

VFD（变频器）测试方案



大纲



■ 变频器基础

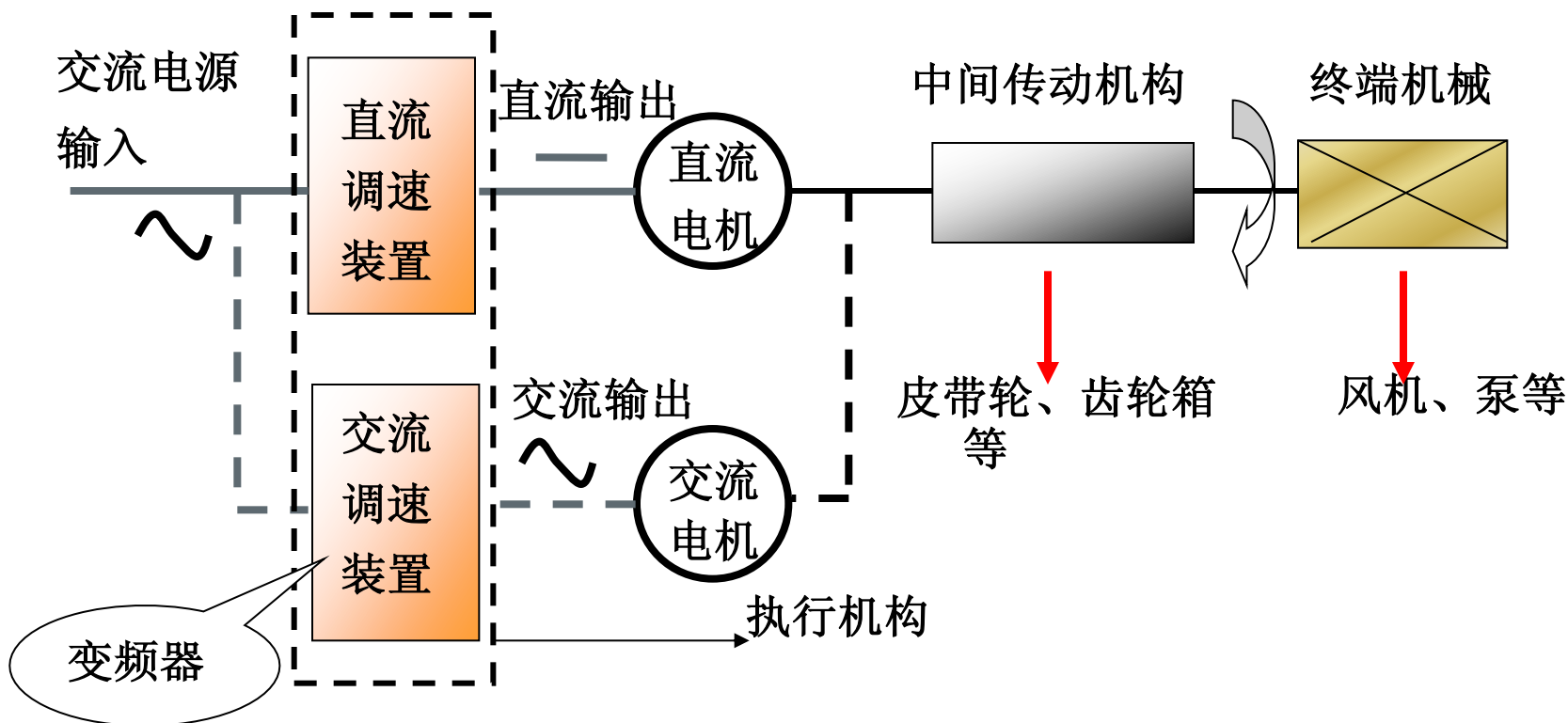
■ VFD测量技术

- 整流部分测试
- 滤波部分测试
- 逆变部分测试
- 驱动部分测试
- 控制部分测试
- 接口部分测试
- 系统的诊断

■ TEKTRONIX的VFD测试方案及特点

基础知识——电气传动系统

- 定义
 - 以交流（直流）电动机为动力拖动各种生产机械的系统我们称之为交流（直流）电气传动系统，也称交流（直流）电气拖动系统
- 构成



基础知识—交（直）流电气传动系统的特点

直流电气传动系统特点：

控制对象：直流电动机

控制原理简单，一种调速方式

性能优良，对硬件要求不高

电机有换向电刷（换向火花）

电机设计功率受限

电机易损坏，不适应恶劣现场

需定期维护

交流电气传动系统特点：

控制对象：交流电动机

控制原理复杂，有多种调速方式

性能较差，对硬件要求较高

电机无电刷，无换向火花问题

电机功率设计不受限

电机不易损坏，适应恶劣现场

基本免维护

70年代以前直流占统治地位

交流调速只在大功率电机调速上使用

基础知识—交流电气传动系统的特性

交流异步电机的机械特性公式

$$n = 60f/p(1-s)$$

n: 电机转速

f: 给电机供电的交流电频率

p: 电机极对数

s: 转差率

交流同步电机的机械特性公式

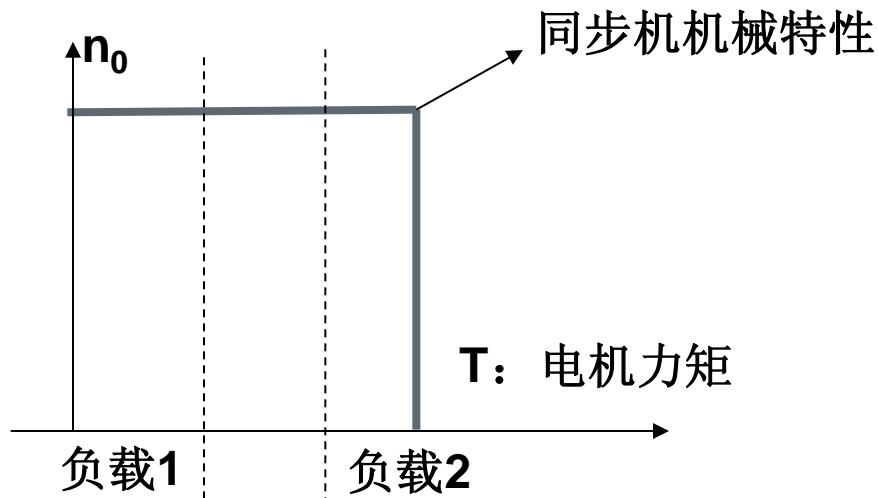
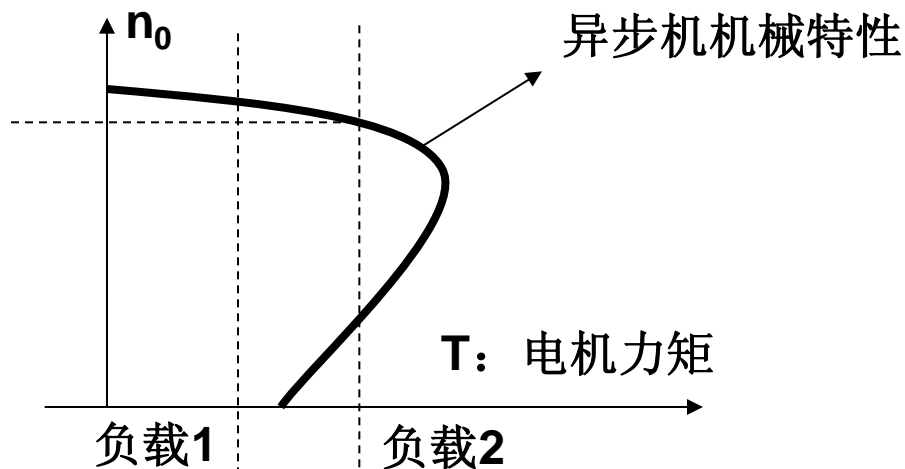
$$n = 60f/p$$

n: 电机转速

f: 给电机供电的交流电频率

p: 电机极对数

N: 速度



基础知识—交流电气传动系统的发展

调速方式名称	控制对象	特点
变极调速	交流异步电动机	有级调速，系统简单，最多4段速
调压调速		无级调速，调速范围窄 电机最大出力能力下降，效率低 系统简单，性能较差
转子串电阻调速		
变频调速	交流异步电动机 交流同步电动机	真正无级调速，调速范围宽 电机最大出力能力不变，效率高 系统复杂，性能好 可以和直流调速系统相媲美

早

发展时间

晚

在变频器出现前同步电机无法实现调速功能，因此只能在定速传动领域使用三相交流鼠笼电机尽管调速性能不佳，但其结构坚固、经久耐用且价格低廉还是在一些性能较低的传动现场使用

变频器基础知识—变频器及其特点

▪变频器

▪变频器是交流电气传动系统的一种,是将交流工频电源转换成电压、频率均可变的适合交流电机调速的电力电子变换装置, 英文简称**VVVF (Variable Voltage Variable Frequency)**

▪变频器的控制对象

▪三相交流异步电机和三相交流同步电机, 标准适配电机极数是**2/4极**

▪变频调速的优势（与其它交流电机调速方式对比）

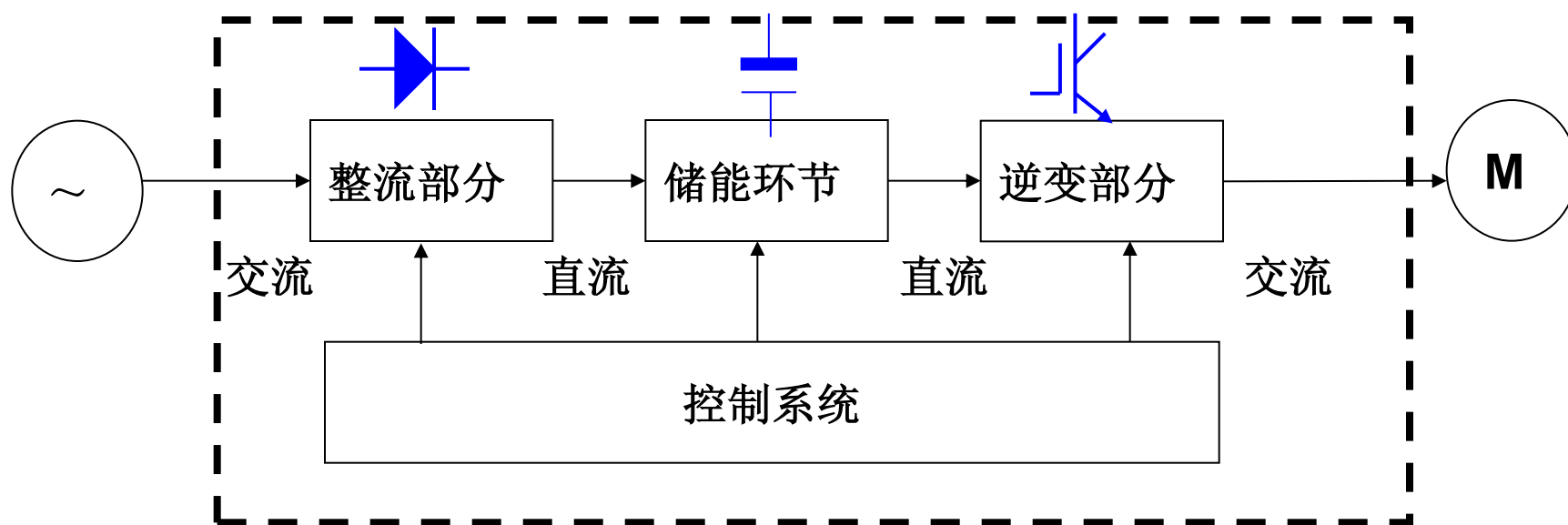
序号	优点
1	平滑软启动, 降低启动冲击电流, 减少变压器占有量, 确保电机安全
2	在机械允许的情况下可通过提高变频器的输出频率提高工作速度
3	无级调速, 调速精度大大提高
4	电机正反向无需通过接触器切换
5	非常方便接入通讯网络控制, 实现生产自动化控制

变频器基础知识—变频调速的发展历程

	60年代	70年代	80年代	90年代	00年代
电机控制算法	V/F控制		矢量控制	无速度矢量控制 电流矢量V/F	算法优化
功率半导体技术	SCR	GTR	IGBT	IGBT大容量化	更大容量 更高开关频率
计算机技术			单片机 DSP	高速DSP 专用芯片	更高速率和容量
PWM技术		PWM技术	SPWM技术	空间电压矢量 调制技术	PWM优化 新一代开关技术
	大功率传动使用变频器，体积大，价格高	变频器体积缩小，开始在中小功率电机上使用	超静音变频器开始流行 解决了GTR噪声问题 变频器性能大幅提升 大批量使用，取代直流		未来发展方向 完美无谐波 如：矩阵式变频器

变频器基础知识—简要工作原理

交流低压交直交通用变频器系统框图



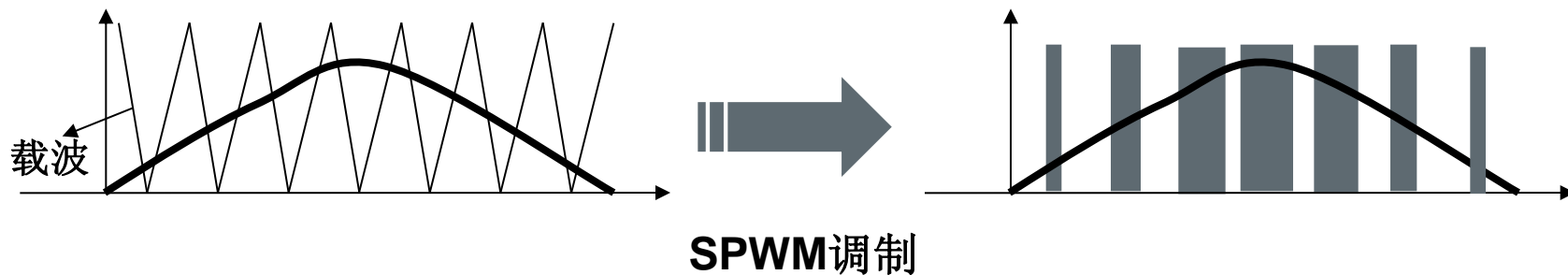
整流器：将交流电变换成直流的电力电子装置，其输入电压为正弦波，输入电流非正弦，带有丰富的谐波

逆变器：将直流电转换成交流电的电力电子装置，其输出电压为非正弦波，输出电流近似正弦

变频器基础知识—简要工作原理

▪ PWM（Pulse Width Modulation）调制

- **PWM**调制是：利用半导体开关器件的导通和关断把直流电压调制成电压可变、频率可变的电压脉冲列。
- **SPWM**调制是：采用三角波和正弦波相交获得的**PWM**波形直接控制各个开关可以得到脉冲宽度和各脉冲间的占空比可变的呈正弦变化的输出脉冲电压电压，能获得理想的控制效果：输出电流近似正弦载波频率必须高，才能保证调制后得到的波形与调制前效果相同
- **GTR**变频器由于开关频率太低，电机噪声较大，**IGBT**有效的解决了这个问题



变频器采用的技术发展

■ 电力电子技术

- 半导体功率器件:GTO（门极可关断晶体管）-GTR（大功率晶体管）-BJT（双及型晶体管）、MOSFET（金属氧化硅场效应管）-IGBT（绝缘栅双极型晶体管），使得开关高频化的PWM 技术成为可能。

■ 微处理器技术

- 微处理器的进步使数字控制成为现代控制器的发展方向.控制处理芯片的运算能力和可靠性得到很大提高。
- 微处理器有单片机-数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)-专用集成电路(Application Specific IntegratedCircuit, ASIC)-多个CPU协同工作。

■ 控制理论的不不断进步

- 应用矢量控制技术、直接转矩控制技术及现代控制理论。

■ 网络技术

- 局域网，互联网，远程监控；
- Profibus BUS，
- Interbus-S,Device NET,
- I/O Interface

变频器的主要应用

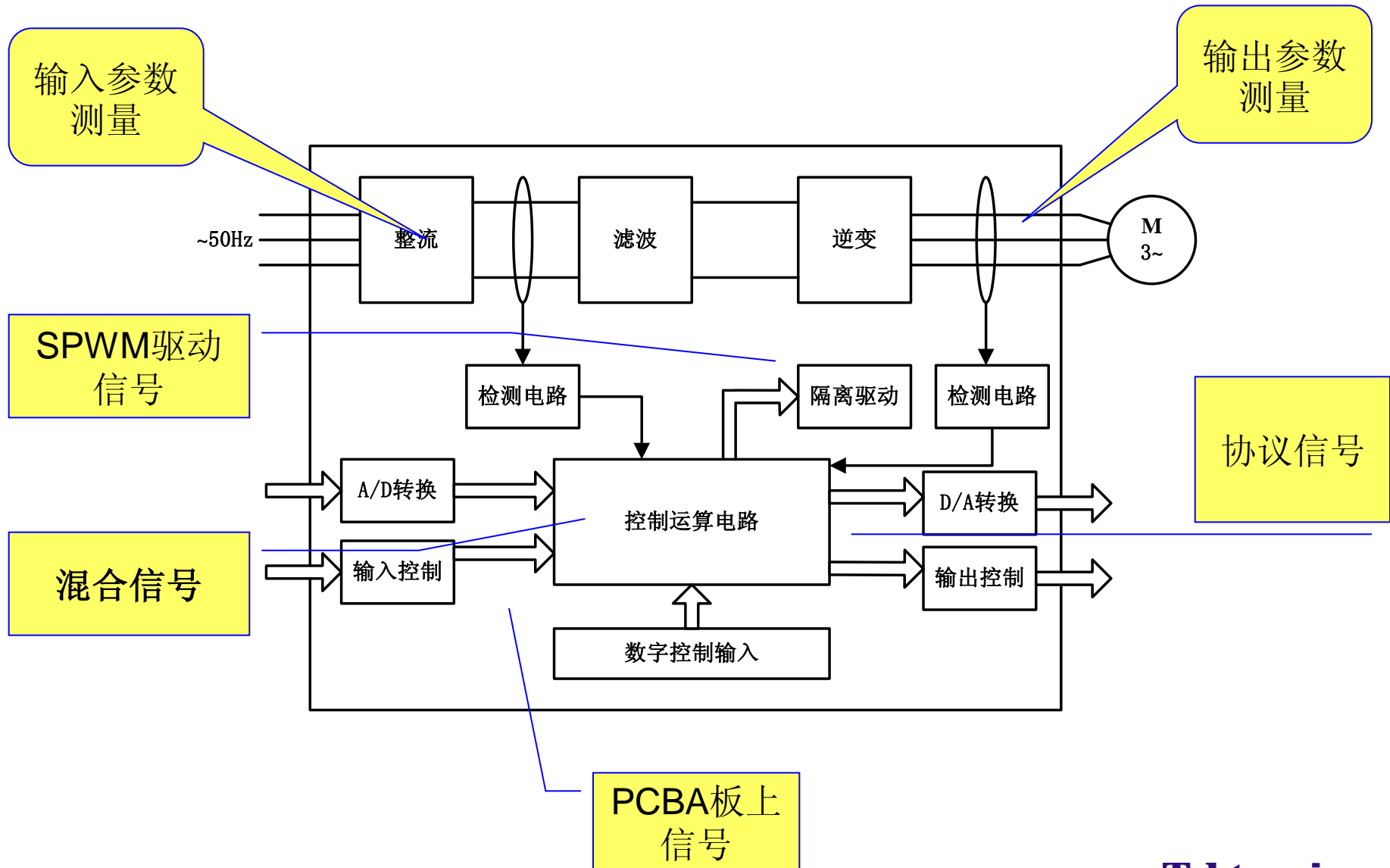
- 节能：广泛应用于钢铁、有色、石油、石化、化纤、纺织、机械、电力、电子、建材、煤炭、医药、造纸、注塑、卷烟、吊车、城市供水、中央空调及污水处理行业
- 工艺控制(速度控制)：纺织、化纤食品、饮料、包装、造纸、机床、电梯等行业
- 软启动
- 变频家电

大纲



- 变频器基础
- VFD测量技术
 - 整流部分测试
 - 滤波部分测试
 - 逆变部分测试
 - 驱动部分测试
 - 控制部分测试
 - 接口部分测试
 - 系统的诊断
- TEKTRONIX的VFD测试方案及特点

变频器的测试技术

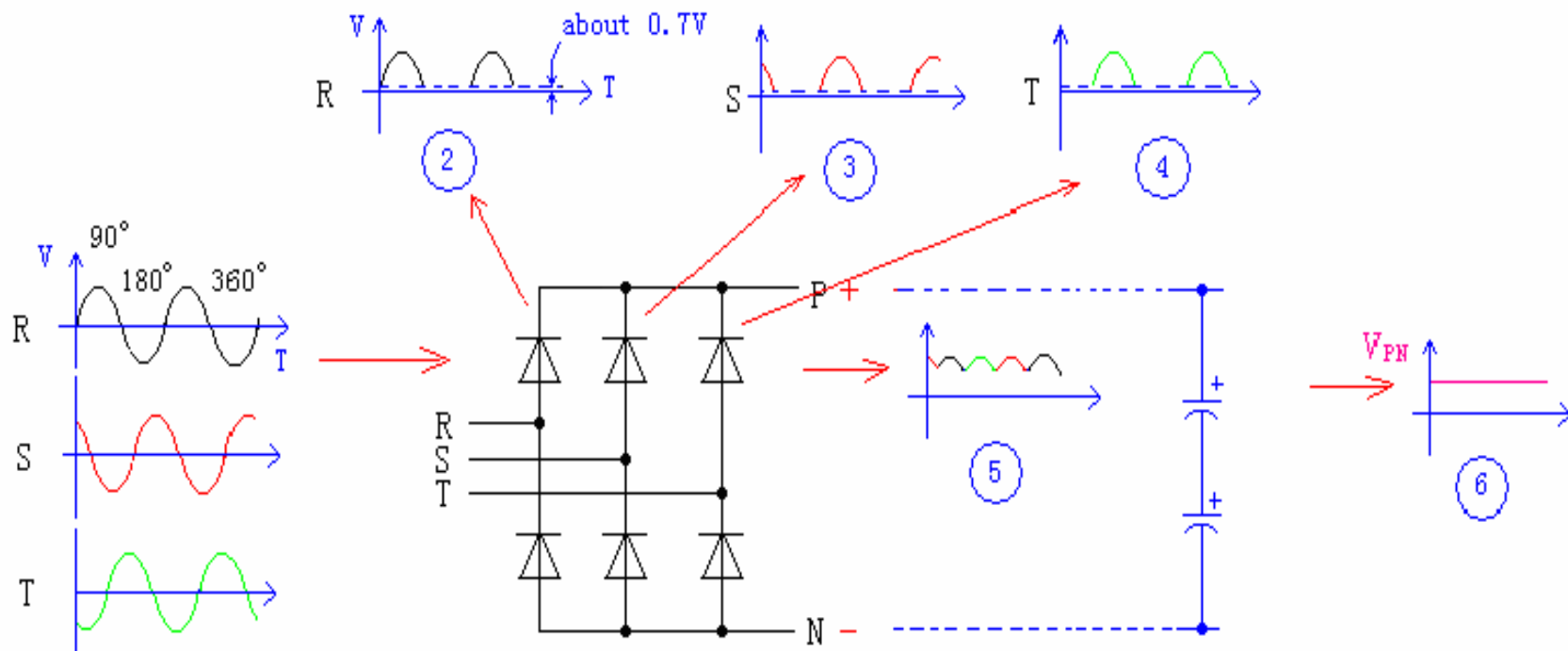


变频器的测量技术

- 整流滤波（输入）的测量
 - 额定输入电压
 - 额定输入电流
 - 输入频率
 - 额定容量
 - 有功功率
 - 功率因数
 - 输入各次谐波
 - 输入总失真度
 - 相角
 - 滤波电容的纹波电压和电流
- 测量仪器及配置
 - DPO2000\3000\4000B\5000
 - PWR功率软件
 - P5200/5205/P5210高压差分探头
 - 电流探头

VFD的基本原理

交—直—交电路的整流和滤波



- 变频器的进线电源可以是三相380-500V，或三相200—240V，也可以是单相200—240V；也可以是690V。
- 电源电压在690V以下称为低压变频器，1000V以上称为中压或高压变频器。
- 进线电源的相序不影响电机的转向。
- 大多数变频器采取三相全波整流，整流器件为功率二极管

VFD测试技术---谐波测量标准

- GB/T14549-93: 变频器电网侧谐波电压符合GB/T 14549-93电能质量 公用电网谐波要求.
- IEEE Std 519-1992: 变频器电网侧谐波电流含量符合519-1992

中、高压电力系统中畸变负荷发射限值的评估 (GB/Z 17625.4—2000) (IEC 61000-3-6)

标准电压/kV	基准短路容量/MV·A	注入公共连接点谐波电流允许值 单位:A							
		谐波次数及谐波电流允许值							
		5	7	11	13	17	19	23	25
0.38	10	62	44	28	24	18	16	14	12
6	100	34	24	16	13	10	9.0	7.4	6.8
10	100	20	15	9.3	7.9	6.0	5.4	4.5	4.1

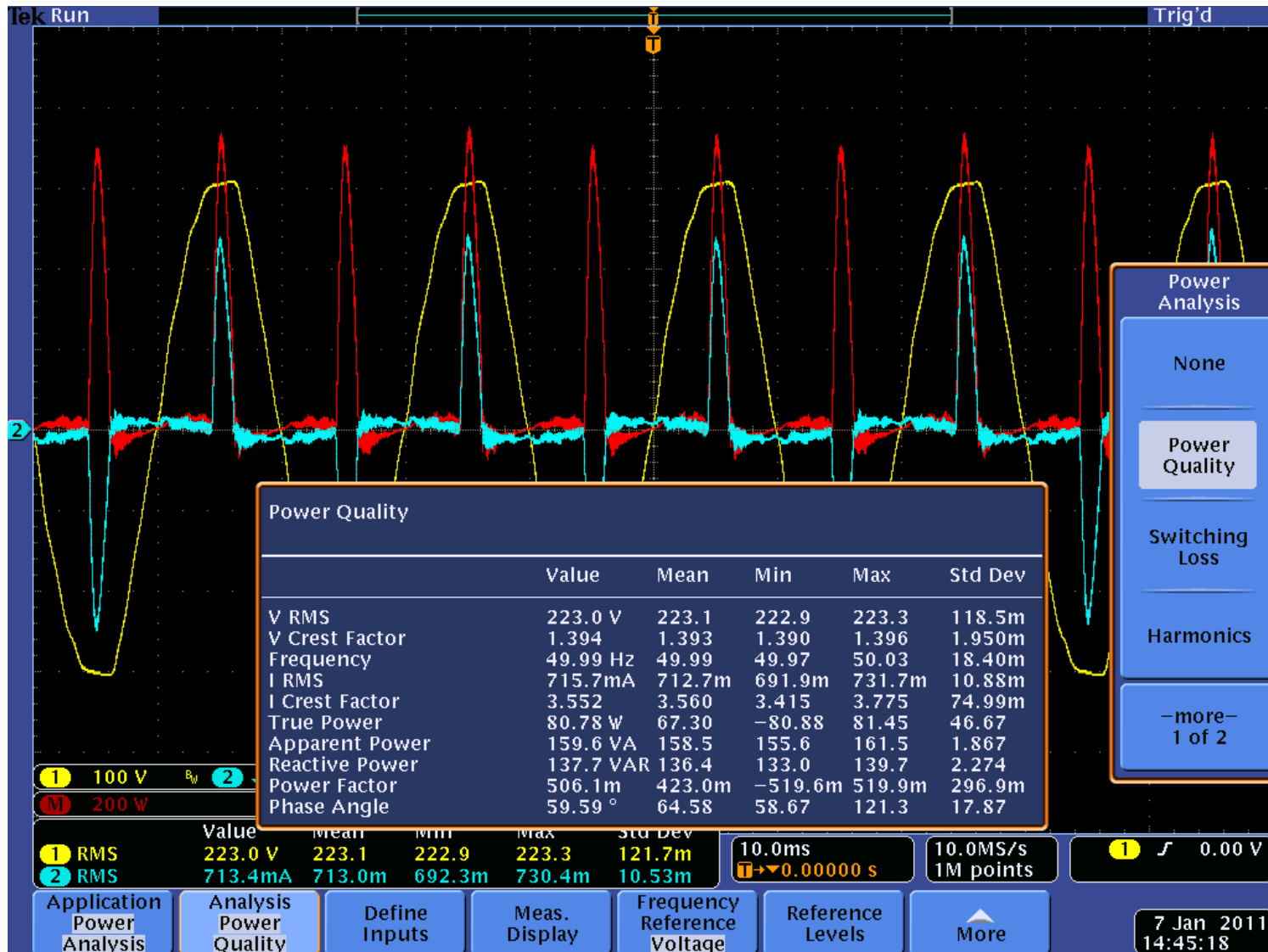
各国谐波管理标准比较

	电压畸变率 /%	谐波		系统电压 /kV
		奇次/%	偶次/%	
英国	4	3	1.95	6.6-11
美国	一般电力为5 专用为8	—	—	2.4-69
德国	5.8	5次 7次 11次 13次	—	10-30
澳大利亚	5	4	2	≤33
日本	3	1	0.75	配电系统
中国	10	5	2	配电系统

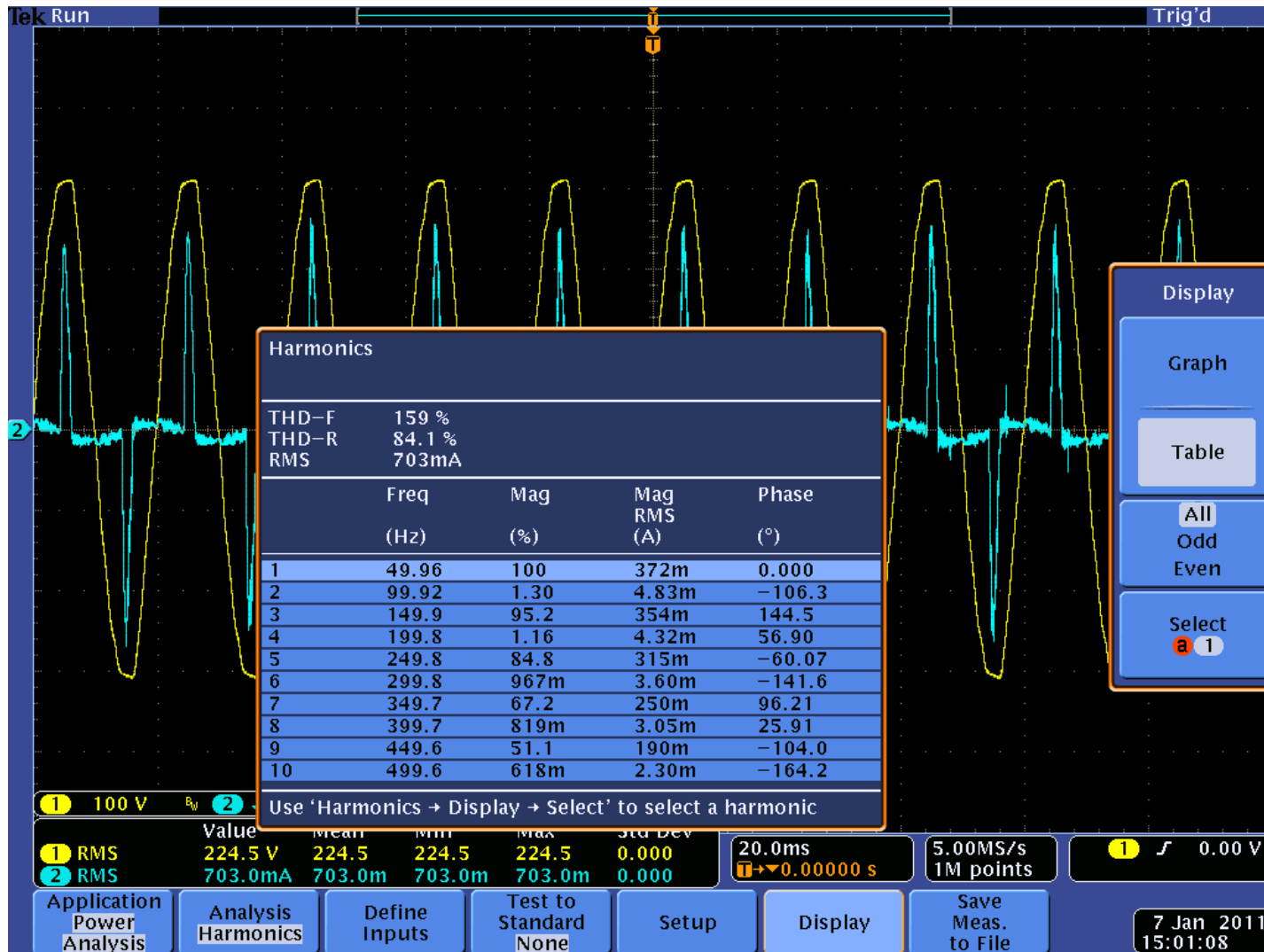
IEC 变频器相关技术标准

电网电压/kV	电压总谐波畸变率 THD/%	各次谐波含有率/%	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2
6-10	4.0	3.2	1.6

VFD的测量技术---AC输入电压和电流



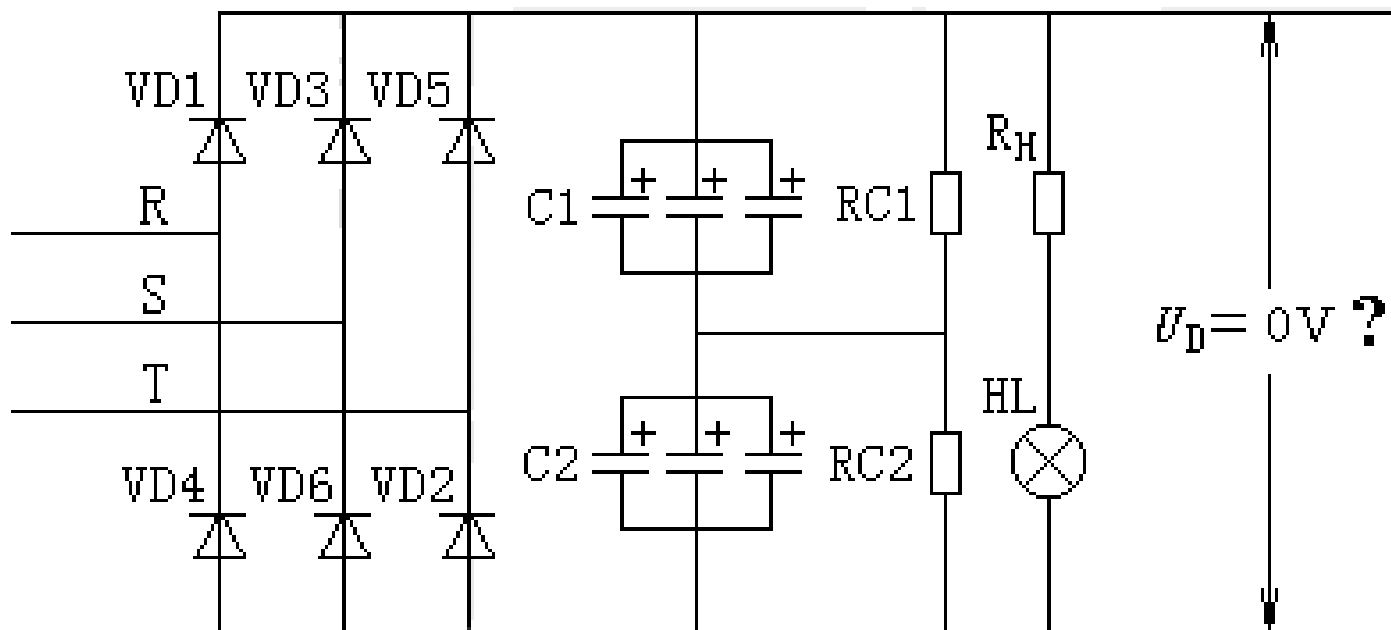
VFD的测量技术——谐波测量表



VFD的测量技术——纹波测量

电压值 $\sqrt{2}$ 线电压 6倍工频频率的脉动波形

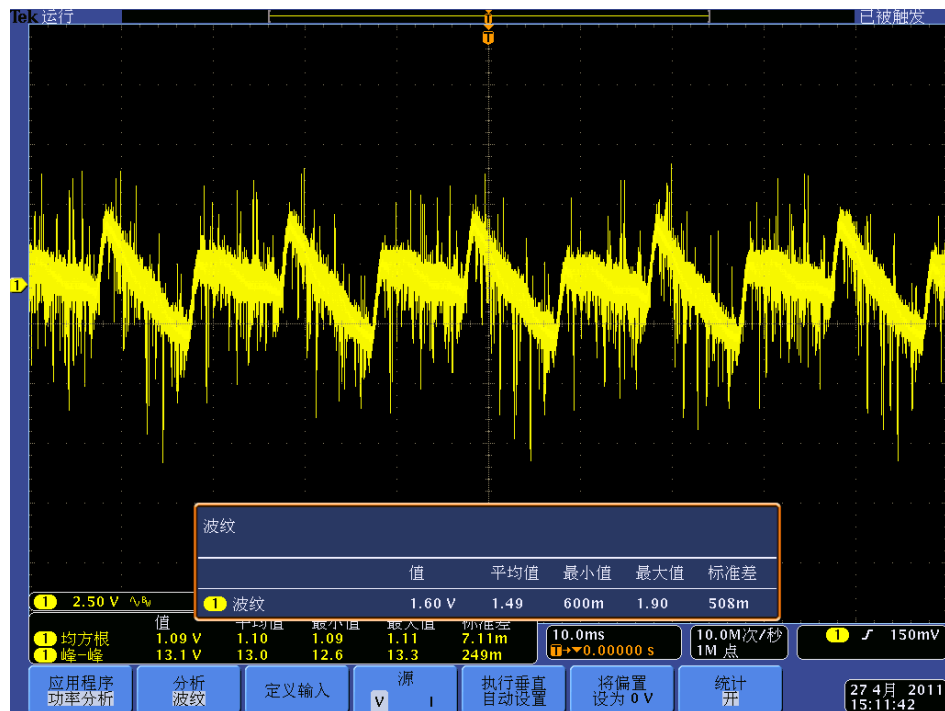
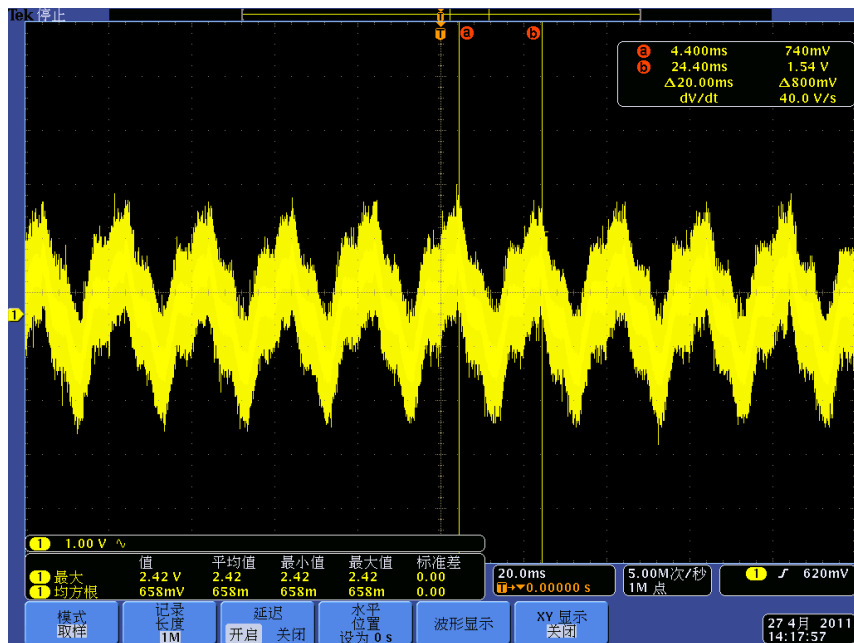
推荐选择4000/3000/2000示波器+P5205 DP02000的FilterVu功能可以帮助使用者滤除高频纹波的干扰



VFD的测量技术——纹波电压测量

直流波动测量

- 直接显示百分比或峰峰值
- 带有统计功能
- 电压和电流波动均可测量



VFD的测量技术——纹波电流测量

测量的必要性：电容器在实际使用时如果超过电容器规定的Max Allowable Ripple Current，产品温度就会升高，超出其最高使用温度，就会对电容器性能产生影响，从而影响整个电路和设备。

R. V. (V) 额定电压		35			
Cap. (μ F) 容量	Ripple Current 纹波电流	Case size Φ DxL (mm) 产品尺寸			
		22	25	30	35
3,300	1.43	22x25			
3,900	1.65	22x30			
4,700	1.89	22x35	25x25		
5,600	2.02	22x40	25x30		
6,800	2.28	22x45	25x35		
8,200	2.67	22x50	25x40	30x30	
10,000	2.92		25x45	30x35	
12,000	3.26		25x50	30x40	35x30
15,000	3.74			30x45	35x35
18,000	4.16				35x40
22,000	4.92				35x50

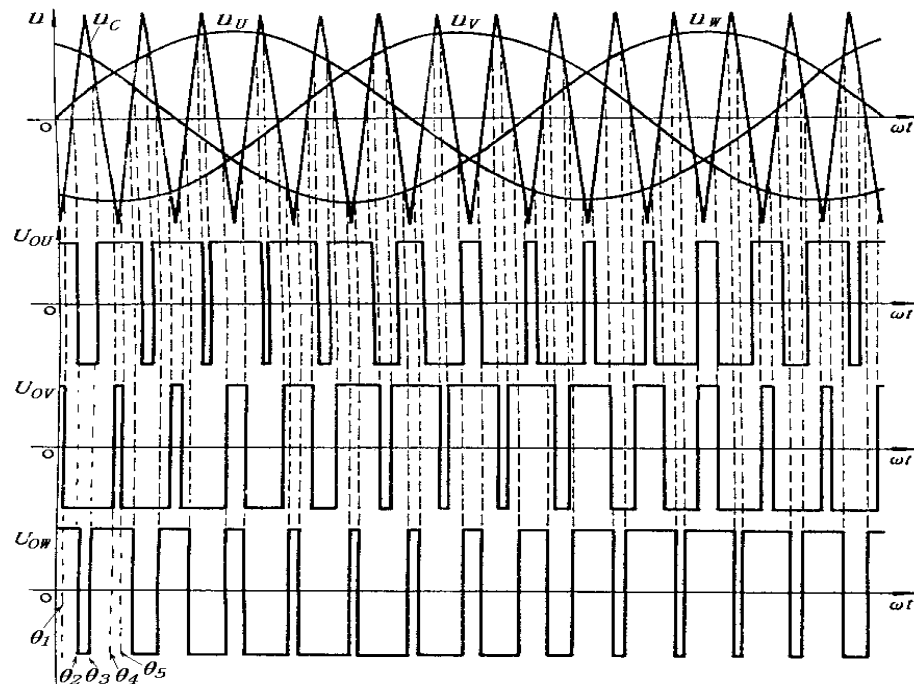
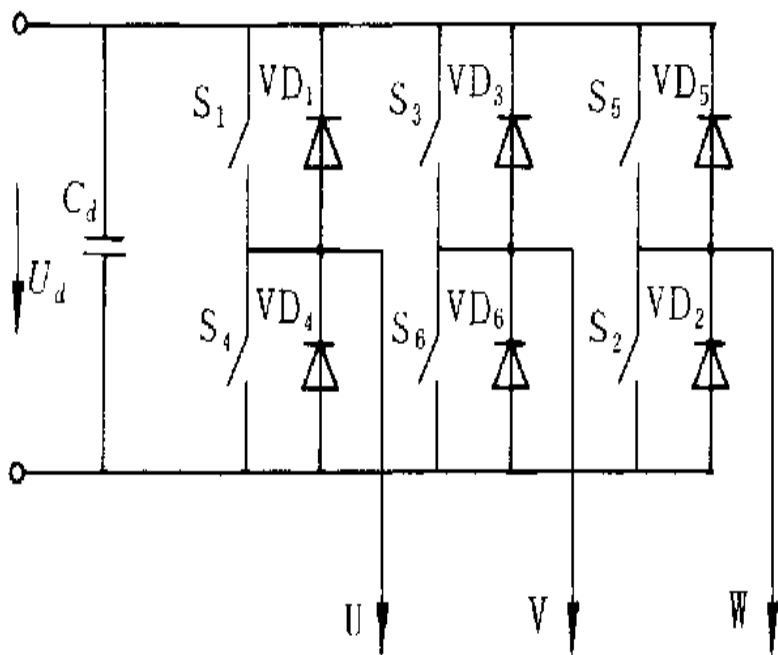
VFD的测量技术

- 逆变（输出）的测量
 - 输出测量
 - 额定输出电压
 - 额定连续电流
 - 额定功率
 - 频率范围
 - 过载能力
 - 输出各次谐波
 - 输出总失真度
 - 逆变测量
 - IGBT的损耗
 - IGBT工作特性:SOA等
- 测量仪器及配置
 - 万用表DMM4020
 - DPO2000示波器
 - 电流探头+P5210/5205
 - DPO3000\4000B

VFD的基本原理

交—直—交电路的 逆变电路

三相正弦脉冲宽度调制波形

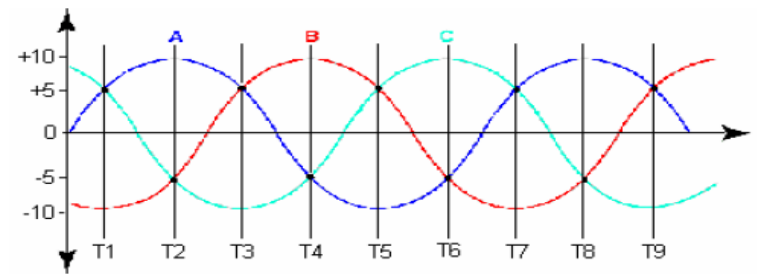
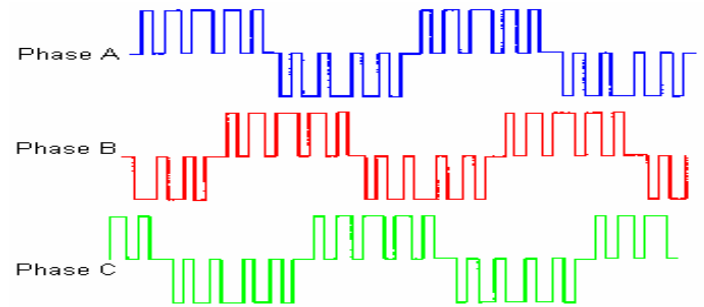
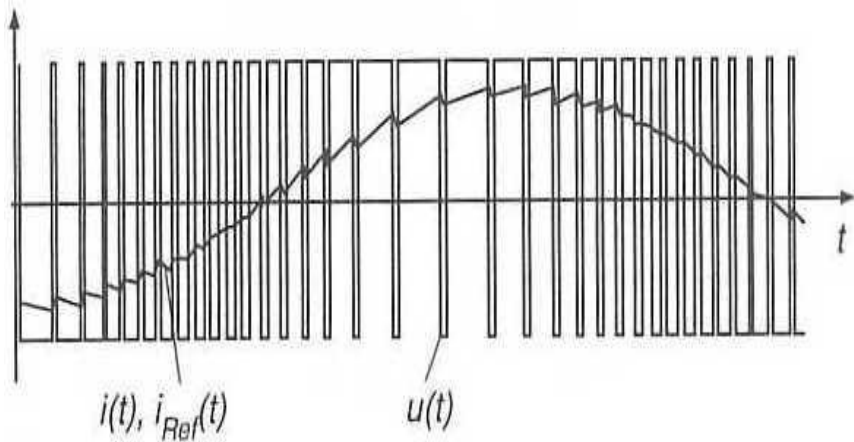


逆变器的功能:

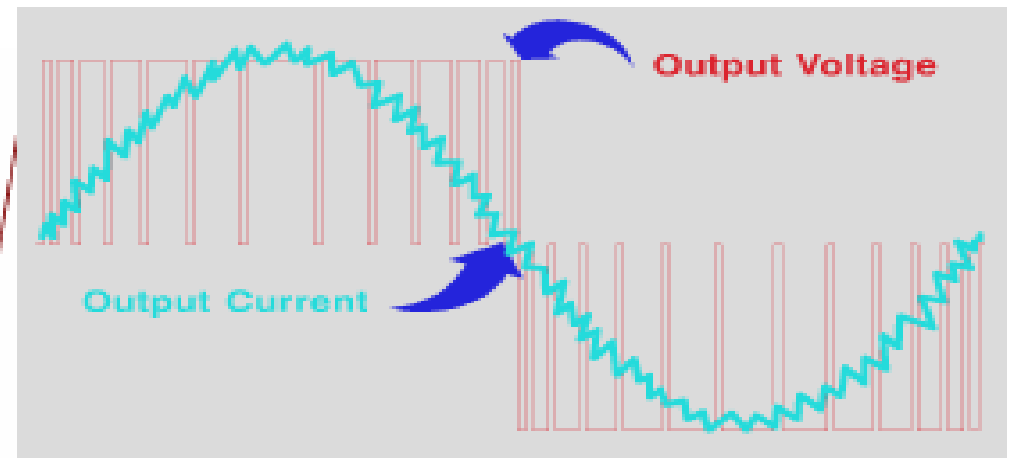
- 通过改变开关管导通时间改变输出电压的频率
- 通过改变开关管导通顺序改变输出电压的相序

VFD基本原理

- 变频器的输出波形

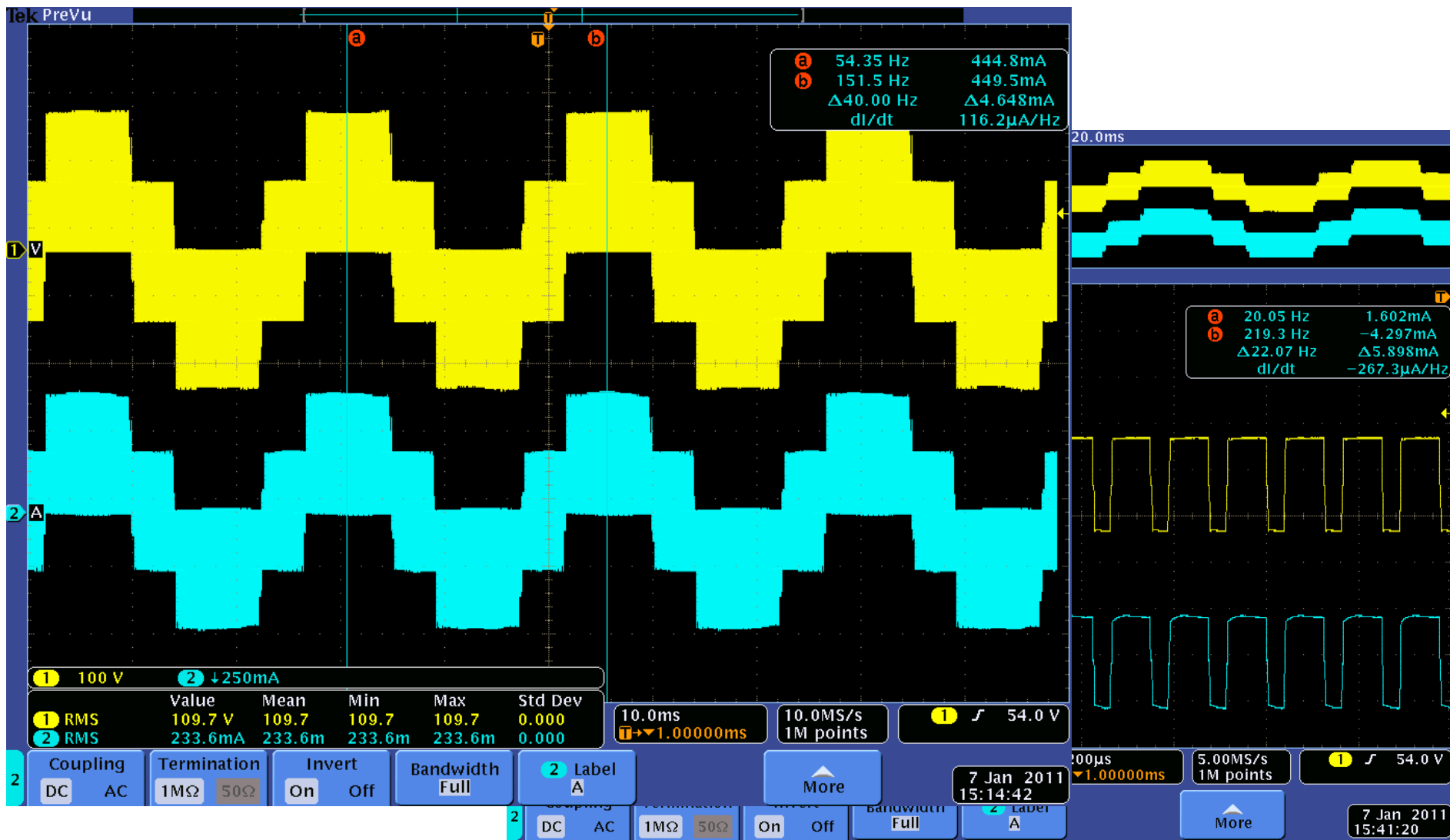


变频器输出电压方波经L/R积分为电流波形近似为正弦波



VFD的测量技术

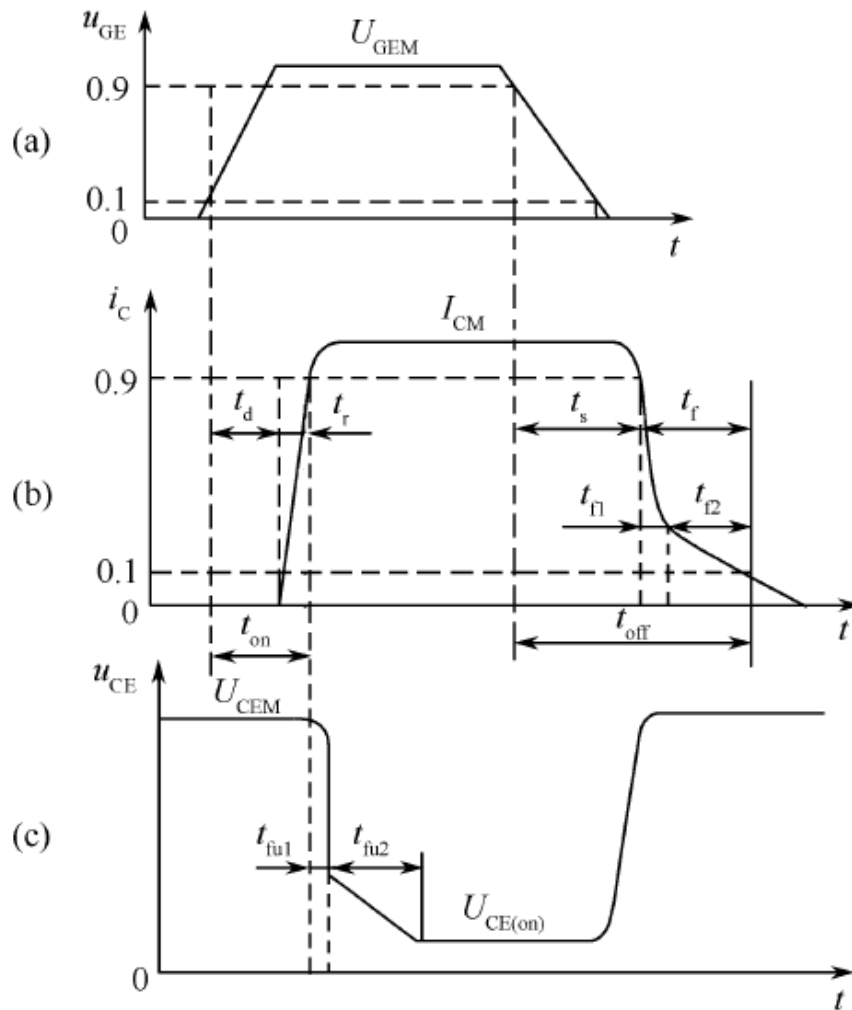
变频器的输出波形



VFD的测量技术

IGBT的损耗测量

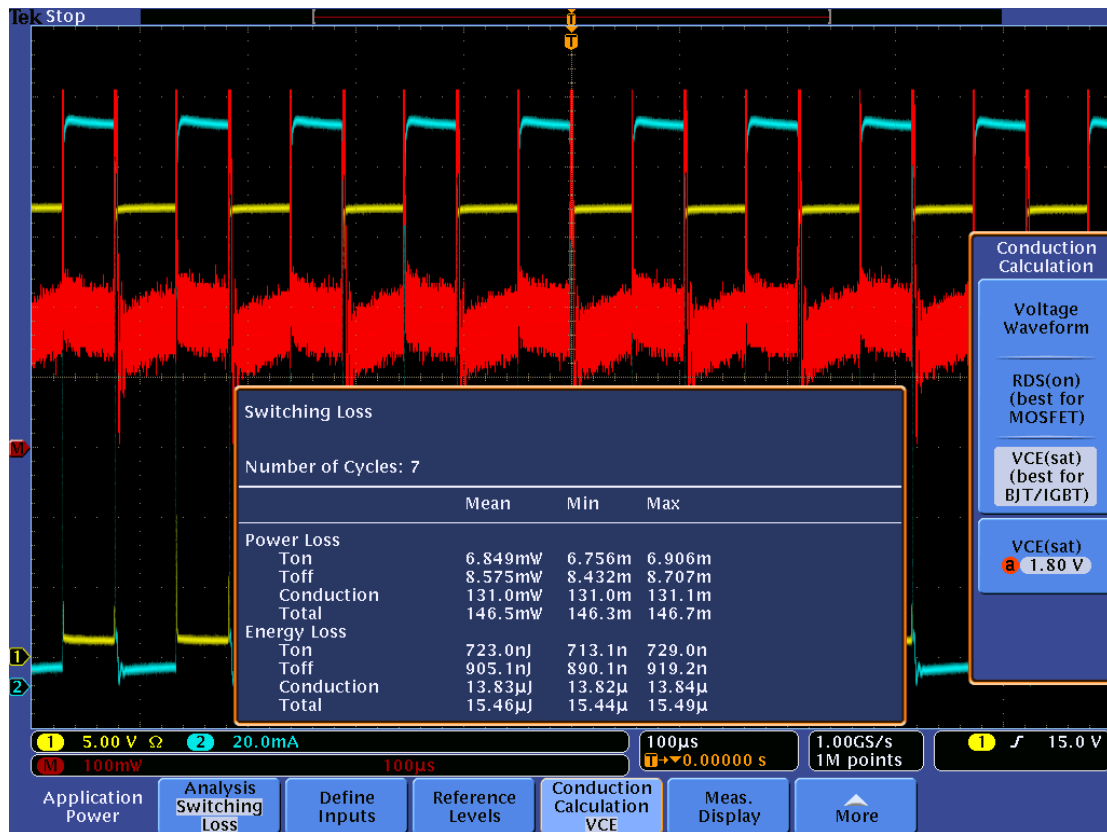
- 电压范围 $1/2V_d$ 对于380v三相系统 < 270v 对于单相系统 < 160v
- 电流 视变频器的容量而定，几A到一两百安培，视变频器容量和负载而定



VFD的测量技术

■ 逆变（输出）的测量

- 开关损耗测试
- 测量IGBT工作状态下的损耗功率和能量
 - Ton
 - Toff
 - Tconduction
 - Ttotal
- 通过波形搜索功能找到高功率损耗点

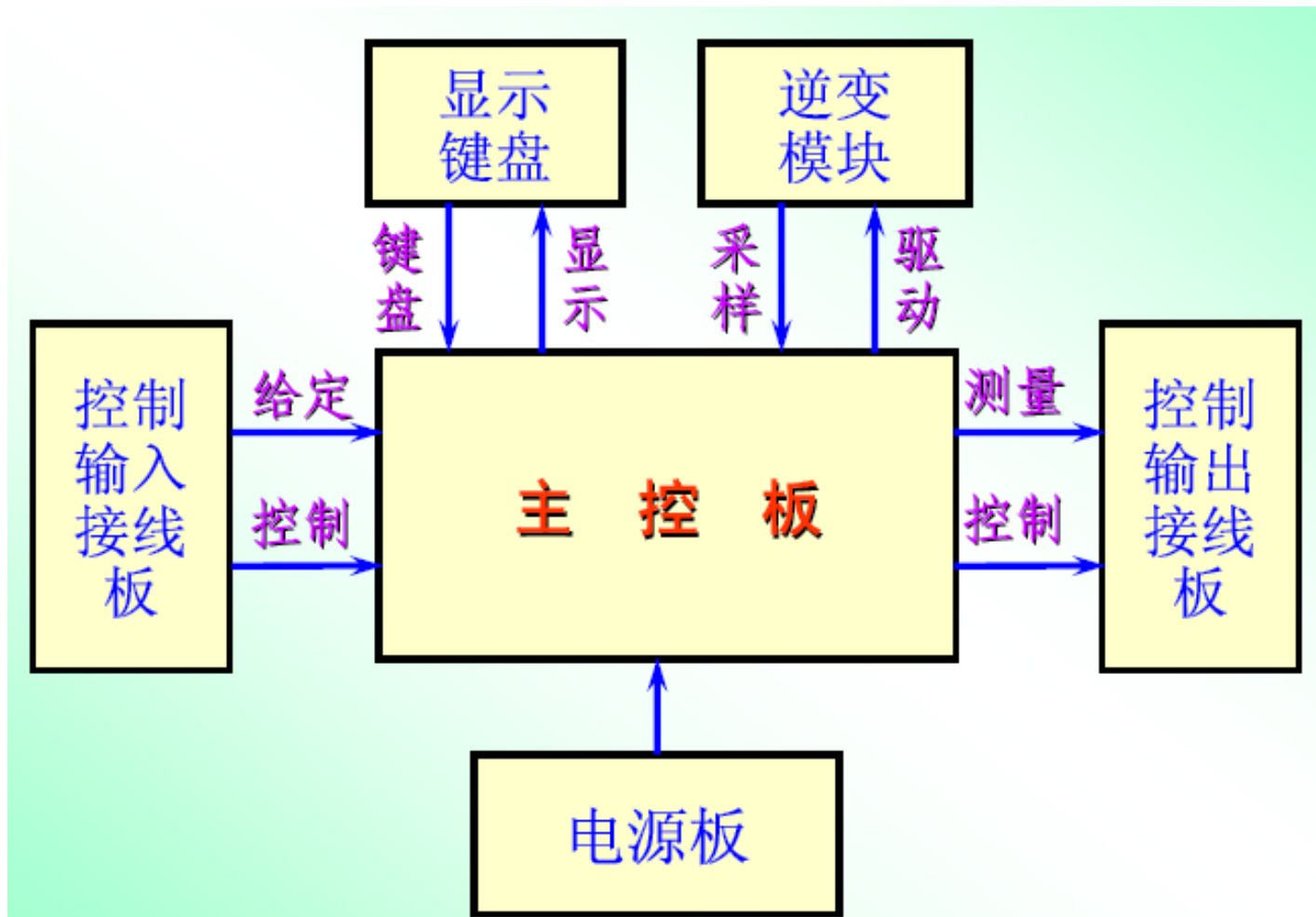


VFD的测量技术

- 控制部分测量
 - I/O信号A/D、D/A
 - 速度反馈信号
 - 旋转编码器的测试
 - 电流反馈回路
- 驱动部分测量
 - 驱动的PWM信号测量
- 测量仪器及配置
 - MSO4000B、MSO3000
 - AFG3022B

VFD的基本原理

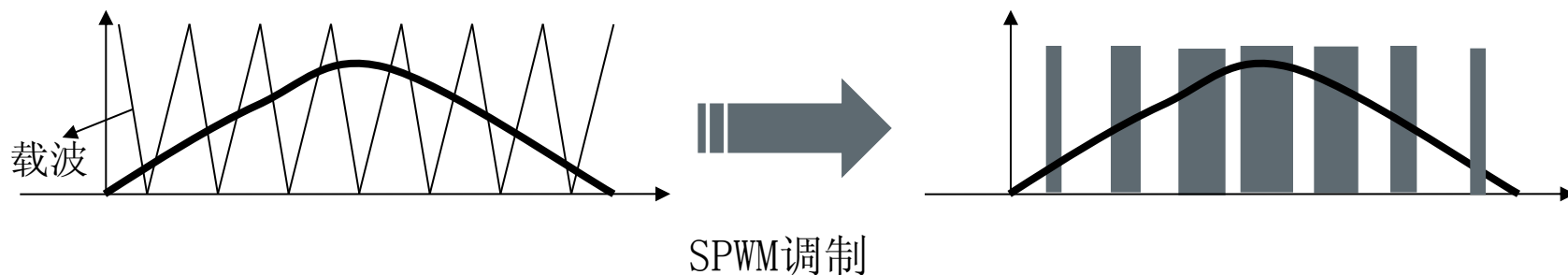
控制和驱动电路



VFD基本原理-调制

■ PWM（Pulse Width Modulation）调制

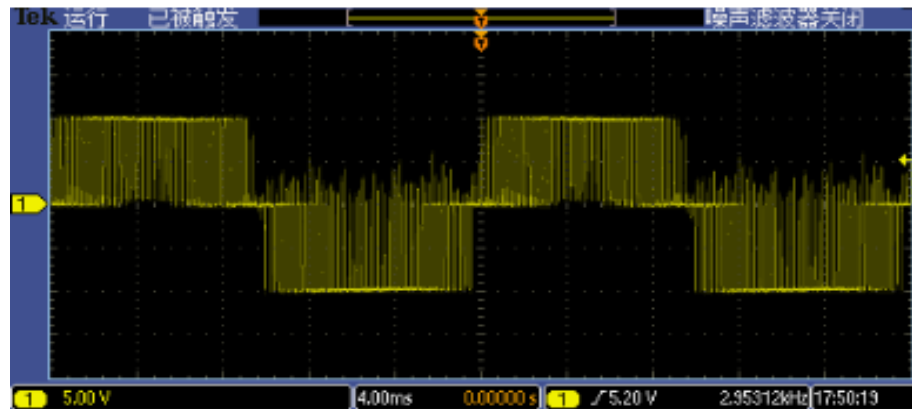
- PWM调制是：利用半导体开关器件的导通和关断把直流电压调制成电压可变、频率可变的电压脉冲列。
- SPWM调制是：采用三角波和正弦波相交获得的PWM波形直接控制各个开关可以得到脉冲宽度和各脉冲间的占空比可变的呈正弦变化的输出脉冲电压电压，能获得理想的控制效果：输出电流近似正弦
- 载波频率必须高，才能保证调制后得到的波形与调制前效果相同
- GTR变频器由于开关频率太低，电机噪声较大，IGBT有效的解决了这个问题



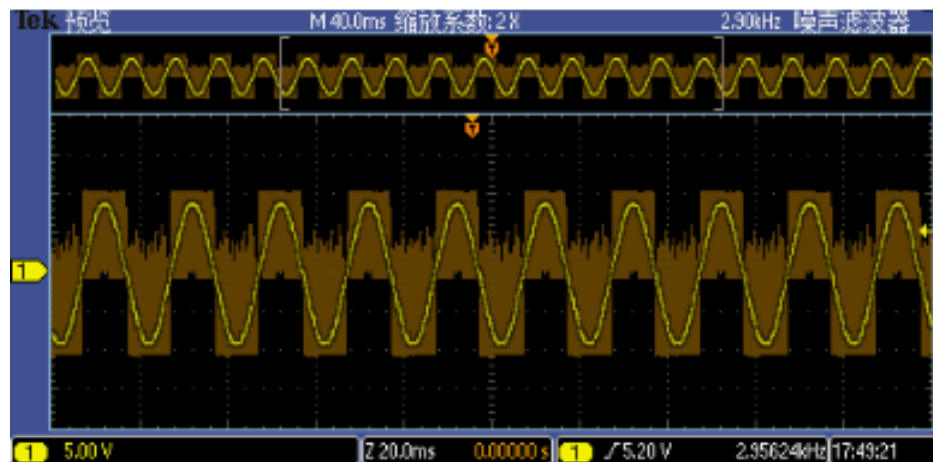
VFD的测量技术

■ 驱动部分测量

- 测量每个IGBT门极接受到的驱动信号及其传输延时和信号畸变
- 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



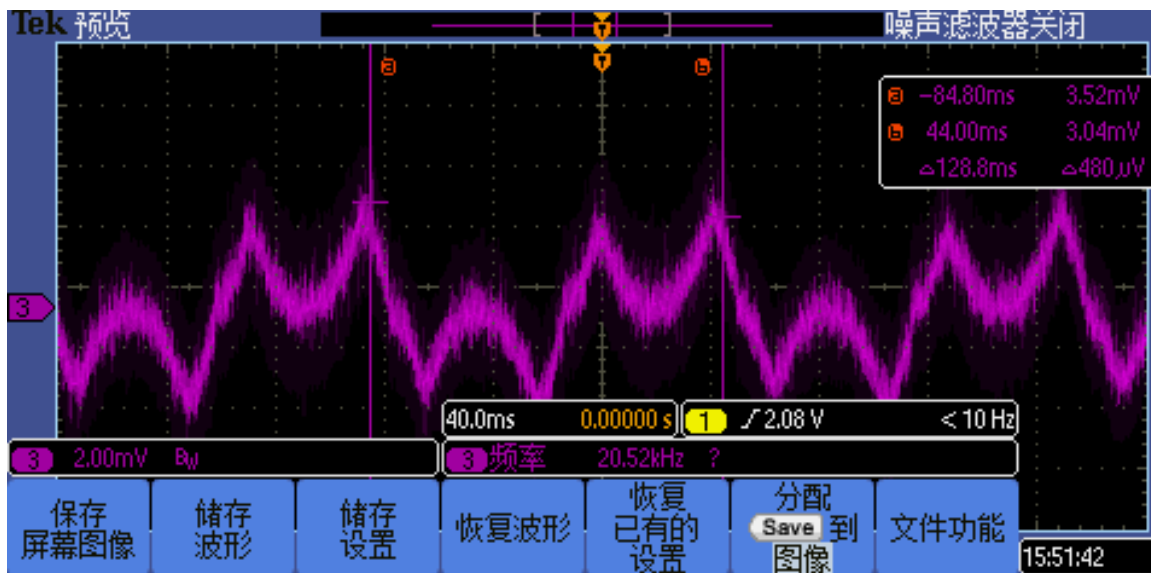
MSO2024 - 18:01:58 2009-6-29



MSO2024 - 18:01:00 2009-6-29

VFD的测量技术

- A/D,D/A电路测量（电流反馈、电压反馈）



SVPWM调制控制下轻载状态下的电流波形

VFD的测量技术

- 接口部分测量
 - RS232/485的协议测量
 - PROFIBUS的测量(485)
 - DeviceNet的测量(CAN)
 - MODBUS的测量 (232)
- 测量仪器及配置
 - DPO4000B、DPO3000
 - DPO4COMP\ AUTO

VFD测试技术-通信协议的测试和诊断

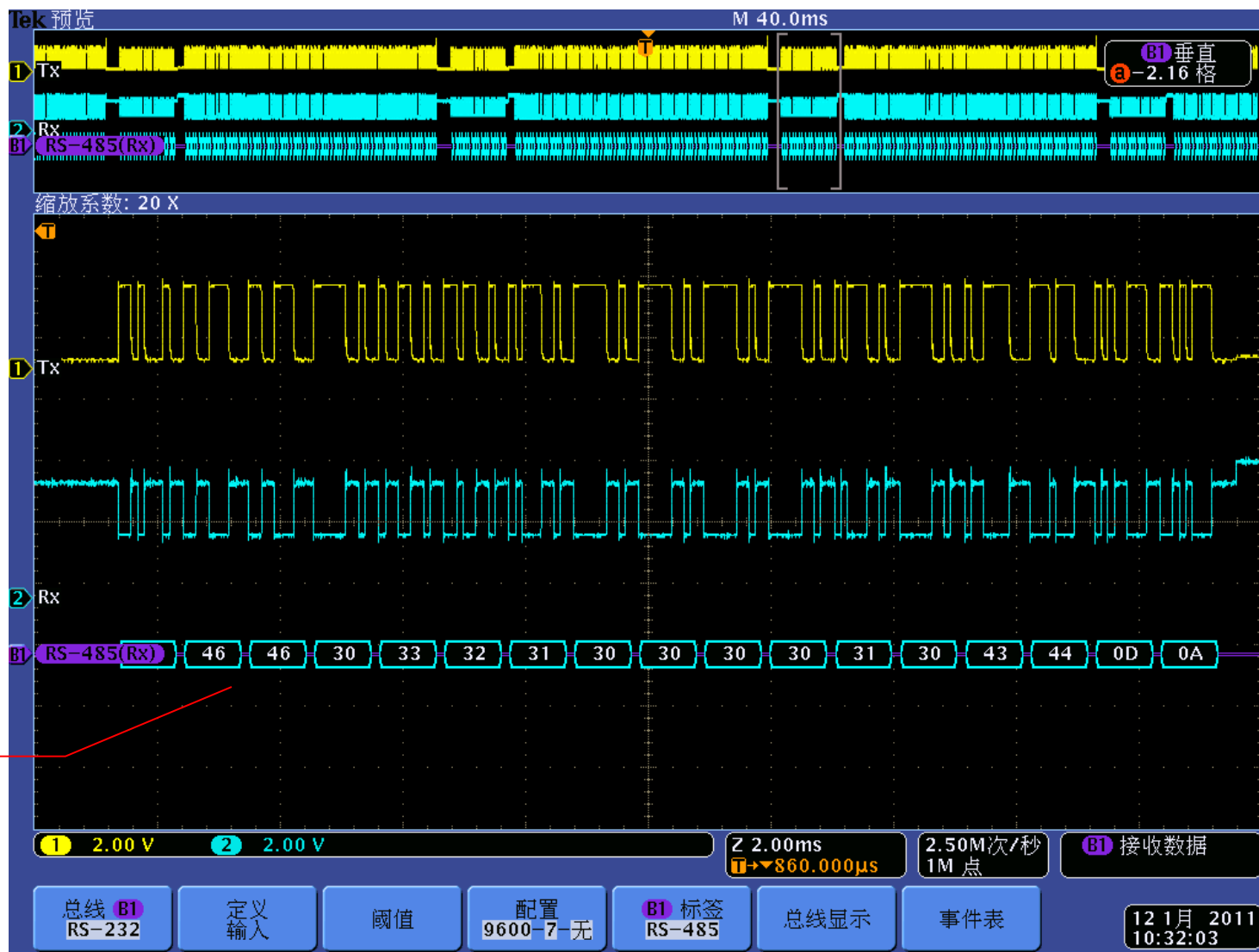
RS-232/422/485/UART触发和解码

Trigger On **a**

- Tx Start Bit
- Rx Start Bit
- Tx End of Packet
- Rx End of Packet
- Tx Data
- Rx Data
- Tx Parity Error
- Rx Parity Error

RS-485

RS485触发
和解码



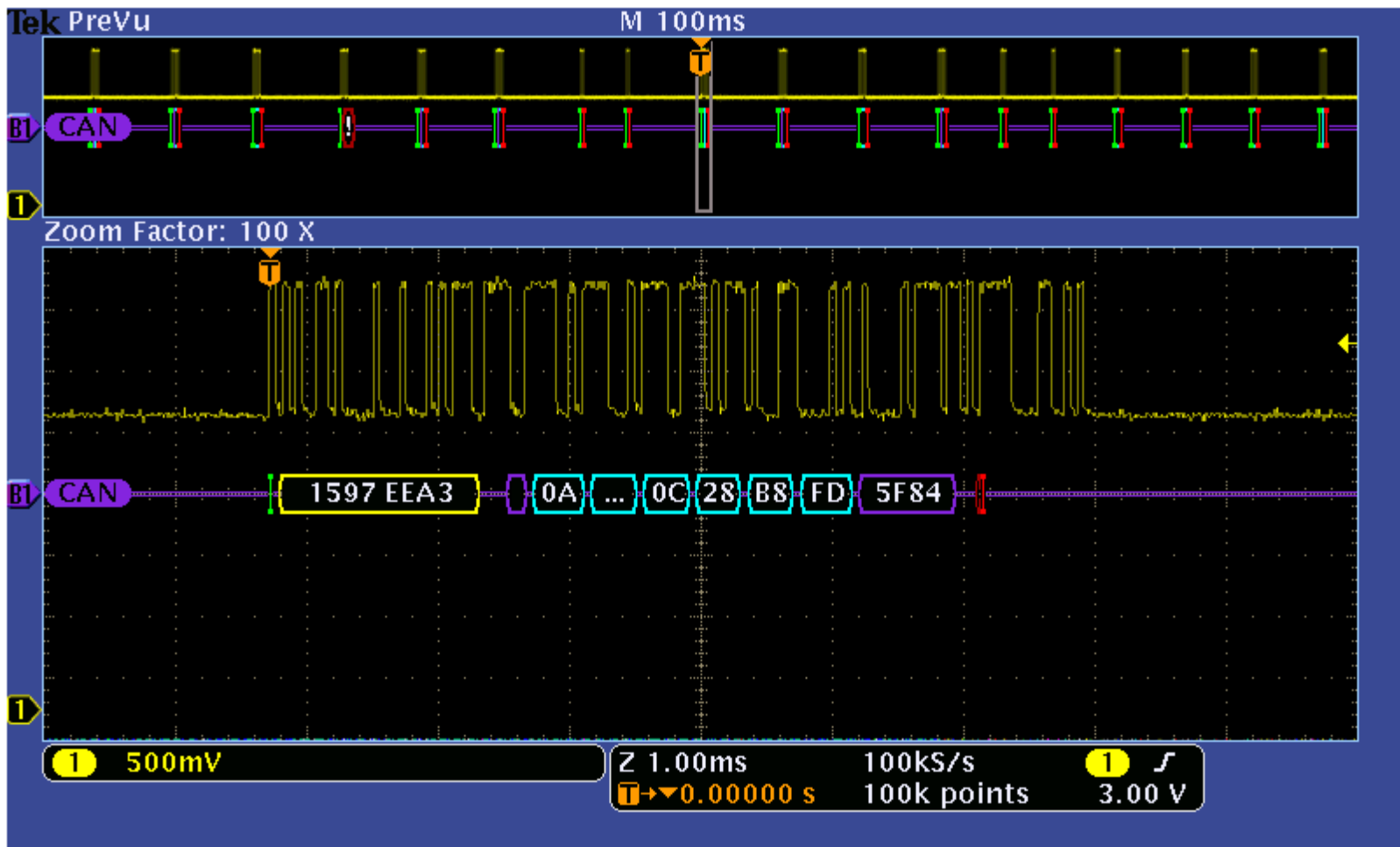
VFD测试技术-通信协议的测试和诊断

串行触发-CAN

Trigger On **a**

- Start of Frame
- Type of Frame
- Identifier
- Data
- Id & Data
- End of Frame
- Missing Ack
- Bit Stuffing Error

CAN



VFD测试技术-通信协议的测试和诊断

- PROFIBUS总线
 - PROFIBUS协议结构是根据ISO7498国际标准，以OSI作为参考模型的
 - PROFIBUS提供了三种数据传输型式：**RS-485传输**、IEC1157-2传输和光纤传输
- DeviceNet
 - DeviceNet是美国罗克韦尔自动化开发的、基于**CANbus**(国际标准IS011898)技术的一种现场总线
 - DeviceNet是用于现场设备(拖动装置、开关、I/O和人机界面等)与PLC之间的通信网络，传输速率为125~500Kb/s，传输距离最大 500m，最大节点数63个
- MODBUS
 - MODBUS是MODICON公司为该公司生产的PLC设计的一种通信协议。Modbus 协议是应用于电子控制器上的一种通用语言。通过此协议，控制器相互之间、控制器经由网络（例如以太网）和其它设备之间可以通信
 - MODBUS有两种传送方式，RTU（RemoteTerminalUnit）方式和ASC II方式。MODBUS以LSB在前的形式传送数字量，以MSB 在前的形式传送模拟量
 - 标准的Modbus口是使用一**RS-232C**兼容串行接口，它定义了连接口的针脚、电缆、信号位、传输波特率、奇偶校验。控制器能直接或经由Modem组网

VFD的测量技术

- 系统的设计、运行和诊断测量
 - 内部总线的测量：I2C\SPI
 - FPGA的测量
 - MCU、DSP的软硬件诊断

- 测量仪器及配置
 - MSO4000B
 - DPO4EMBD
 - FPGAView-xx

**可以同时测试四种总线协议的
仪器!!!**

VFD测试技术-串行触发

- I2C, SPI 触发和解码

- 触发数据包内容

- 包头
- 特定地址
- 特定数据内容
- 唯一的标识符
- 等等...

- 全部或部分规范



SPI

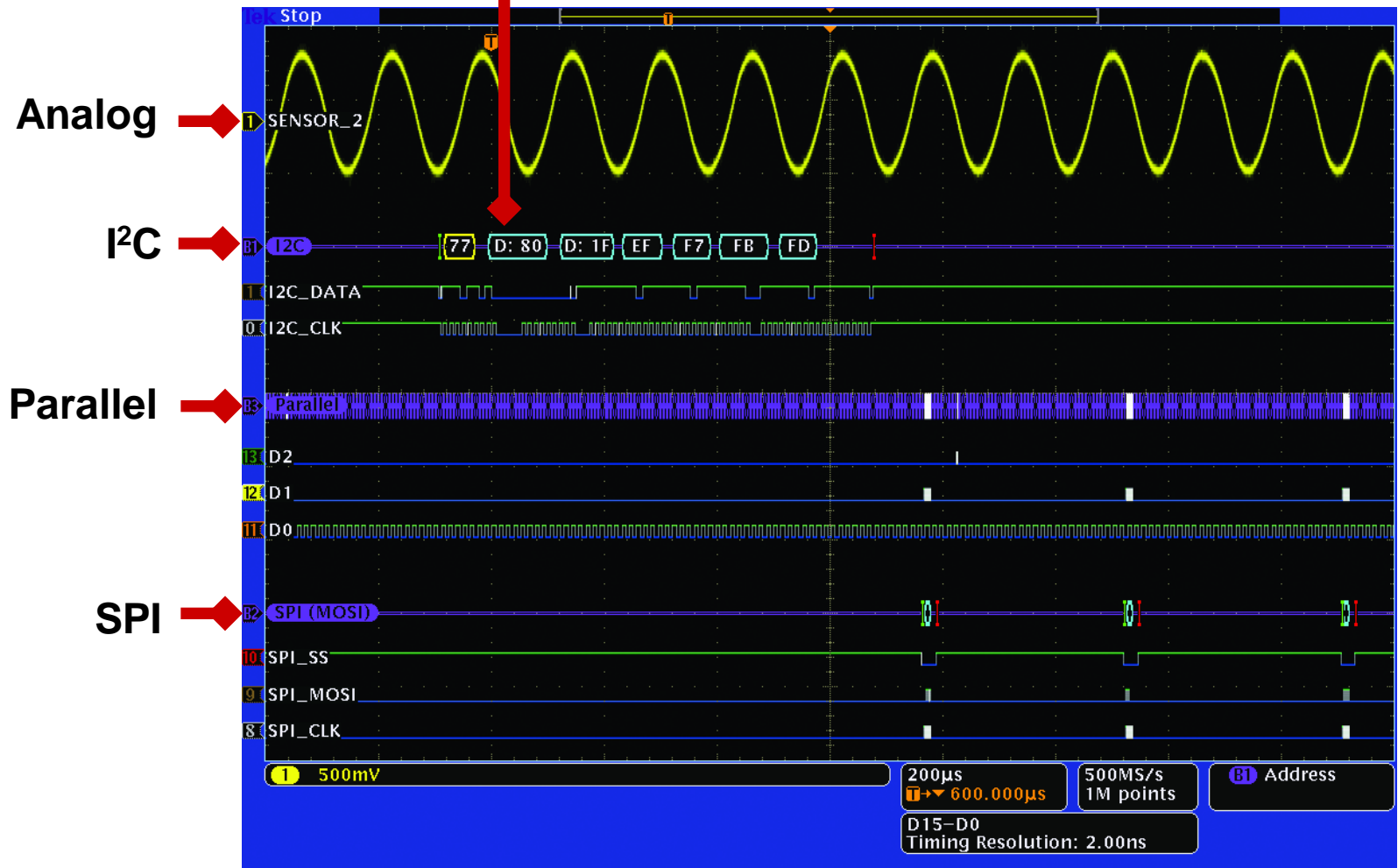


I2C

VFD测试技术-串行触发

- I2C, SPI 触发和解码

Triggered on 80 hex data



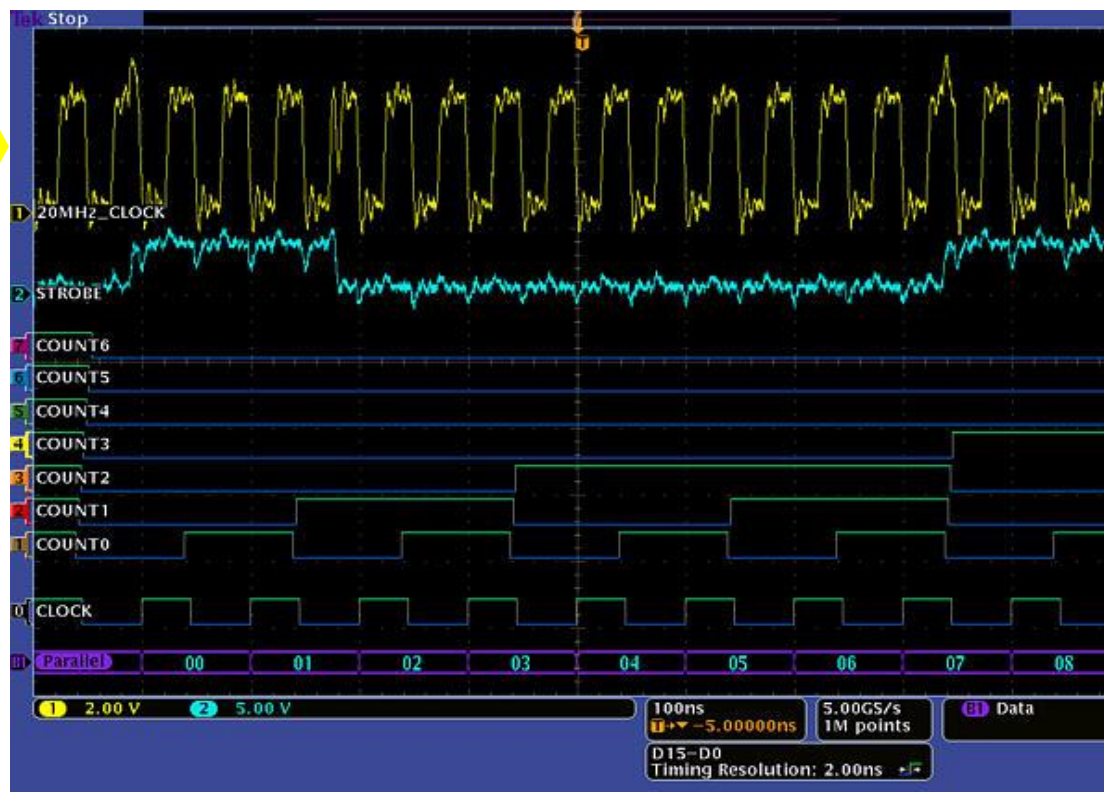
VFD测试技术-混合信号的测试

- MSO4000/3000/2000可以测量
 - 可以测量4个模拟通道+16个数字通道信号
 - 可以实现混合信号的同时测量
 - 可以测量MCU、ARM、DSP、FPGA信号

Analog

Digital

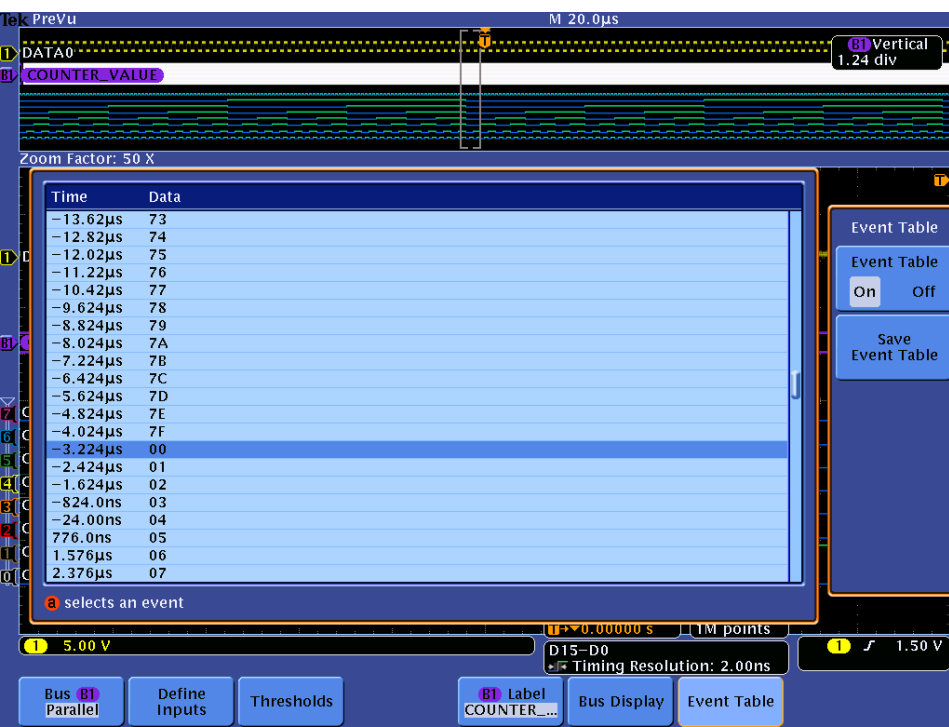
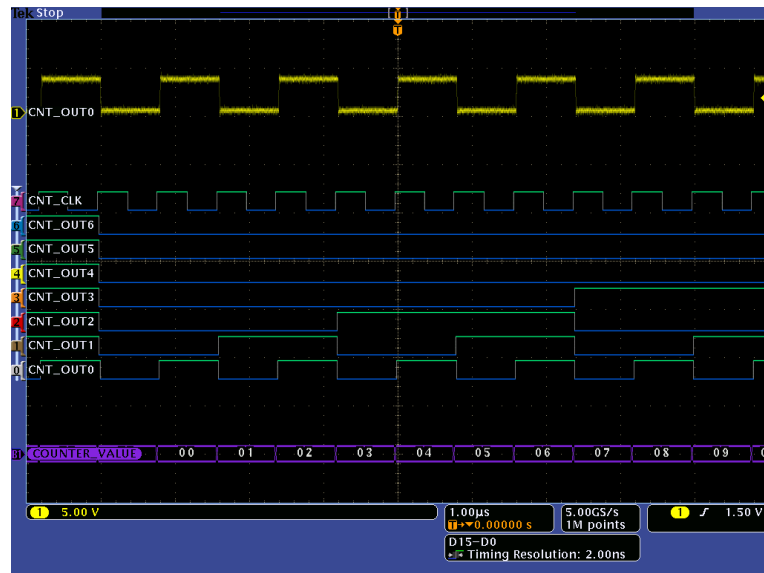
Bus



VFD测试技术-混合信号的测试

并行总线触发、解码和搜索

- 触发并行总线数据
 - 带时钟输入或不带时钟输入
- 以十六进制或二进制查看解码后的数据
- 使用Wave Inspector搜索和标记特定数据值
- 使用事件表格式查看数据



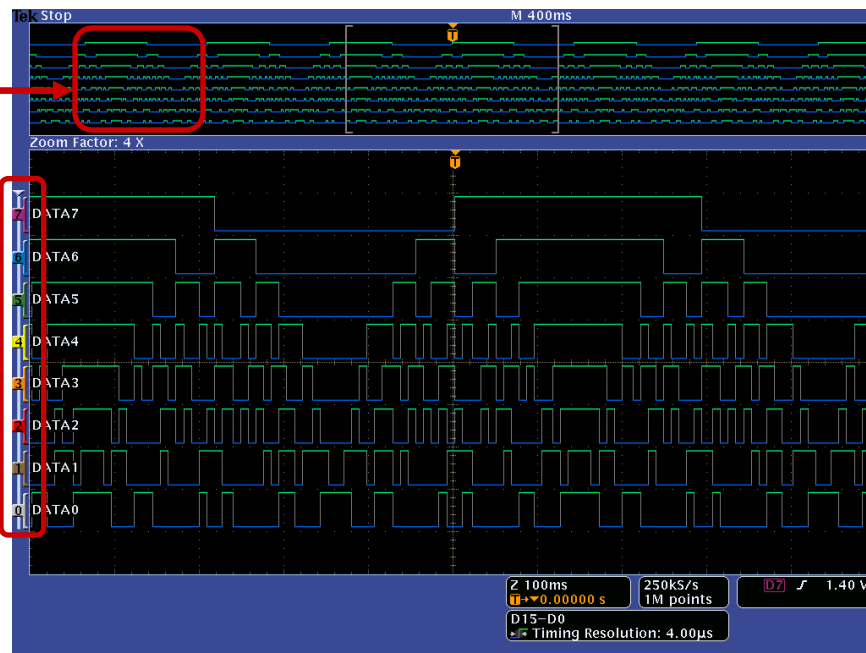
VFD测试技术-混合信号的测试

带色码的数字波形显示

- 逻辑值高用绿色表示，逻辑值低用蓝色表示

- 波形分组，简化在屏幕上定位数字波形的工作

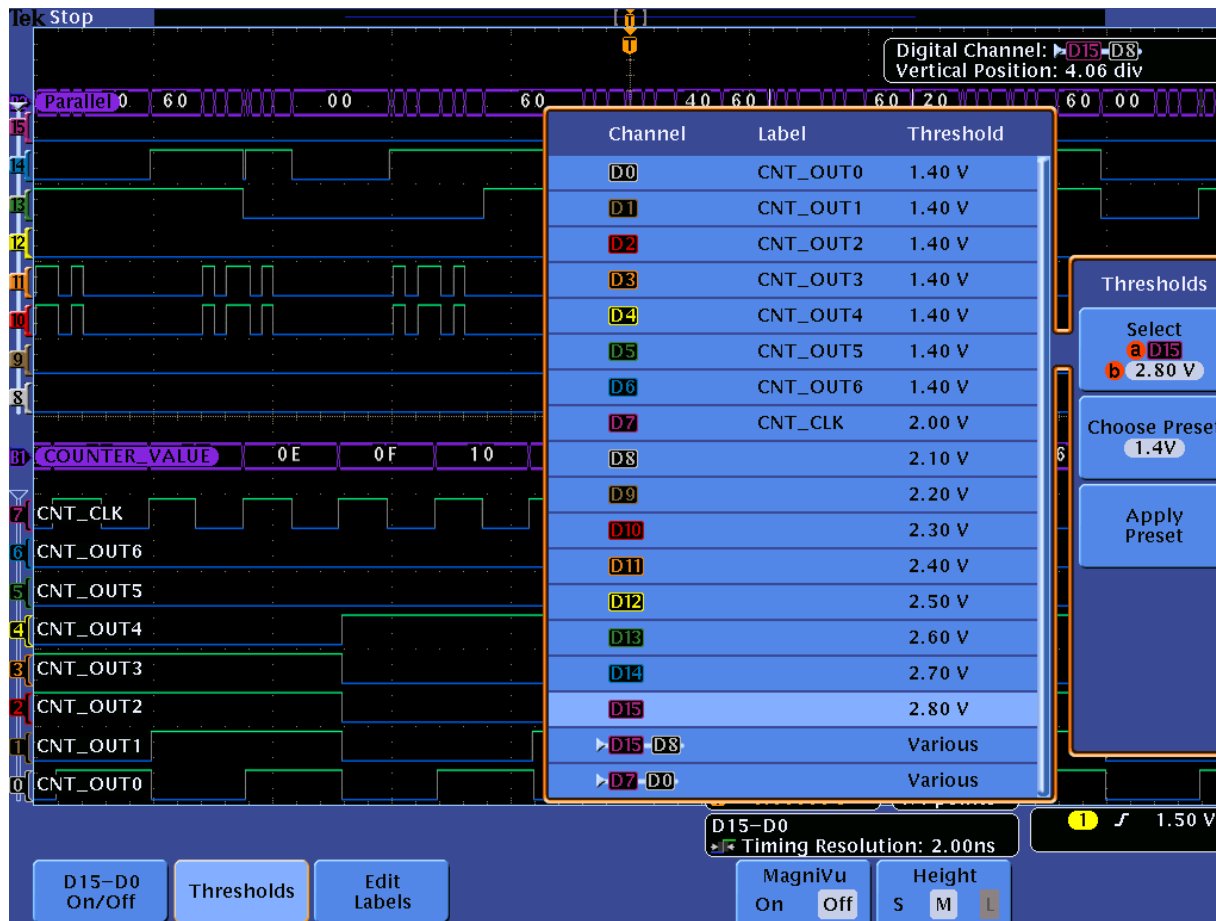
- 数字通道指示符带有色码，颜色与数字探头上的通道标签一致



VFD测试技术-混合信号的测试

每条通道设置门限

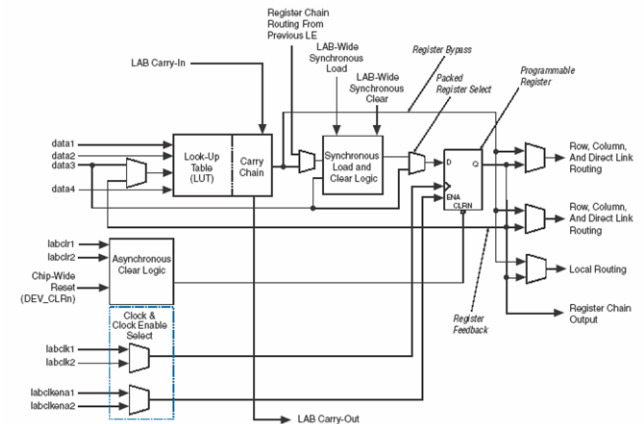
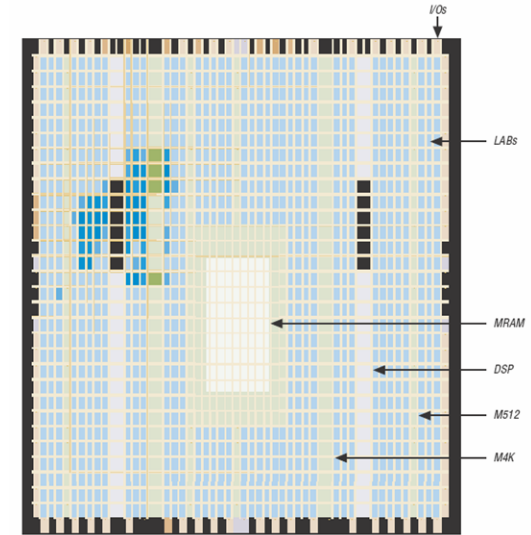
- 同时采集多个不同的逻辑家族，真正实现混合信号采集
- MSO4000、3000和MSO2000系列每个适配夹设置门限



TEKTRONIX的 FPGAs测试方案

FPGA 概览

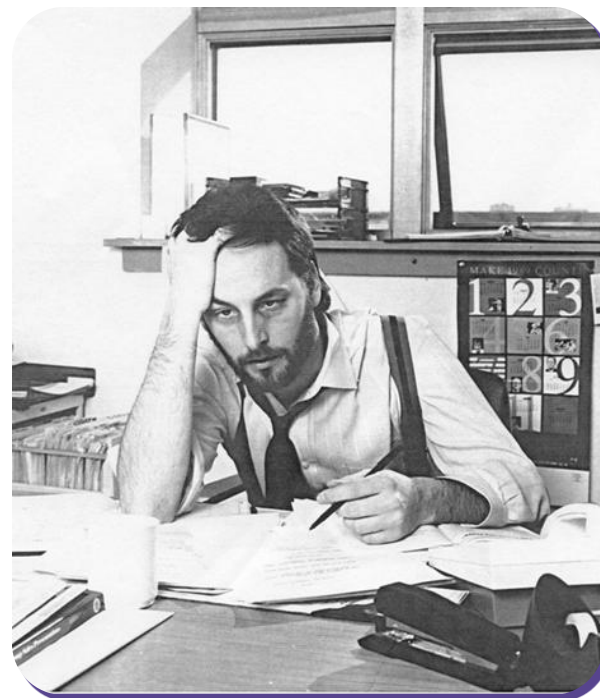
- FPGA – 现场可编程门阵列
 - 采用逻辑单元阵列LCA (Logic Cell Array)
 - 包括: 可配置逻辑模块CLB (Configurable Logic Block)、输出输入模块IOB (Input Output Block) 和内部连线 (Interconnect)
- FPGAs 应用
 - 自动化、信息技术
 - 消费电子
 - 数据处理
 - 数字图像和视频
 - 嵌入式
 - 本地网络
 - 工业仪器
 - 医疗电子
 - 军用、航空
 - 网络、通信
 - 超级计算
 - 无线通信



TEKTRONIX的 FPGAs方案

潜在的问题

- 功能定义错误
 - 在 FPGA级或者系统级
- 功能系统的配合问题
- 系统级定时问题
 - 异步事件
 - 实际互联，特别对于速度
 - 难于仿真定时异常
- IC之间的信号问题
 - 噪声、串扰、反射、负载效应、EMI
- 互联可靠性问题
 - 焊点、连接端
- 电源问题
 - 瞬态和负载变化
 - 高功耗
- 未发现的FPGA 设计错误，由于未完成的仿真
 - 太复杂：提供100%代码
 - 太费时：执行和运行



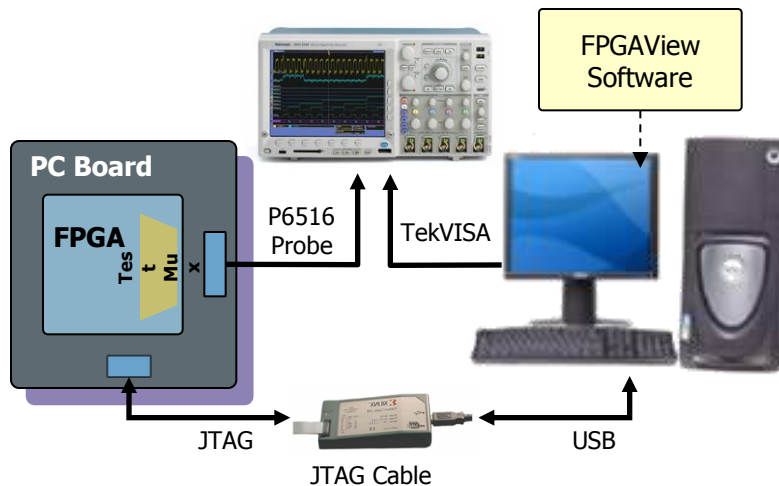
TEKTRONIX的 FPGAs方案

■ FPGAVIEW™

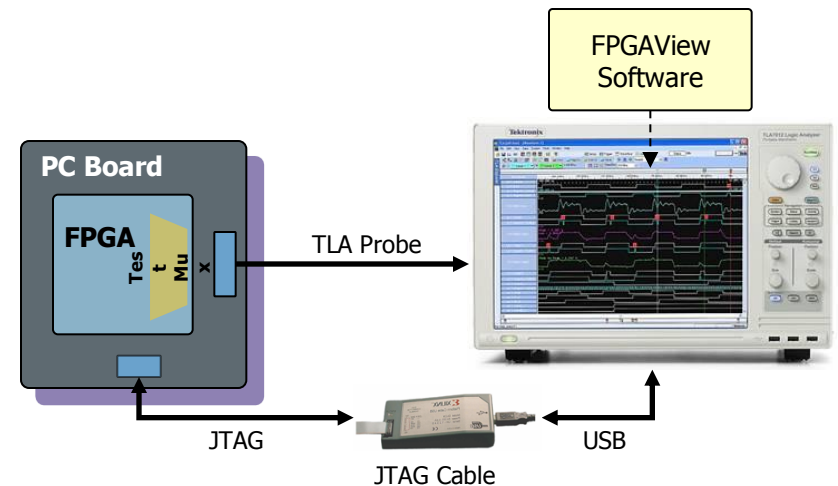
- Supports Xilinx and Altera FPGA devices
- Software package developed by First Silicon Solutions (www.fs2.com)
- Runs on Windows 2000 and Windows XP machines

Function	Solution
Multiplexer	Xilinx: FS2 TestCore Altera: Quartus® II v5.1
Control Software	FS2 FPGAVIEW™
Test Equipment	MSO4000 Mixed-Signal Oscilloscope, or TLA Series Logic Analyzer (>v4.3)
JTAG Cable	Xilinx: Platform Cable USB and Others Altera: USB-Blaster™ or ByteBlaster™

▶ Mixed-Signal Oscilloscope



▶ Logic Analyzer

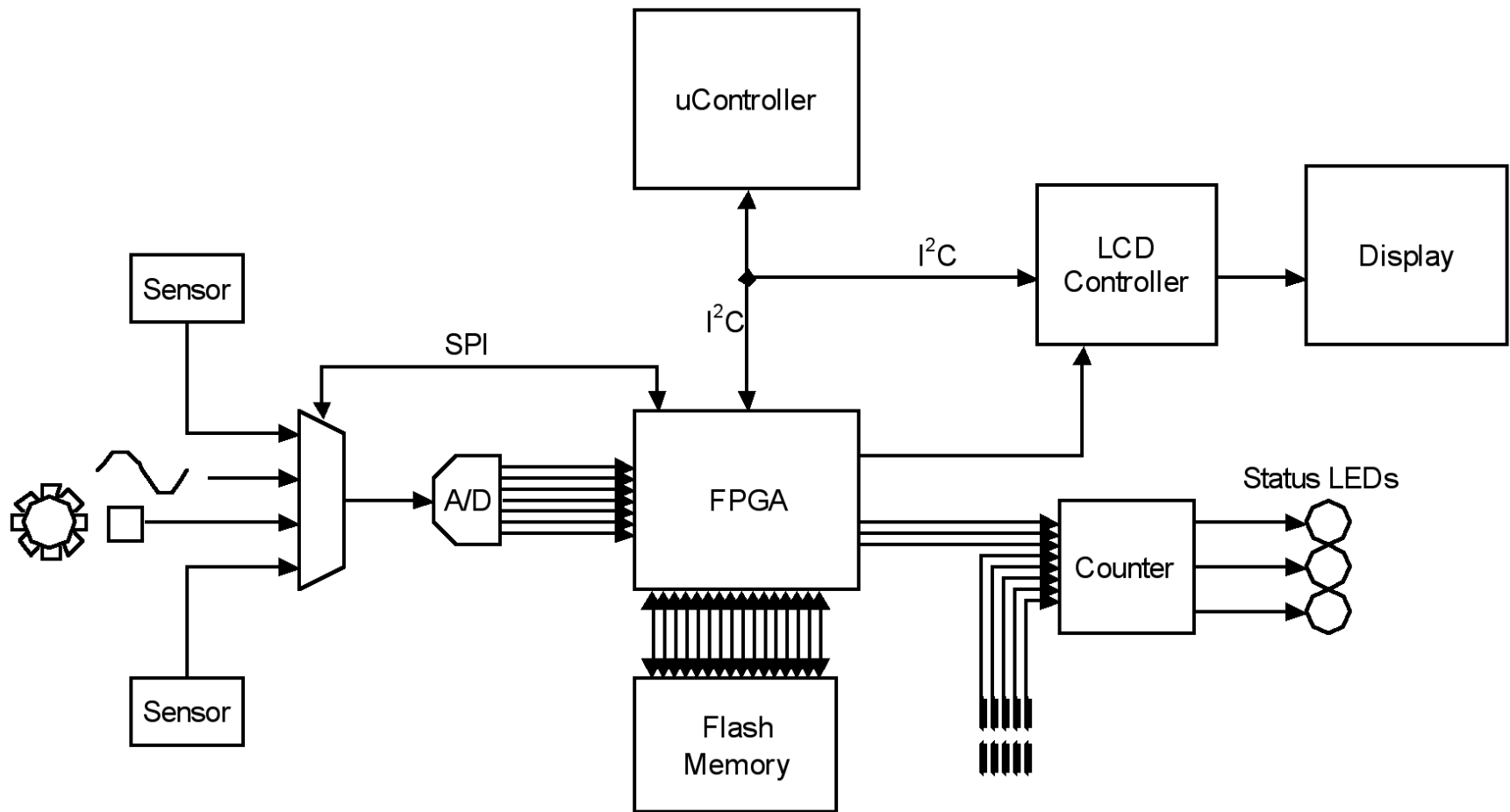


TEKTRONIX的 FPGAs方案

优点

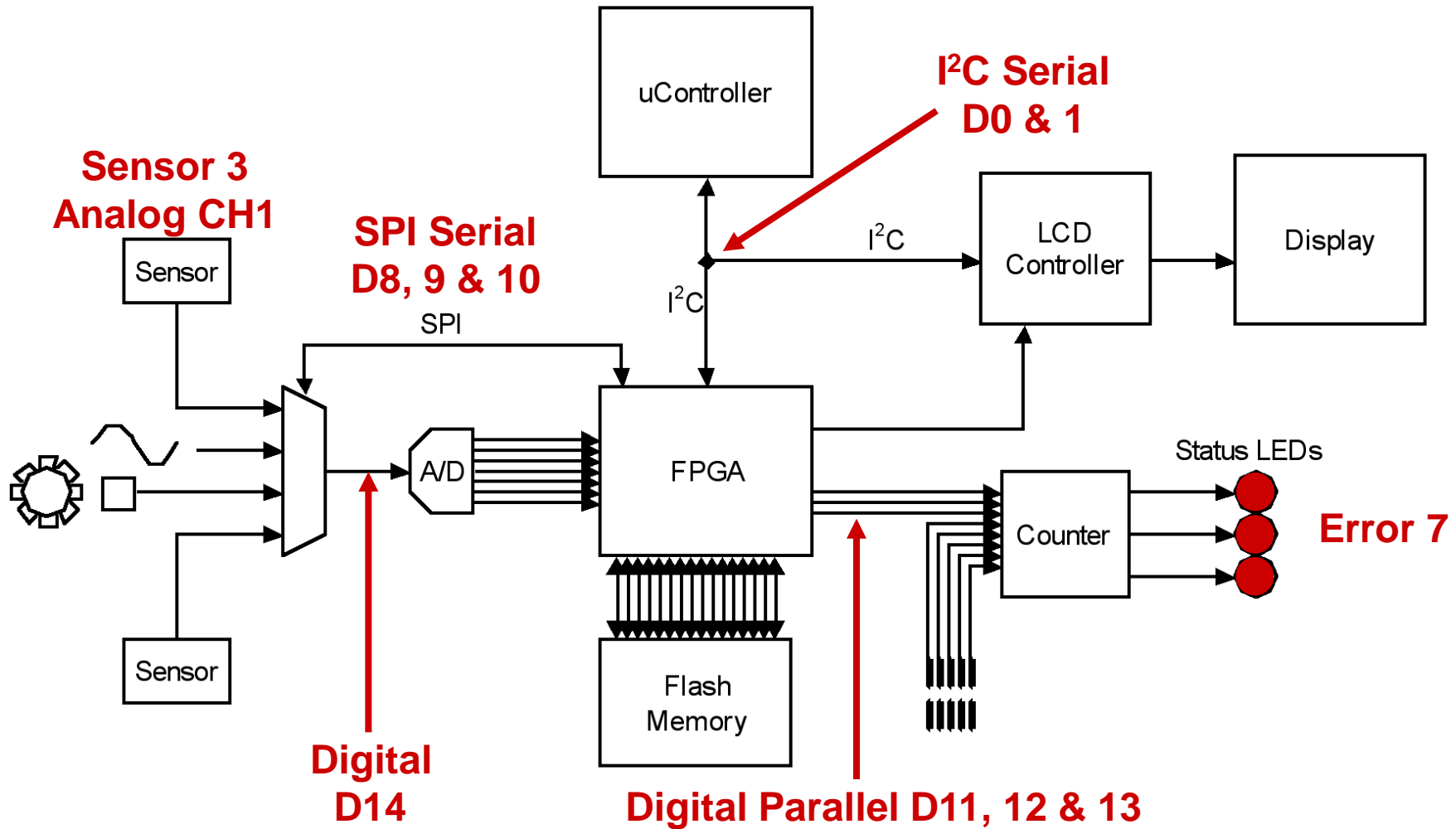
- 实时调试FPGA: Enables real-time debugging of FPGAs
 - For R&D engineers designing with Xilinx or Altera FPGAs
 - Allows design teams to view the internal operation of their FPGA design
 - Allows correlation of these signals with other board signals
- 提升效率，减小调试时间: Increases productivity and cuts debugging time
 - Change internal probe points in instant – no need to recompile your design
 - Monitor multiple internal signals per debug pin
- 易用，不受其它调试方法影响: Easier to use and less intrusive than other debug methodologies!

VFD测试技术-混合信号的测试例子

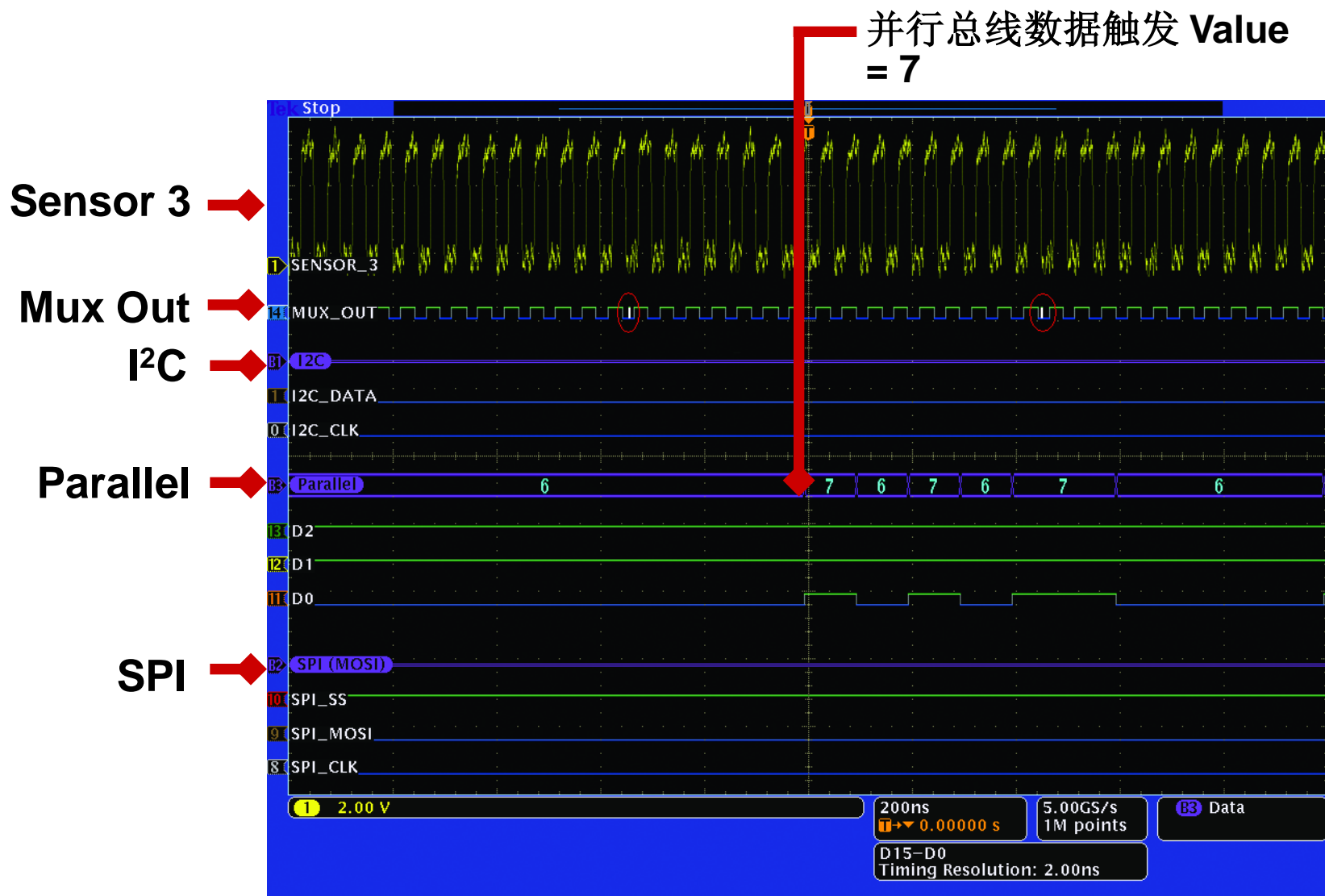


错误故障#7故障排除 (#7: LED全红)

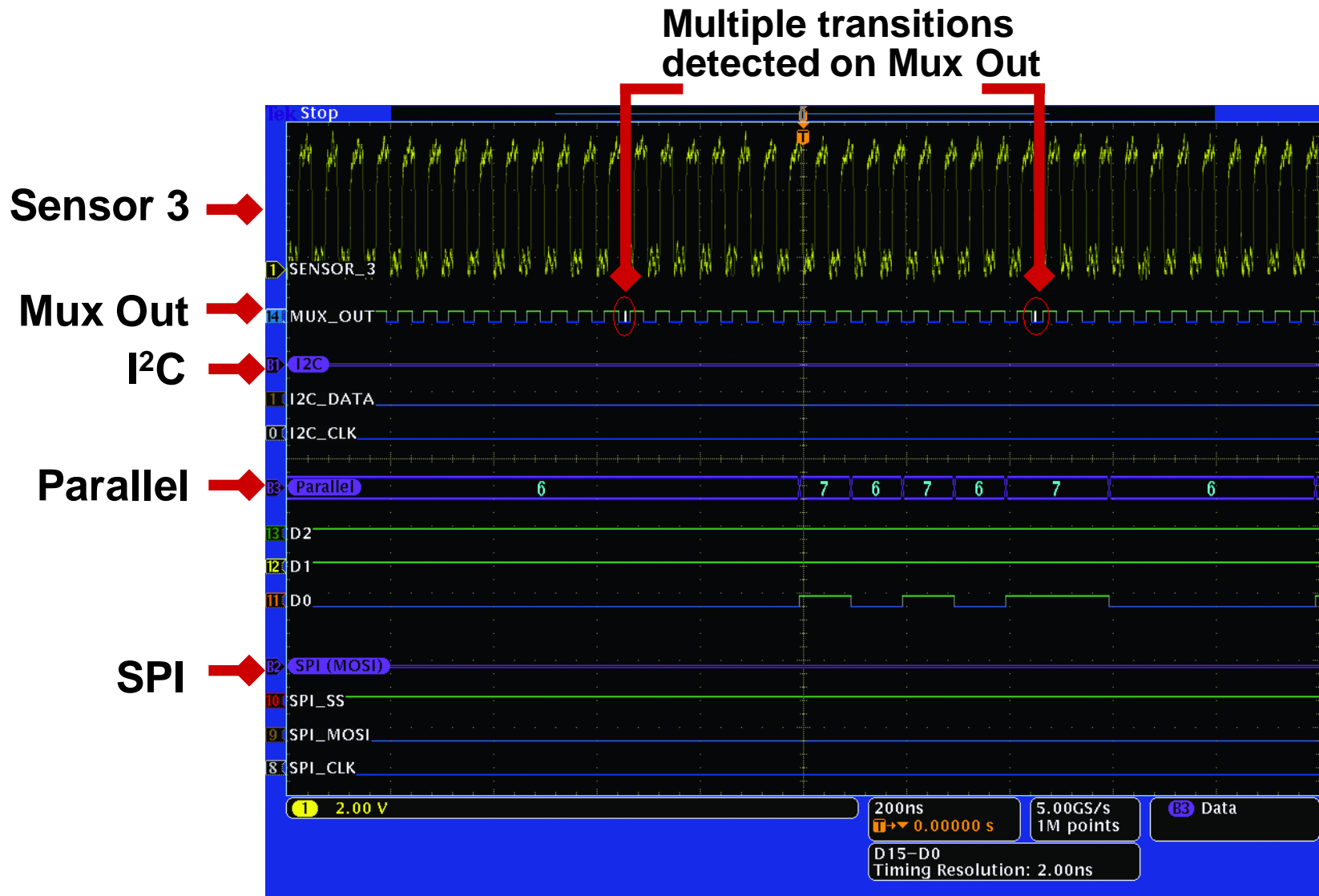
探测传感器3的模拟信号, MUX Out, SPI, I²C 和并行总线



按照并行总线数据触发

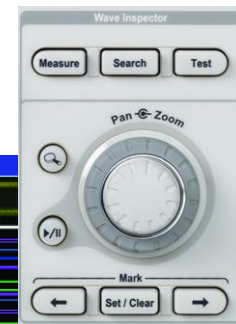


MSO发现的多个边沿转换



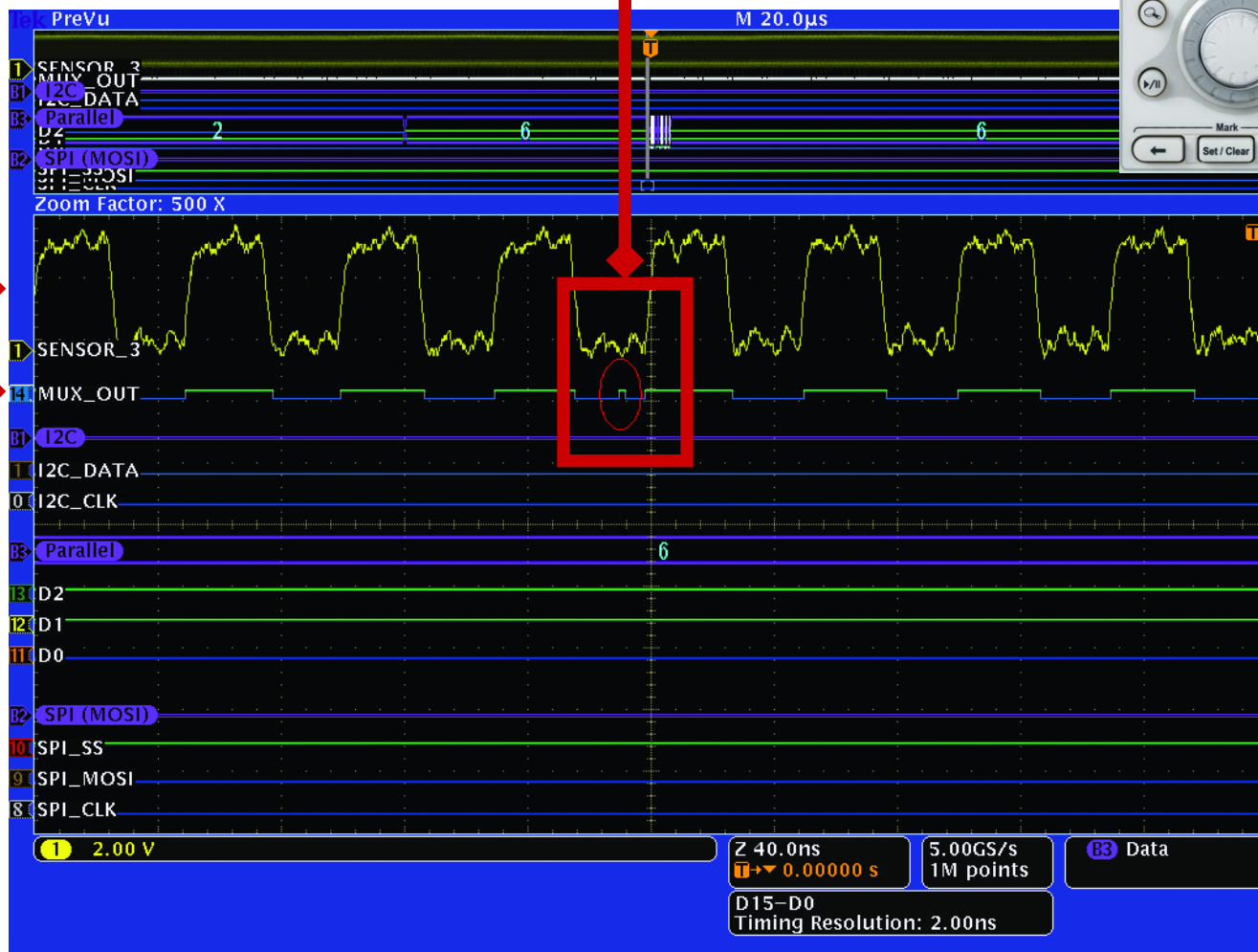
使用 Wave Inspector放大观察

3号传感器输入 MUX 没有毛刺，
但MUX输出有毛刺



Sensor 3 →

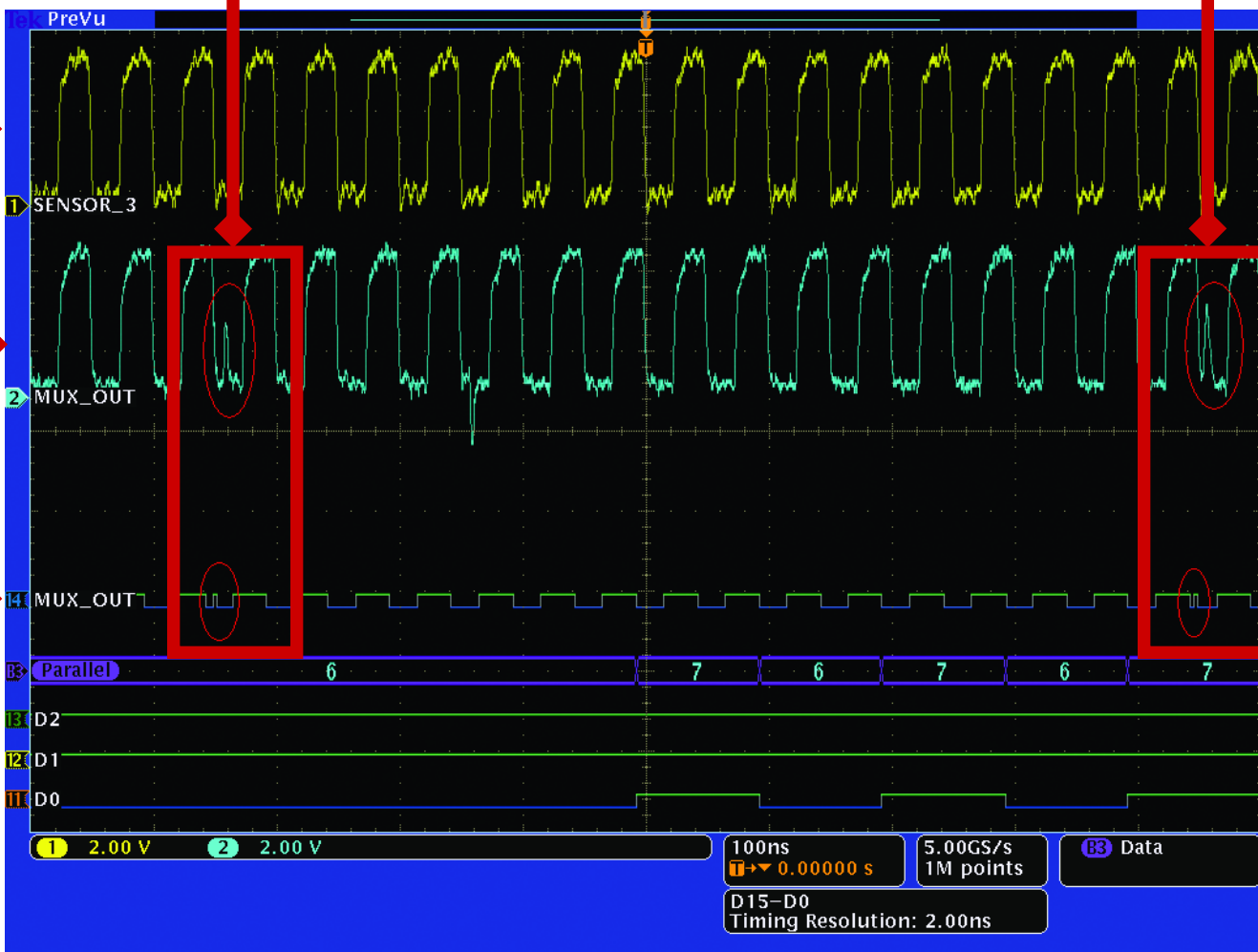
Mux Out →



观察毛刺细节

使用CH2观察Mux Out模拟输出的毛刺细节

Sensor 3



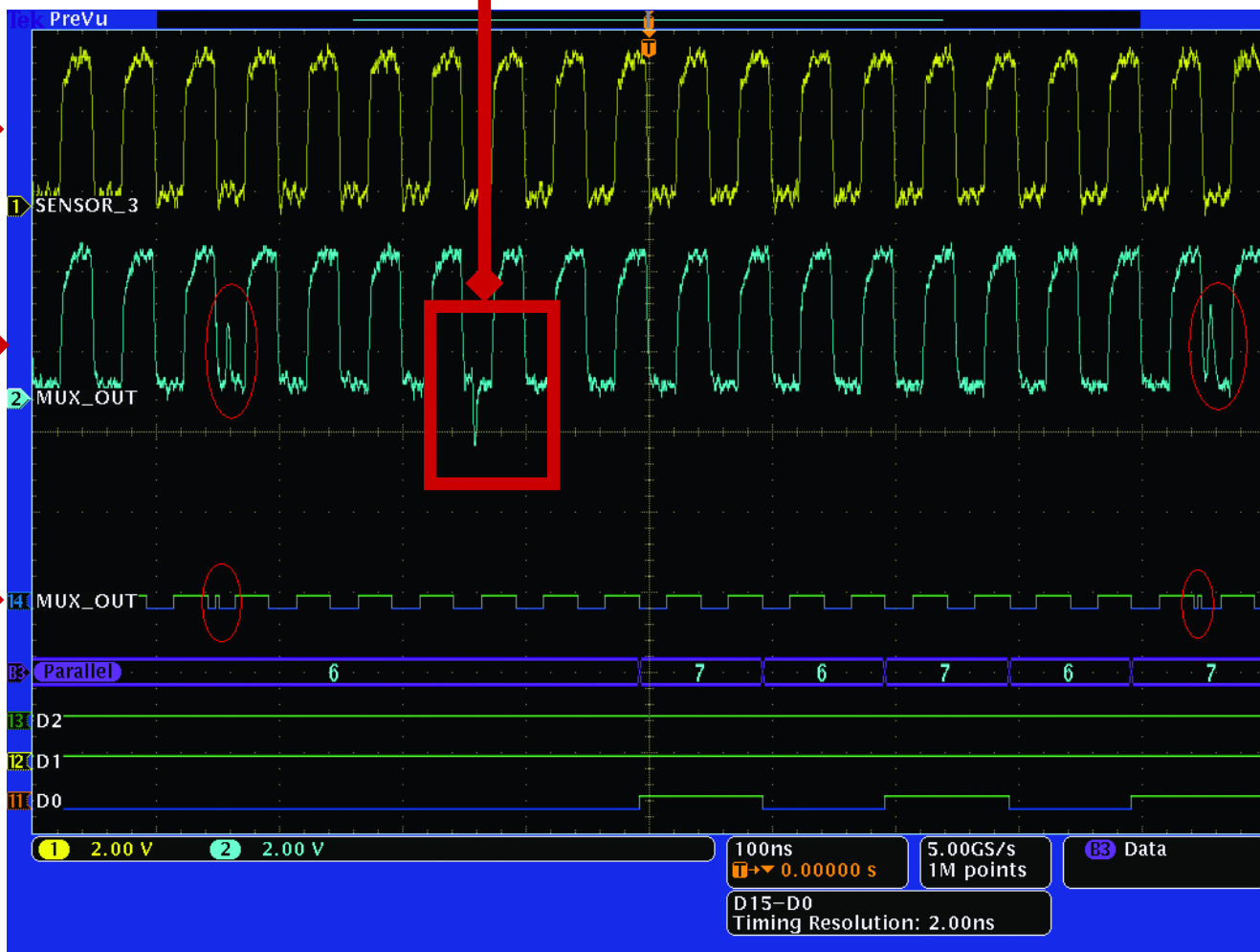
Mux Out Analog

Mux Out

发现负向的电压尖峰

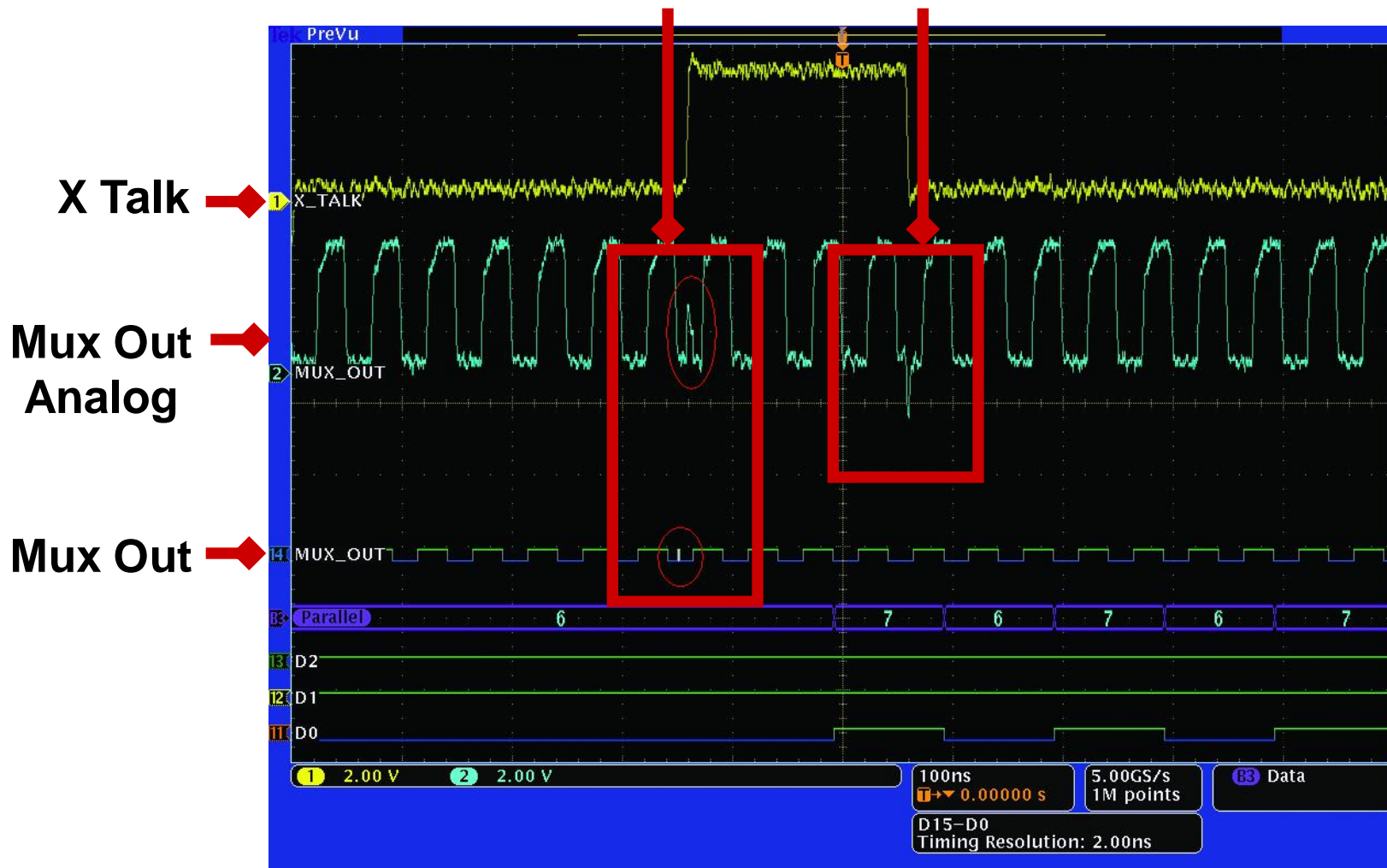
负向电压尖峰表明有串扰发生，正负向毛刺的间距暗示了串扰脉冲的宽度

Sensor 3



查找类似脉冲宽度的毛刺

脉冲上升沿感生的正向毛刺和下降沿感生的负向毛刺



Crosstalk 串扰问题得以解决

修改PCB布线后，故障消除。用X Talk信号上升沿触发，没有产生毛刺



大纲

- 变频器基础
- VFD测量技术
 - 整流部分测试
 - 滤波部分测试
 - 逆变部分测试
 - 驱动部分测试
 - 控制部分测试
 - 接口部分测试
 - 系统的诊断

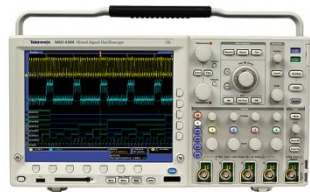


■ TEKTRONIX的VFD测试方案及特点

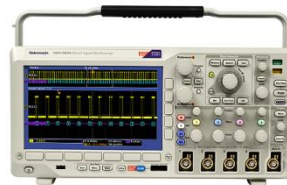
泰克完整的解决方案

产品阶段	研发	生产	服务和维修
关注焦点	技术	投资回报率, 成本降低	成本
测试要求	高性能	低成本, 足够的性能	通用性
TEKTRONIX 解决方案	MSO4000B、MSO3000 AFG3000 DMM4040、DMM4050	TDS2000 DPO2000 DMM4020	TDS2000 TPS2000
附件要求	PWR、FPGA、COMP、EMBD P5200、P5205 TCP300\400\A62X\TAP0150	P5200、P5205、P5210 A621/2, TCP404XL、 TCP0150	
优势	<ul style="list-style-type: none"> ✓方案完整、附件齐全 ✓快速系统诊断和测试(混合信号) ✓动态范围大(抗饱和能力) ✓波形导航和搜索能力 ✓最长的存储深度(20M) ✓方便的高级函数运算 	<ul style="list-style-type: none"> ✓独特的FilterVu滤波 ✓通道隔离 	品牌及价格

MSO/DPO系列: 选择适当的示波器



4000B系列



3000系列



2000系列

	4000B系列	3000系列	2000系列
带宽	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz	500 MHz, 300 MHz, 100 MHz	200 MHz, 100 MHz
通道数量	16条模拟通道 16条数字通道 (MSO系列)	2条或16条模拟通道 16条数字通道 (MSO系列)	2条或16条模拟通道 16条数字通道 (MSO系列)
记录长度	20 M点	5 M点	1 M点
波形 捕获速率	> 50,000 wfm/s	> 50,000 wfm/s	5,000 wfm/s
并行总线分析	是(MSO系列)	是(MSO系列)	是(MSO系列)
串行总线分析	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I²C, SPI ▪ CAN, LIN, FlexRay ▪ RS-232/422/485/UART ▪ I²S/LJ/RJ/TDM ▪ USB、LAN 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I²C, SPI ▪ CAN, LIN ▪ RS-232/422/485/UART ▪ I²S/LJ/RJ/TDM 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I²C, SPI ▪ CAN, LIN ▪ RS-232/422/485/UART
选配分析软件包	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 电源分析 ▪ HDTV和自定义视频 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 电源分析 ▪ HDTV和自定义视频 	
彩色显示器	10.4" (264 mm)	9" (229 mm)	7" (180 mm)

TPS2000 系列的选择

	TPS2012	TPS2014	TPS2024
隔离通道	2	4	4
带宽	100MHz	100MHz	200MHz
采样率	1GS/s	1GS/s	2GS/s
电池工作(one battery)	5.5 hours	4.5 hours	4.5 hours
保修	3 years	3 years	3 years

标准附件

P2220 1x/10x 200MHz passive voltage probes (one per channel), (1) TPSBAT battery, AC adapter and power cord (6 localized power options), TDSPCS1 OpenChoice™ PC connectivity software, protective front cover, user manual (11 localized language options – option includes a localized front panel overlay) and Calibration Certificate documenting NIST traceability

AFG3000产品系列

- 七种型号，满足各种应用需求

	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 μ Hz - 10 MHz	1 μ Hz - 25 MHz	1 μ Hz - 100 MHz		1 μ Hz - 240 MHz		
方波	1 μ Hz - 5 MHz	1 μ Hz - 12.5 MHz	1 μ Hz - 50 MHz		1 μ Hz - 120 MHz		
脉冲	1 mHz - 5 MHz	1 mHz - 12.5 MHz	1 mHz - 50 MHz		1 mHz - 120 MHz		
其它	1 μ Hz - 100 kHz	1 μ Hz - 250 kHz	1 μ Hz - 1 MHz		1 μ Hz - 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 (50 Ω)	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		

PWS4000可编程电源系列

精稳输出



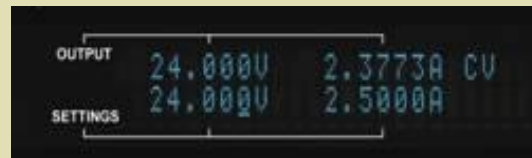
- 0.03% 基本电压准确度
- 0.05 % 基本电流准确度
- 精确的 1 mV / 0.1 mA 分辨率
- 低噪声，线性调节
- 远程传感，修正导线电阻的影响

功能丰富



- 密码保护面板锁定，预防意外触碰，输出过大，损坏备测
- 存储/运行7个序列，每序列可设定多达80个步进
- 后端输出，状态与控制线
- NI LabVIEW SignalExpress TE 软件包

操作简便



- 双显示功能，同时显示电压、电流回读读数或极限值
- 直接数字输入键盘
- 40 个设置存储
- USB 设备借口，轻松连接PC

	PWS4205	PWS4305	PWS4323	PWS4602	PWS4721
最大功率	100 W	150 W	96 W	150 W	86 W
电压	0-20 V	0-30 V	0-32 V	0-60 V	0-72 V
电流	0-5 A	0-5 A	0-3 A	0-2.5 A	0-1.2 A
接口	USB				

泰克探测解决方案

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)

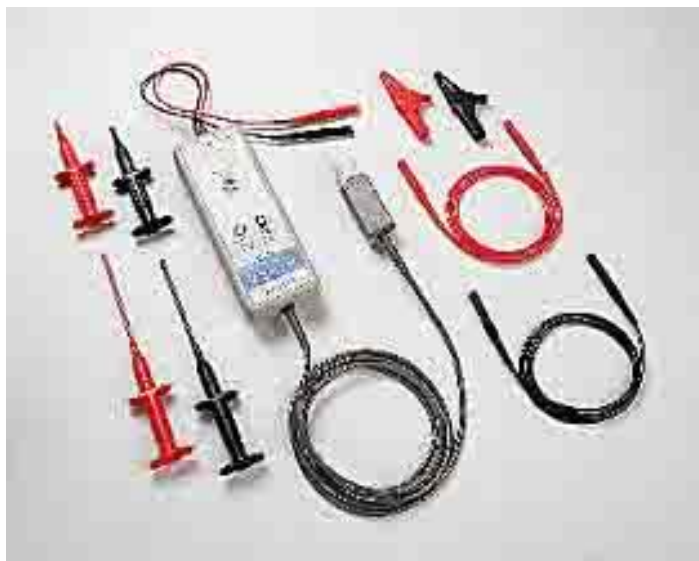


高压探头和电流探头

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



新推出三款无源探头

- **TPP系列无源电压探头——新TPP0850和TPP0502探头**
 - TPP具有业内最低的探头负载，是需要开发能效更高的电源和功率半导体器件的工程师的理想选择
- **新P5100A高压探头——40M/1.5pF**



TPP0502

- 500 MHz 探头带宽
- 12.7pF 输入电容
- 2X 衰减系数
- 300 V CAT II 输入电压



P5100A

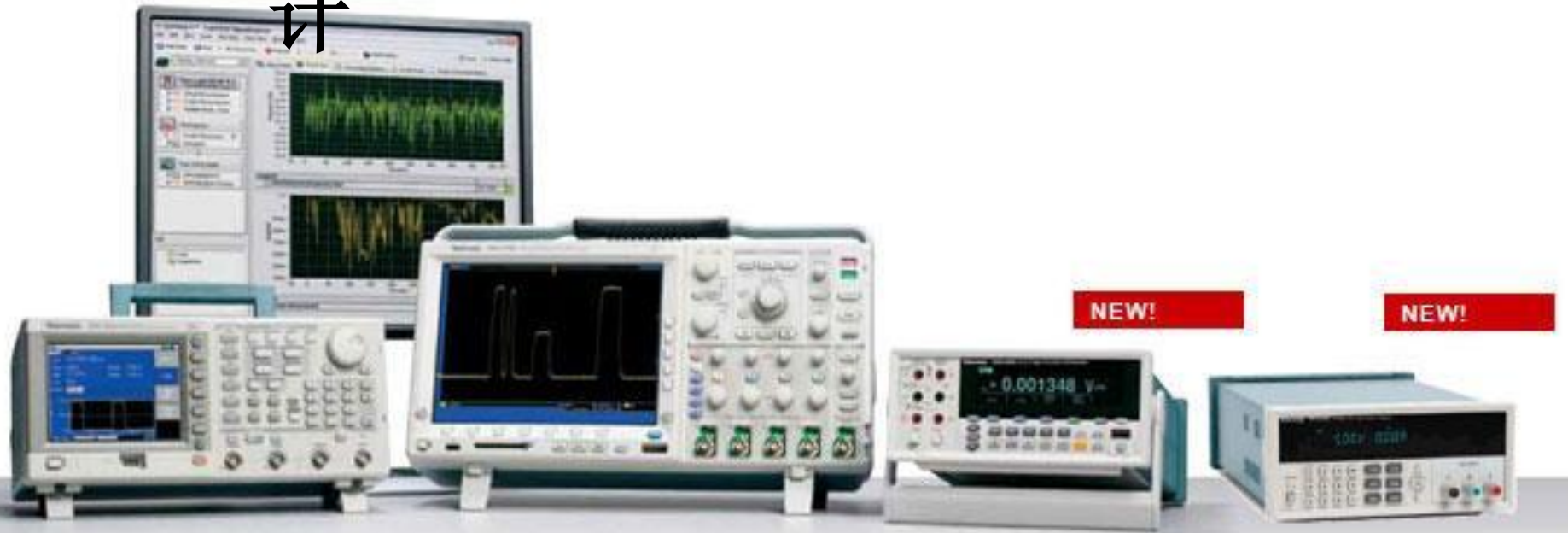
- DC - 500 MHz
- 2500 V_{peak}, 1000 V CAT II
- 100X, 支持读数编码
- 7-30 pF 补偿范围

TPP0850

- DC - 800 MHz
- 2500 V_{peak}, 1000 V CAT II
- 50X, 支持读数编码

完美的测试平台

助您轻松应对调试复杂设计



谢谢！