

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

Tektronix®

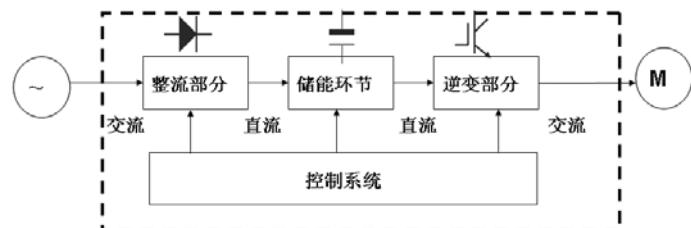
变频器基础知识—变频调速的发展历程



Tektronix®

变频器基础知识—简要工作原理

交流低压交直通用变频器系统框图



整流器：将交流电转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

Tektronix®

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，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



Tektronix®

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 (双极型晶体管)、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 Integrated Circuit, ASIC)-多个CPU 协同工作。
- **控制理论的不断进步**
 - 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

Tektronix®

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**

Tektronix®

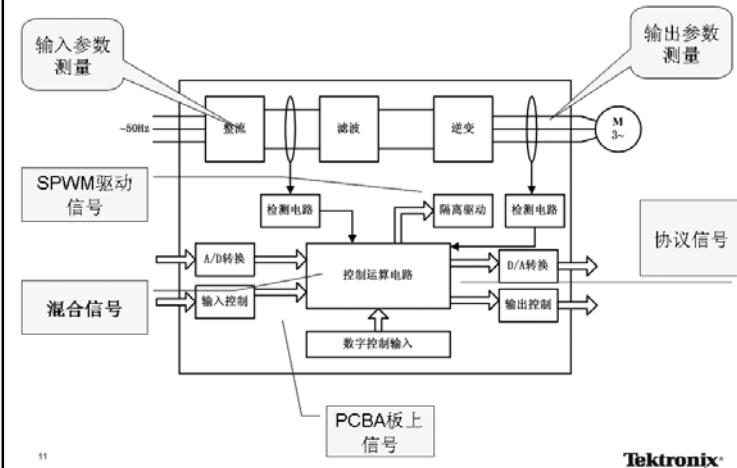
大纲

- 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

10

Tektronix®

变频器的测试技术



变频器的测量技术

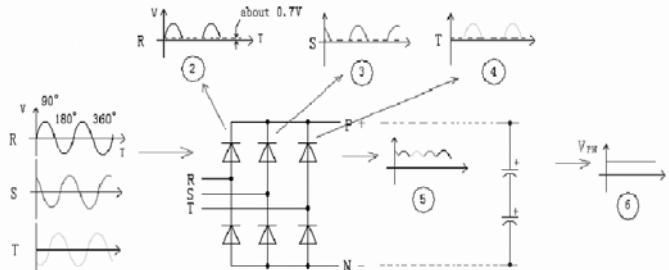
- 整流滤波（输入）的测量
 - 额定输入电压
 - 额定输入电流
 - 输入频率
 - 额定容量
 - 有功功率
 - 功率因数
 - 输入各次谐波
 - 输入总失真度
 - 相角
 - 滤波电容的纹波电压和电流
- 测量仪器及配置
 - DPO2000\3000\4000B\5000
 - PWR功率软件
 - P5200/P5205/P5210高压差分探头
 - 电流探头

12

Tektronix®

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

Tektronix®

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。

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)

- IEEE Std 519-1992：变频器电网侧谐波电流含量符合 519-1992

注入公共连接点谐波电流允许值 单位:A

标准电压/kV	基准短路容量/MVA	谐波次数及谐波电流允许值						
		5	7	11	13	17	19	23
0.38	10	62	44	28	24	18	16	14
6	100	34	24	16	13	10	9.0	7.4
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/%
0.38	5.0	4.0 2
6-10	4.0	3.2 1.6

14

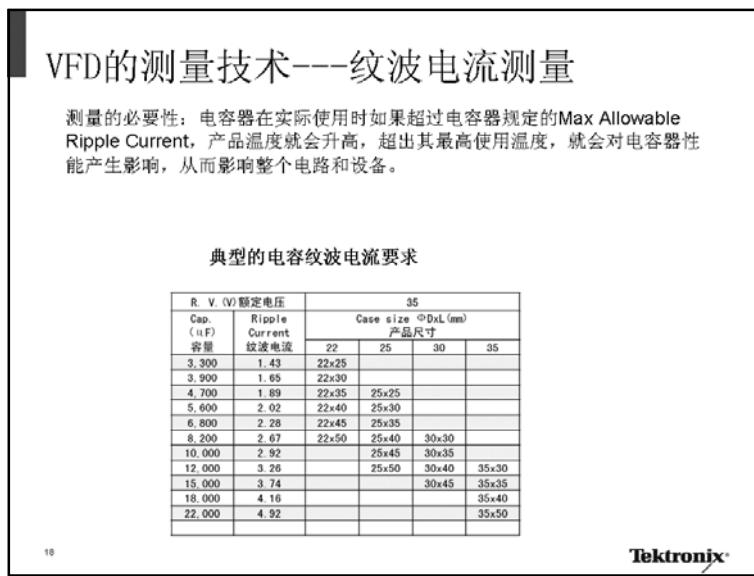
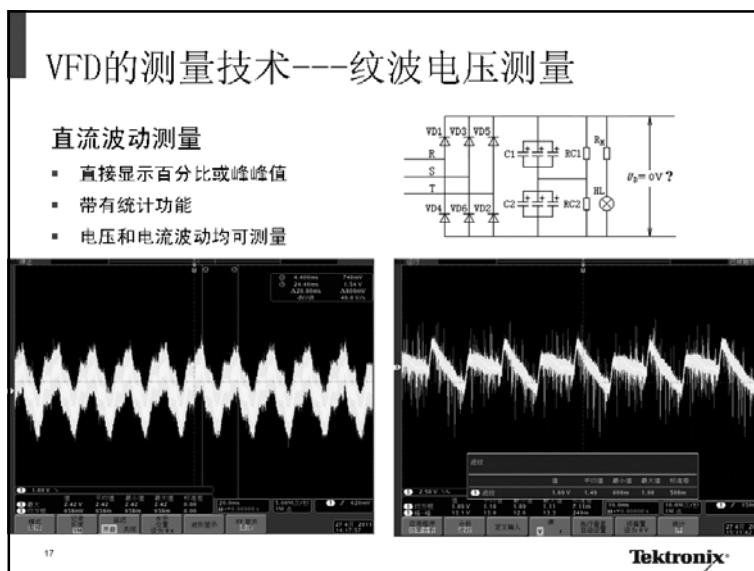
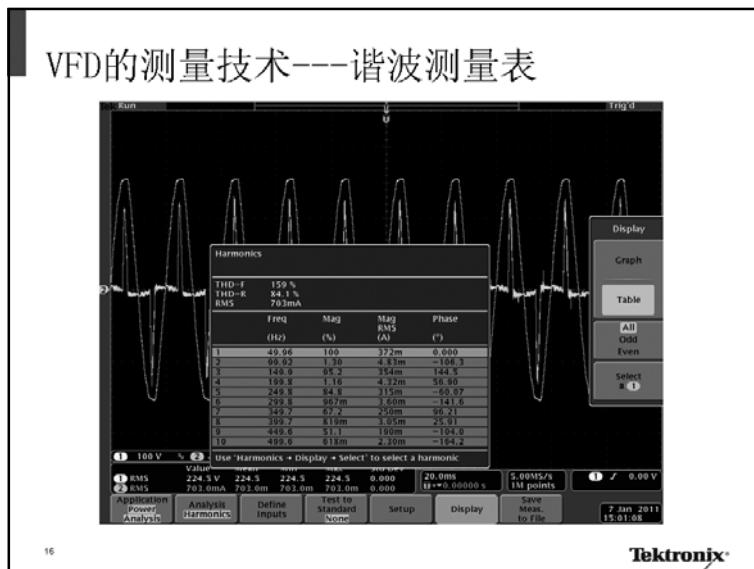
Tektronix®

VFD的测量技术---AC输入电压和电流



15

Tektronix®



VFD的测量技术

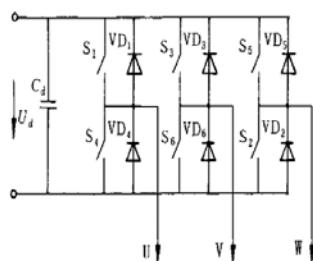
- 逆变(输出)的测量
 - 输出测量
 - 额定输出电压
 - 额定连续电流
 - 额定功率
 - 频率范围
 - 过载能力
 - 输出各次谐波
 - 输出总失真度
 - 逆变测量
 - IGBT的损耗
 - IGBT工作特性:SOA等
- 测量仪器及配置
 - 万用表DMM4020
 - DPO2000示波器
 - 电流探头+P5210/5205
 - DPO3000/4000B

19

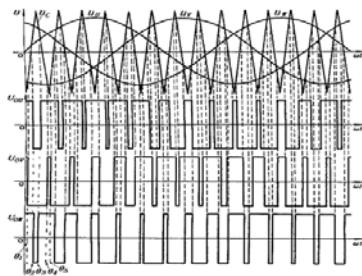
Tektronix®

VFD的基本原理

交一直一交电路的逆变电路



三相正弦脉冲宽度调制波形



逆变器的功能:

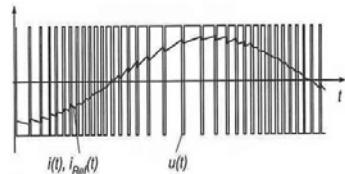
- 通过改变开关管导通时间改变输出电压的频率
- 通过改变开关管导通顺序改变输出电压的相序

20

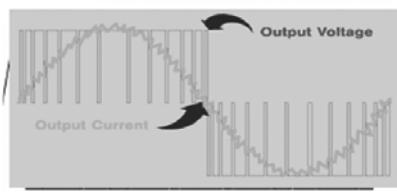
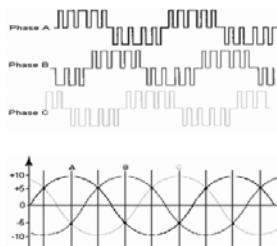
Tektronix®

VFD基本原理

■ 变频器的输出波形

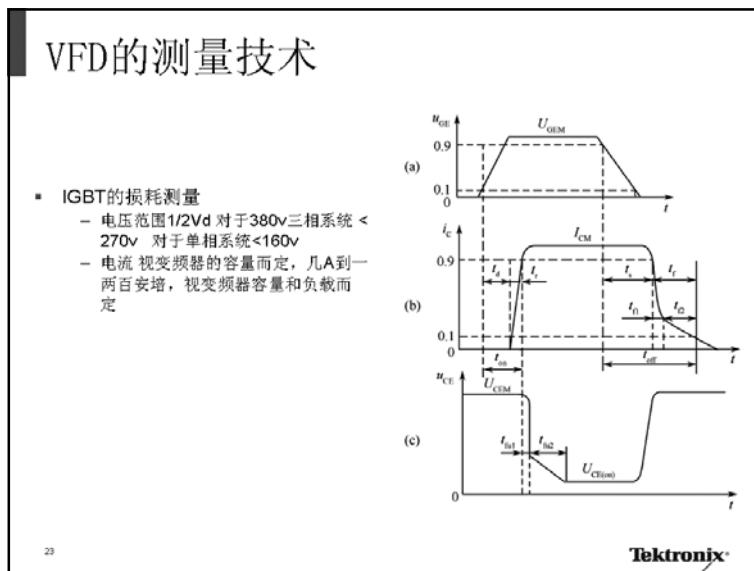
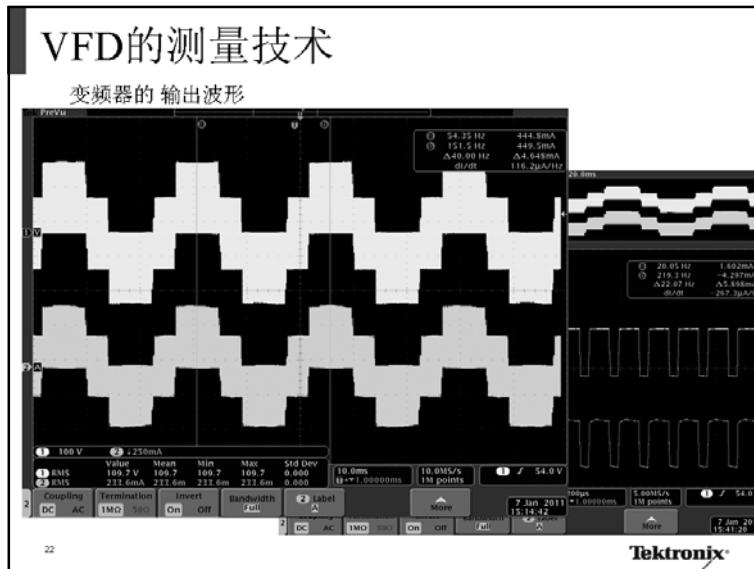


变频器输出电压方波经L/R积分
为电流波形近似为正弦波



21

Tektronix®



VFD的测量技术

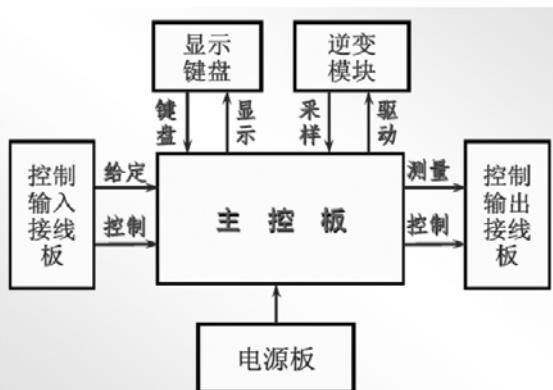
- 控制部分测量
 - I/O信号A/D、D/A
 - 速度反馈信号
 - 旋转编码器的测试
 - 电流反馈回路
- 驱动部分测量
 - 驱动的PWM信号测量
- 测量仪器及配置
 - MSO4000B、MSO3000
 - AFG3022B

26

Tektronix®

VFD的基本原理

控制和驱动电路



26

Tektronix®

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



27

Tektronix®

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

28

VFD的测量技术

- 速度反馈单元正交编码电路
- 旋转变压器的输出和采样

Tektronix®

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

30

Tektronix®

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

31

Tektronix®

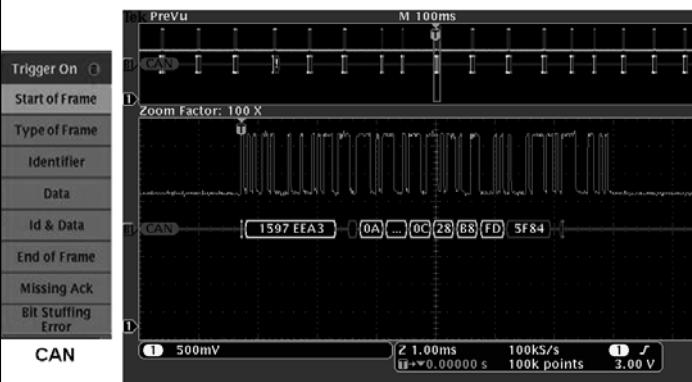
VFD测试技术-通信协议的测试和诊断

RS-232/422/485/UART触发和解码



VFD测试技术-通信协议的测试和诊断

串行触发-CAN



33

Tektronix®

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ISO11898)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（Remote Terminal Unit）方式和ASCII方式。MODBUS以LSB在先的形式传送数字量，以MSB在先的形式传送模拟量
 - 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

34

Tektronix®

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！！！

35

Tektronix®

VFD测试技术-串行触发

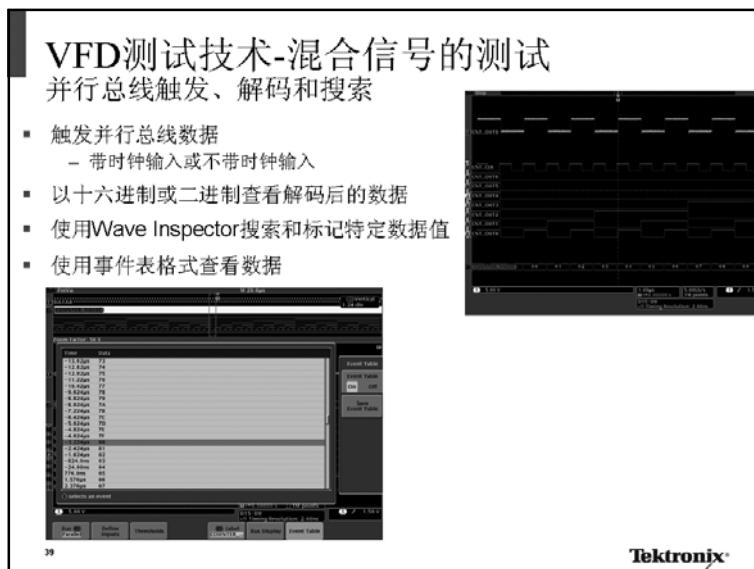
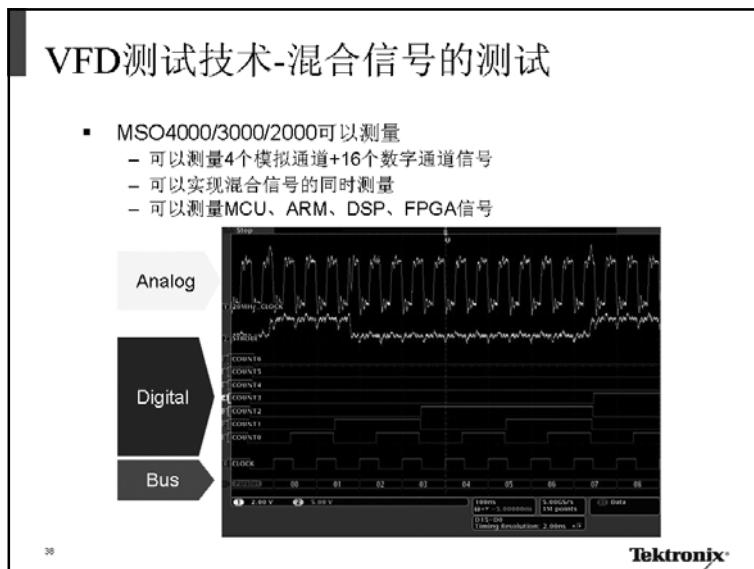
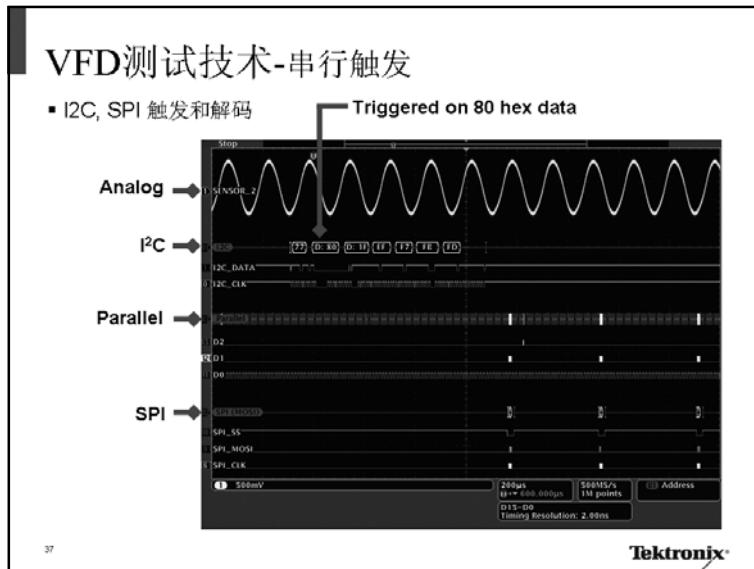
- I2C, SPI 触发和解码

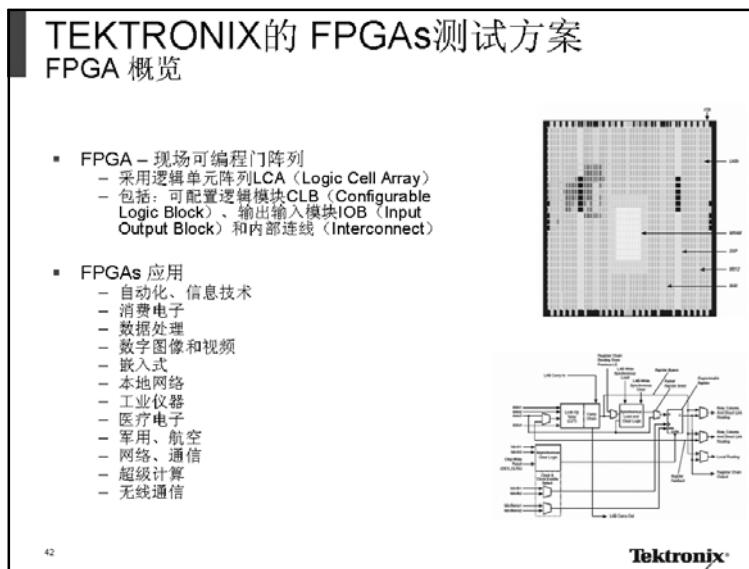
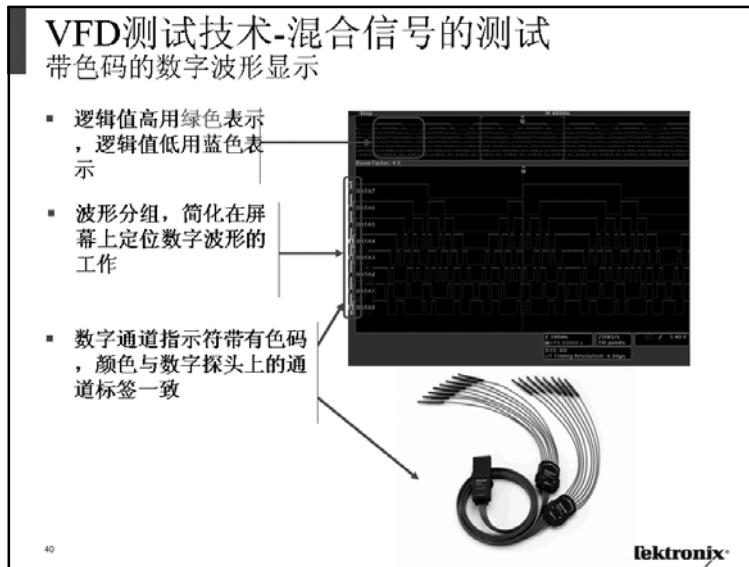
- 触发数据包内容
 - 包头
 - 特定地址
 - 特定数据内容
 - 唯一的标识符
 - 等等...
- 全部或部分规范



36

Tektronix®





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
- 互连可靠性问题
 - 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



43

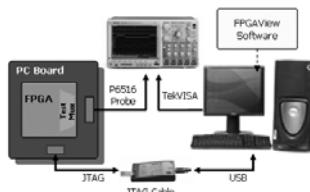
Tektronix®

TEKTRONIX的FPGAs方案

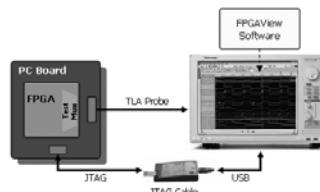
- **FPGAView™**
 - Supports Xilinx and Altera FPGA devices
 - Software package developed by First Silicon Solutions (www.fs2.com)
 - Runs on Windows 2000 and Windows XP machines

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



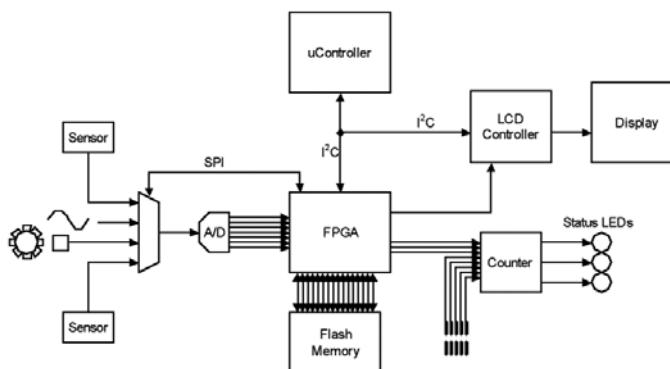
► Logic Analyzer



44

Tektronix®

VFD测试技术-混合信号的测试例子

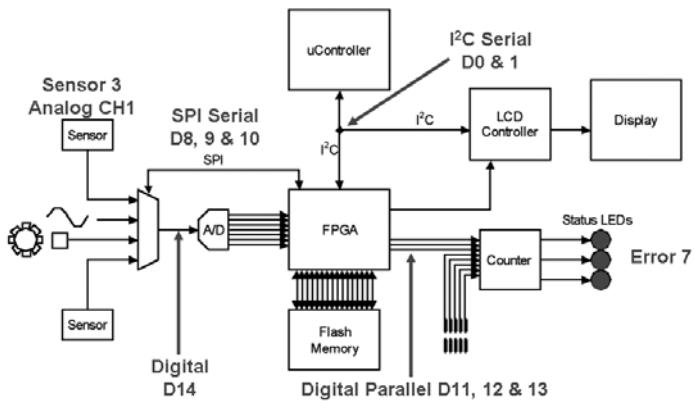


45

Tektronix®

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

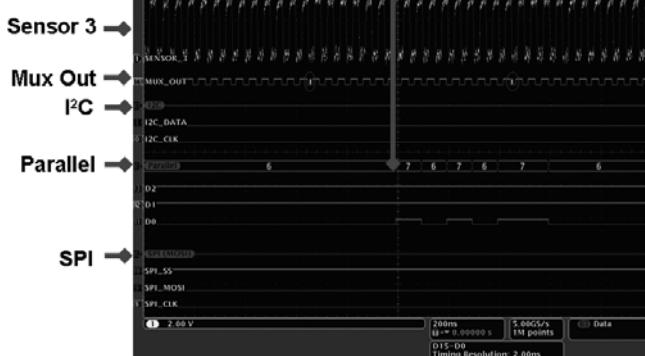


46

Tektronix®

按照并行总线数据触发

并行总线数据触发 Value = 7

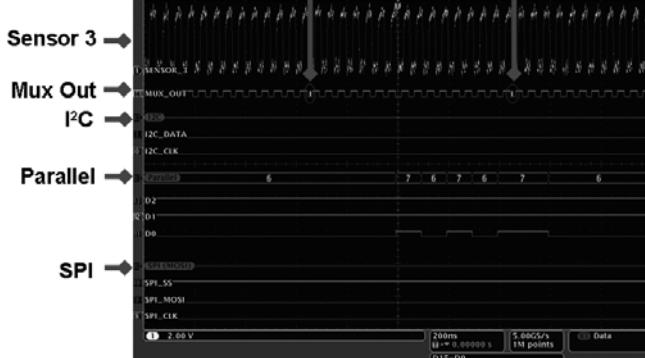


47

Tektronix®

MSO发现的多个边沿转换

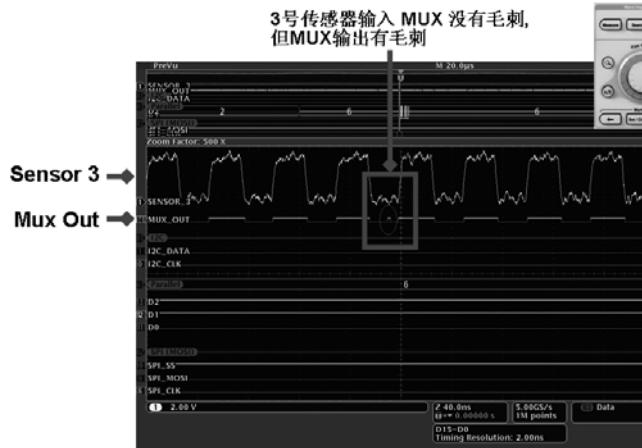
Multiple transitions detected on Mux Out



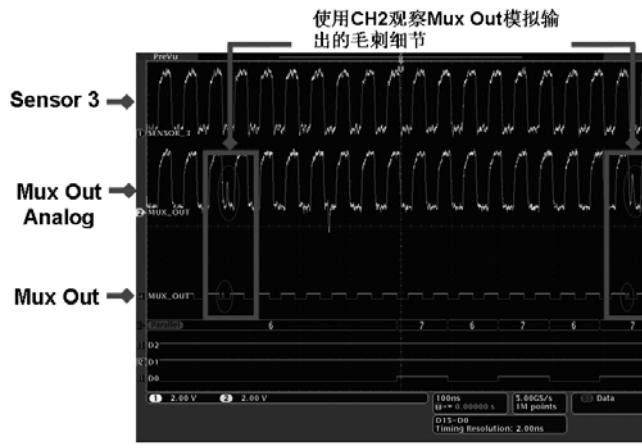
48

Tektronix®

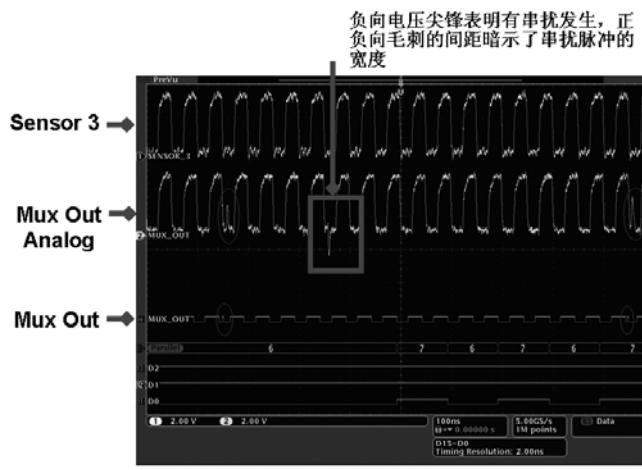
使用 Wave Inspector 放大观察



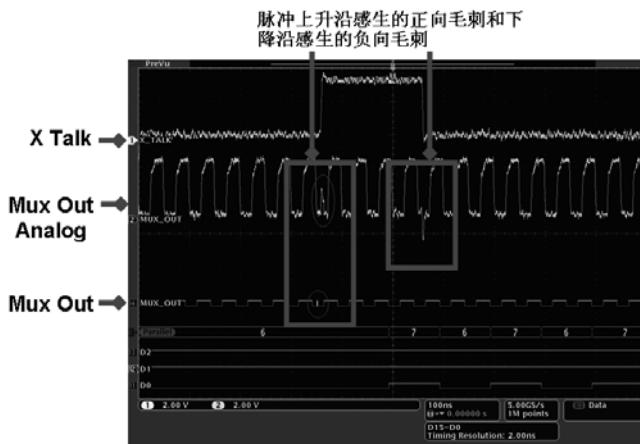
观察毛刺细节



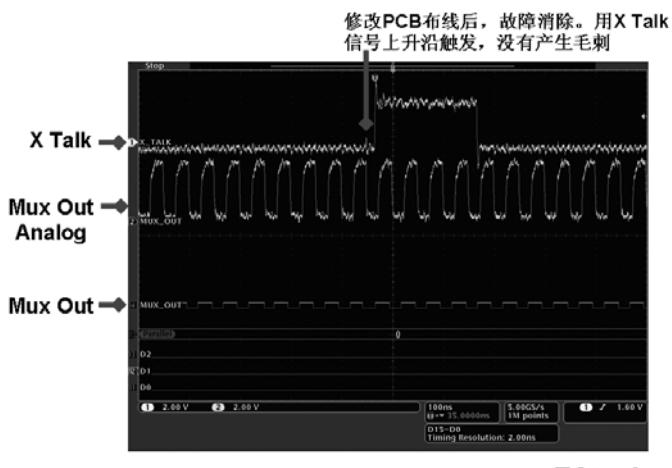
发现负向的电压尖峰



查找类似脉冲宽度的毛刺



Crosstalk 串扰问题得以解决



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、测试	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	MSO5000、MSO4000B、MSO3000 AFG3000 DMM4040、DMM4050	TDS2000 DPO2000 DMM4020	TDS2000 TPS2000
附件要求	PWR、FPGA、COMP、EMBD P5200、P5205 TCP300V400VA62X\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

55

Tektronix®

MSO/DPO系列示波器



waveform + digital = MSO

Features	MSO/DPO5000 Series	NEW MDO4000 Series	MSO/DPO4000B Series	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	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	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, WVGA color
Parallel Bus Analysis	Yes (MSO Series)	Yes	Yes (MSO Series)	Yes (MSO Series)	Yes (MSO Series)
Optional Serial Bus Analysis	I2C, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART, and USB 2.0,	PC, SPI, USB, Ethernet, CAN, LIN, FlexRay, RS-232/422/485/UART, MIL-STD-1553, DS/L/RJ/TDM	PC, SPI, USB, Ethernet, CAN, LIN, FlexRay, RS-232/422/485/UART, MIL-STD-1553, DS/L/RJ/TDM	PC, SPI, CAN, LIN, RS-232/422/485/UART, PS/L/RJ/TDM	PC, 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/Mark 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	1000 V CAT II	2300 V CAT I	1000 V CAT III
		300 V CAT II		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	<14 ns
Input Impedance between each Input and Ground	5 MΩ, 4 pF	2.5 MΩ, 4 pF	5 MΩ, 4 pF	20 MΩ, 5 pF	4 MΩ, 5.5 pF
Differential Input Impedance	10 MΩ, 2 pF	5 MΩ, 2 pF	10 MΩ, 2 pF	40 MΩ, 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

57

Tektronix®

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

58

Tektronix®

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 μs	< 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	TEKPROBE	BNC, TEKPROBE	BNC, TEKPROBE	BNC, TEKPROBE	BNC, TEKPROBE

59

Tektronix®

TPS2000 系列的独特性能-维护的利器

TPS2000 可以提供



4 Isolated Channels



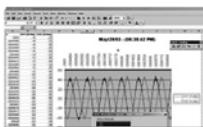
Digital Real Time Sampling



Power Measurement Software



Battery Operation



Storage and PC Connectivity



Highly Portable Form-Factor

60

Tektronix®

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

61

Tektronix®

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 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 μHz - 5 MHz	1 μHz - 12.5 MHz	1 μHz - 50 MHz	1 μHz - 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 14位	1 mHz - 12.5 MHz 14位	1 mHz - 50 MHz 14位	1 mHz - 120 MHz 14位			
垂直分辨率	128K	128K	128K	128K			
波形存储器	250 MS/s	250 MS/s	高达1 GS/s	高达2 GS/s			
采样率							
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						

62

Tektronix®

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		

63

Tektronix®

PWS4000可编程电源系列

精稳输出

Industry Leading
3-Year Warranty

- 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60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				

64

Tektronix®

完美的测试平台

助您轻松应对变频驱动的复杂设计

NEW!

NEW!

65

Tektronix®

谢谢！

欢迎大家登陆泰克网站查阅更多资料
WWW.TEK.COM

66

Tektronix®