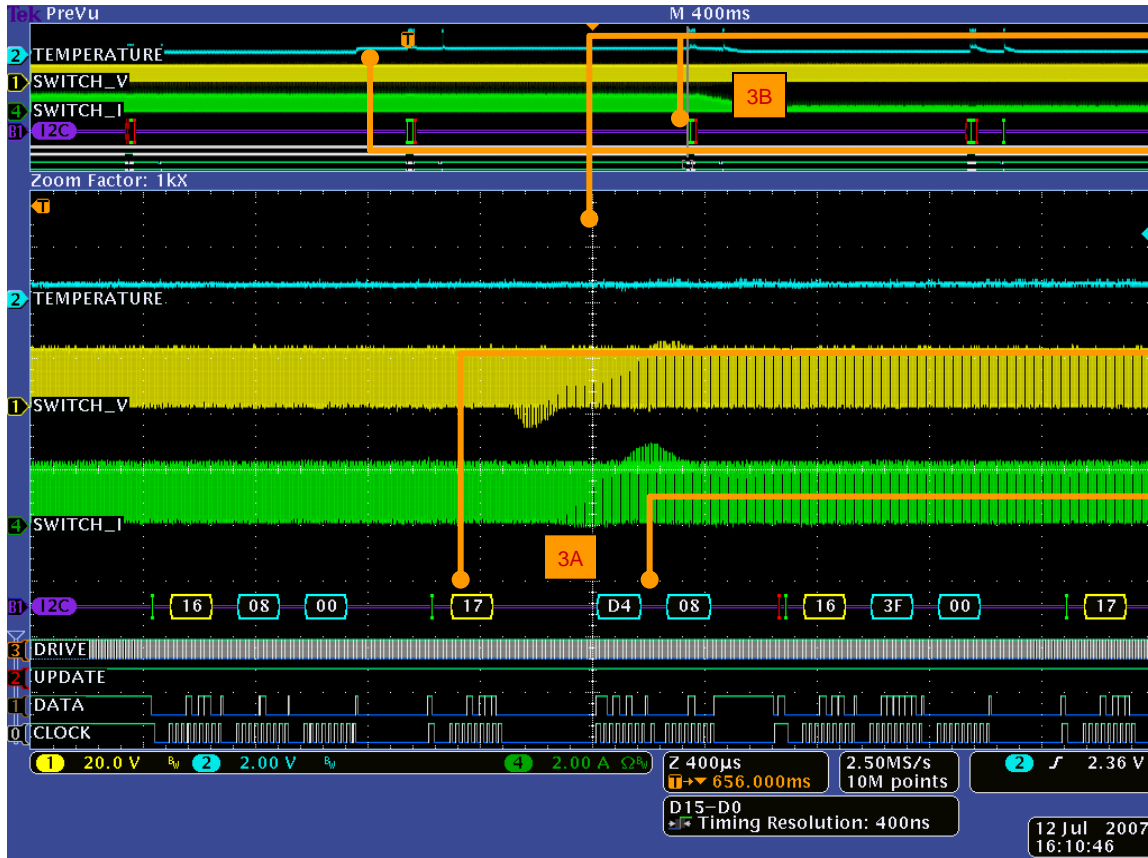
- 温度变化
- 由充电器读取

# 从初始读数中解码I<sup>2</sup>C数据



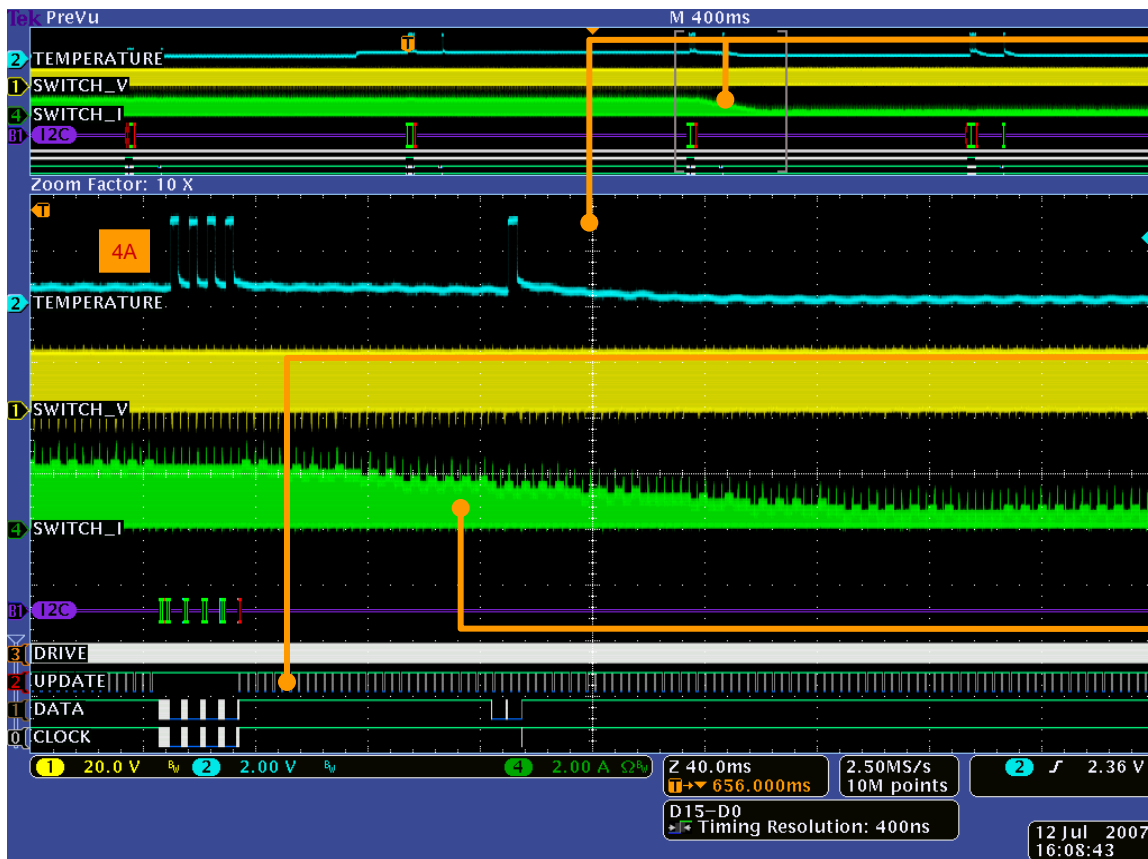
- 放大的总线解码位置
  - 一直保持查看总曲线时间
- 读命令 (0x17)
- 原来的温度值 (0x0BB8)
  - 先从低比特开始
- 还没有变化
  - 这个I2C读数是在电池保护电子器件测量新温度之前获得的
  - 因此，数据还没有变化 (0x0BB8)

# 在读取温度后解码I<sup>2</sup>C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I<sup>2</sup>C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I<sup>2</sup>C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

# 泰克电源探测解决方案

## 差分探头和电流探头

DPO系列示波器配有泰克通用探头接口(VPI)。TekVPI 探头用途广泛，功能丰富，简便易用

### ■ TekVPI 高压差分探头

- TDP1000 和TDP0500
  - 提供了GHz 性能，分析开关式电源(SMPS)设计
  - 广泛的被测设备(DUT)连接能力和简便易用性

### ■ TekVPI 电流探头

- TCP0030 和TCP0150
  - 杰出的带宽(DC - 120 MHz)和宽动态范围(几毫安到几百安)。
  - 分芯结构，可以更简便、更迅速地连接被测设备(DUT)



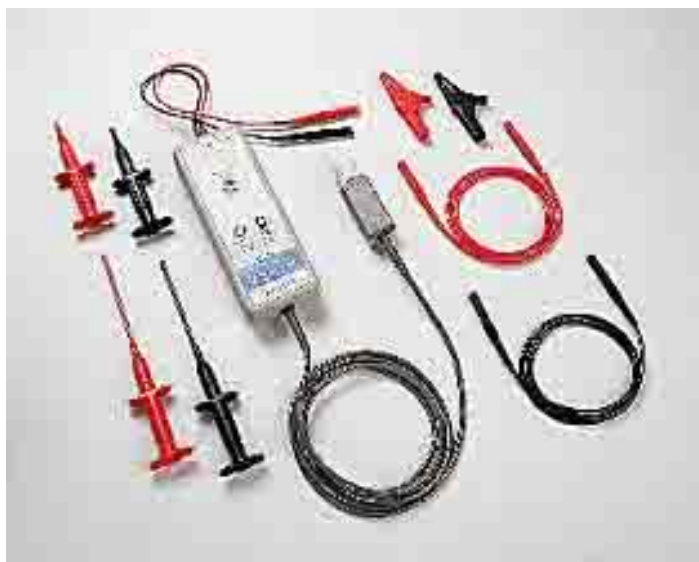


# 高压探头和电流探头

为测量更高的电流和电压，可以在配有TPA-BNC适配器的DPO系列示波器上使用下述TekConnect探头

## ■ 高压差分探头电流探头

- P5205 - 测量高达1000 VRMS CAT II 的电压
- P5210 - 测量高达4400 VRMS 的电压
  - 在示波器接地的情况下，安全地测量浮动电路或提升电路
  - 从几毫伏到几千伏的宽动态电压范围



## ■ 电流探头

- TCPA300电流放大器配合TCP303/TCP305/TCP312以及独立的TCP202
  - 变压器和霍尔效应技术增强了AC/DC 测量功能
  - 从几毫安到几千安的宽动态电流范围



# 有问题吗？



**Tektronix**