

新一代电源系统分析与测试方案

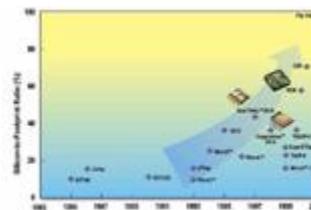


陈迎雨

泰克科技（中国）有限公司

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

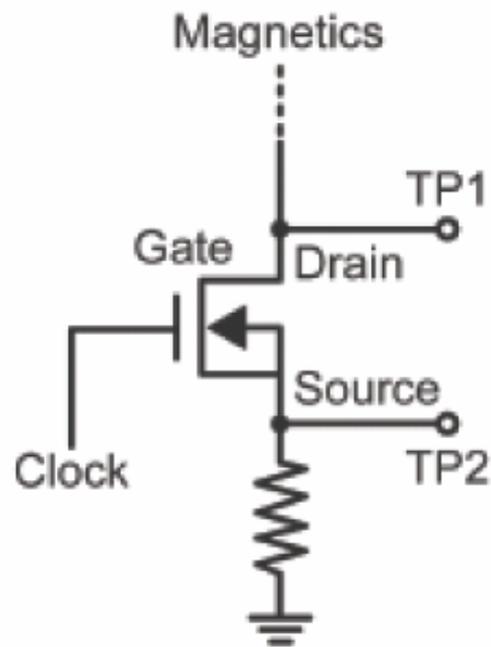
- „ 提升开关电源效率
 - 降低开关损耗
 - 最大限度地降低磁性器件的功率损耗
 - 需要更快的控制环路响应
- „ 提高开关电源系统可靠性
 - 海量数据分析
 - 符合宽带技术标准
- „ 需要简便易用、可靠的工具，定位问题

测试工具 如何帮助您 提升开关电源系统效率



导致SMPS效率低下的主要因素

- „ 开关器件的功率损耗
 - 开关损耗
 - 传导损耗
- „ 磁性器件的功率损耗
 - 铁芯损耗
 - 近场效应损耗
 - 线圈损耗
 - 涡流电流损耗



开关损耗

4 T_{on} 损耗

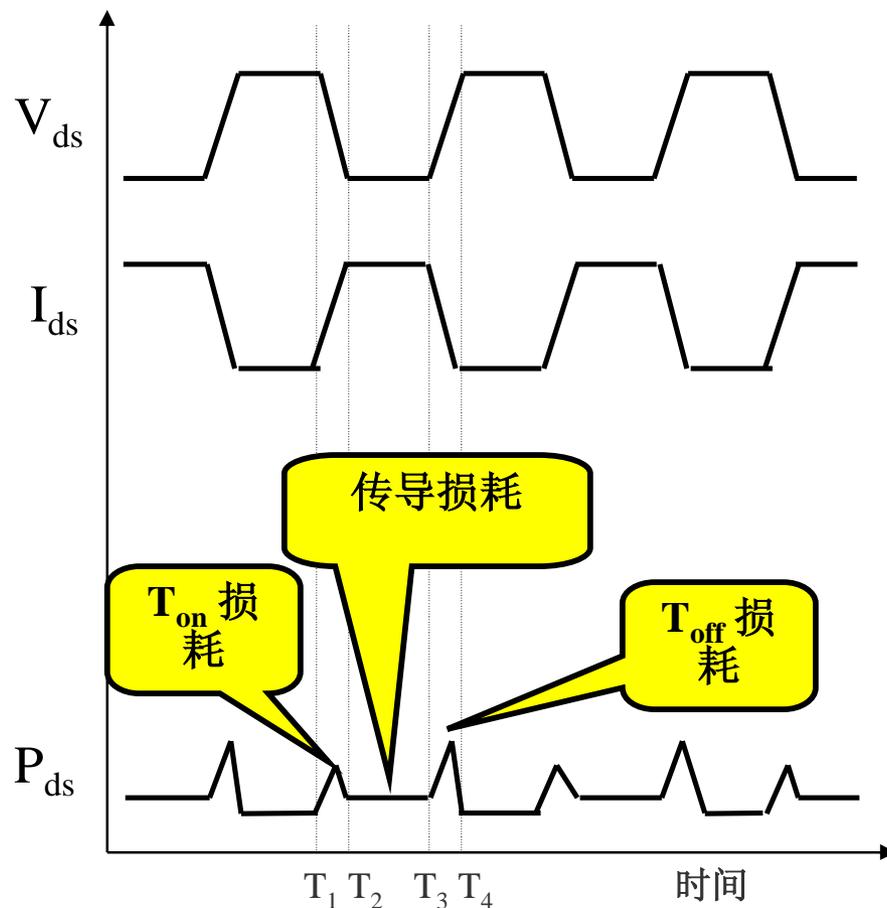
○ 开关器件的功率损耗: T_1 到 T_2

4 T_{off} 损耗

○ 开关器件的功率损耗: T_3 到 T_4

4 总平均损耗

○ 开关器件的功率损耗: T_1 到 T_4

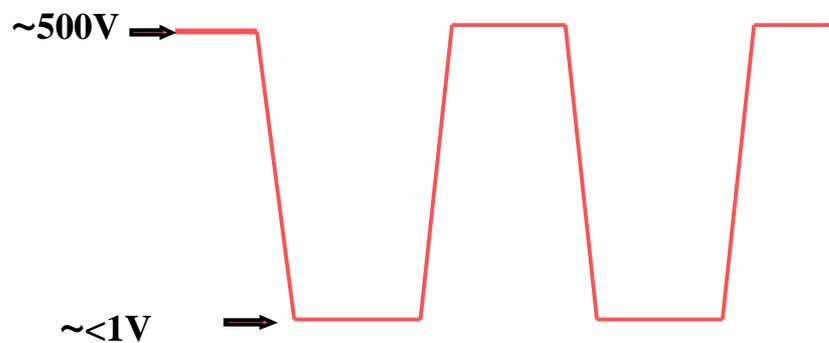


开关损耗和总平均损耗的测量需求

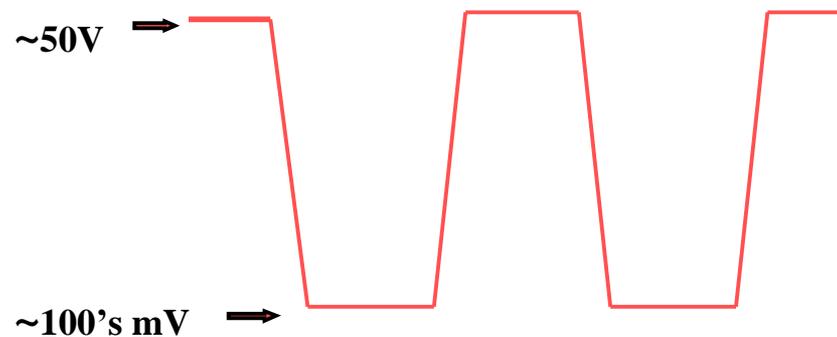
- „ 动态范围: 同时测量几百伏到几百毫伏的电压
- „ 消除电压探头和电流探头引起的时间偏移
- „ 差分探头和电流探头固有的噪声
- „ **SMPS**的工作模式
- „ 识别真实开关转换

测量开关损耗和总平均损耗

- 开关器件的典型开关电压
 - 差分
 - 信号特点如下



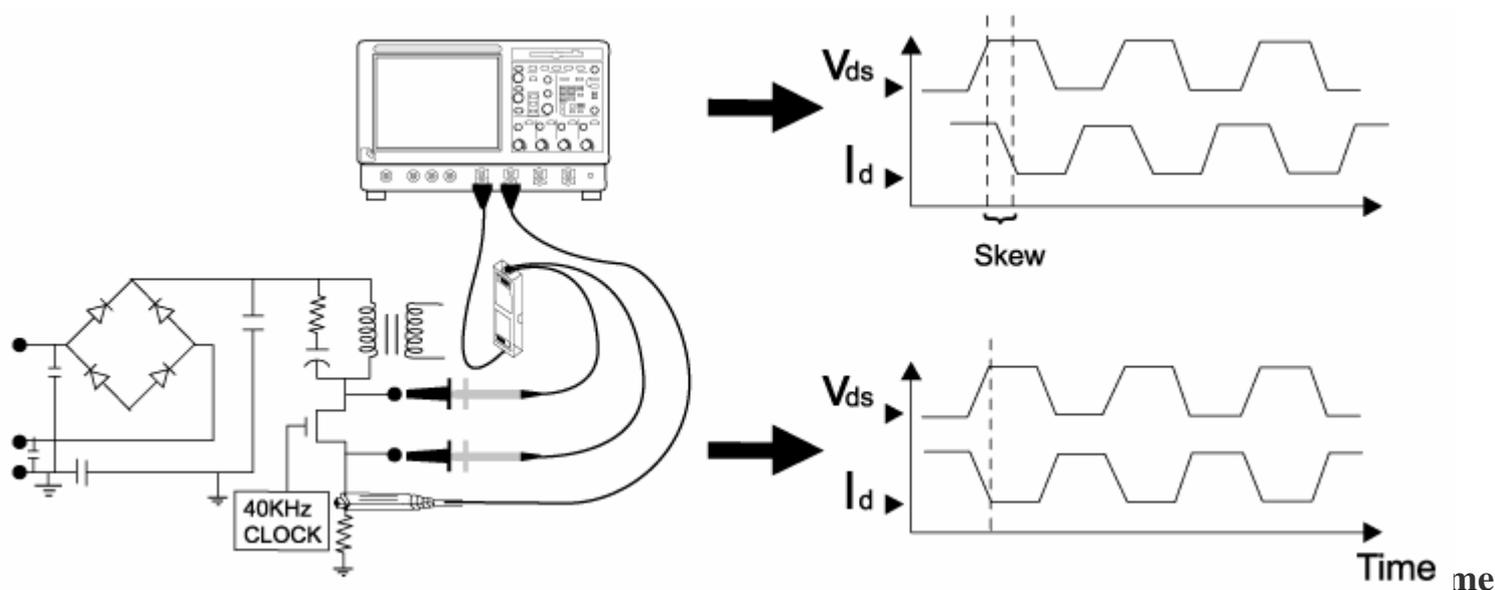
AC/DC SMPS的开关电压



DC/DC SMPS的开关电压

电压信号和电流信号之间的时间偏移

- „ 开关器件的测量挑战
 - 电压探头和电流探头引起的的时间偏移



- „ DPO4000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

设置差分电压探头和电流探头

„ 差分探头

- 为预热和稳定提供充足的时间
- 把两个差分输入连接到同一个测试点上
- 在示波器进行‘平均’测量
- 按照信号平均值零点调节 DC 平衡

„ 电流探头

- 为预热和稳定提供充足的时间
- 对电流探头消磁
- 在示波器进行‘平均’测量
- 按照信号平均值零点调节 DC 平衡

SMPS工作模式对总平均损耗的影响

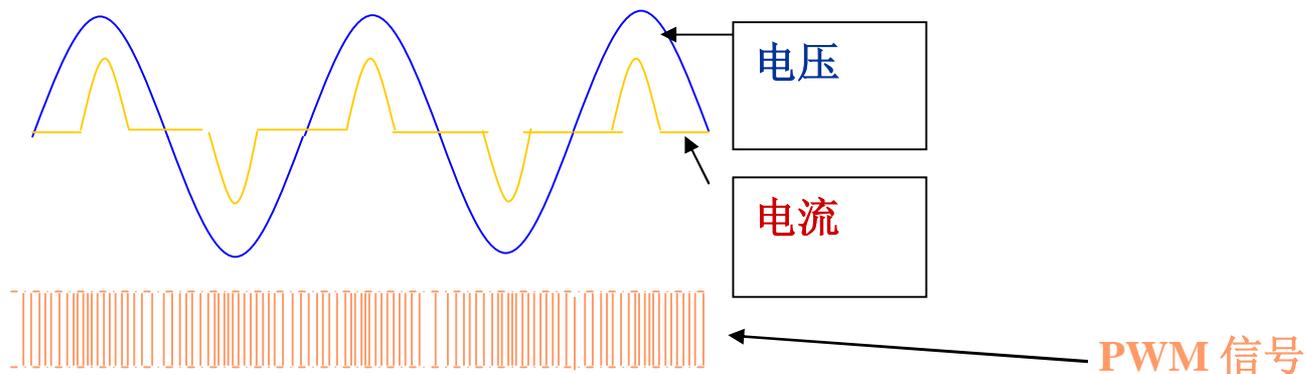
- „ 总平均损耗的测量精度取决于
 - 脉宽变化
 - SMPS拓扑
 - SMPS的开机时间
 - SMPS的负荷变化状态

为精确测量开关损耗和总平均损耗，必需捕获整个事件

理解需要

长记录长度，以进行精确测量

- 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



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

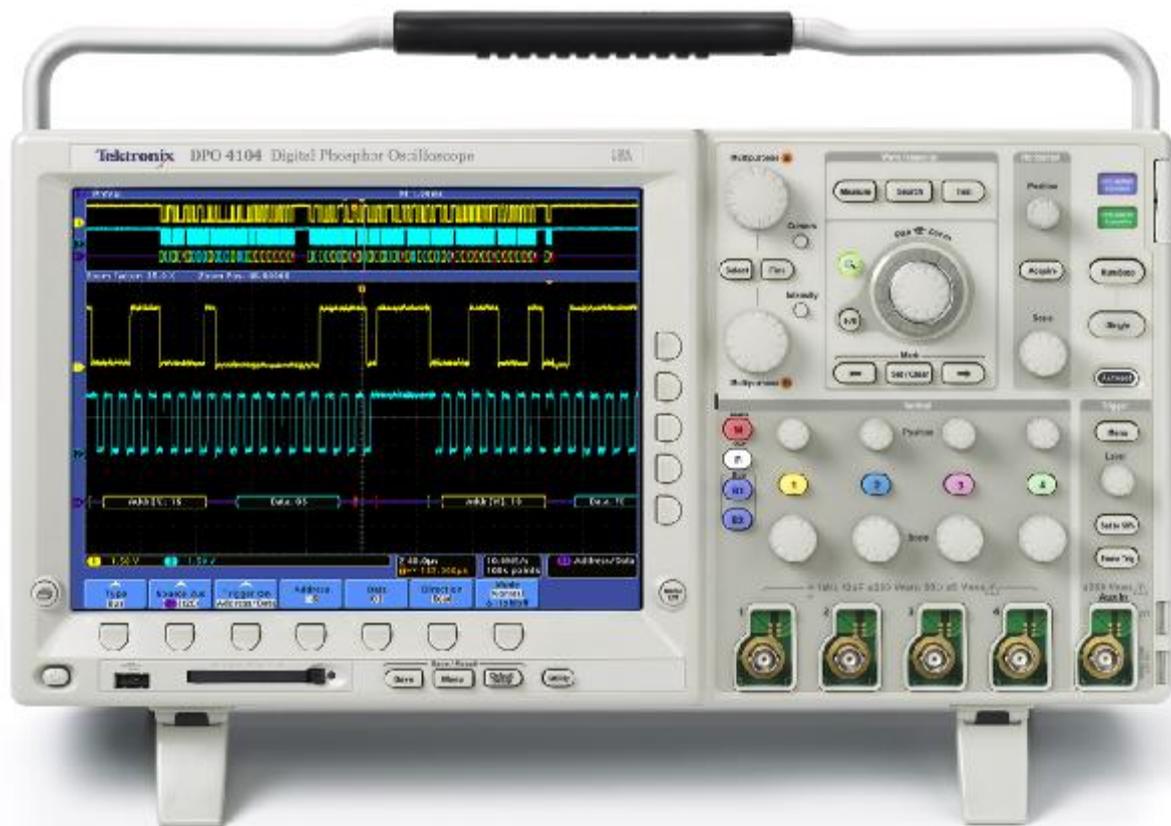
$$\text{记录时间 (秒)} = \frac{\text{记录长度 (样点数量)}}{\text{取样速率 (样点/秒)}}$$

计算记录长度

- „ 为同时查看 50 Hz 线路信号 (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

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

调试更智能，而不是更困难!



DPO4000系列数字荧光示波器

DPO4000 系列数字荧光示波器

DPO4000的产品特点



Wave Inspector

每个通道10M的
海量记录长度



操作简便

高性能

DPO4000 系列数字荧光示波器

高性能

- „ 中端示波器市场上最长的标配记录长度!
 - 10M/通道的标配记录长度，比TDS3000B系列深1,000倍
 - 而比长记录长度更重要的... 是**可用的**长记录长度!!!

产品	DPO4104	DPO4054	DPO4034	DPO4032
带宽	1 GHz	500 MHz	350 MHz	350 MHz
通道s	4	4	4	2
取样速率(所有通道)	5 GS/s	2.5 GS/s		
记录长度(所有通道)	10M样点			
波形捕获速率	35,000波形/秒			
制造商建议零售价				

- „ 多种带宽 / 通道配置，满足各种测试的需求
- „ 所有型号中所有通道上 $\geq 5X$ 的超量取样!

DPO4000 系列数字荧光示波器

10M点标准配置记录长度



„ 波形放大10000倍窗口，仍然体现波形细节

DPO4000 系列数字荧光示波器

高性能

” 还有这些新性能:

— 系列的高级触发功能

” 边沿(B触发)

” 逻辑

” 脉宽

” Runt

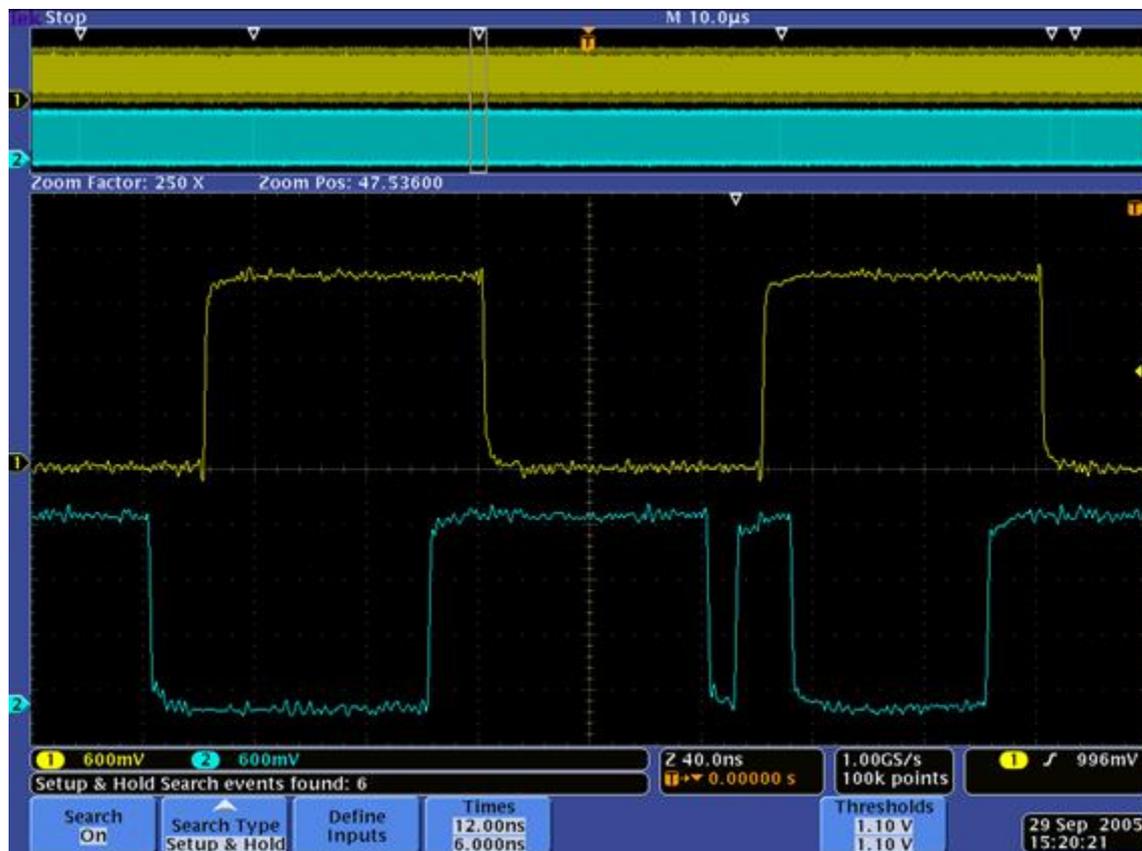
” 上升/下降时间

” B触发

” 建立/保持时间

” I2C, CAN, SPI触发

— 支持USB接口打印机, U盘和CF卡



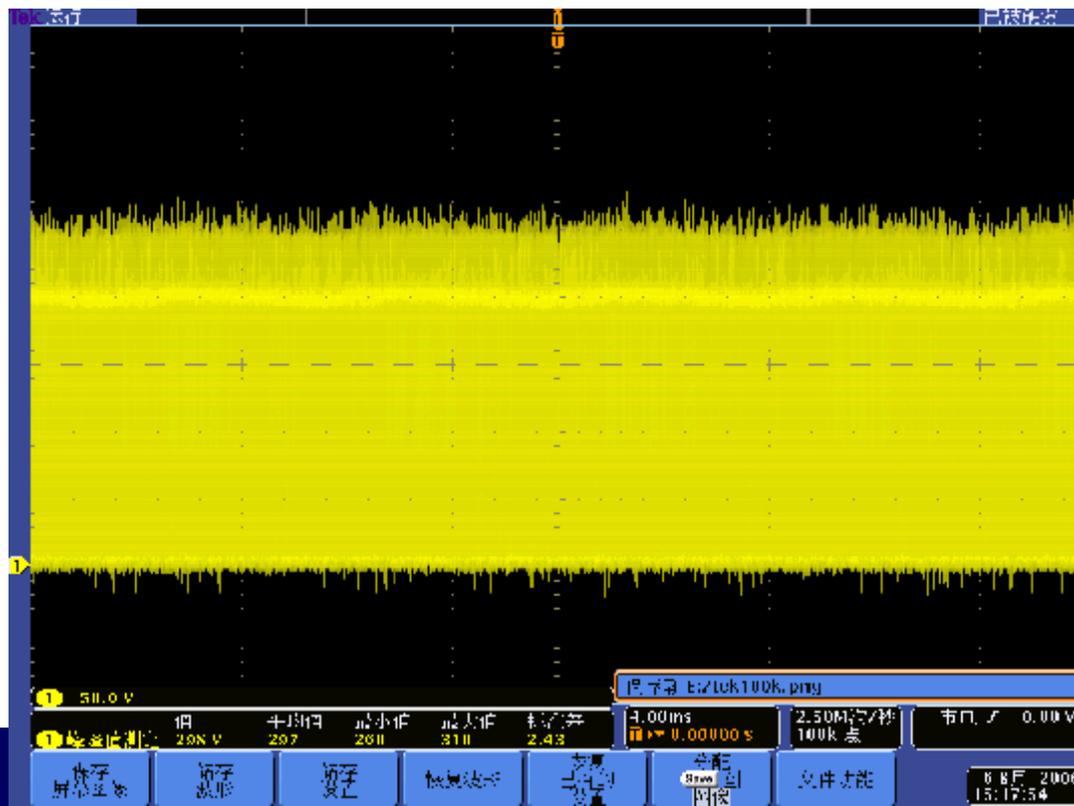
操作便捷性

LAN, XGA, 触发, USB主控口
(2), USB受控口 (1)



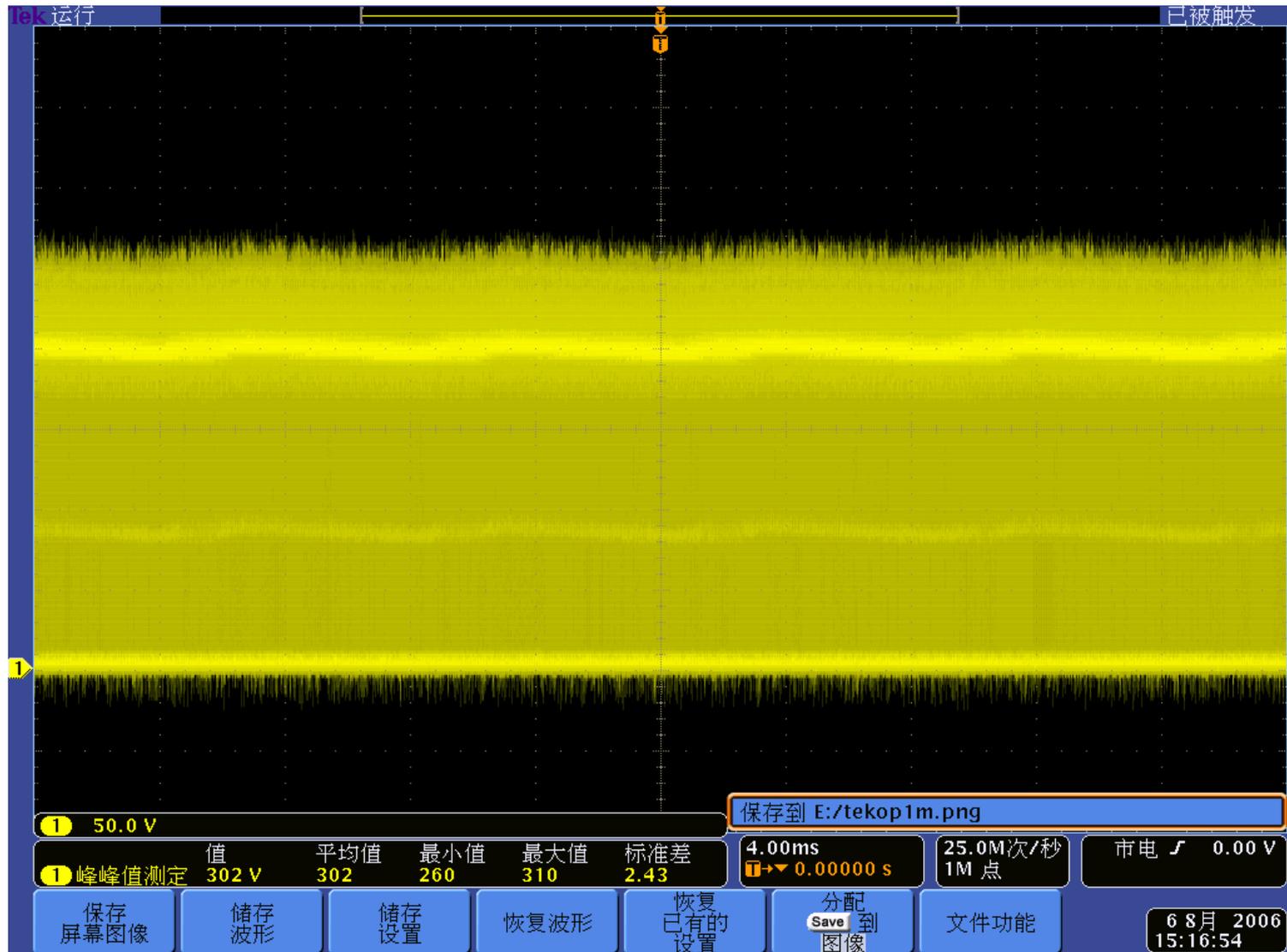
MOSFET断续工作模式测定

- „ 在反激式电路中，经常需要对MOSFET的开关电压和电流处于断续工作状态的**最大和最小峰峰值**进行测定
- „ 此时需捕获至少一个工频包络周期，而此时的开关频率达**200—300KHz**
- „ 因此在示波器不同的记录长度下测试将对测试结果产生显著的影响
- „ 下图为DPO4000在**100K**记录长度下的测试结果



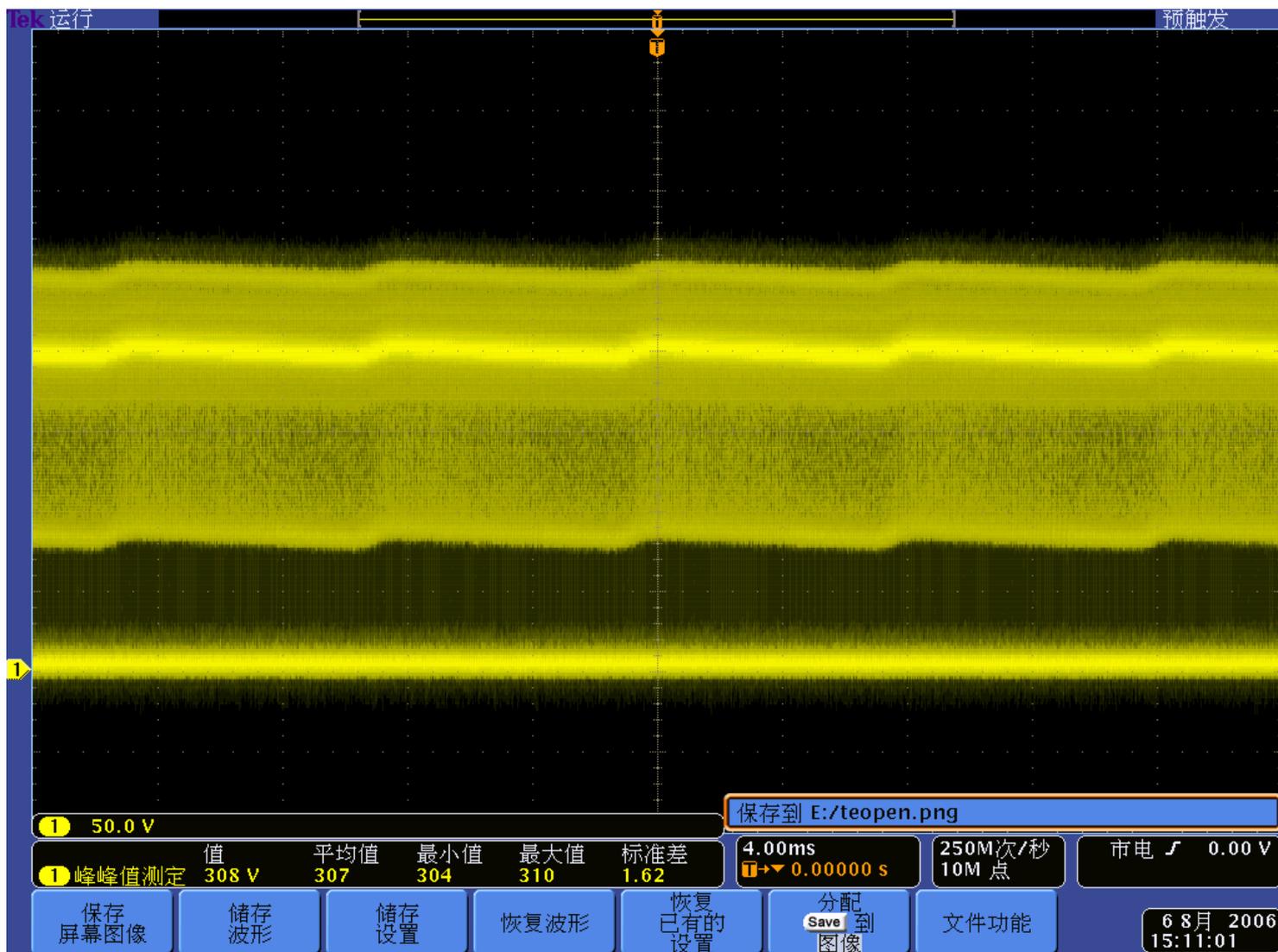
MOSFET断续工作模式测定

DPO4000在1M状态下的测试



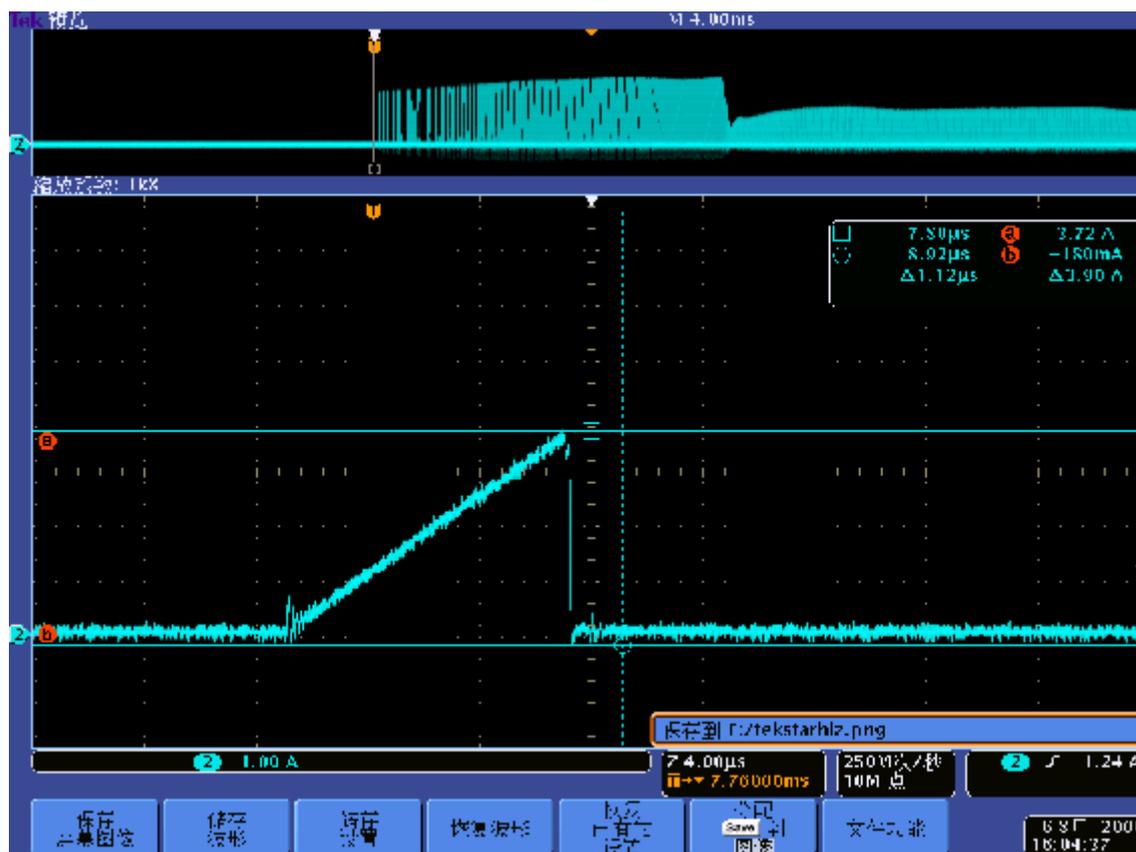
MOSFET断续工作模式测定

DPO4000在10M状态下的测试，我们可以明显的发现不同记录长度对示波器采样率带来的变化并直接影响测试结果



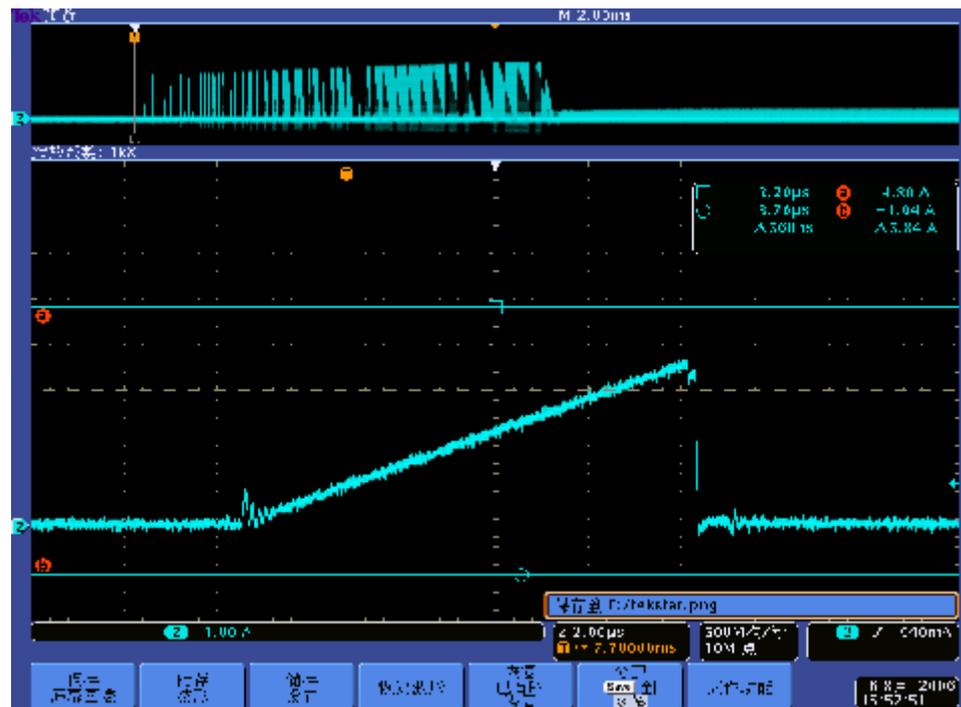
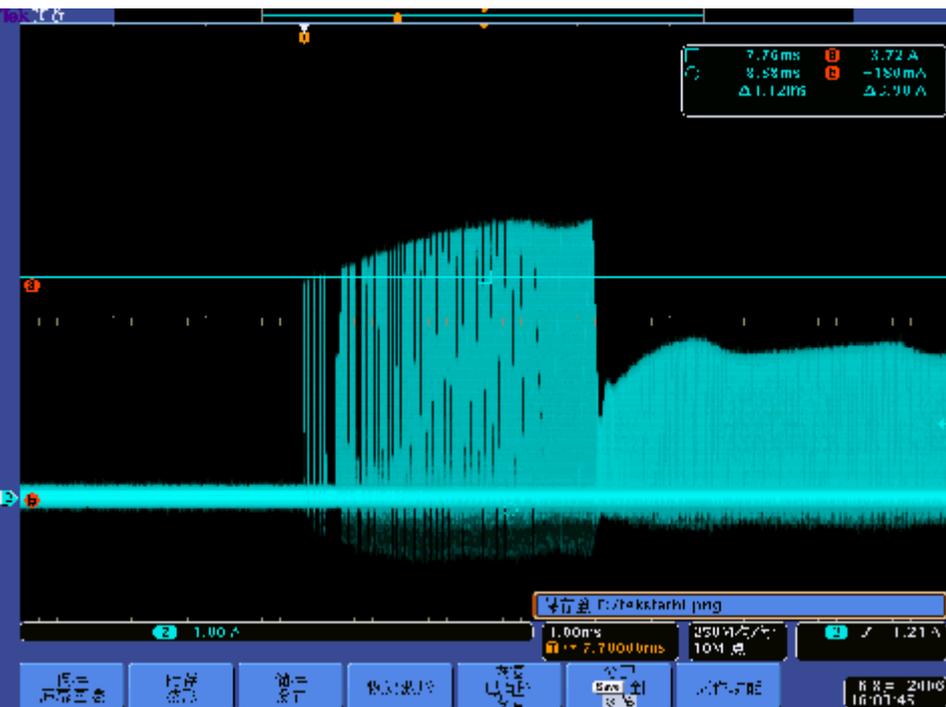
MOSFET的电压和电流击穿的测定

- „ 功率器件厂商均对不同器件的安全工作区作出定义
- „ 上电过程瞬间电压和电流均大于正常工作状态，存在导致器件雪崩的可能
- „ 在特定的负载下，电流的前几个脉冲是否饱和将成为分析的关键



MOSFET的电压和电流击穿的测定

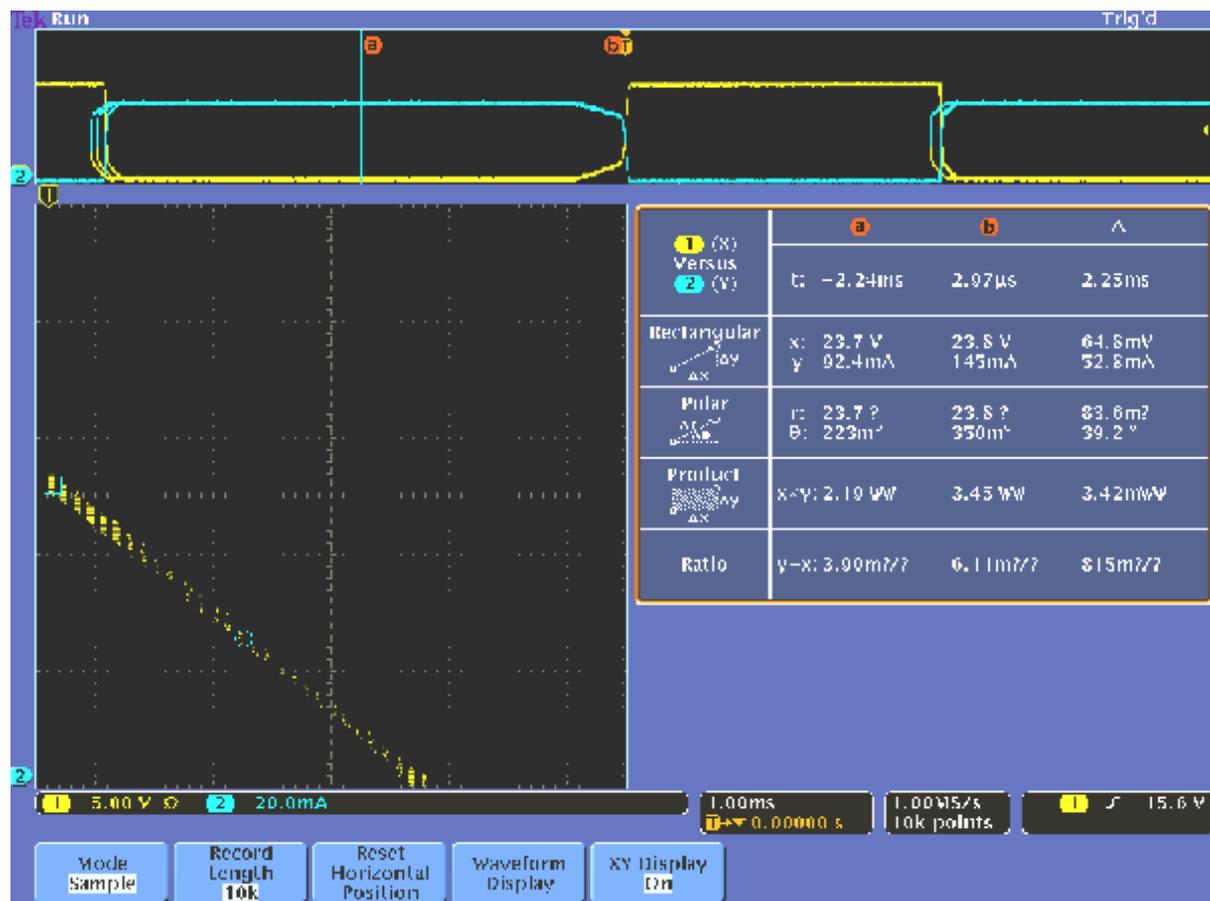
- „ 在反激式电源中，大负载，低压输入时，电流极易出现饱和状况。
- „ 利用DPO4000独有的Wave Inspector 技术对多个异常的脉冲从海量数据中进行简单的定位分析



DPO4000新一代的XY显示模式-----应对SOA的挑战

同时观察YT和XY模式

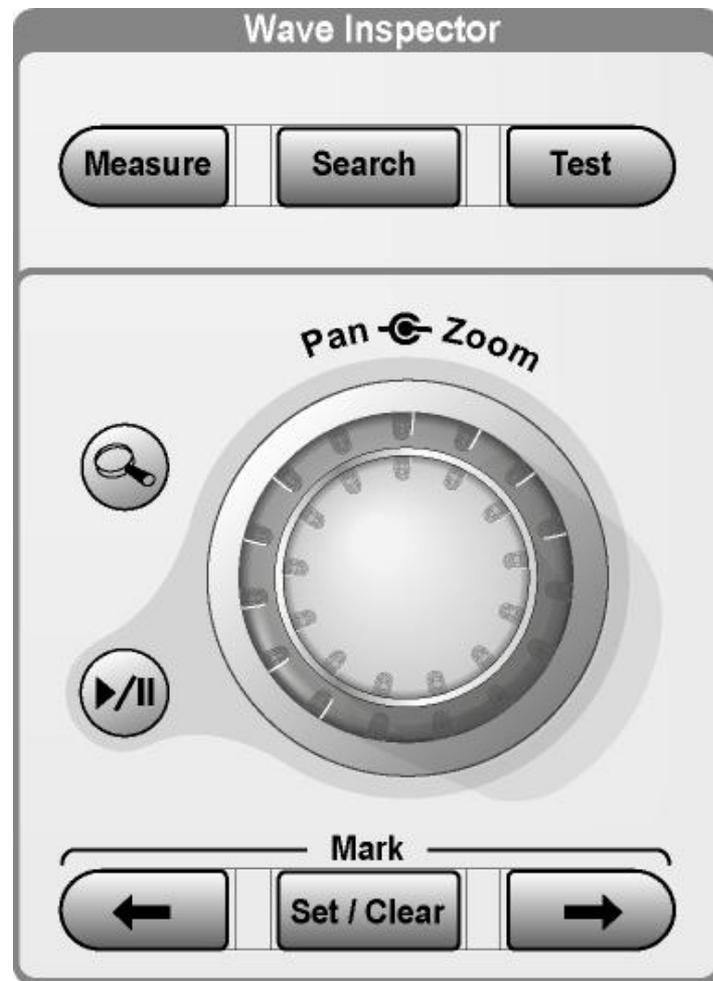
- 方便的对李萨育图的光标测量并且自动读出
- 光标读数读出包括 $V \cdot I$ 及峰值功率点
- 用示波器完成功率器件的SOA分析
- 结合DPO4000高级数学功能XY显示模式还可满足B-H分析!



DPO4000 系列数字荧光示波器

介绍 Wave Inspector

- „ Wave Inspector对示波器就象是Google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!



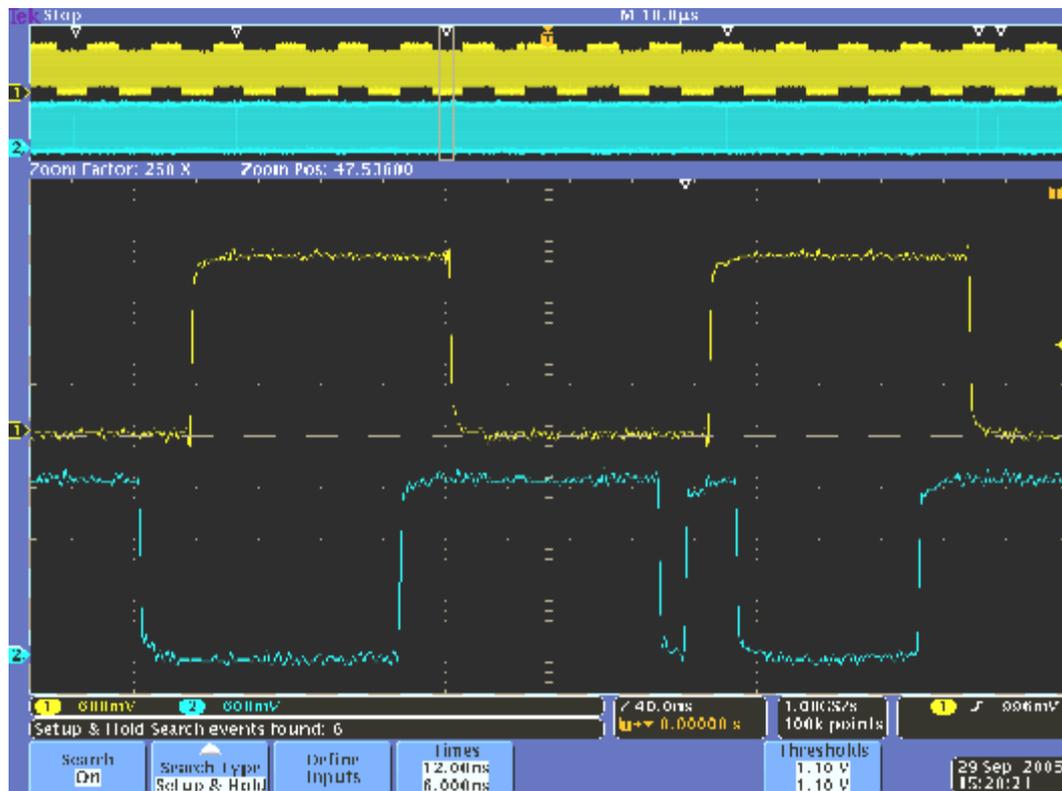
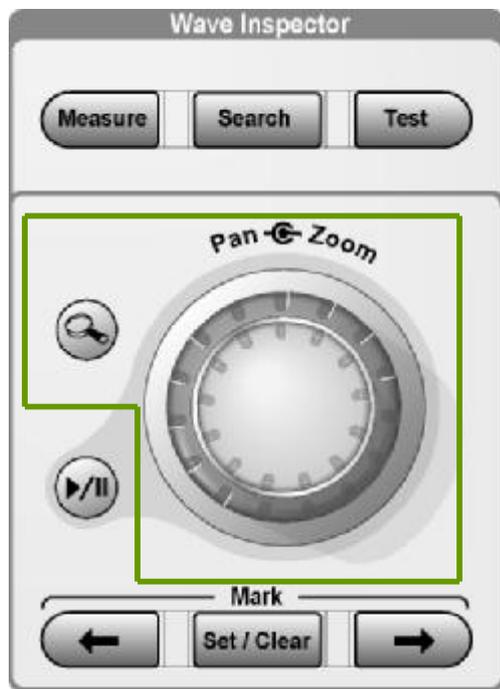
利用Wave-Inspector进行数字系统查障

„ 您了解Wave-Inspector吗？

- 随着在每一代示波器中的记录变得越来越长，查看一次采集中捕获的所有数据所需的时间也变得越来越长。我们现在要处理几百万点的记录长度，代表着几千屏的信号活动。。例如，以5GS/s 速率捕获2 ms 的100 MHz 信号要求1000 万点的记录(2 ms 除以200 ps 取样间隔)。即使在较低的频率上，仍有许多应用要求长记录。捕获一帧 NTSC(1/30秒间隔的两个场，取样速率为100 MS/s，以解析所有亮度信息)要求300 多万点(33 ms 除以10 ns)。在1Mb/sCAN 总线上捕获几秒的总线业务，诊断机电系统中的问题，可能要求1000 万点，以充分进行解析。这些应用及各种其它应用已经推动、且将继续推动对更长、更详细的数据捕获窗口的需求。作为类比，想象一下如果没有喜欢的搜索引擎、网络浏览器或收藏夹的帮助，却想找到您要找到的东西，这有点象大海捞针。直到现在，这一直是示波器用户在长记录长度示波器中所面临的问题。很明显，旧的解决方案不再能够奏效。

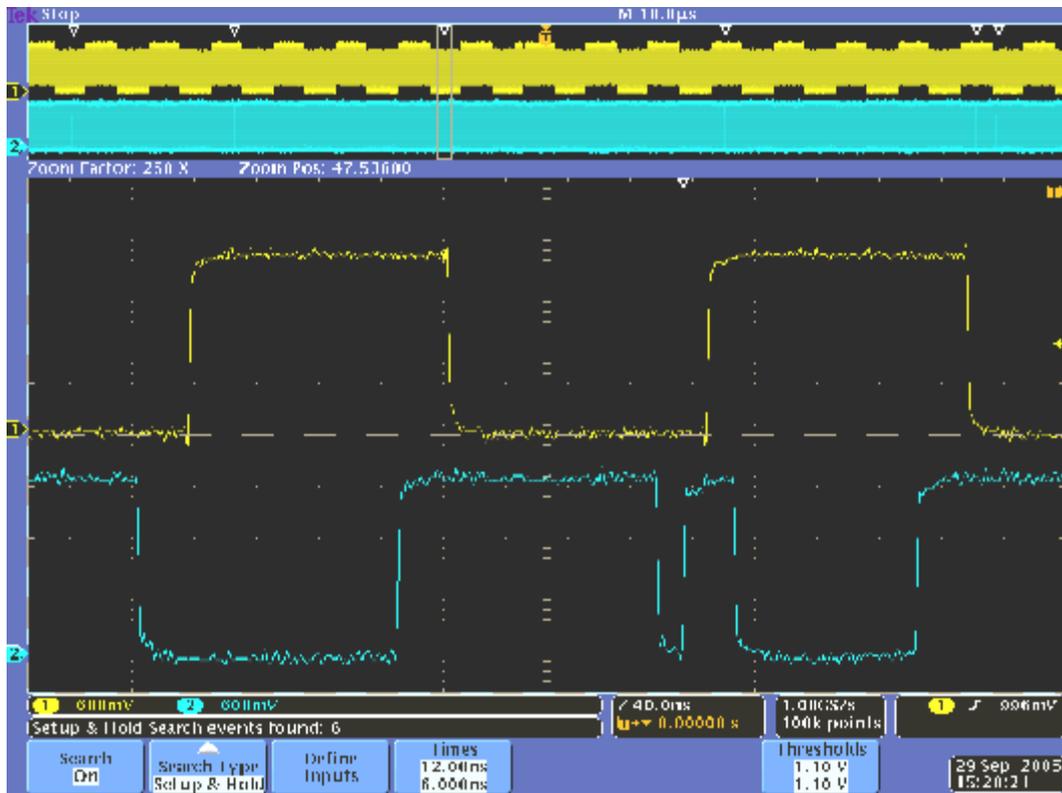
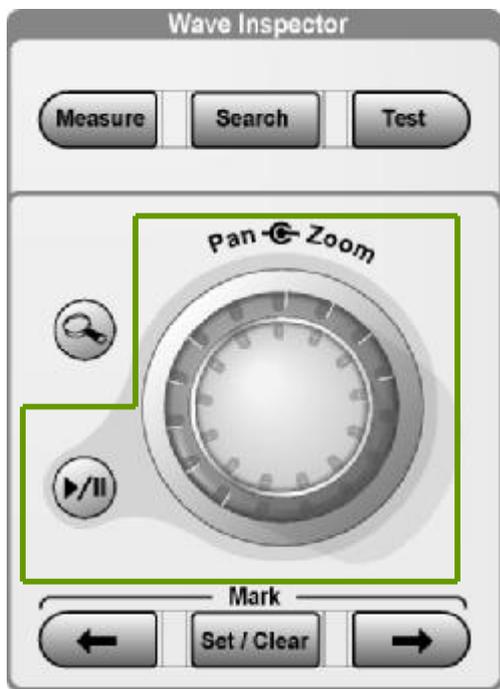


Wave Inspector – 缩放, 平移



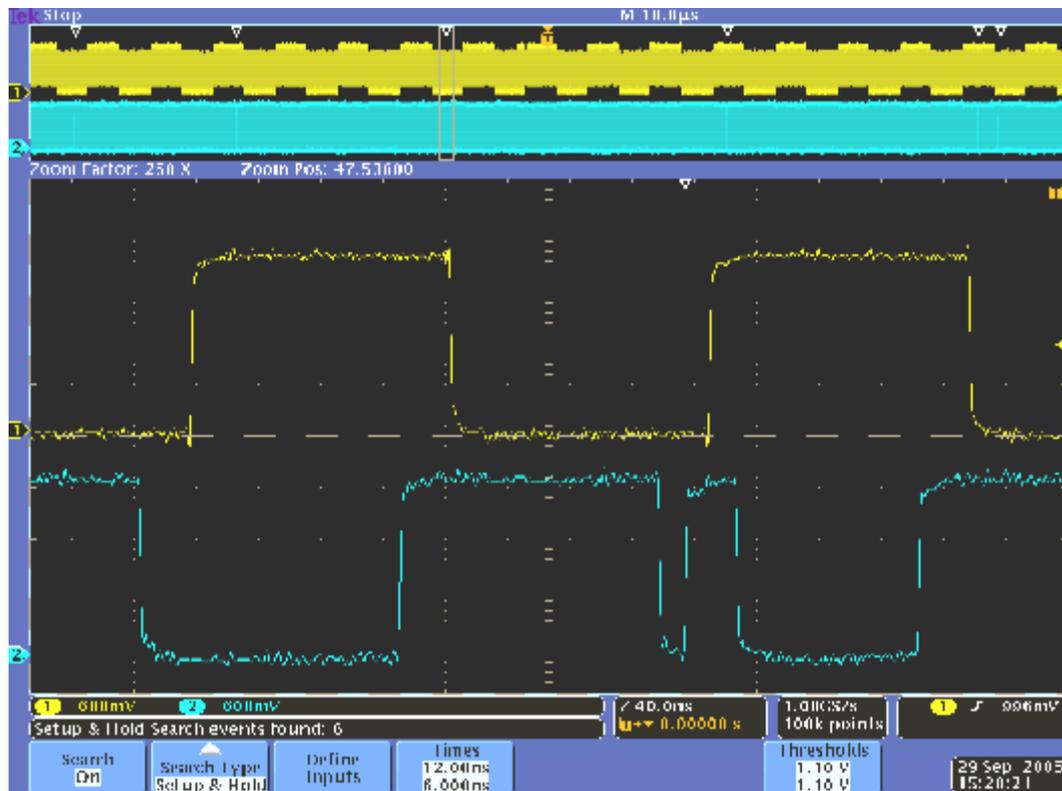
- „ 左移, 右移, 放大, 缩小, 导航钮外圈旋转得越远, 波形平移速度越快
- „ 1000万点的数据, 瞬间就可以从头到尾观看

Wave Inspector – 播放/暂停



- „ 不想费力动手-可以试一试自动播放, 导航钮外圈可以控制播放的速度
- „ 你可以专注地观测波形了

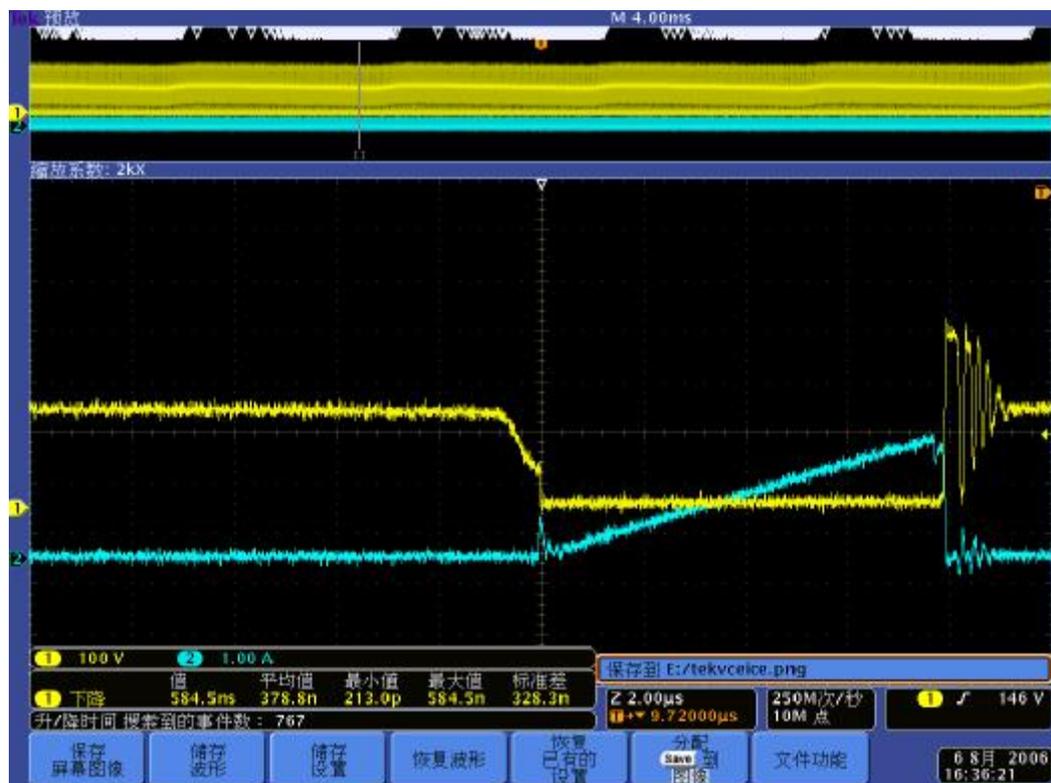
Wave Inspector – 标记



- „ 看到你感兴趣的波形了，加个标记吧！（白色小三角）
- „ 左右移动标记，一瞬间就可以在你感兴趣的事件之间切换

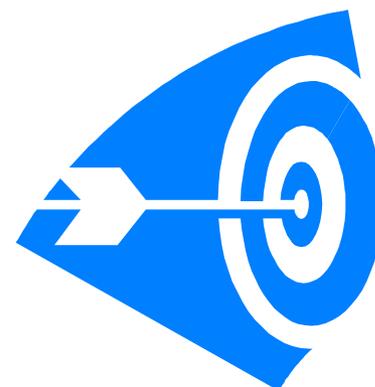
Vce&Ice导通分析

- „ 捕获多个工频周期，利用DPO4000超长的记录长度（每个通道10M）逐个对Vce的导通波形细节放大分析
- „ 若Vce的导通时间过慢，将会导致开关器件的Ton损耗过大。
- „ 通过WaveInspector技术查找所有超过正常导通时间的Vce可极大节省调试时间。



利用Wave-Inspector进行数字系统查障

- „ 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。



短路恢复时间分析

- „ 同时捕获短路状态时电压和电路的恢复波形
- „ 查看电压和电流的恢复时间（长达100/200ms），电压和电流频率（200/300KHz）
- „ 若恢复时间不正常则需将波形展开对其细节进行进一步分析
- „ 此时采样率至少为10Ms/s,时基至少100ms，每通道记录长度= $100\text{ms} \times 10 \times 10\text{Ms/s} = 10\text{M}$ ，只有在此状态下才可能分析电压和电流恢复细节



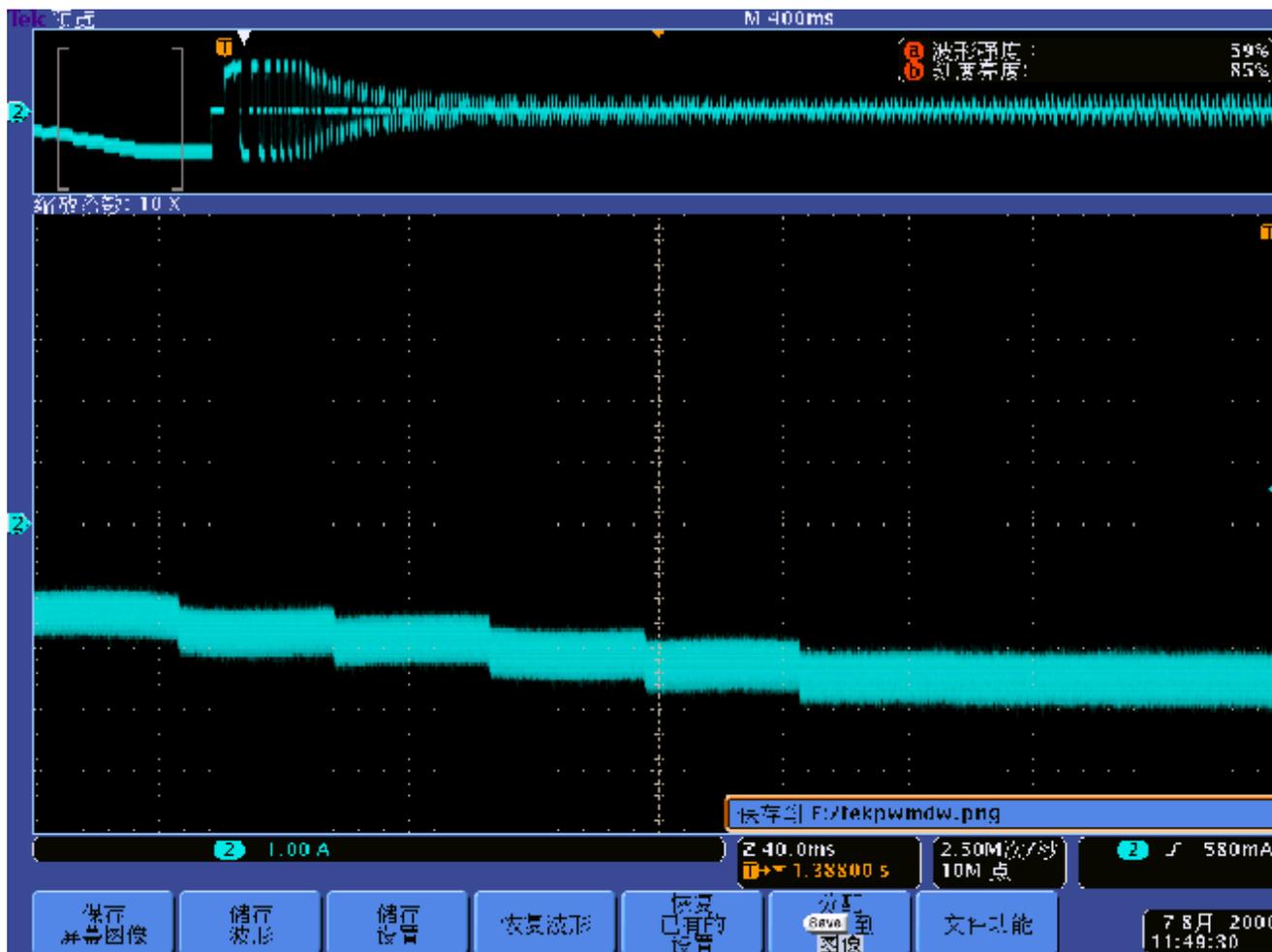
PWM调制电机启动电流分析挑战

- ” 捕获整个电机启动电流波形
- ” 电机启动时间约为1—2s
- ” PWM调制电流频率200—300KHz



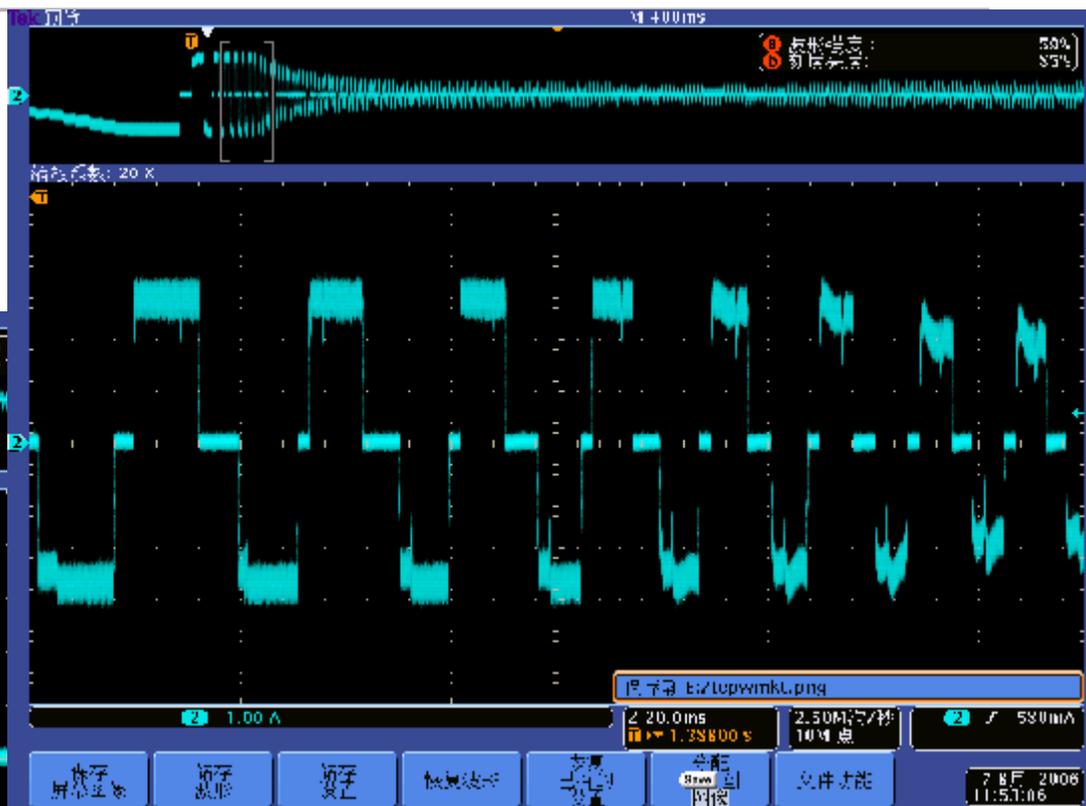
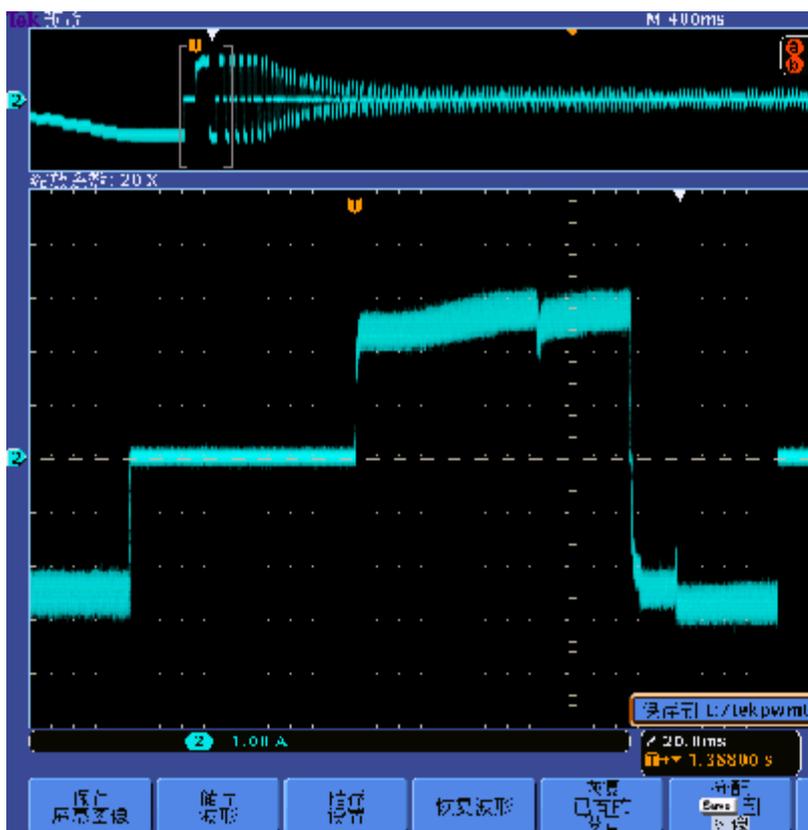
PWM调制电机启动电流分析挑战

- 分析启动前定位电流幅度，及定位时间（约 400ms）



PWM调制电机启动电流分析挑战

- „ 分析定位电流完成后给不同绕组通电状况
- „ 通过调整电流脉冲宽度，分析整个启动电流波形是否满足启动要求



泰克测试与测量工具 帮助你提升开关电源可靠性



SMPS 的可靠性问题

„ 可靠性取决于

- 最大限度地降低波形减幅振荡和负荷瞬变，其可能会导致雪崩、功率损耗过高或不稳定条件
- 在安全工作区(SOA)内运行开关器件
- 在磁滞效应曲线的线性区域中运行磁性器件
- 控制环路的稳定工作

开关损耗

4 T_{on} 损耗

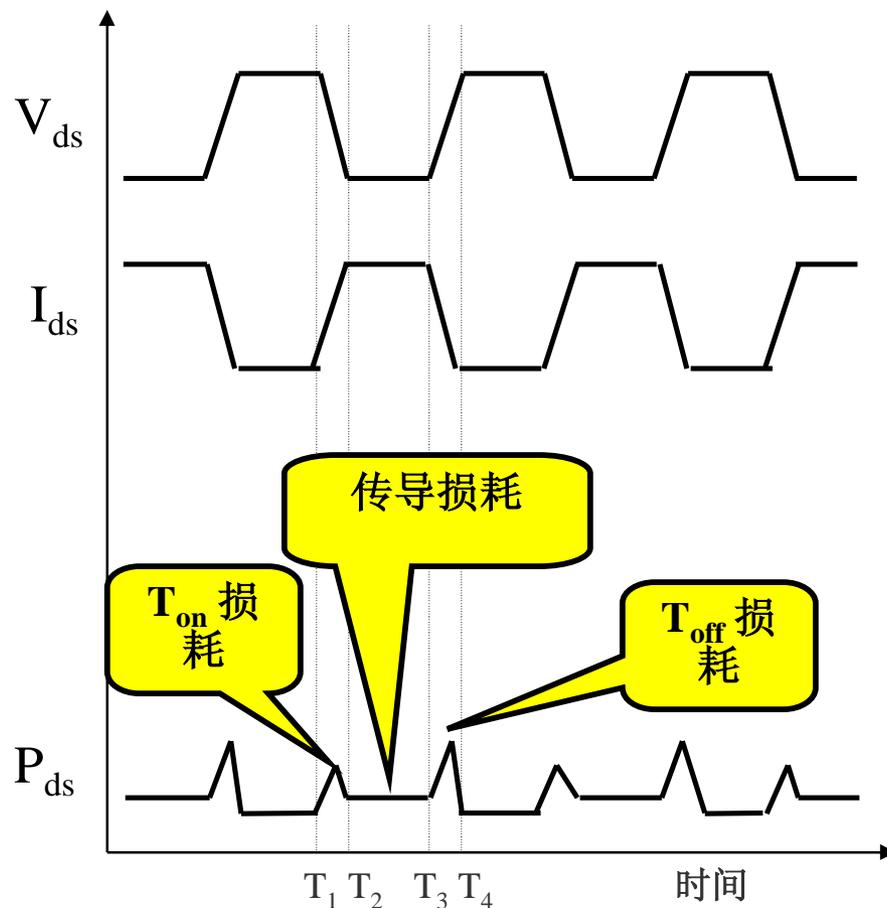
○ 开关器件的功率损耗: T_1 到 T_2

4 T_{off} 损耗

○ 开关器件的功率损耗: T_3 到 T_4

4 总平均损耗

○ 开关器件的功率损耗: T_1 到 T_4



利用DPO4000强大的高级数学功能仍然能够实现功率电子工程师对分析功率器件上Ton和Toff的需求



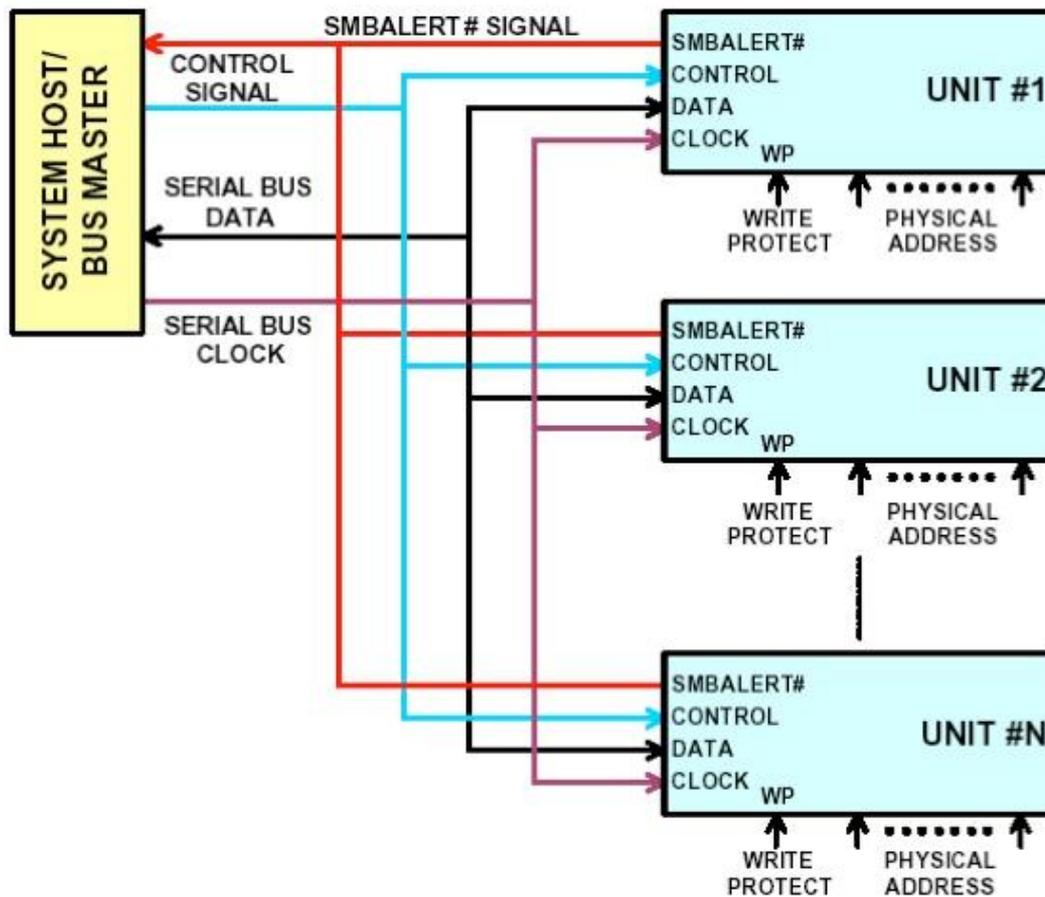
- „ 实际上 $T_{on} = F_{sw} * \int V_{ds}(t_2-t_1) * I_{ds}(t_2-t_1) * d(t_2-t_1)$
- „ F_{sw} 为开关信号频率, $\int V_{ds}(t_2-t_1) * I_{ds}(t_2-t_1) * d(t_2-t_1)$ 实际为 $P_{ds}(t_2-t_1)$ 的面积
- „ 我们可以测得开关频率为113KHz
- „ 我们通过选通的方式测得 T_{on} 部分的面积为165nWs
- „ 根据前面公式我们可以计算得到开启损耗 $T_{on} = 165nWs * 113KHz = 18.75mW$

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

- „ 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

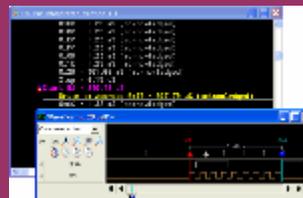
PMbus系统框图



当前针对I²C测试方法的问题

- ” 多种方案和提供商
- ” 提供过多冗余的功能
- ” 设置复杂

PC Based



Specialized



Traditional Instruments

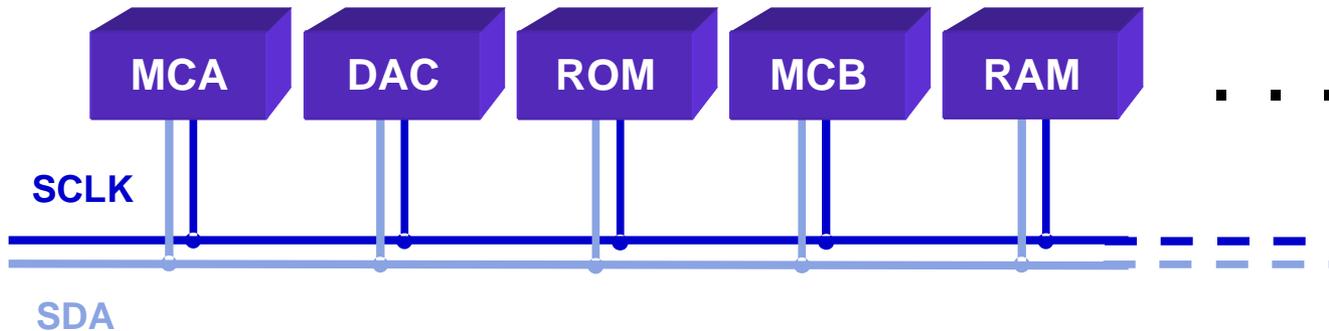


I²C基础

- „ Inter Integrated Circuit
- „ 总线类型: SCLK, SDA双线
- „ 总线特点: 串行同步、多控制端、分层网络。分7或10个bit地址方式
- „ 数据速率: 100Kbps, 标准方式; 400kbps 快速方式; 3.4Mbps 高速方式
- „ 应用: 芯片级之间的通信, 例如I/O's, ADC's, DAC's, FPGA's, sensors, MPC chips

举例 - I²C数据链路层

Start/ S _{Rep}	Addr	R/W	Ack	Data 0	Ack	Data 1	Ack	Data N	Ack	Stop
1 bit	7-bits	1-bit	1-bit	8-bits	1-bit	8-bits	1-bit	0-8 bytes	8-bits	1-bit	1 bit



two-wire bus topology

I²C: 关键测试内容和挑战

„ 总线竞争

- 存在于电源系统器件中
 - „ 所有器件都是通过低速串行总线和外部进行通信
 - „ 一动牵全身: 一点小变动可能严重影响整个系统的性能

„ 实时关联

- 跟踪系统改变
- 通过识别特定协议, 来确定系统的更改

„ 在传统的示波器上, 查看您的测试结果

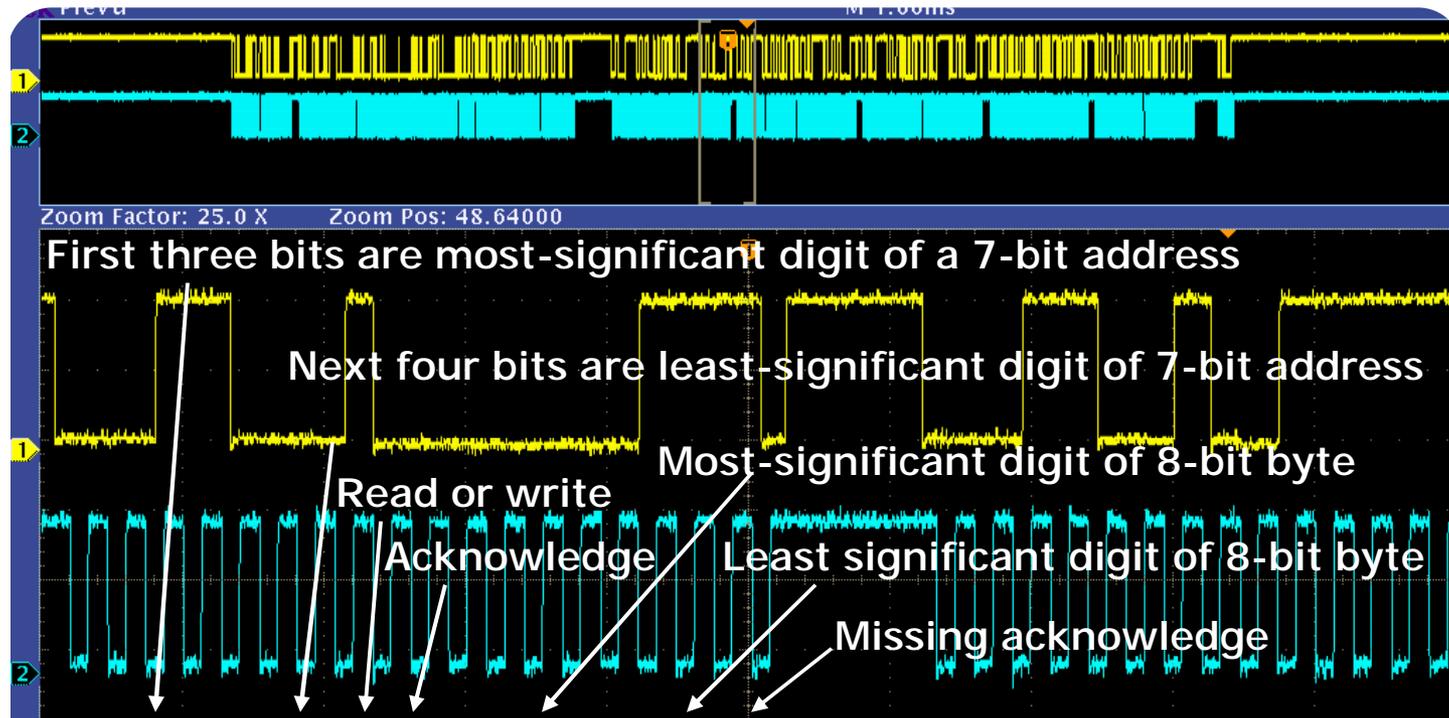
- 很难隔离事件
- 很难揭示显示在屏幕上的信息
- 手动方式费时并且易错

„ 把总线协议和外部事件进行关联

Start/ S _{Rep}	Addr	R/W	Ack	Data 0	Ack	Data 1	Ack	Data N	Ack	Stop
1 bit	7-bits	1-bit	1-bit	8-bits	1-bit	8-bits	1-bit	0-8 bytes	8-bits	1-bit	1 bit

手动解码的苦恼

There has to be an easier way!

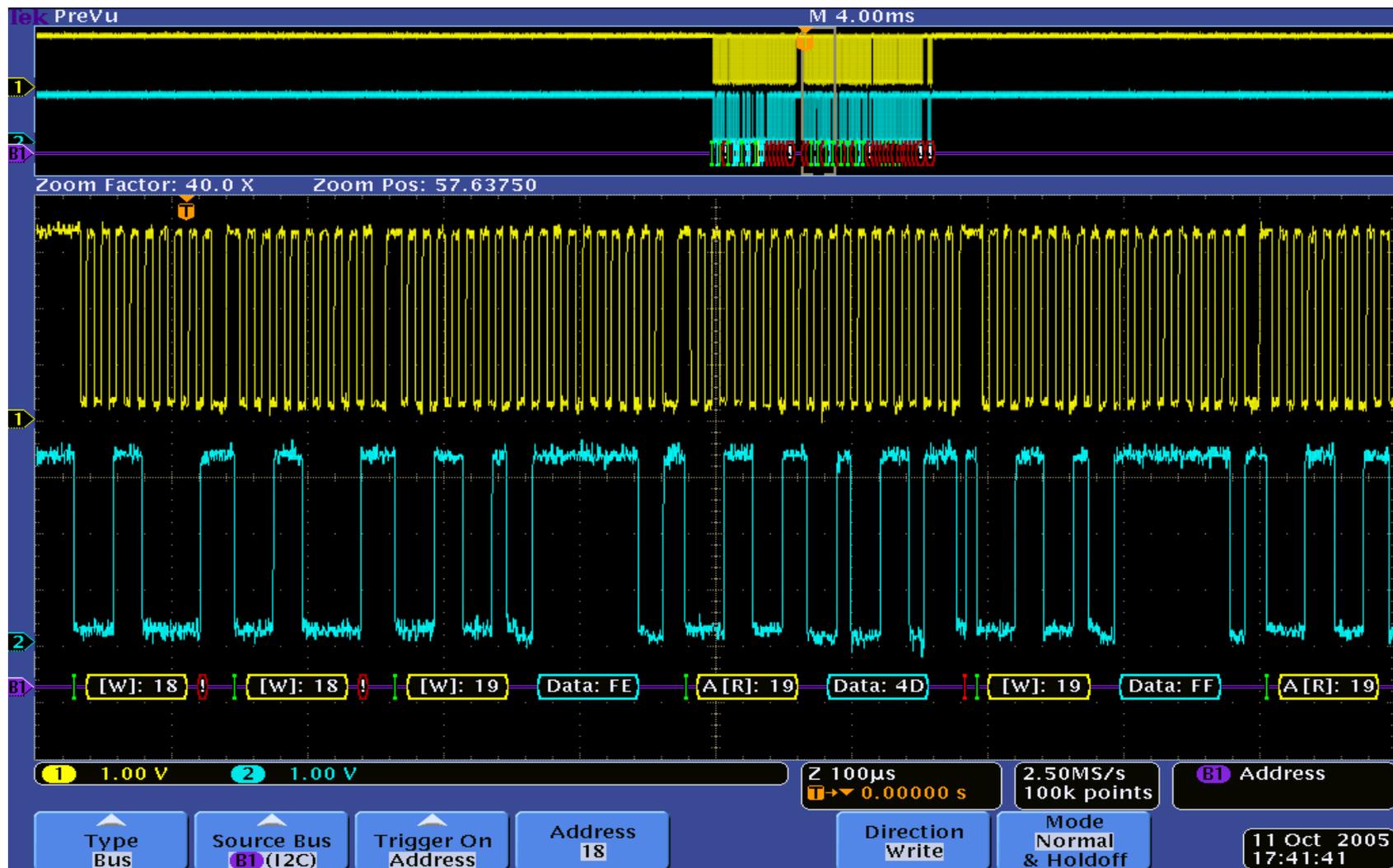


SOP001100010000000111 EOP

1 8 RA 0 3 A

= read data 03 from address 18

DPO4000 I²C 总线解码： 调试有缺陷的传感器



DPO4000

低速串行触发和分析

- 不仅仅能解码...
 - 在协议层触发
 - 对协议内容进行查找和标识
 - 事件表

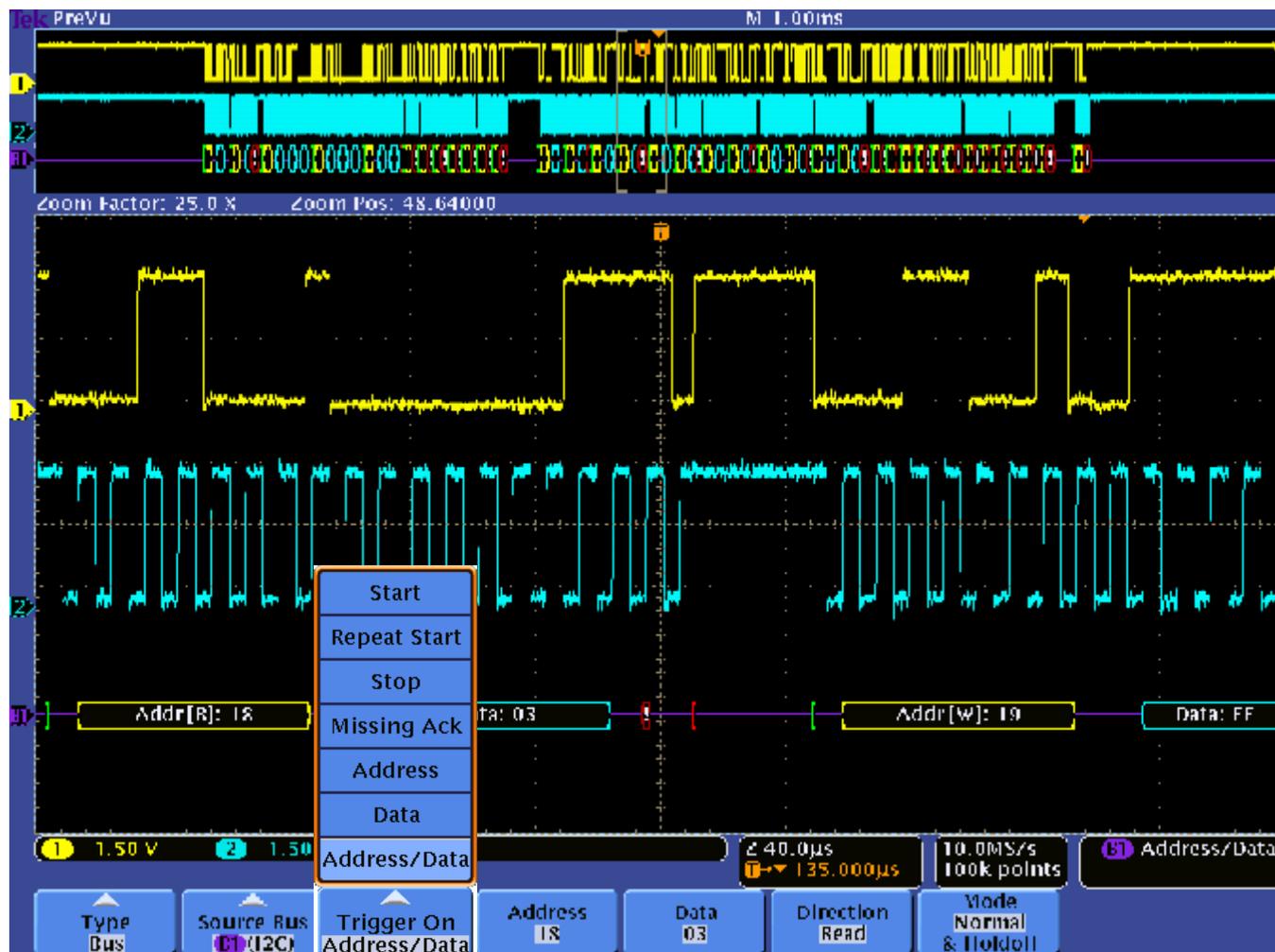
Time	Identifier	DLC	Data	CRC	Missing Ack
-2.03ms	549	1	A1	110B	
-1.78ms	55F	7	Remote Frame	3BBB	
-1.57ms	11DEBBBB	3	57 B0 3E	3BBB	
-1.27ms	3B1	1	FF	110B	
-1.01ms	55F	7	A2 56 EF 00 17 D2 88	3BBB	
-806μs	1DE	2	C4 66	3BBB	
-498μs	76B	4	9E 1D 0F AA	110B	
-246μs			Error Frame		
-38.0μs	11DEBBBB	1	75	3BBB	
270μs	3B1	2	A1 EF	110B	
522μs	76B	4	Remote Frame	3BBB	
730μs	11DEBBBB	1	57	3BBB	
1.04ms	549	1	C8	110B	
1.29ms	55F	2	EF 70	3BBB	
1.50ms	76B	4	02 EEF0 82	3BBB	
1.81ms	549	2	B4 CD	110B	
2.06ms	3B1	1	E0	3BBB	
2.27ms	55F	6	EF 00 1D 0F 56 A1	3BBB	
2.57ms	1DE	3	67 2F 36	110B	
2.83ms	76B	3	EEF0 82	3BBB	
3.03ms	549	1	4C	3BBB	

a selects an event



I²C

DPO4000 I²C 总线: 智能的触发能力



- Trigger on packet level content

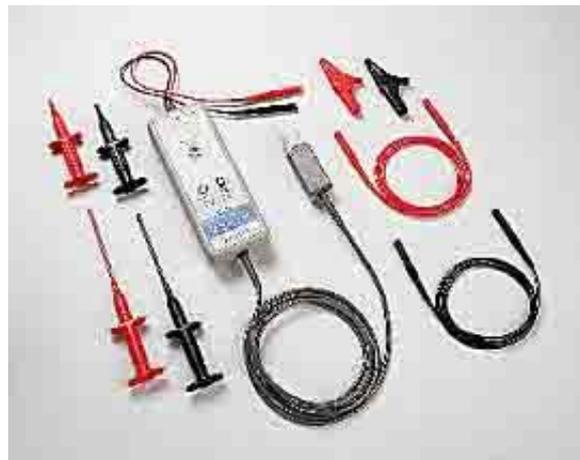
来自泰克的低速串行总线方案

Tektronix Solution	Trigger/Decode Capability	I2C	SPI	RS232/ 422/485/ UART	CAN	LIN
DPO4000 w/ DPO4AUTO	Trigger				ü	
	Decode				ü	
DPO4000 w/ DPO4EMBD	Trigger	ü	ü			
	Decode	ü	ü			
DPO4000 w/ DPO4COMP	Trigger			ü		
	Decode			ü		
DPO7000	Trigger	ü	ü			
	Decode					
DPO7000 w/ Opt. LSA*	Trigger	ü	ü		ü	
	Decode				ü	ü

*note: Optional ATM-1 Trigger Module can be added to provide more in-depth CAN Triggering Capability

泰克功率测量解决方案

- ” DPO4000/7000示波器
 - 350MHz及以上带宽
 - 5GSa/s取样速率
 - 在一条通道上提供了10MB的记录长度
- ” 差分探头
 - P5205, P5210, P5200 差分探头
- ” 电流测量
 - TCP0030
 - TCPA300系统或 TCP202 电流探头
- ” 独特的功率应用
 - DPOPWR功率测量和分析应用软件
- ” 时间偏移校正夹具
 - 消除电压探头和电流探头之间的传播延迟



新一代TCP0030 AC/DC 电流探头

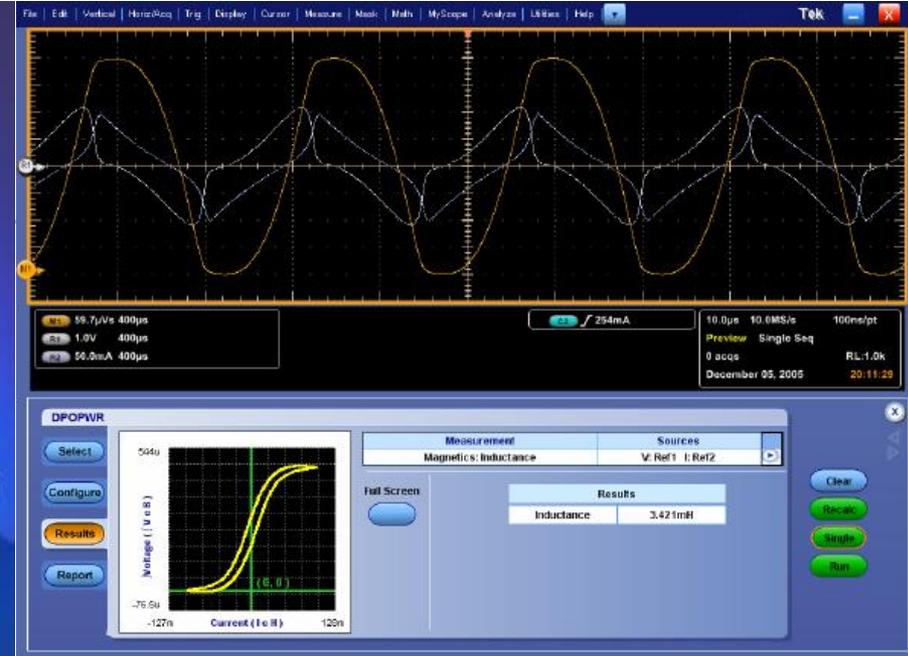
- „ 全新TCP0030 AC/DC 电流探头提供精确简单的测量
 - 大动态范围1mA—30A
 - 带宽 DC—120MHz
 - „ 轻松捕获高频电流谐波
 - 全新泰克TekVPI探头连接体系
 - „ 直接与DPO4000/7000连接
 - „ 可以在示波器和探头之间实现智能通信，改善整体用户感受
 - „ 智能设置，可进行USB、GPIB编程控制



新TekVPI™ 差分探头

- ” TDP0500 (500MHz) 和TDP1000 (1GHz) 有源差分电压探头提供了标配的小型探针以增强可用性
- ” 双重衰减可调：
 - 5X ($\pm 4.25V$ 动态范围)
 - 50X ($\pm 42V$ 动态范围)
- ” CMRR (50X 范围):
 - $>55dB$ @ 30 KHz
 - $>50 dB$ @ 1 MHz
 - $>18 dB$ @ 250 MHz
- ” $1M\Omega$ 差分输入阻抗
- ” $<1pF$ 差分输入电容
- ” 以 SMPS设计, CAN/LIN/FlexRaybus 为目标
- ” 与MSO4000和DPO4000系列兼容





全面的功率电子测试解决方案

应用文章集：(免费)

- „ 电源系统测量与分析
- „ TDS3000B数字荧光示波器解决当今功率测量问题
- „ DPO4000 Wave Inspector简化波形分析
- „ 如何进行差分测量，如何测量高压
- „ 电流探头指南
- „ 探头ABC，示波器XYZ
- „ 调试有源功率因数校正电路
- „ 用实时示波器进行功率电子测试
- „ 使用数字荧光示波器进行负载功率测量“
- „ 使用数字荧光示波器，按照EN61000-3-2 标准进行电流谐波质量预测试
- „ 浮地测量技术

„ ○ ○ ○ ○ ○



谢谢参与!

请联络泰克和泰克合作伙伴安排演示/试用:

泰克科技（中国）有限公司

北京：010-62351210

上海：021-62896908

深圳：0755-82460909

广州：020-87322008

成都：028-86203028

西安：029-87231794

武汉：027-87812760

香港：852-25856688

E-Mail: china.mktg@tektronix.com