

Tektronix

新能源汽车总线与 驱动电机测试方案

泰克分销事业部行业渠道开发经理 陈鑫磊

KEITHLEY
A Tektronix Company

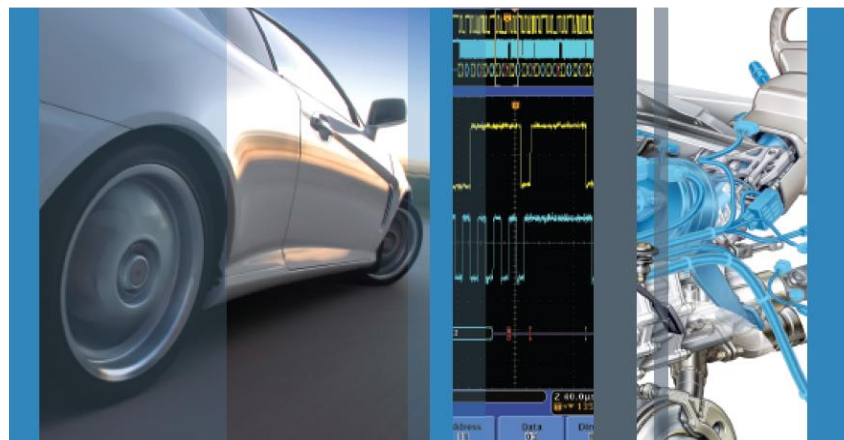
- 概述

- 汽车电子和电动汽车的技术特点、设计和测试挑战

- 汽车电子/电动汽车系统测试测量技术

- 网络（总线）测试
- 动力及驱动系统测试
- 车身电子、车载电器测试
- 特殊器件测试
- 一些标准实验
- 汽车电子中无线信号测试

- 泰克的完美系统方案



汽车电子或电动汽车系统设计验证的特点

• 混合信号设计

- 绝大部分嵌入式系统设计采用混合技术
- 工程师不能预测将出现哪种漏洞（模拟和数字）

• 多条总线相关

- 硬件和软件工程师通常会追踪硬件中的代码执行工作
- 需要监测微处理器的地址总线和多条串行总线
- 如果没有通用16个数字通道，解决问题所需的时间很长

• 性能需求

- 市面上常用技术的性能不断提高
- 60MHz和100MHz已无法满足当前需求

• 长捕获时间

- 从并行技术转向为串行技术时需要捕获更多的时间来调试设计
- 典型的并行总线读写操作一般只发生在几个时钟周期内
- 串行总线上的同一业务则要求长得多的捕获时间窗口
- 需要充足的定时分辨率才能解码分析

• 无线通信技术的应用增长

- TPMS、遥控钥匙、WIFI、GPS、Radar...
- 车联网

▪ 定时分析

- 定时测量是数字设计工程师进行的最常见的测量
- 余量测试是检验时间关系最常见的原因
- 建立/保持时间测量
 - 建立/保持时间违规的原因很多，如系统极限、端接不当或串扰等
 - 很难确定在哪个位上发生违规，工程师需要能够监测整个总线
 - 工程师希望足够的分辨率测量和分析违规

▪ 毛刺、干扰

- 毛刺是工程师棘手的一个常见问题
- 毛刺很难触发采集
- 工程师希望使用工具简便的找到毛刺
- 干扰常常是测试中碰到的最大问题，需要能快速的定位和分析

▪ 连接被测设备DUT

- 更高的集成度和小型部件正迫使工程师处理探测问题
- 通常工程师会在电路板上为关键信号建立接入点
- 在没有提供接入时，蓝线会焊接起来，使用抓斗夹进行连接

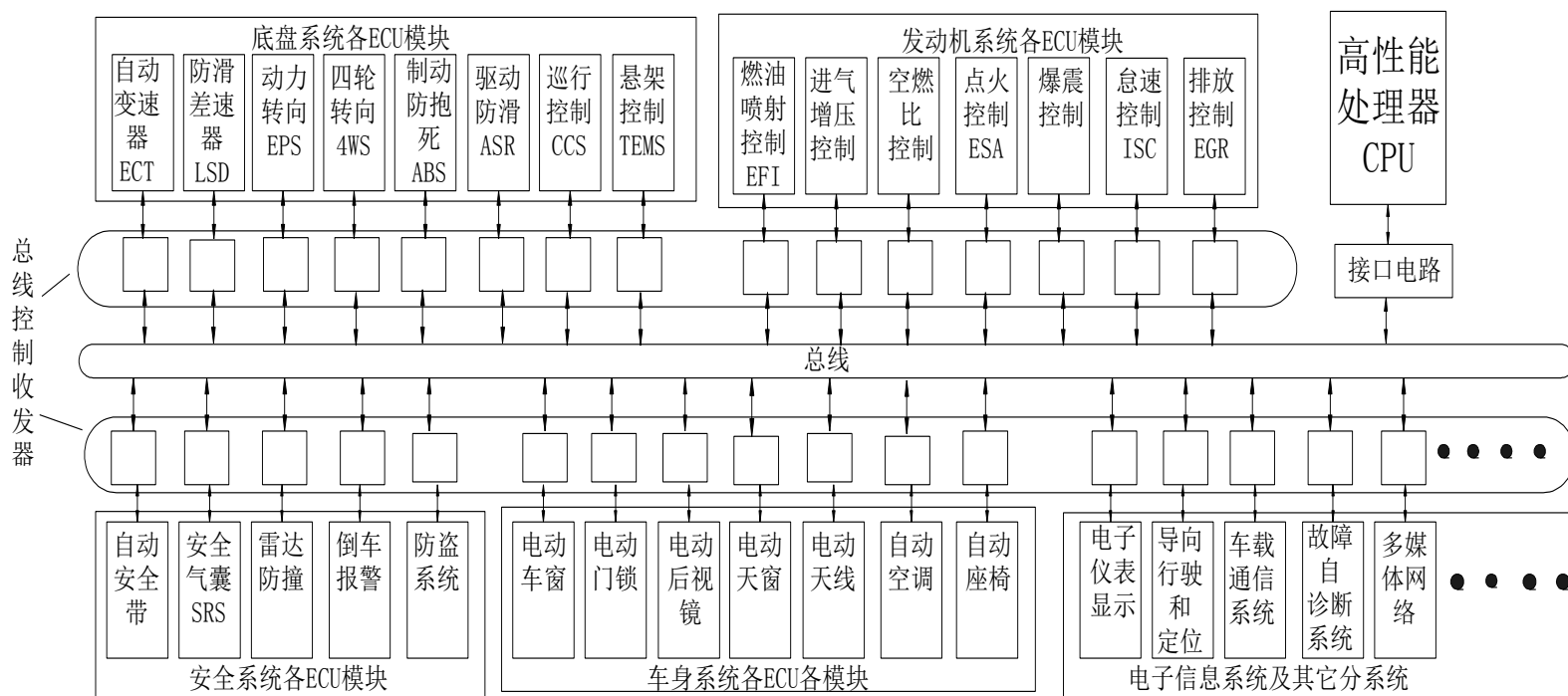
汽车网络（总线）测试

drive train control
body control
x-by-wire control



汽车总线技术的广泛应用

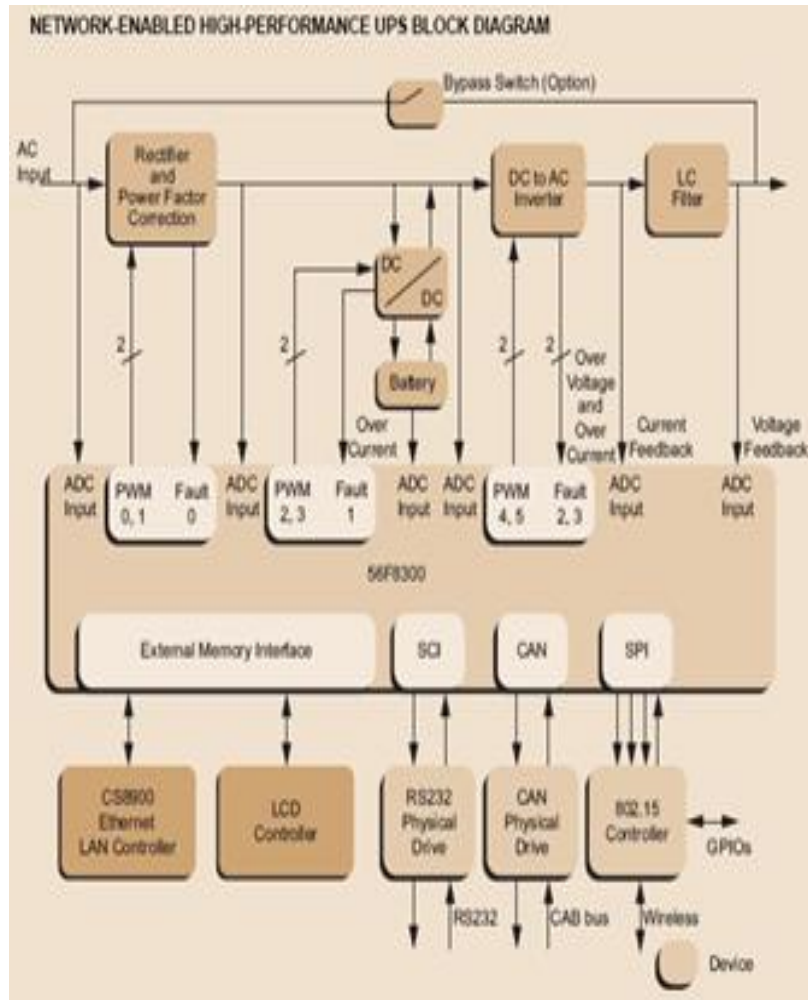
- 汽车总线是指汽车内部导线采用总线控制的一种技术，通常叫汽车总线或汽车总线技术。随着电子技术的迅速发展和在汽车上的广泛应用，汽车电子化程度越来越高。从发动机控制到传动系控制，从行驶、制动、转向系控制到安全保证系统以及仪表报警系统渐渐形成了一个复杂的大系统。
- 总线的种类很多，如CAN, LIN, FlexRay, MOST, BroadR-Reach, SENT



基于CAN总线的汽车内各模块的联接图

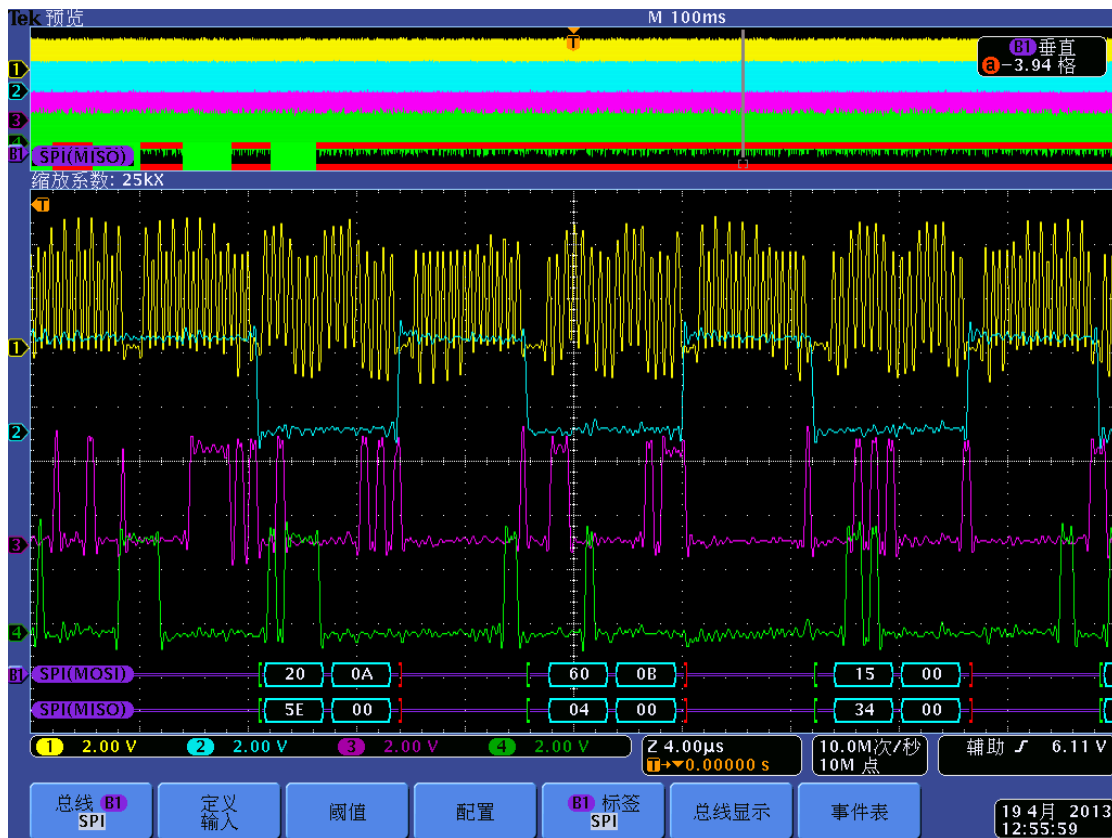
串行总线数据挑战：设计

- 串行通信改善电路板设计：
 - 串行接口集成到处理器、ASIC、FPGA等器件中
 - 连接数量减少
 - 元件总成本下降
- 低速串行标准的要求低于高速串行标准：
 - 信号之间的定时和信号完整性对总线操作的关键性较低
 - 一般没有必要进行一致性测试
 - 总线拓扑不限于点到点网络
- 最终用户产品通常包含多个串行标准、混合信号、混合数据速率、单端信号和差分信号、以及RF信号



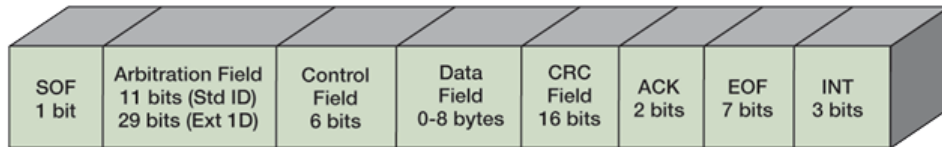
串行总线数据挑战：测试、解码

- 可以使用示波器手动解码串行总线波形，但过程繁琐、容易出错
- 硬件工程师需要检验连接和充足的信号完整性，以便总线正确传送数据
- 软件/固件工程师需要检验总线消息的发送方式符合预期
- 系统工程师需要检验系统组件的工作方式符合设计
- 所有工程师都需要简单、易用、完整、经济的解决方案

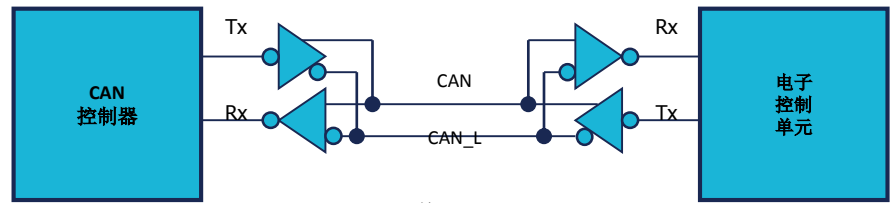


CAN (控制器局域网) 总线

- 用于汽车、工业自动化和医疗器械中的系统到系统通信
- 串行异步、多主设备、分层通信网络
- 10 kbps - 1 Mbps的数据速率
- 完善的错误检测和错误处理机制
- 灵活的信令支持，低成本实现方案



CAN帧结构定义



CAN物理层

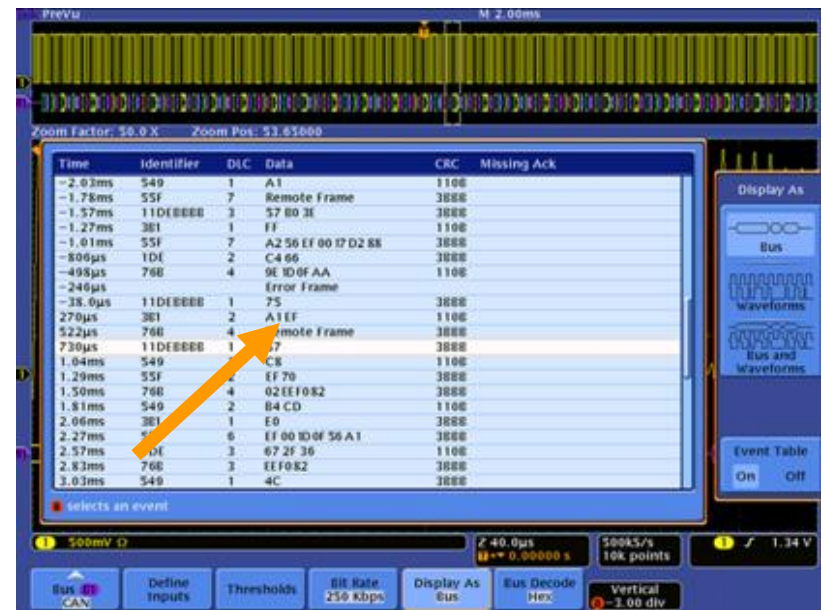
- **SOF** – 开头是一个帧头(SOF)位
- **仲裁** – 包括标识符(地址)和远程传输请求(RTR)位
 - 标识符可以采用标准格式 (11位 - 2.0A版)或扩展格式 (29位 - 2.0B版)
 - RTR用来区分数据帧和数据请求帧，也称为远程帧
- **控制** – 6位，包括标识符扩展(IDE)位和数据长度代码(DLC)
 - IDE区分CAN 2.0A (11位标识符)标准帧和CAN 2.0B (29位标识符)扩展帧
 - DLC是一个4位指示符，表明数据帧数据字段中的字节数或远程帧请求的字节数
- **数据** – 由0-8字节数据组成
- **CRC** – 一个15位循环冗余校验代码和一个隐性分隔符位
- **ACK** – 确认字段长两位
 - 第一个位是时隙位，作为隐性位传送，但之后会被成功接收发送消息的任何节点发送的显性位覆盖
 - 第二个位是隐性分隔符位
- **EOF** – 7个隐性位，指明帧尾(EOF)
- **INT** – 由3个隐性位组成的间断字段，表明总线空闲
 - 总线空闲时间可以是任意长度，包括0

泰克示波器MDO系列CAN解决方案

搜索和标记功能



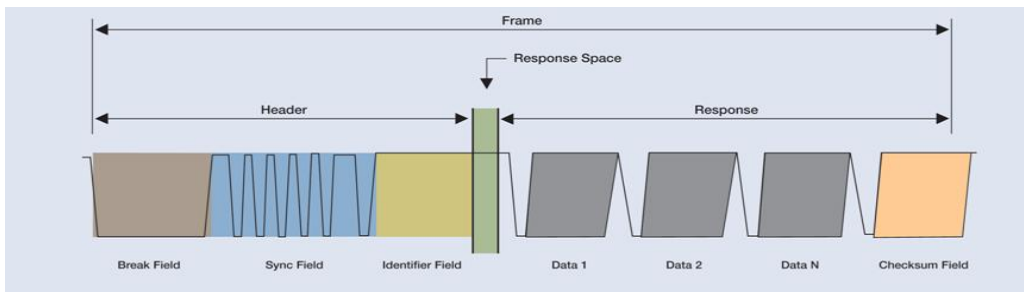
事件表显示解码后的带有时间标记的CAN消息帧



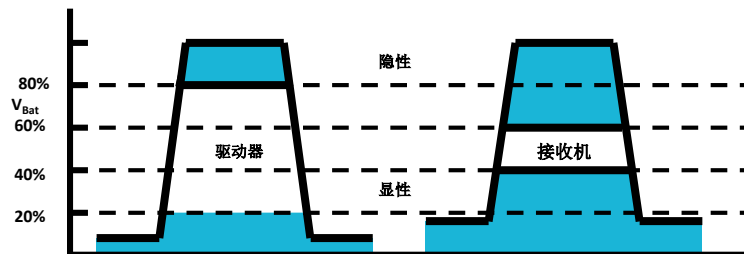
LIN (本地互连网络) 总线

- LIN通信基于UART/SCI，数据使用8位字节发送，其中带有开始位、结束位和无奇偶性。
- 数据速率范围为1kbps - 20kbps
- LIN帧由两个主要部分组成：**包头和响应**。包头由主设备发送，响应则由从设备发送

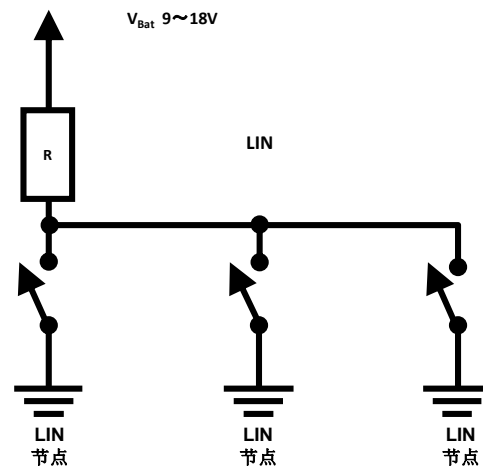
LIN帧结构



- 包头组成部分
 - 中断字段: 用来表明新帧开始
 - 同步字段: 从设备用来确定主节点使用的波特率及用来相应地进行自身同步
 - 标识符字段: 指明哪个从设备采取行动



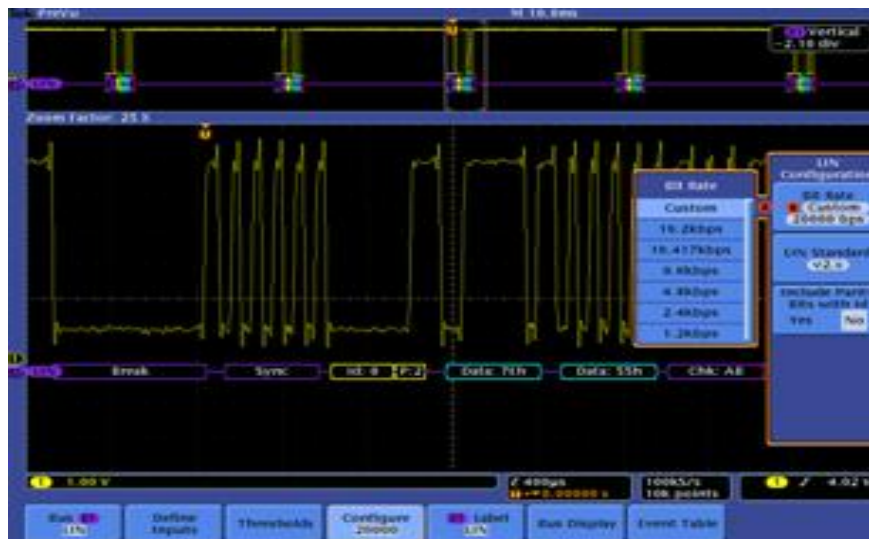
LIN物理层



- 响应组成部分
 - 数据: 指定从设备会应答 1 - 8字节的数据
 - 校验和: 计算得出的字段，用来检测数据传输中的错误

泰克示波器MDO系列LIN解决方案

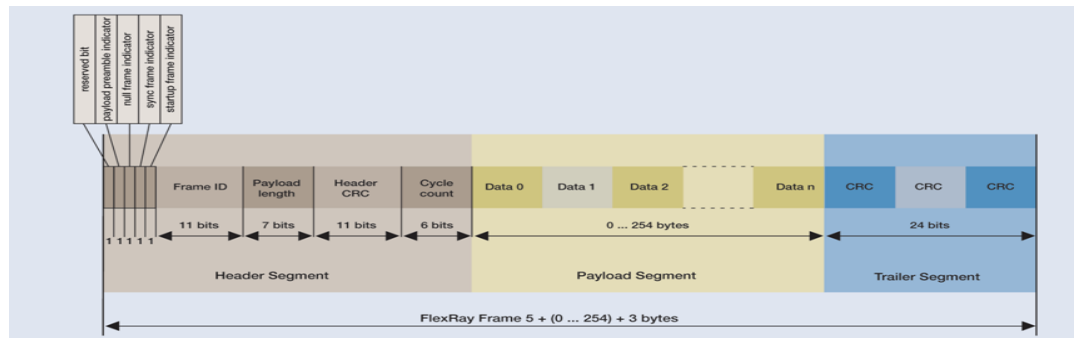
- LIN触发功能在下述条件下激活:
 - 同步字段 (如图所示)
 - ID
 - 数据和ID/数据
 - 唤醒帧和睡眠帧
 - ID奇偶性错误
 - 校验和错误
- 触发LIN总线(Bus1)，同时捕获和解码Bus2和Bus3
- 在业务通过网关和系统从一条总线传送到另一条总线时，现在可以查看所有总线业务



FlexRay总线

- FlexRay是一种相对较新的汽车总线，由主要汽车公司和供应商组成的集团(称为FlexRay联盟)目前仍在开发这一标准
- 物理总线可以采用非屏蔽双绞线或屏蔽双绞线，以改善EMC性能
- FlexRay是一种差分串行总线，配置采用三个连续的段: 包头, 净荷, 包尾
- 每个帧包含一个静态和动态段，每个帧最后是总线空闲时间
- 发送数据速率高达10 Mbps

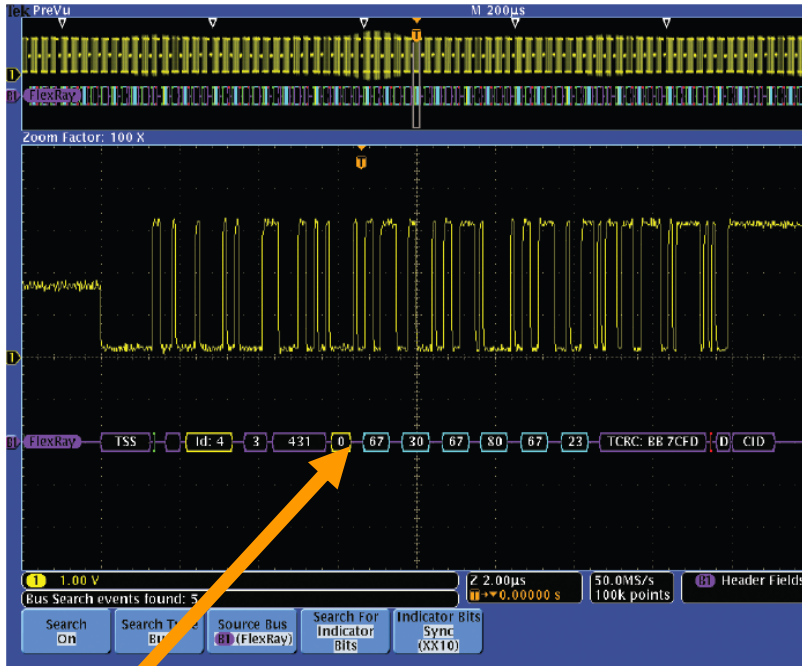
FlexRay帧结构



- **包头段:** 包含指示位, 帧号, 净荷长度 (单位为字), 包头CRC和周期数
- **净荷段:** 包含帧传送的数据。最大净荷长度是127个字(254字节)
- **包尾段:** 包含一个24位字段 [三个8位CRC寄存器], 保护包头和净荷

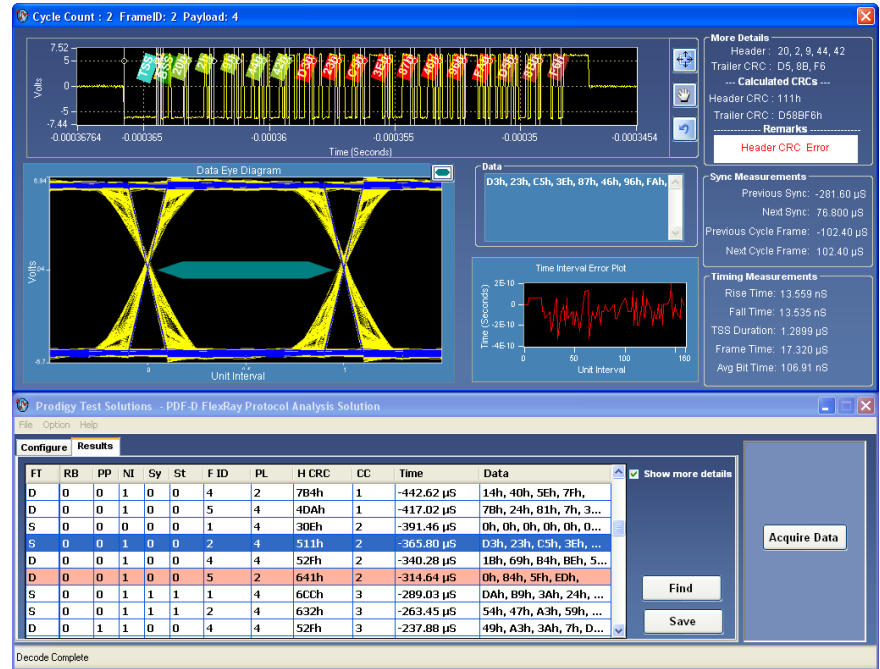
泰克FlexRay解决方案- DPO4AUTOMAX

协议测试



FlexRay总线TSS (传输开始顺序)触发
DPO/MSO4000系列，它发起建立网络连接，
后面跟着帧号(02)、包头CRC和净荷(数据)。

物理层分析软件



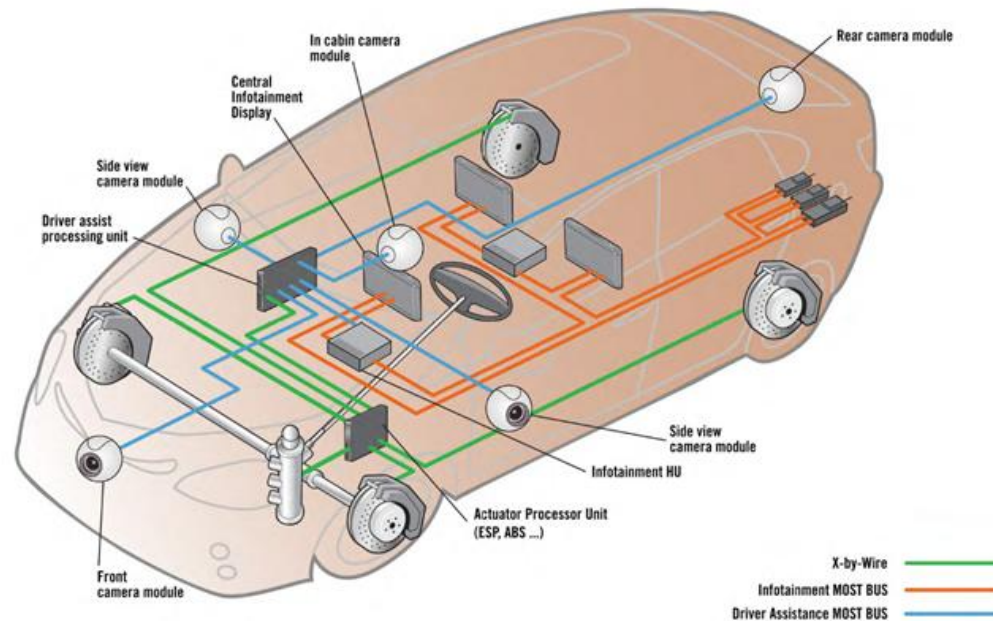
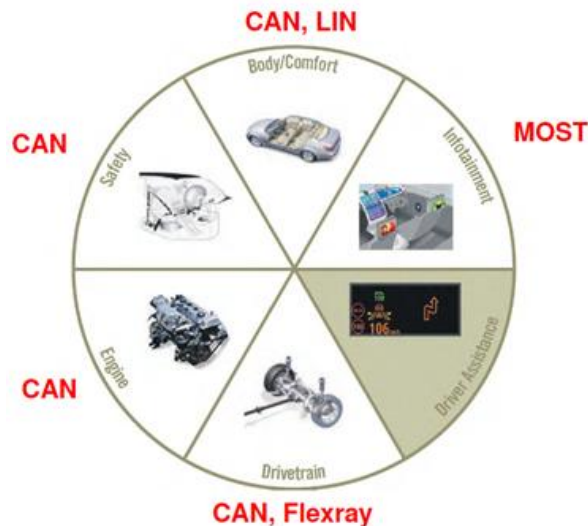
- 通过USB或以太网与外部计算机一起运行
- 提供完整的一套工具评估物理层性能
 - 眼图分析
 - 同步测量
 - 定时测量
 - 时间间隔误差 (TIE)

MOST (Media Oriented Systems Transport)

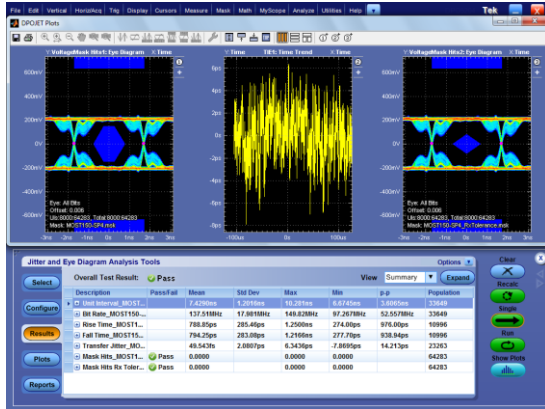
多媒体数据传输的网络系统



- ADAS(高级驾驶辅助系统)的数据骨干
- 和其它专用汽车总线
(CAN / Flexray) 的数据交换

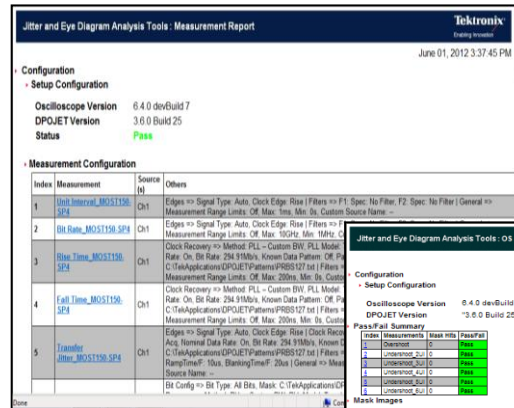


泰克的MOST 测试方案



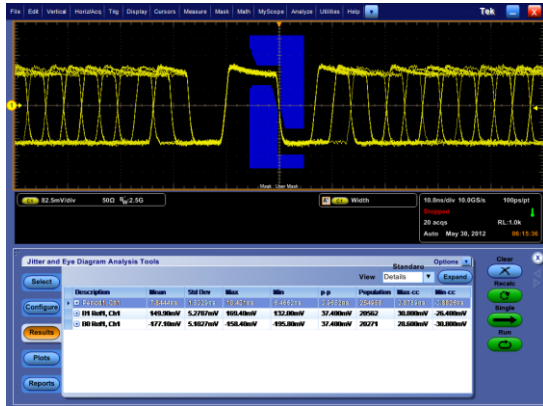
Results for MOST50 and MOST150

Reports with pass/fail status



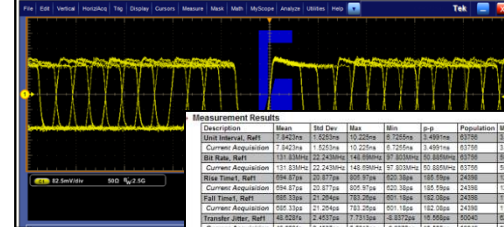
Jitter and Eye Diagram Analysis Tools: OS and US Measurement

MOST Essentials - Setup File for Test Points on DUT	MOST Specification - Reference Section	MOST Specification - Symbol(s) / Parameter / Test Name
MOST50-SP1E	Table 2.1	Clock Recovery
	Table 2.2	Transferred Jitter
	Section 3.1.1.1	Transmission Quality
MOST50-SP2E	Table 3.1	Eye-Mask
	Table 2.1	Clock Recovery
	Table 2.2	Transferred Jitter
MOST50-SP3E	Section 3.1.2.1	Transmission Quality
	Table 3.2	Eye-Mask
	Table 2.1	Clock Recovery
MOST50-SP4E	Table 2.2	Transferred Jitter
	Table 2.1	Clock Recovery
	Table 2.2	Transferred Jitter
	Table 3.4	Eye-Mask

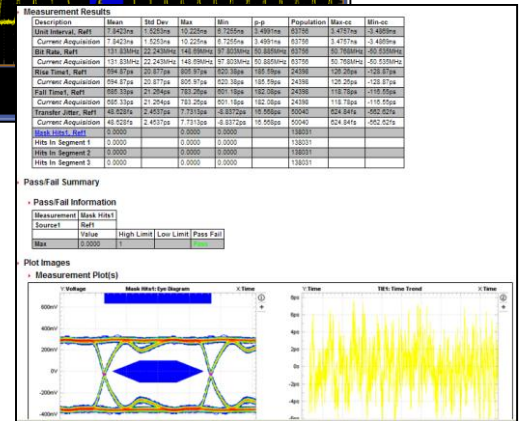


Results for MOST150 Overshoot and Undershoot

Report for MOST150 with Overshoot and Undershoot measurement - Pass/Fail with oscilloscope Waveform Screenshot

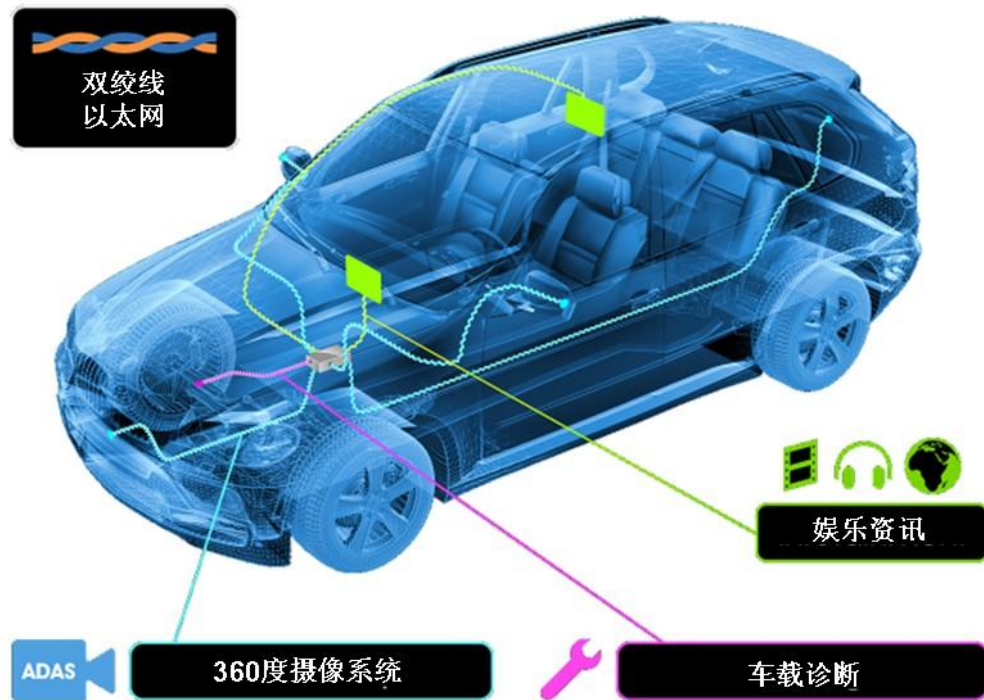


Report with margin details, Eye diagram, and other statistics.



泰克的BroadR-Reach 自动化一致性解决方案

- 车载网络CAN、LIN、LVDS、FLexaRay,以及MOST技术,博通提供以太网技术。
- BroadR-Reach技术提供100 Mbps及更高的宽带性能,同时将互连成本显著降低多达80%,并使电缆重量减轻多达30%。
- BroadR-Reach以太网能够支持车载应有几个关键性要求:专属的端口带宽、每个端口的速度灵活可调、每条链路都具有先进的电缆诊断功能、具有故障切换的冗余机制以及娱乐音频/视频处理采用IEEE 标准 (AVB)



泰克的BroadR-Reach 自动化一致性解决方案

■ 关键性能指标

- 自动完成 BroadR-Reach 1.2 技术规范的所有一致性测量
- 单台仪器完成时域和频域测量分析
- 选件 BRR 夹具提供一种添加扰动信号的机制，这是执行失真测量以及规范所推荐的最重要测量之一所必需的
- Windows 7 型示波器（包括 MSO/DPO5K、DPO7K 和 MSO/DPO70K）上使用软件解决方案，为从事该技术的工程师提供灵活选择

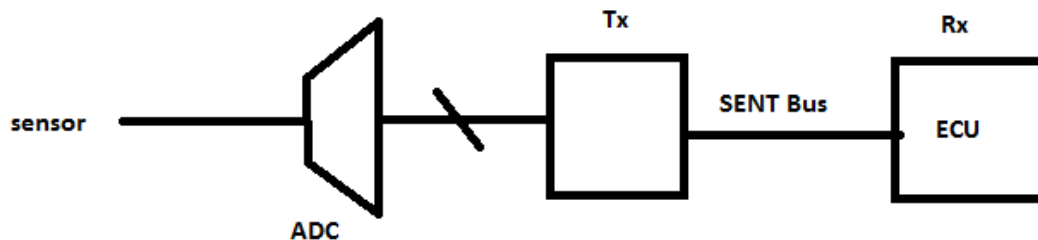


■ 主要功能

- BRR 为一体化解决方案，简化设置并提供经济实惠的解决方案
 - 在执行 BroadR-Reach PHY 层测试时，工程师可以使用示波器代替频谱分析仪或 VNA（比如用于 PSD 或回波损耗）
- 用户定义模式实现对鉴定和裕量分析的灵活参数控制
 - 按照最适合测量的信号类型对测量进行分组，减少用户干预
- 设计工程师可使用许多内建报告功能，比如报告追加、报告自动增量，或者包含用户评论等等
- 选件 BRR 可在执行测试之前进行自动信号验证，如果信号不满足可接受的限制则抛出错误

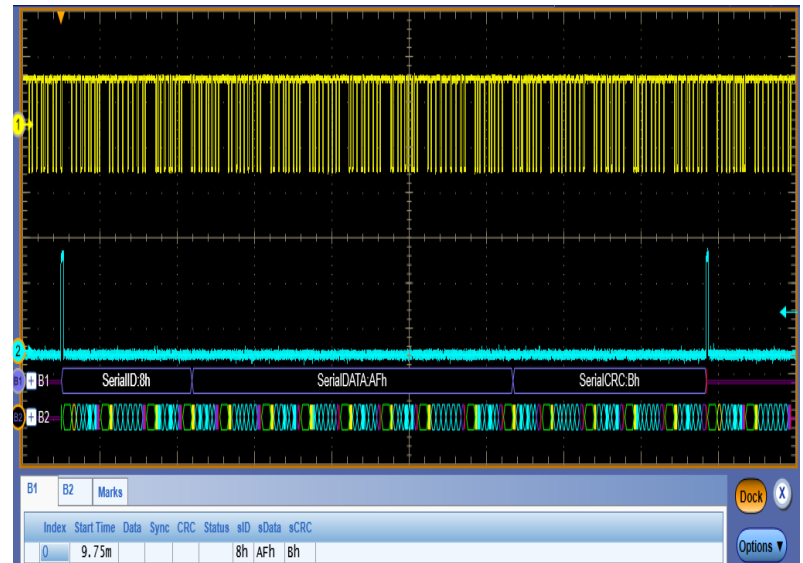
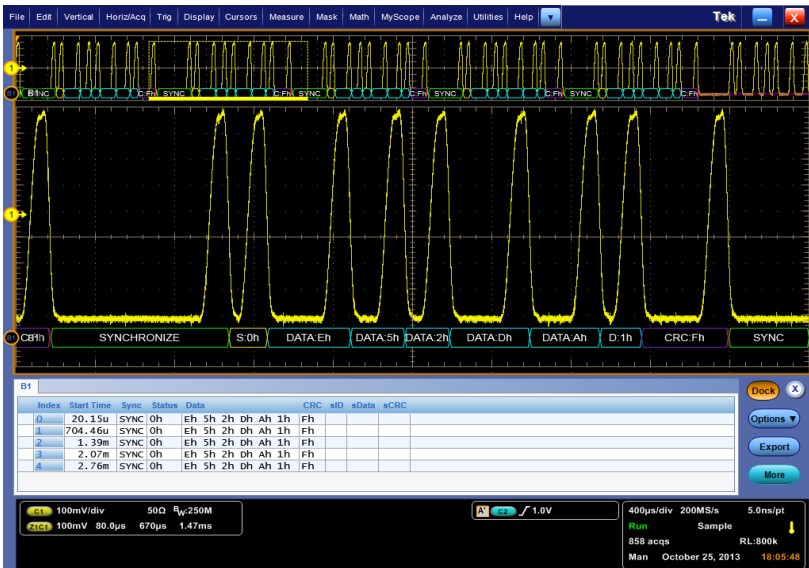
SENT 协议

- **SENT stands for Single Edge Nibble Transmission**
 - 一种点对点的、单向传输的协议，从传感器到控制器传输帧数据。
 - 用于汽车中传感器和电子控制单元(ECU)之间传输高清传感器数据
 - 简单，直接连接在ADCs和控制器之间
 - PWM
 - CAN/LIN
 - J2716 SAE-标准
- 单向
- **3 线**
 - 5V, GND 和 SENT
- 传输数据为**Nibbles (4-bits)**
- 数据编码在一个时钟周期
 - 两个连续的下降沿周期之间的一系列脉冲序列来传输数据



SENT 解码

- 支持标准信息解码
- 支持短序列信息解码
- 可选输入（Tick Period and No of Data Nibbles）



汽车音频总线测试-I2S

- 汽车音响系统对环境的更高要求
 - 大量EMI
 - 电源电压波动
 - 震动、高低温条件
- 数字音频总线
 - I2S, LJ, RJ, TDM
- 大功率功放电路对汽车电源系统的要求
- 音频质量的测试—音频分析



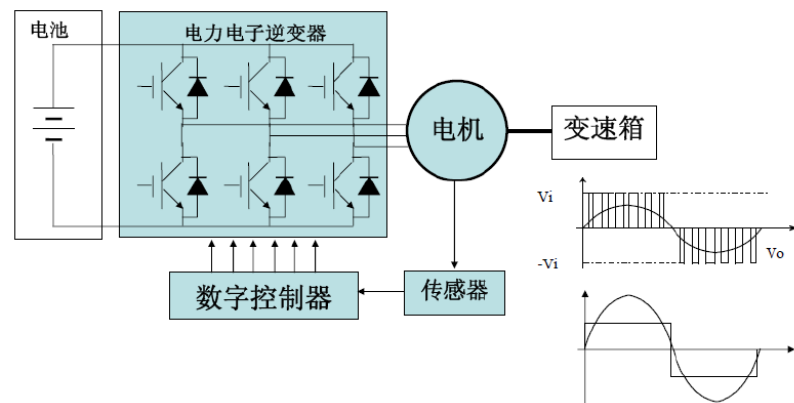
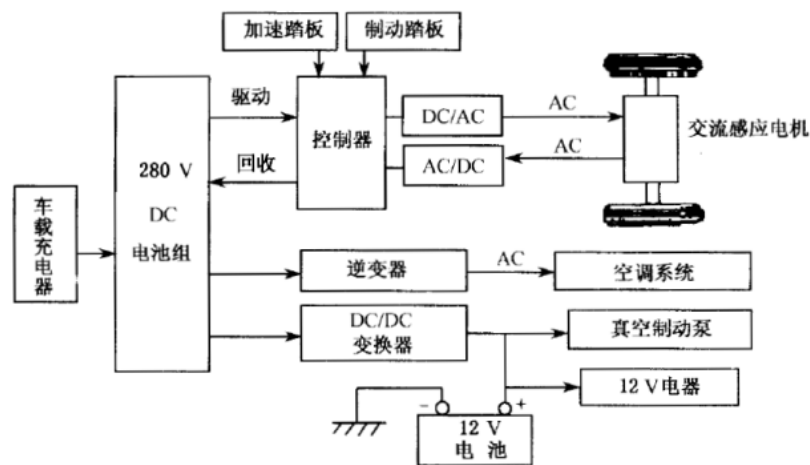
使用DPOxAUDIO音频分析模块进行I2S总线译码分析

动力及驱动系统



新能源汽车--驱动马达及逆变测试

- 电动汽车的组成包括**电力驱动及控制系统**、**驱动力传动等机械系统**、完成既定任务的工作装置等。
- 电力驱动及控制系统是电动汽车的核心，也是区别于内燃机汽车的最大不同点。电力驱动及控制系统由驱动电动机、电源和电动机的调速控制装置等组成
- 电动汽车**驱动电机**是所有电动汽车必不可少的关键部件。目前使用较多的有直流有刷、永磁无刷、交流感应和开关磁阻等四种电机
- 电动汽车上广泛采用直流串激电动机，这种电机具有"软"的机械特性，与汽车的行驶特性非常相符。但直流电动机由于存在换向火花，比功率较小、效率较低，维护保养工作量大，随着电机技术和电机控制技术的发展，势必逐渐被直流无刷电动机（BCDM）、开关磁阻电动机（SRM）和交流异步电动机
- 电动机调速控制装置是为电动汽车的变速和方向变换等设置的，其作用是控制电动机的电压或电流，完成电动机的驱动转矩和旋转方向的控制。电动汽车的调速控制转变为**直流逆变技术**的应用，将成为必然的趋势
- 电动汽车传动装置的作用是将电动机的驱动转矩传给汽车的驱动轴



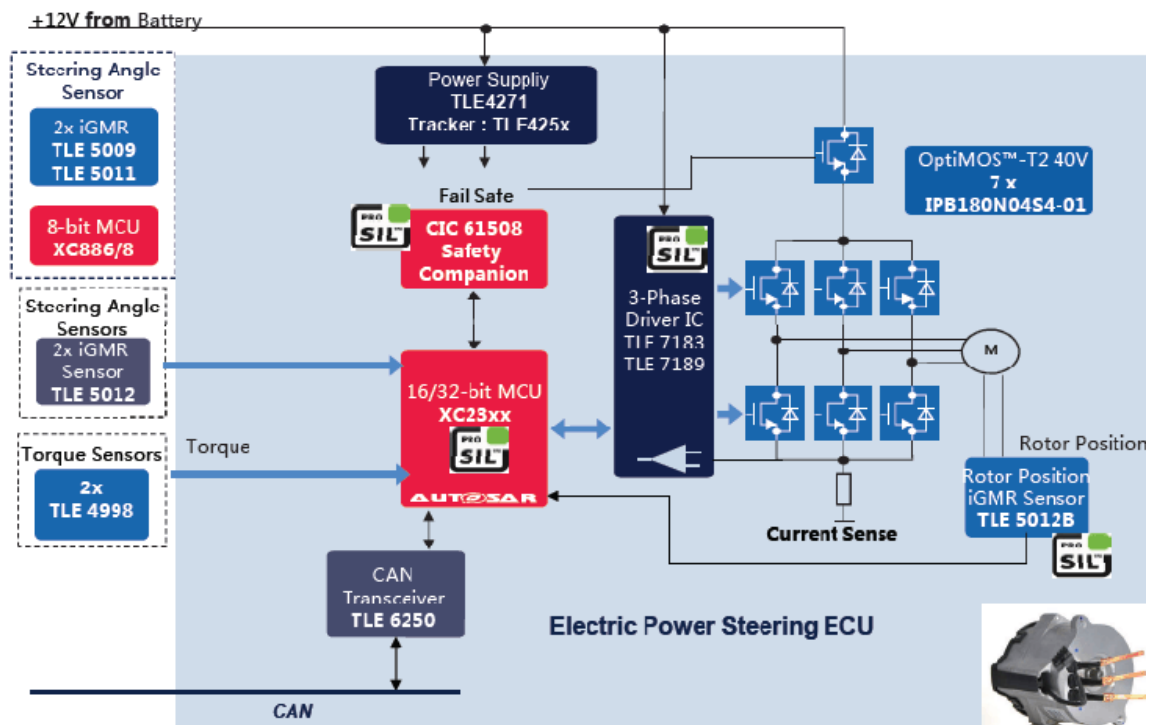
EPS驱动及马达测试

• EPS组成

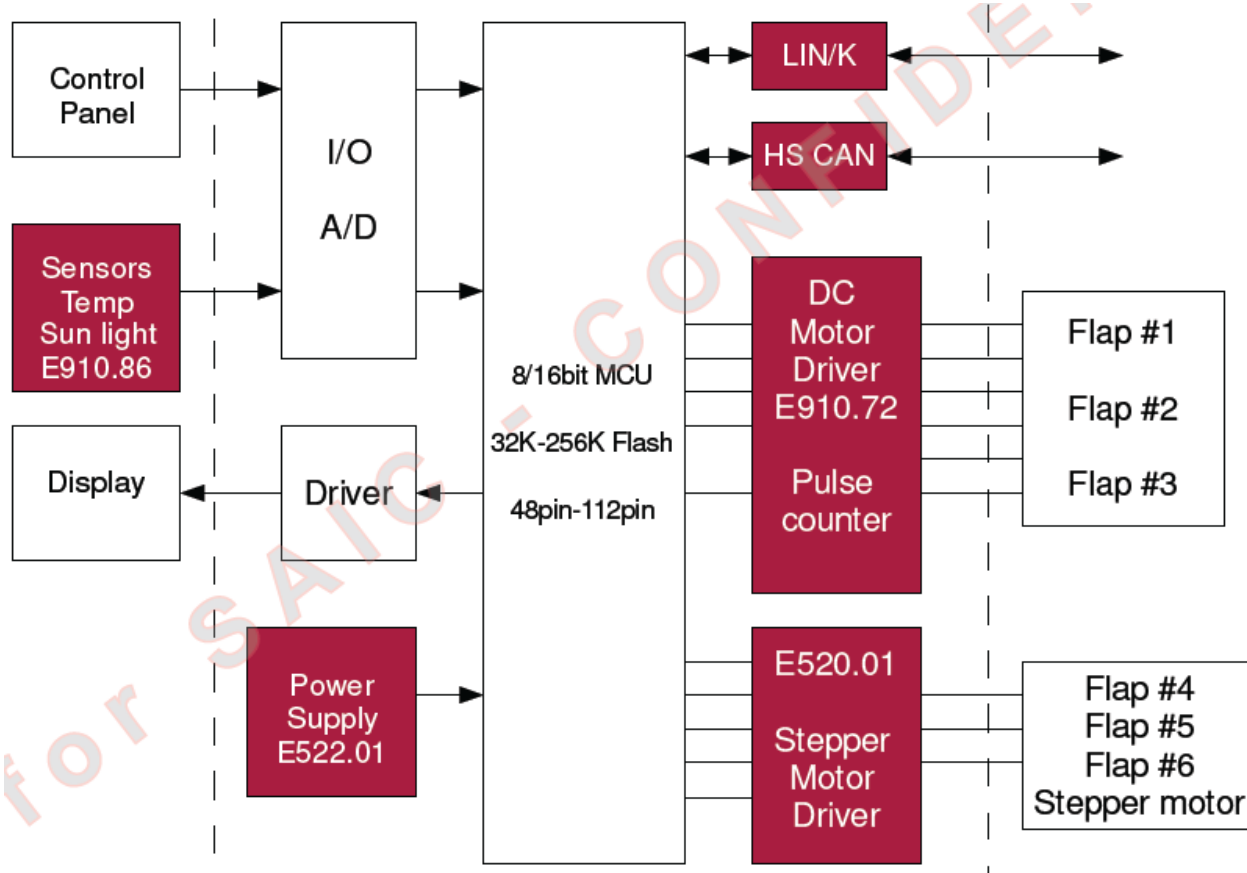
- 信号传感装置(包括扭矩传感器、方向盘角度传感器和车速传感器),
- 电子控制单元
- 转向助力机构(电机、离合器、减速传动机构等)

• 驱动电机

- 直流有刷电机(DC)
- 直流无刷电机(BLDC)



汽车电子、电动汽车驱动系统的波形分析

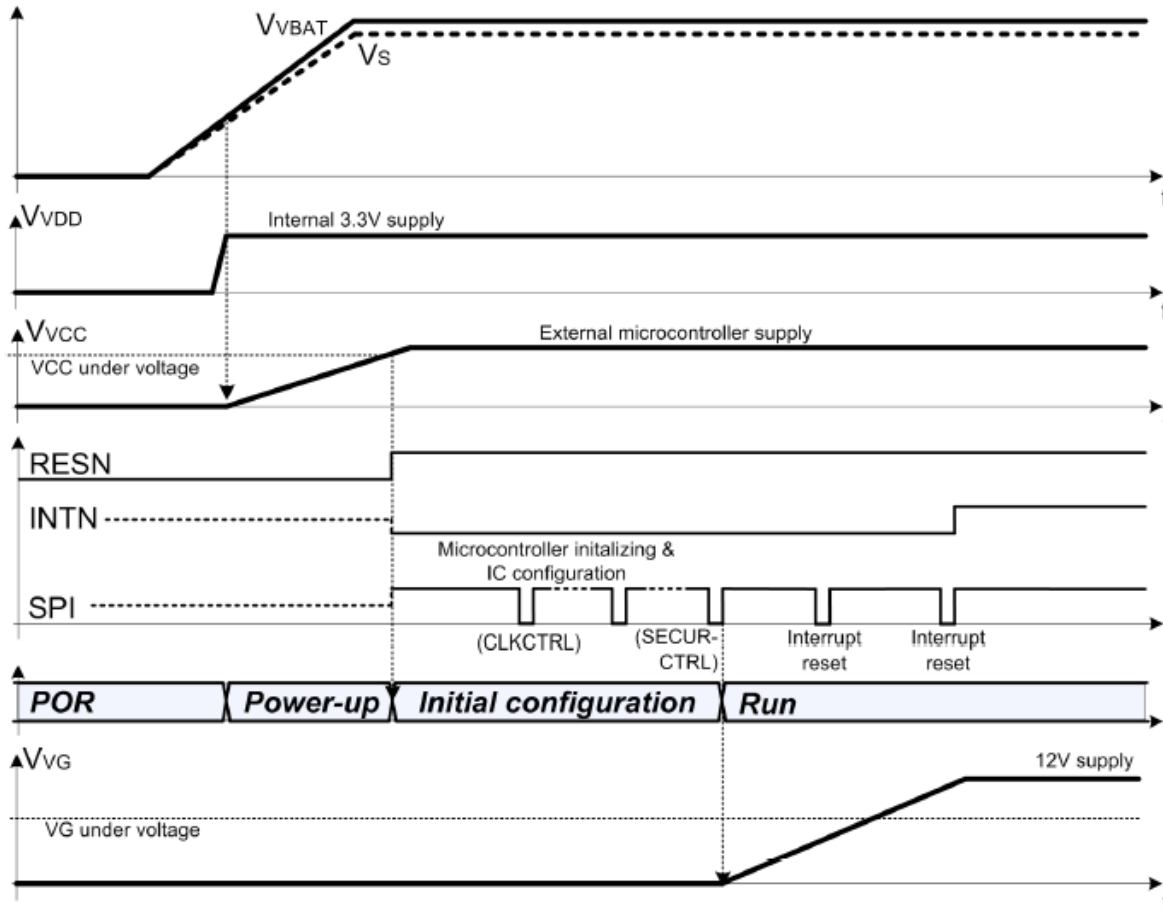


涉及的测试项目

- LIN/CAN协议分析
- 三相驱动波形测试
- 模拟传感器信号及检测

风门直接驱动的空气ECU

汽车电子、电动汽车驱动系统的波形分析



必须使用的测量方案

- 4个模拟通道
- 16个逻辑通道
(并行总线)
- 至少2/4条协议解码
- 准确的时序测量

BUS1

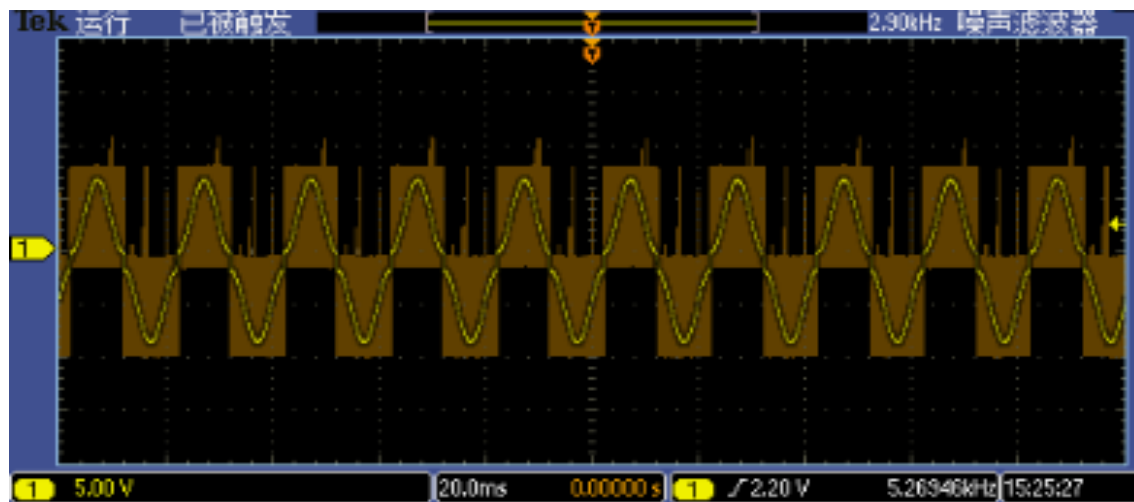
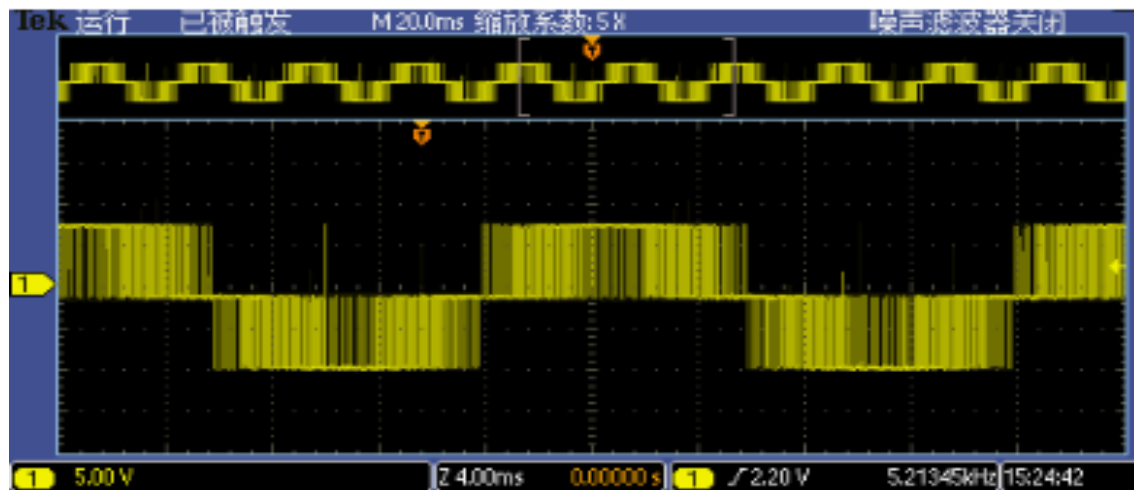
BUS2

典型的驱动控制系统的时序（上电）

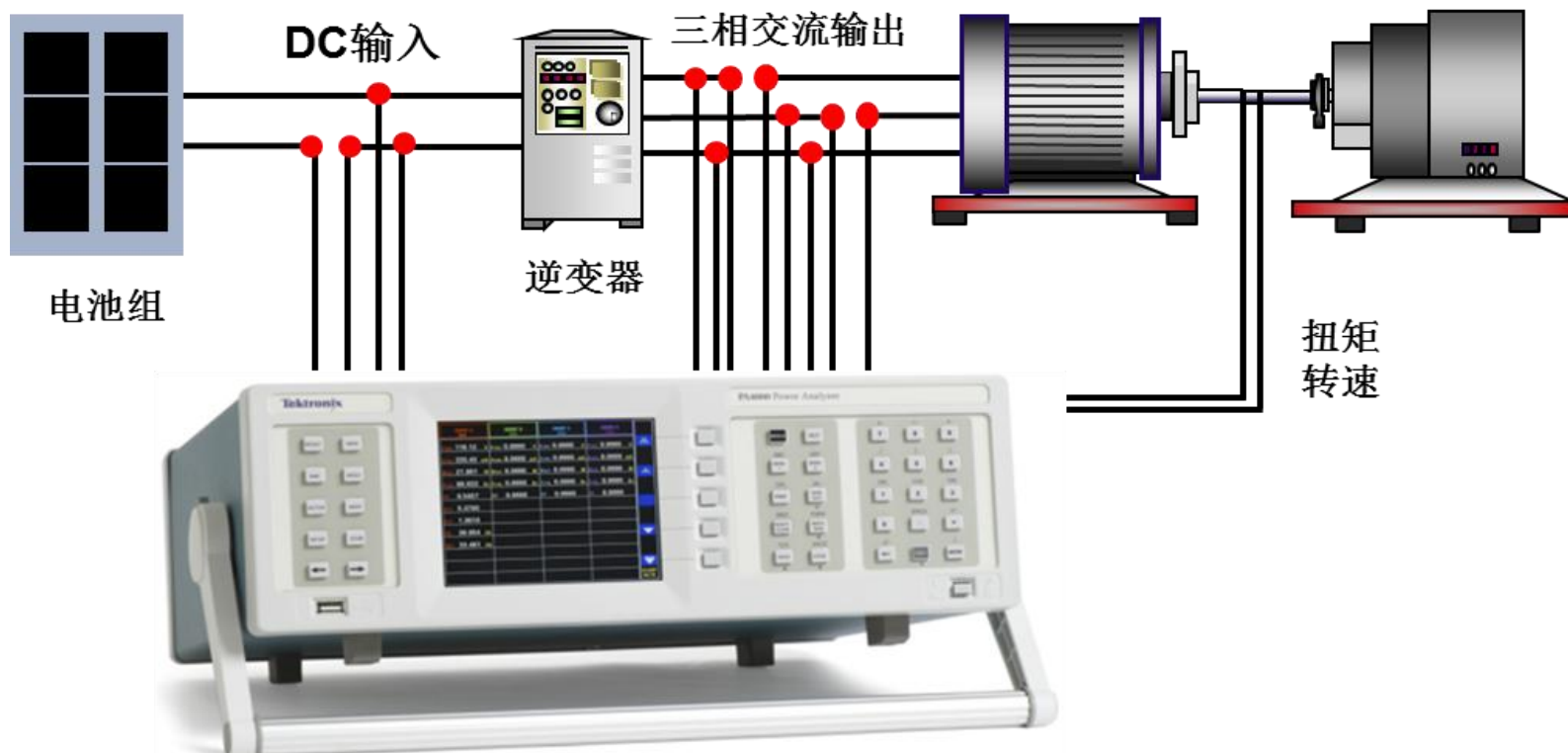
汽车电子、电动汽车驱动系统的波形分析

- 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



电机驱动测试图

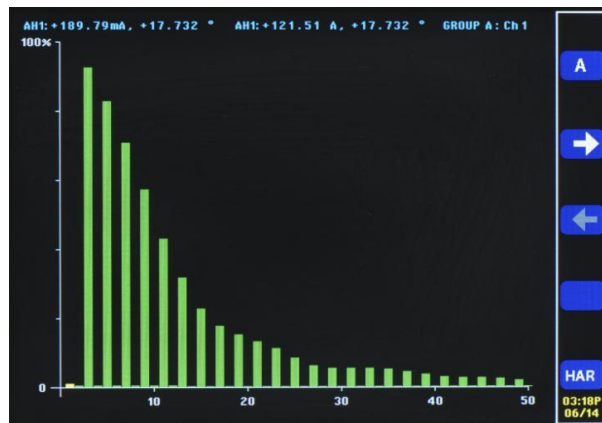
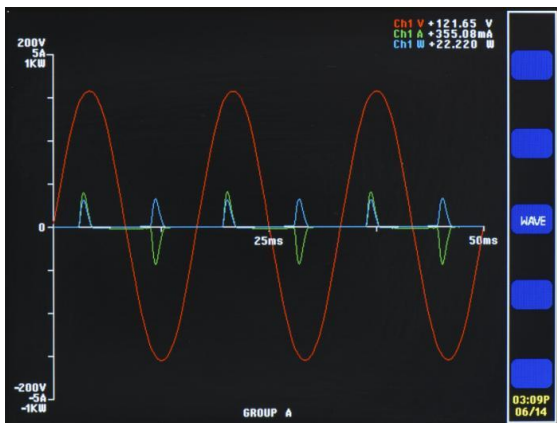


1. 高次谐波和PWM信号一般都是几KHz的信号频率，1MHz带宽可以很好满足测试要求
2. 有专用的PWM测试模式，设定简单。
3. 有标配软件PWRVIEW可以控制PA3000和数据连续记录功能
4. 仪器可以选配CT的供电电源，简化接线，使用简单安全。
5. 标配了4路模拟信号输入，2路脉冲信号输入功能，来完成机械功率测试需求。

汽车中的功率参数测量

——PA系列功率分析仪

- 精准的测量精度: **0.04%** 电压电流的基本精度
- 峰值因数高达10 的高精度测量结果
- 电流30A /1A 双shunt 标配
- PWM驱动, 镇流器, 待机功耗等多种测量模式
- 谐波测试功能标配, 有间谐波测量
- V_{RMS} , A_{RMS} , W, VA, VAR, CF, 频率, 相位角。。。
- 谐波最高 100th (标配)
- 转换效率
- 浪涌电流
- 波形, 数据列表和能量积分模式

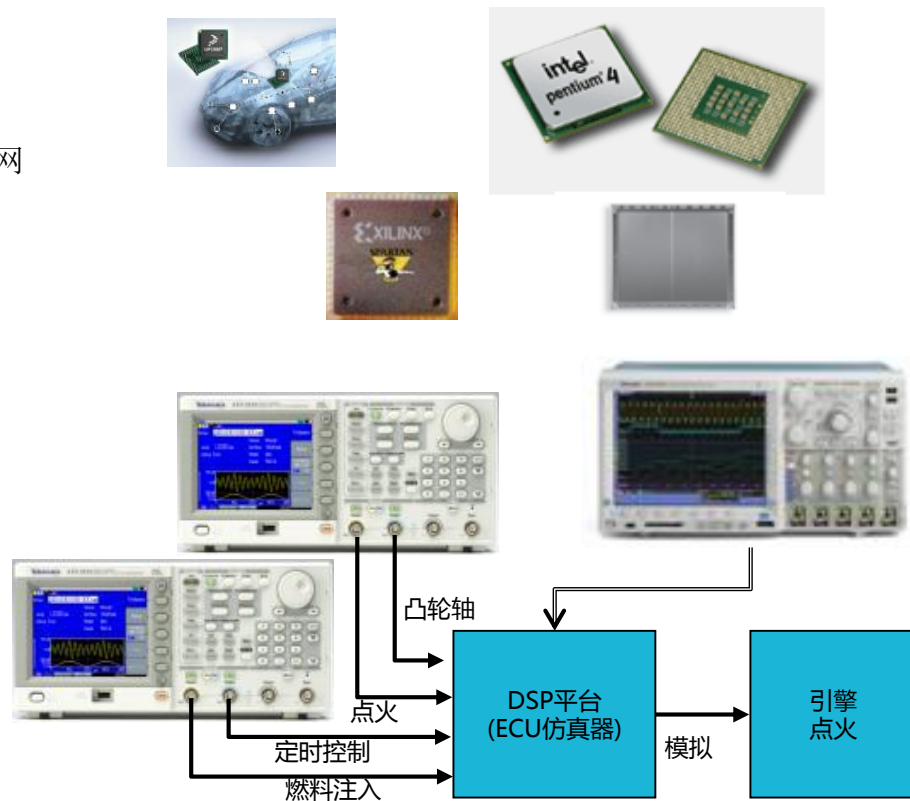
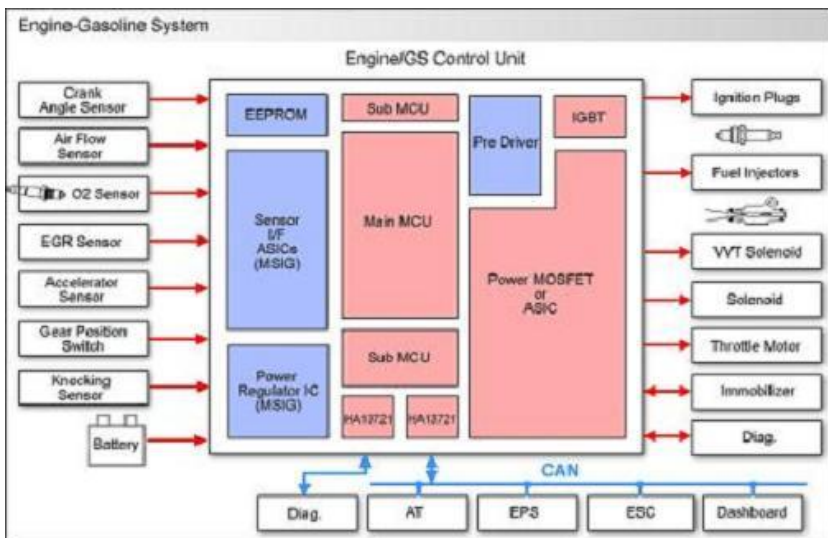


GROUP A Ch1		
Vrms	121.65	V
Arms	355.09	mA
Watt	22.220	W
Freq	60.015	Hz
PF	0.5144	
Acf	3.6499	

BCM/PCM/ECU测试——汽车中的电子控制单元

汽车电子控制单元PCM/ECU

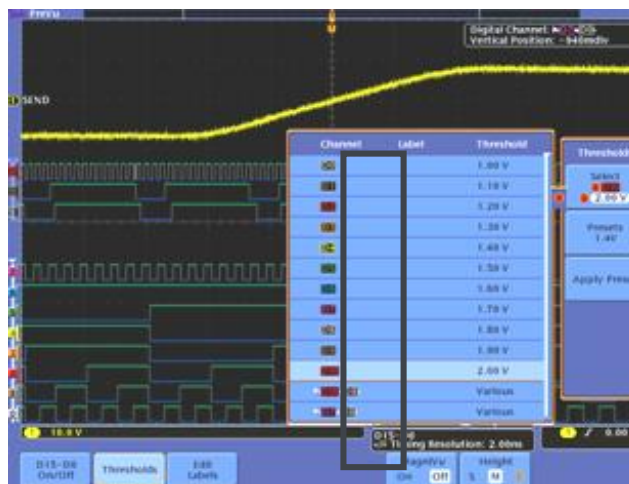
- 是带单片机的嵌入式系统
- 具有处理器、I/O设备和存储器
- 独立控制汽车的某一系统或几个系统
- 通过数字总线连接在一起，形成一个复杂的计算机局域网



BCM/PCM/ECU测试——真正的混合信号采集和分析

MDO4000C可以为每条通道单独设置门限

- 同时采集模拟、数字、总线信号
 - 传感器模拟或数字输入输出
 - ECU输入、输出
 - 对执行器的驱动和控制信号
 - ECU 内部或板上的总线数据
- 调试同一块PCB中包含不同的逻辑类型或家族的电路
 - 成本限制 - 只在需要的地方使用昂贵的高速逻辑
 - 功率限制 - 使用低能耗逻辑, 延长电池工作时间
 - 在同一逻辑家族中没有提供专用功能
- 在多条通道中触发建立时间/保持时间违规

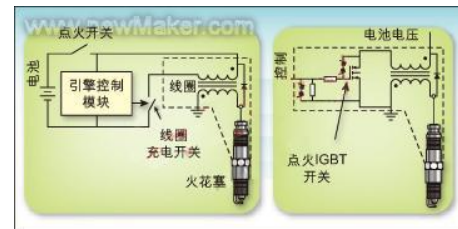
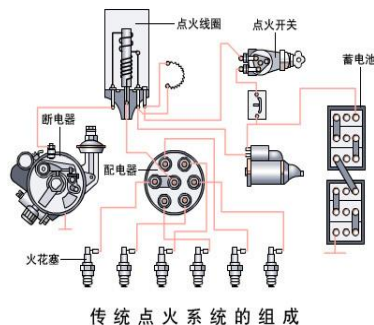


多通道建立时间和保持时间违规

发动机点火系统测试

测试挑战

- 瞬间高压，可达几千至一两万伏
 - 高压探头、差分探头
- 隔离通道测试
 - 避免通道间的串扰
- 高强度的电磁干扰
 - 破坏仪器的工作环境

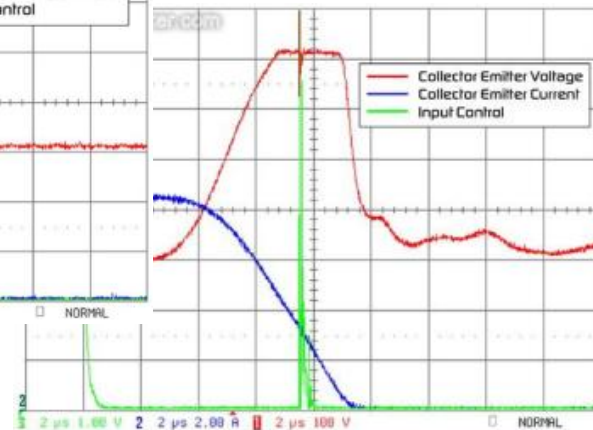
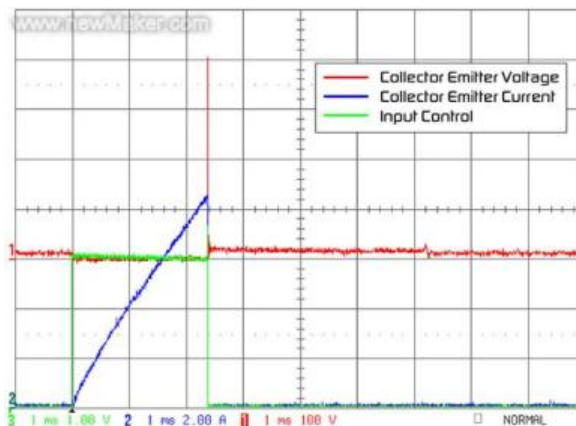


点火系统的发展

- 机械开关
- 分电器多点继电器
- 高压达林顿管
- 智能IGBT

IGBT点火系统的特点

- 大电流下的饱和压降低;
- 易于构建出能处理高压线圈(400~600V)的电路;
- 简化的MOS驱动能力;
- 在线圈异常工作时能承受高能耗

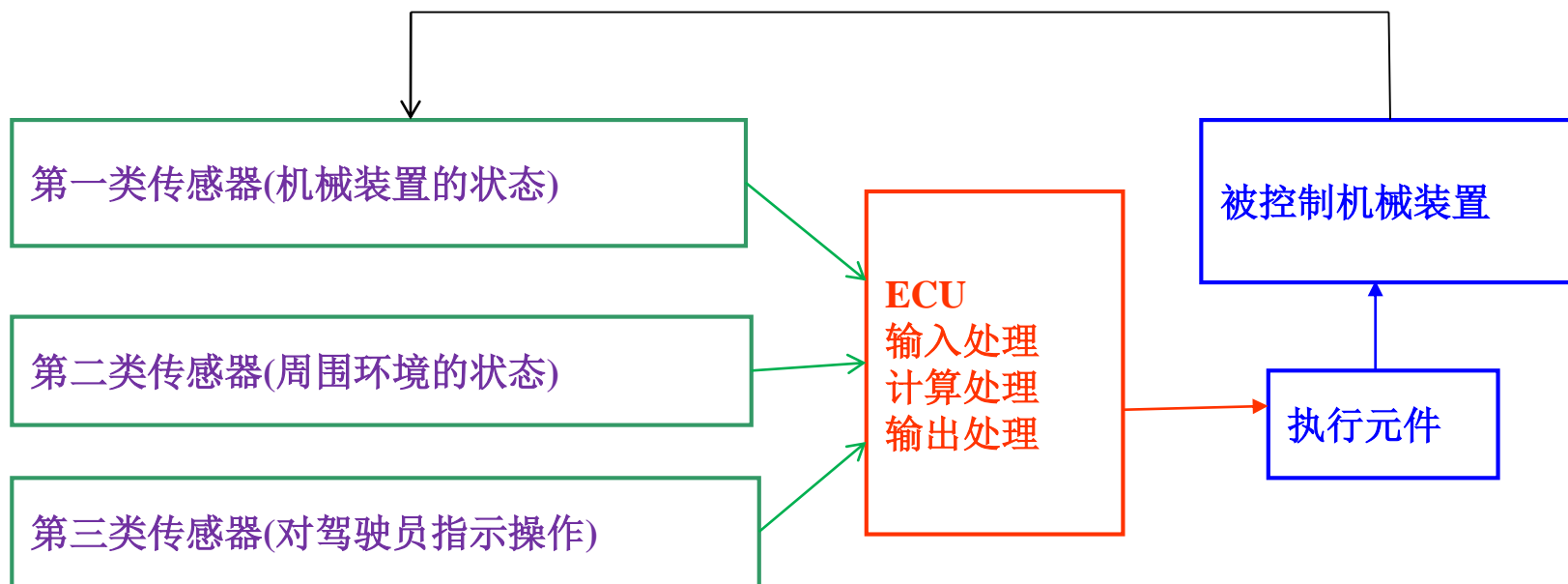


车身电子系统

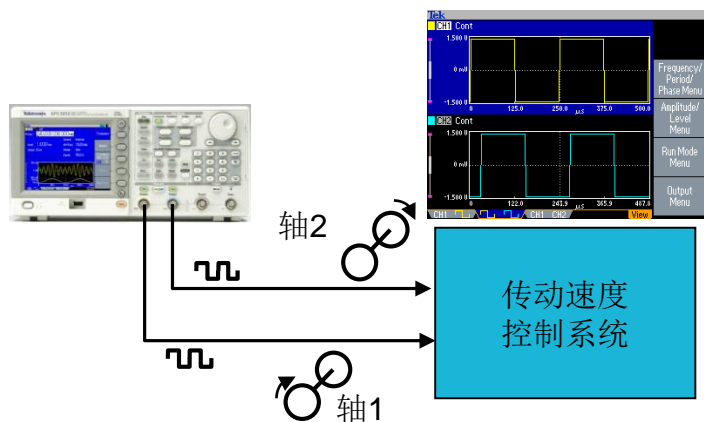
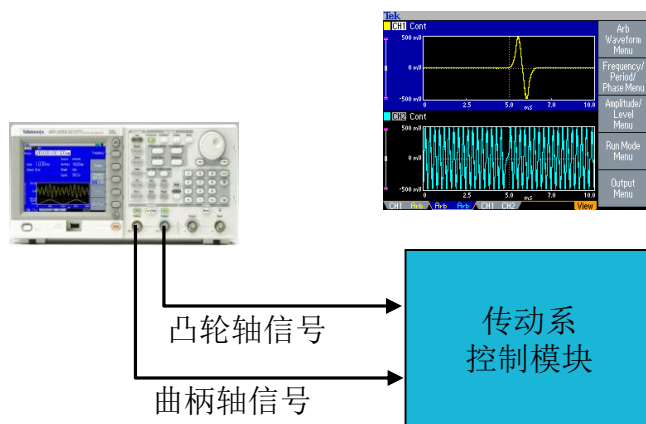


汽车电子控制系统基本组成

汽车电子控制系统一般由传感器、控制单元和执行元件三大部分组成。



仿真汽车传感器信号



- 用途
 - 仿真曲柄轴, 凸轮轴, 车轮, 碰撞和其它汽车引擎传感器信号。
- 使用AFG3xx2C的好处
 - 双通道。
 - ArbExpress提供了强大的波形创建和编辑功能。
 - 简便易用, 仪器体积小。
- 用途
 - 测试和维护传动速度控制系统。
- 使用AFG3022C的好处 / AFG3011
 - 生成双同步信号或独立信号(AFG3022C)
 - $>10 V_{pp}$ 幅度(AFG3011)

车辆照明系统测试

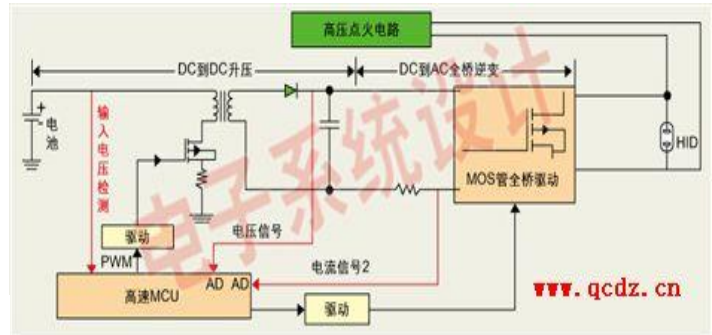
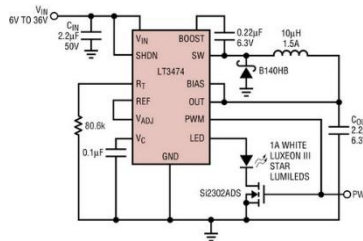
• HID灯、电源管理测试

- 类似普通照明电源测试
- 测试高压发弧点亮脉冲



• LED车灯测试

- 恒流驱动
 - 高亮度白光LED需要超过1A驱动电流
- DC/DC型恒流电源
 - 高效率的能量转换
 - 输入电压的巨大波动
 - PWM调光



- 电源品质测试
- 恒流驱动电流纹波测试
- 功率器件测试
 - 开关损耗
 - 安全工作区
 - dV/dt , di/dt

- 输出功率
- 转换效率
- PWM调光



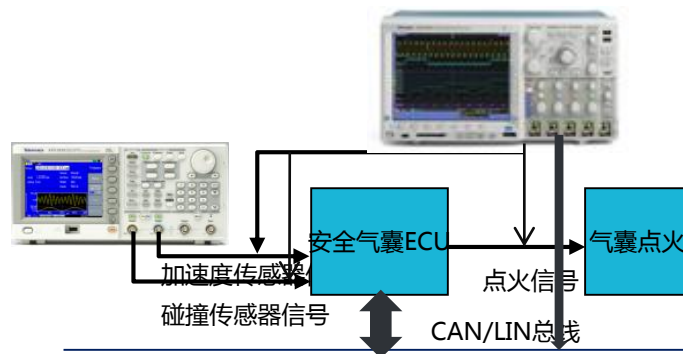
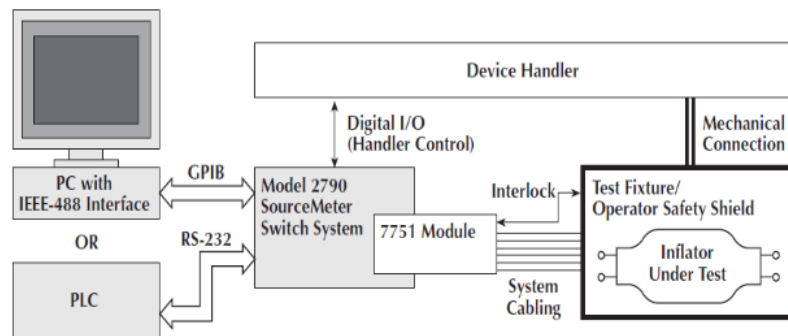
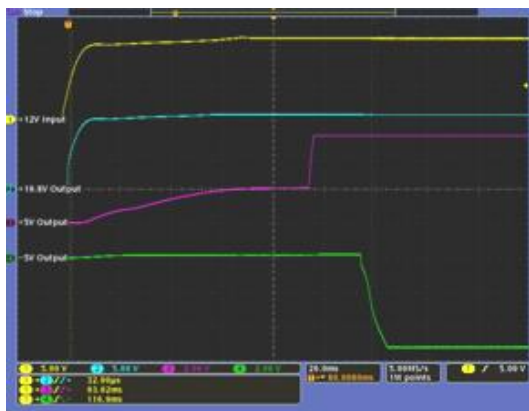
安全气囊测试--ECU及充气机电气测试

- **2790**数字源表开关系统，安全气囊充气机的电气检查以及其他汽车电子测试

- 汽车安全气囊充气机/模块电气功能测试
- 安全带预紧传动器/模块功能电气检测
- 高速、并行吸入、双充气机，或双测试台电气检测
- 汽车座椅和航空电子中受压线、高压、绝缘电阻测试
- 多针接头/导线连通性和漏电阻测量
- 多触点/开关小功率电路连通性和漏电流测试
- 汽车电源/熔丝中心连通性和漏电阻特性分析
- PCB/PWB和通用短路/断路电路测试



- 混合示波器、函数信号源及协议的系统测试



汽车音频系统测试

- 汽车音响系统对环境的更高要求
 - 大量EMI
 - 电源电压波动
 - 震动、高低温条件
- 数字音频总线
 - I2S, LJ, RJ, TDM
 - MOST总线
- 大功率功放电路对汽车电源系统的要求
- 音频质量的测试—音频分析



使用DPOxAUDIO音频分析模块进行I2S总线译码分析

• 音频测试2015 /2016

- 失真测量 - THD, THD +noise, & SINAD
- 频率范围 - 20 Hz - 20 KHz
- 低的残留失真

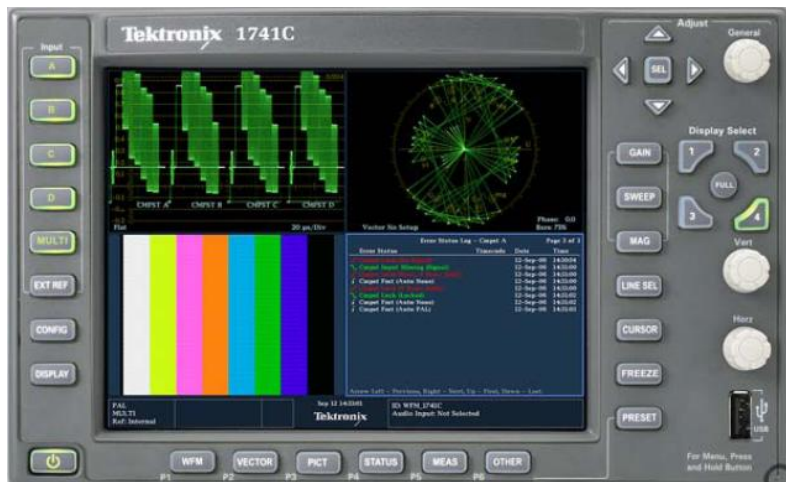
测量

- **THD .002% or -87 dB**
- **THD + n, .056% or -65 dB**
- **SINAD, +65 dB**
- 第二个源输出
- 输出阻抗180 degrees phase shifted from primary source
- Sine or Square Wave
- 50 ohm, 600 ohm, Hi-Z



音频分析仪

视频信号的测试—摄像头



模拟双制式波形监测仪 – 1741C

- 支持模拟复合(PAL 和NTSC)和分量视频, 带有自动格式检测
- 四路无源环通模拟复合信号输入
- 支持复合或分量视频波形显示, 提供黑白平衡检测和电平检测功能
- 支持模拟复合信号的矢量显示, 可将系统设置到特定的色度值
- 支持SCH显示, 提供彩色副载波/行同步定时以及在编辑信号源中实现彩色成帧匹配
- 支持定时显示, 可测量每路输入信号和参考信号之间的定时测量
- 提供VITC 或LTC 时间码解码和显示功能
- 提供纵向时间码幅度的LTC 波形显示和同步监视
- 提供视频屏幕报告(Video Session)、告警状态和出错日志记录, 有利于迅速识别和校正系统中的问题
- 提供四个分屏FlexVu 显示功能
- 提供以太网、USB 端口
- 提供32 项用户预置, 可迅速调出仪器的常用配置

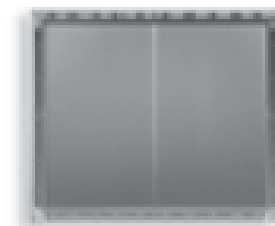
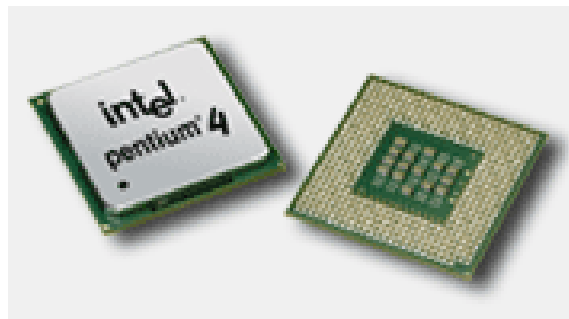
器件分析

electronic control units
entertainment subsystems
safety subsystems

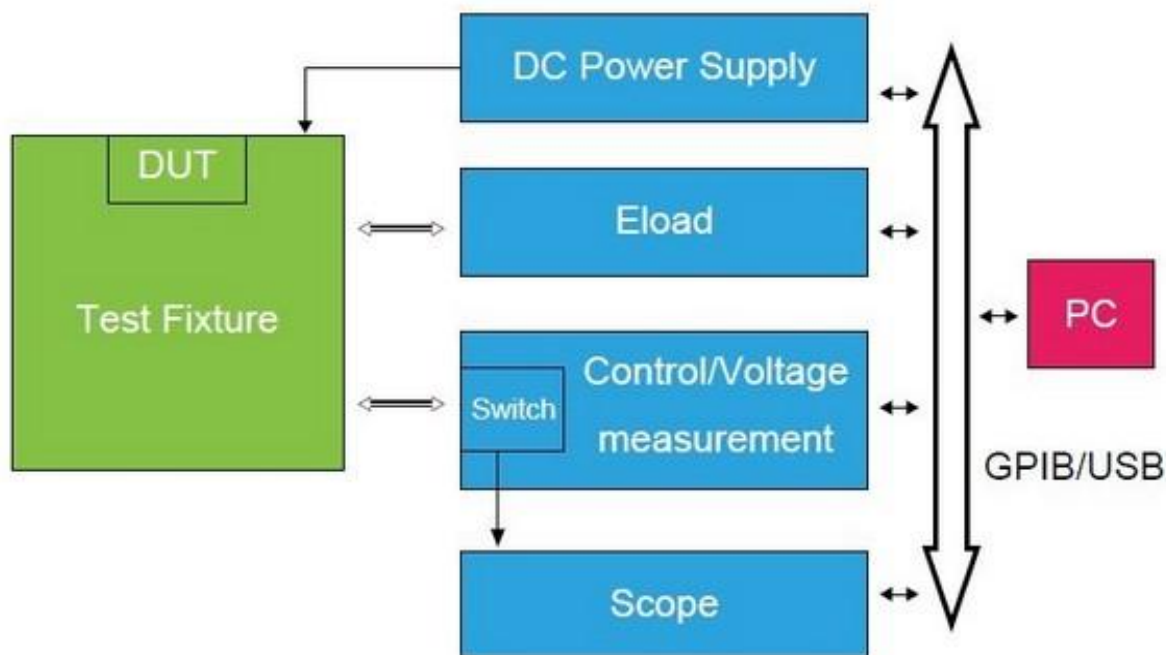


汽车中的电子元件

- 微处理器&微控制器
 - 单块集成电路(IC)上的CPU
 - 通常要求使用逻辑分析仪进行调试
 - 多条通道, 复杂的触发, 条件存储, 反汇编, 源代码级软件调试
 - MSO也可以用于某些调试任务
 - 例如: PC BIOS硬件检验和调试
 - 芯片上计算机
 - MSO通常对调试就足够了
 - 混合信号采集, 信号数量有限
 - 有效地补充后台调试器
- 各种功能IC
 - A/D、电源管理、
- 新能源: 功率器件 (半导体器件)
- 各种传感器



DC-DC模块测试—传统的方法



- 系统组成：程控精密直流电源、程控直流电子负载、数据采集系统、示波器、工控电脑等
- 缺点：
 - 系统仪器多
 - 编程复杂
 - 时序难以控制
 - 效率低
 - 成本高

DC-DC模块测试—源表的重要应用

DC-DC转换器测试

DC-DC转换器将一个直流电压电平(V_{IN})转换为另一个直流电压电平(V_{OUT})。在汽车电子产品中都使用DC-DC转换器。在这些设备中，必须采用升压或降压方法对电源进行稳压，为内部电路供电。吉时利数字源表源测量单元（SMU）非常适合这类DC-DC转换器测试：

- 利用两个源测量单元（SMU）或者一个双通道源测量单元（SMU），可以进行各种直流I-V测试
- 源测量单元（SMU）可以用作源和负载，并提供多种电流和电压源和负载

因此，吉时利数字源表可以简化有关测试，参见下面图1。

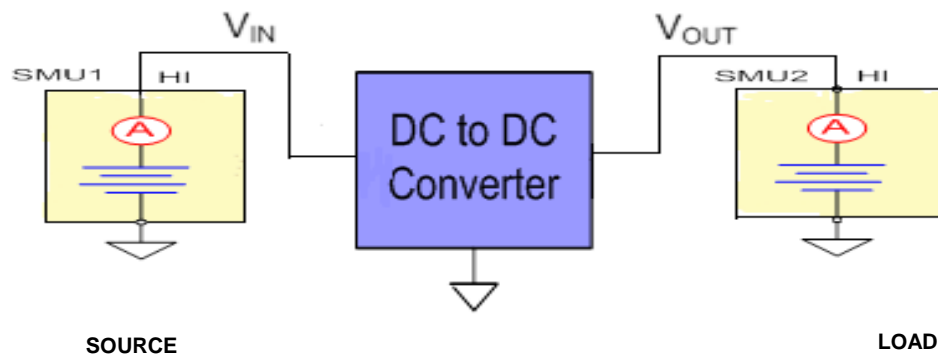


图1：在DC-DC转换器I/V特性分析中使用的双通道源测量单元（SMU）

PCT半导体器件参数分析仪-370/371的最佳替代者

参数分析系统配置是功率器件特性分析的完整分析方案，包括高质量仪器、电缆、测试夹具和软件。提供7种配置，每种配置都具有快速检查器件基本参数（例如击穿电压）的实时跟踪模式和提取精密器件参数的完全参数模式。参数曲线跟踪仪配置的构建块法具有易于升级和客户可重配置的优点以满足不同测试需求。

- 可设定的功率大小:
 - 从200V 到3kV
 - 从1A 到100A
- 宽度动态范围:
 - 从uV 到3kV
 - 从fA 到100A
- 电容-电压测量方式:
 - $\pm 400V$ 多频C-V
 - 200V斜坡速率C-V
 - 20V极低频（VLF）C-V
- 直流或脉冲I-V至50 μs
- 高电压和高电流通道的具有24bit精密模数转换器和18bit高速（1 μs ）数字转换器
- 测试管理软件包括用于实时控制的跟踪模式和用于参数提取的参数模式



Configuration Selector Guide

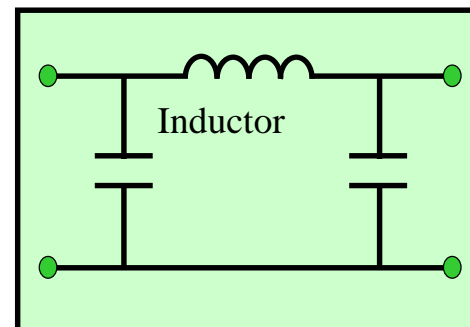
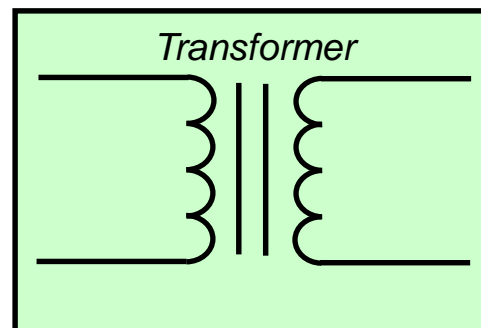
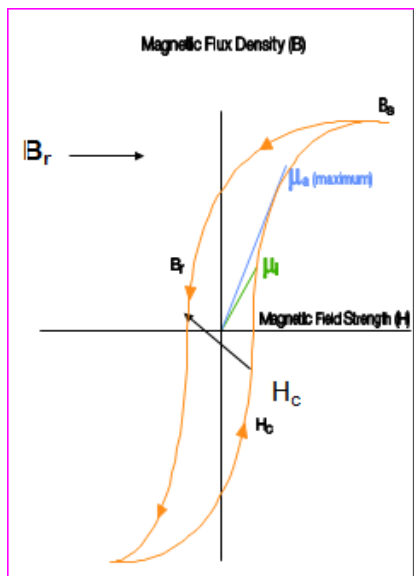
Model ¹	Collector/ Drain Supply ²		Step Generator Base/Gate Supply	Auxiliary Supply
	High Voltage Mode	High Current Mode		
Low Power 2600-PCT-1	200 V/10 A	200 V/10 A	200 V/10 A	N/A
2600-PCT-2	200 V/10 A	40 V/50 A	200 V/10 A	200 V/10 A
High Current 4200-PCT-2 plus C-V	200 V/1 A	40 V/50 A	200 V/1 A	200 V/1 A
2600-PCT-3	3 kV/120 mA	200 V/10 A	200 V/10 A	200 V/10 A
High Voltage 4200-PCT-3 plus C-V	3 kV/120 mA	200 V/1 A	200 V/1 A	200 V/1 A
High Current and High Voltage 2600-PCT-4	3 kV/120 mA	40 V/50 A	200 V/10 A	200 V/10 A
4200-PCT-4 plus C-V	3 kV/120 mA	40 V/50 A	200 V/1 A	200 V/1 A

1. Contact your Keithley field applications engineer for custom configurations.

2. Add a 2651A to increase High Current Mode to either 50A or 100A.

功率驱动时无源器件—磁性器件测量

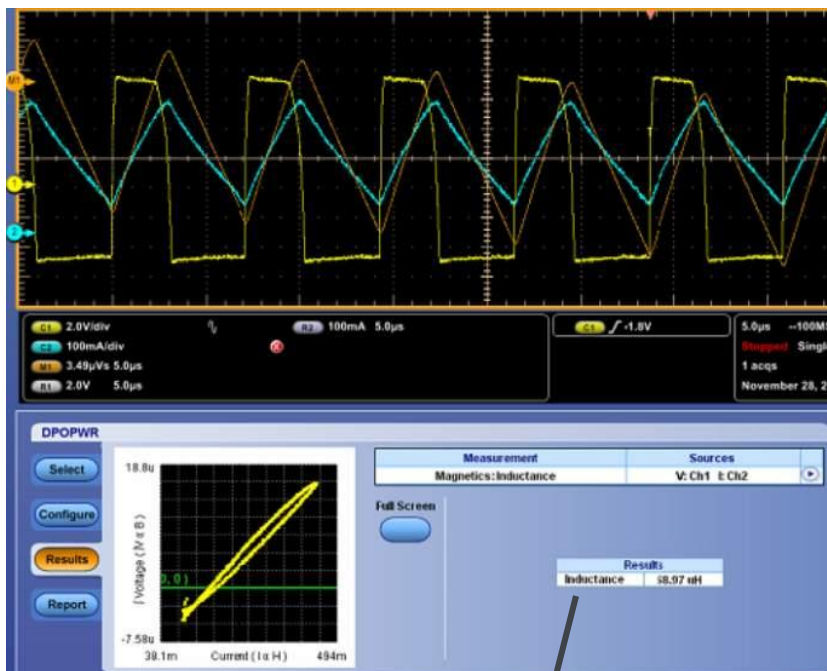
- 常规测量:
 - 电感
 - 磁损 (磁芯损耗 + 铜损)
 - 磁特性
- 专注于电感和变压器



输入输出滤波器

磁性器件测量

电感测量



测量的电感值= 58.97 μ H

磁损耗

铁芯损耗；涡流损耗；铜损



磁损耗= 108.7mW

标准、规范的符合性测试

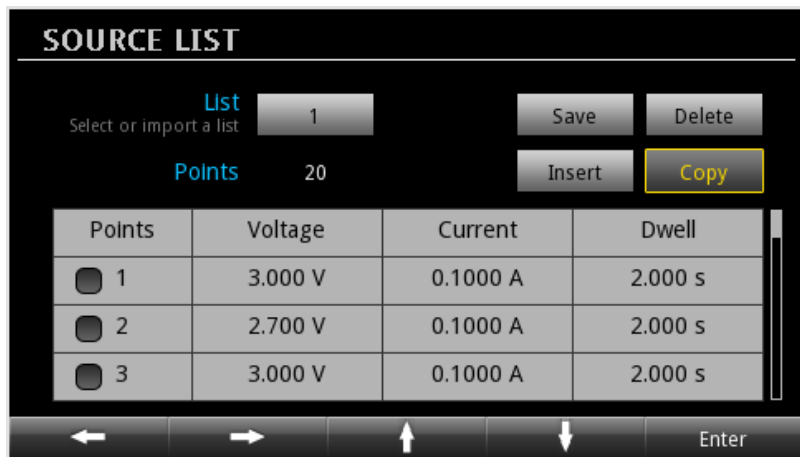


汽车电子中的一些标准

- 汽车电子电性能测试技术--（基于ISO 16750-2标准）
 - ISO16750-2：道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分：电气负荷
 - 4.2直流电压测试
 - 4.3过电压测试
 - 4.4叠加交流电压测试
 - 4.5电压慢速下降及上升测试
 - 4.6电压断续测试
 - 4.7电压反极性测试
- 汽车电子零部件EMC测试标准及测试技术
 - 道路车辆-由传导和耦合引起的电磁骚扰 第2部分：沿电源线的电瞬态传导
 - ISO 7637-脉冲波1
 - ISO 7637-脉冲波2a/2b
 - ISO 7637-脉冲波3a/3b
 - ISO 7637-脉冲波4
 - ISO 7637-脉冲波5

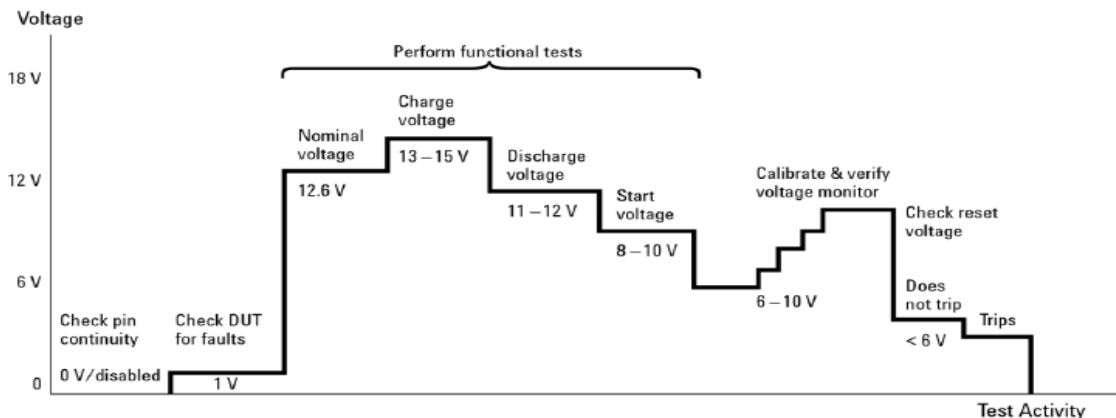


2280高精度电源—PMS 2280S 列表模式的作用



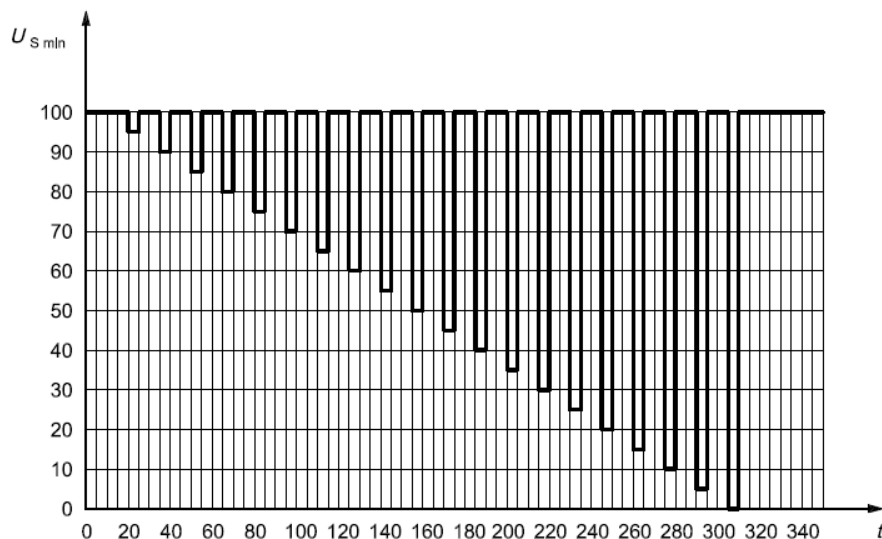
一个列表最多可以存储99个点
列表执行过程中，无需指令或其他人工干预，
电源按照电压顺序和停留时间自动执行列表。
同时可以每一步执行结束时，输出触发信号

作用：提高测试效率，简化控制步骤，生成快速电压变化波形



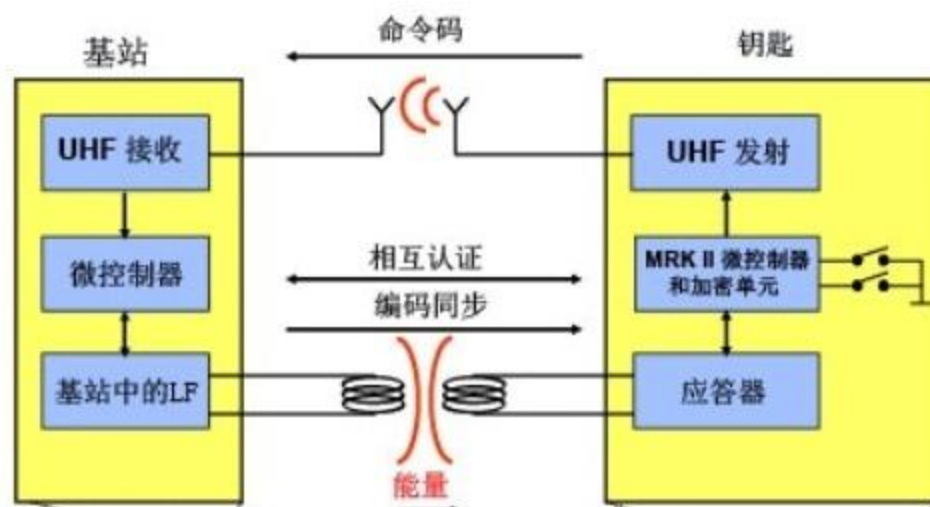
2280S 应用， 利用List模式进行电压拉偏测试

- 测试原理， 检验产品的正常工作电压范围， 并通过极限测试验证产品的掉电电压值
 - 汽车电子， 消费电子产品， 功放测试， 芯片测试
 - 电压每次下降10%， 同时测量电流， 直到电流值下降为0
 - 带有List模式的电源可以高效完成此类测试任务， 配合触发入/出功能， 大幅度提升测试效率



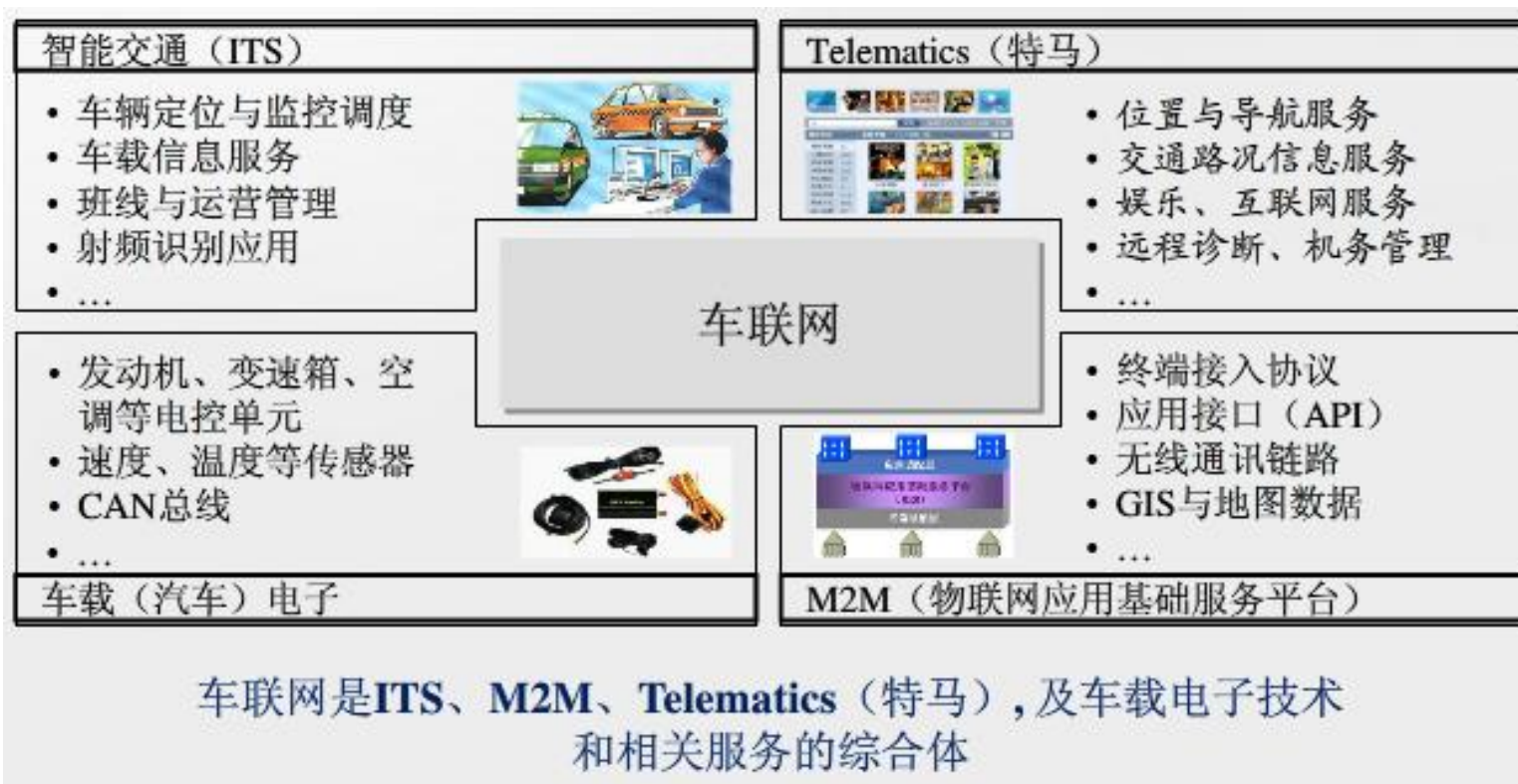
- 具备触发输入和触发输出功能，
- 可以同步其他仪表进行测量， 提高测试效率

汽车电子中的射频信号测试



车联网的发展

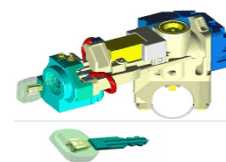
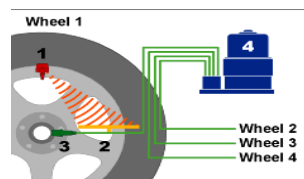
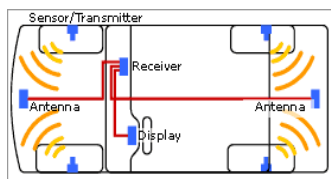
车联网（Internet of Vehicles）是由车辆位置、速度和路线等信息构成的巨大交互网络。通过[GPS](#)、[RFID](#)、[传感器](#)、摄像头[图像处理](#)等装置，车辆可以完成自身环境和状态信息的采集；通过[互联网](#)技术，所有的车辆可以将自身的各种信息传输汇聚到中央处理器；通过[计算机](#)技术，这些大量车辆的信息可以被分析和处理，从而计算出不同车辆的最佳路线、及时汇报路况和安排信号灯周期



倒车雷达、TPMS测试、防盗器和遥控钥匙

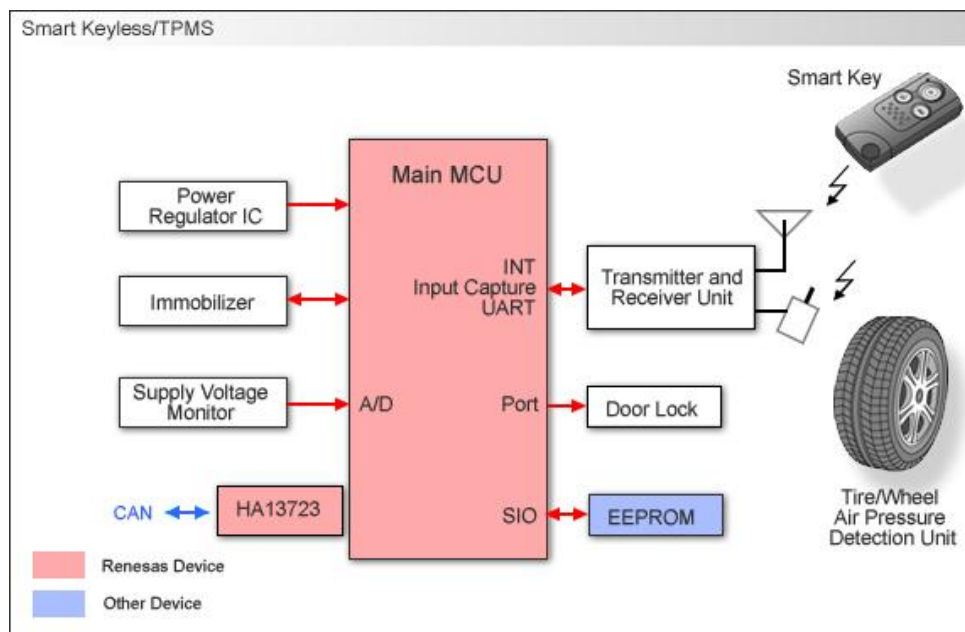
测试内容

- 轮胎压力监测系统
- 遥控钥匙
- 防盗器和无键进入系统
- ...

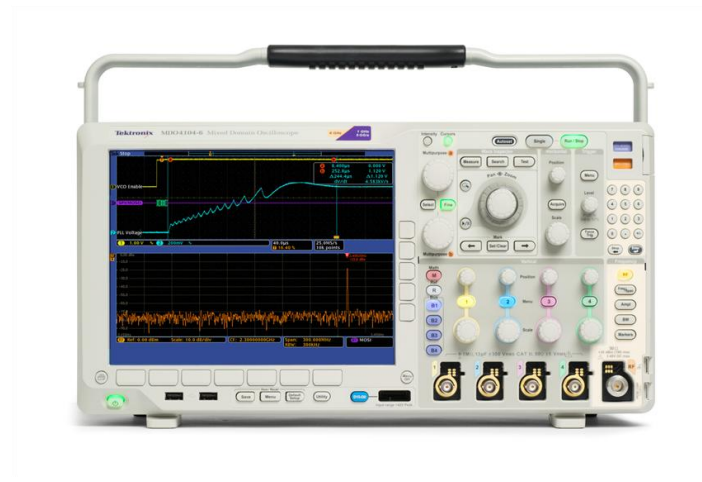
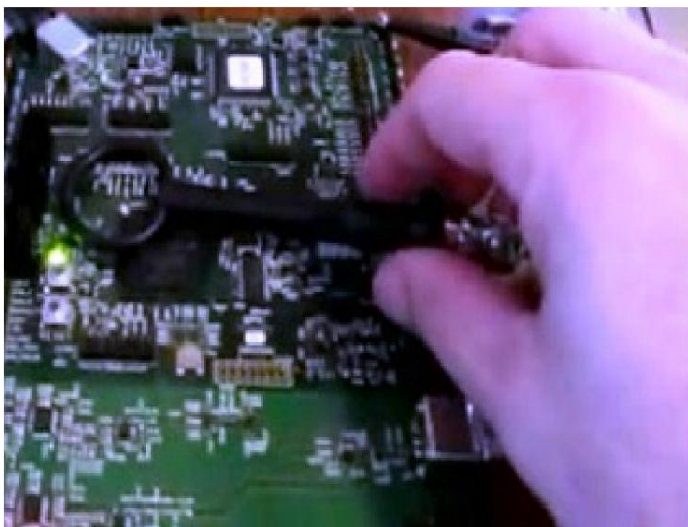


测量挑战

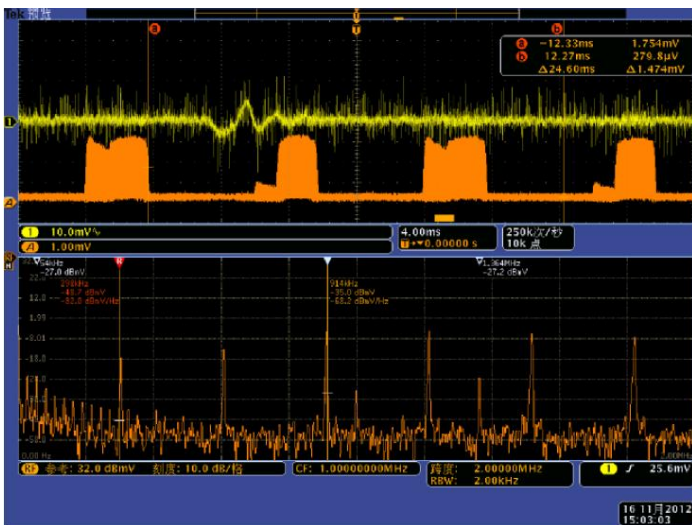
- 数字电路、ECU和RF信号的综合调试
- 模拟射频基带信号
- 总线解码和触发，分析系统工作时序
- 射频信号和基带信号的相关分析



汽车部件的EMI的诊断分析、测试



MDO混合分析仪



电子部件的EMI定性分析

汽车电子中的射频系统测量要求

基带信号的数据时序分析

基带数据序列分析: 主要针对数据序列分析数据的正确性或波形的恶化, 可以确保正常调制数据, 也可以用于验证灵敏度或解调门限, 如果已知编码方式 (例如常用的 Manchester 编码), 还可以验证编码的正确性。

射频信号的性能测量

测试主要包括功率和频谱测试, 调制质量测试, 杂散辐射等。功率和频谱测试: 主要验证设备发射足够的功率电平, 保证传输距离, 同时有正确的调制波形, 频谱干扰成分较少。

射频信号的调制特性分析及射频编码解调

调制质量分析: 主要针对数字调制测试调制精度, 调制指数等, 确保设备有正确的调制方式, 调制指数和精度符合要求, 不影响通信质量。

混合域 (基带和射频) 时间相关性分析

- 时域的数据信息和频谱解调后的数据信息对比, 分析可能的数据误差。
- 基带和射频的以及协议的定时分析

信号的产生及灵敏度测试

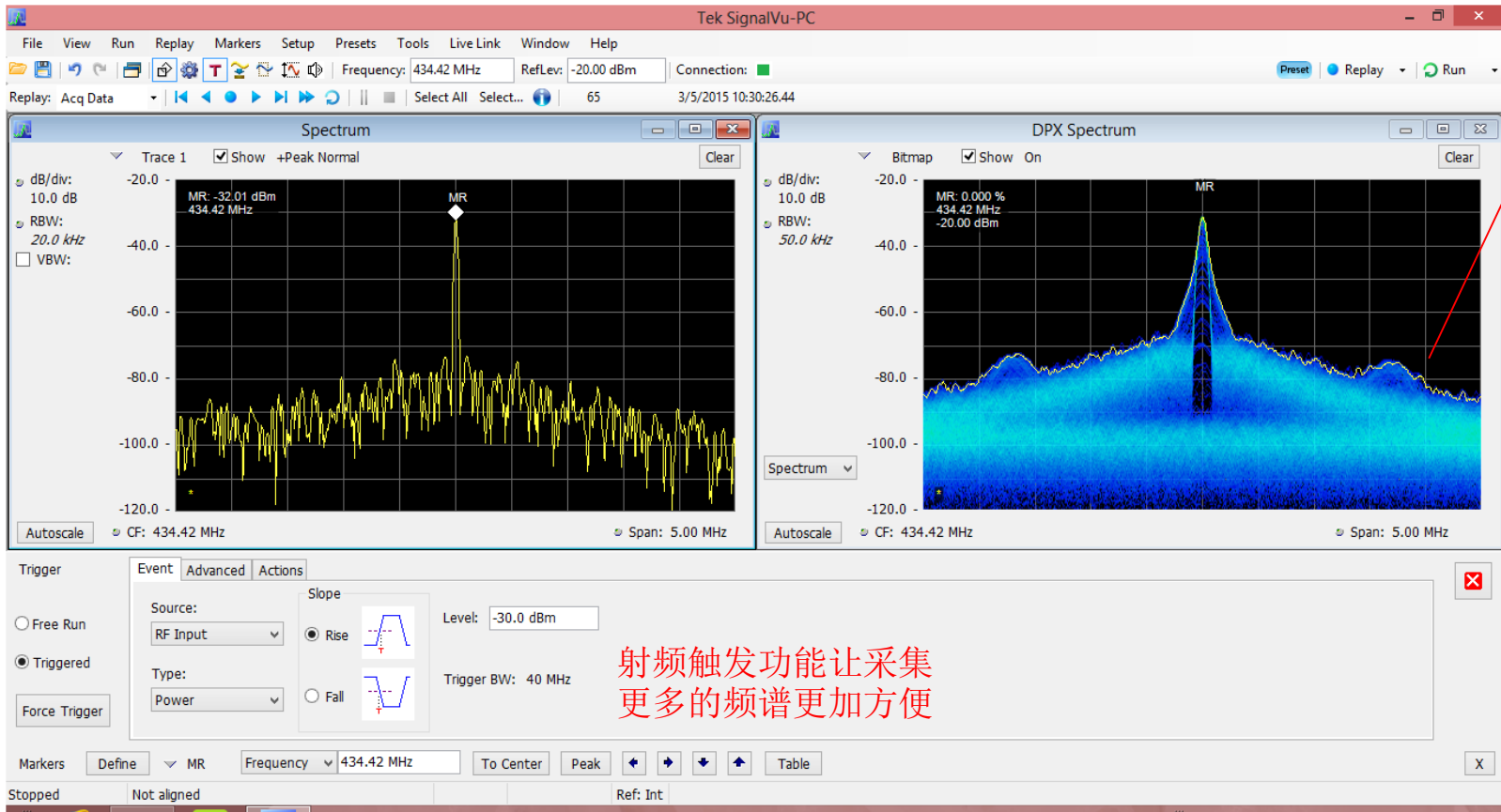
射频模块一般由微控制器、高频接收电路、低频发射电路、液晶显示电路及总线传输电路组成。接收部分测试主要针对接收电路性能, 包括灵敏度, 最高接收电平, 抗干扰特性, 保证通信距离, 避免错误识别等。针对接收机测试可以通过矢量信号源产生测试信号给接收机 (由于数据源产生方式通常保密, 所以可以用通用单音调制或数字伪随机码数据代替), 在接收端通过示波器更加直观地观察波形

诸如钥匙等的耗电测试

应答器要求功耗极低, 才能保证钥匙的长期使用, 因为 99% 时间并不工作, 所以低功耗设计很重要, 一般, 非工作时段工作电流通常低到 100 nA, 而正常发射时段工作电流可达到 10-12 mA。

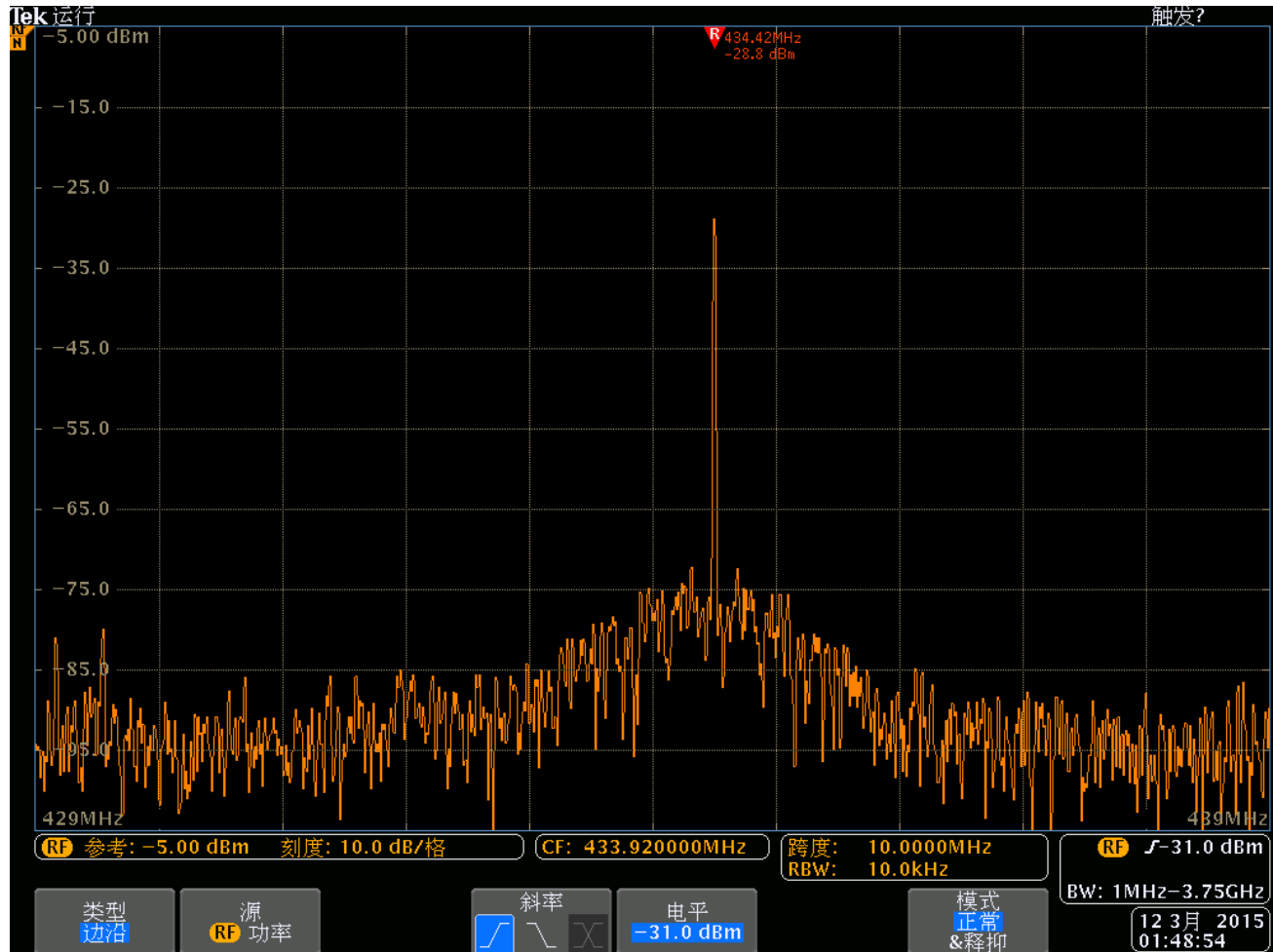


汽车电子PKE/RKE的测量技术—射频参数测量



- RSA306分析仪测量的RKE射频参数
- 左边是通常的频谱仪显示，而右图是DPX快速显示，明显看出，DPX能显示更多的频谱（颜色深）
- 分析仪具有射频触发能力，对脉冲的射频信号能方便的采集到信号，对PKE来说更为重要

汽车电子PKE/RKE的测量技术—射频参数测量



MDO4000C-3测量的PKE/RKE射频结果

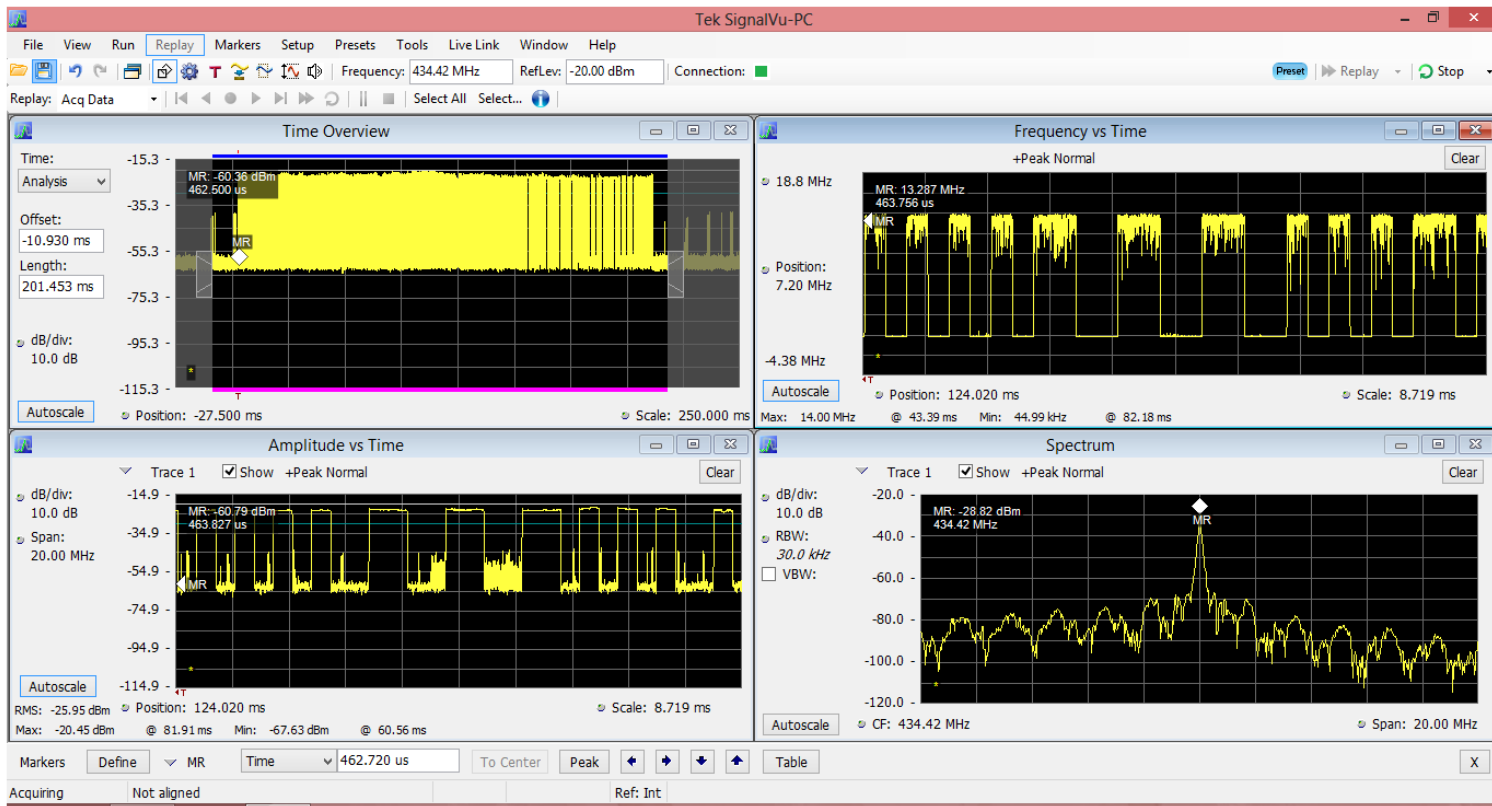
汽车电子PKE/RKE的测量技术—射频调制分析

捕捉一个数据帧
200ms

射频的幅度解调

射频的频率解调

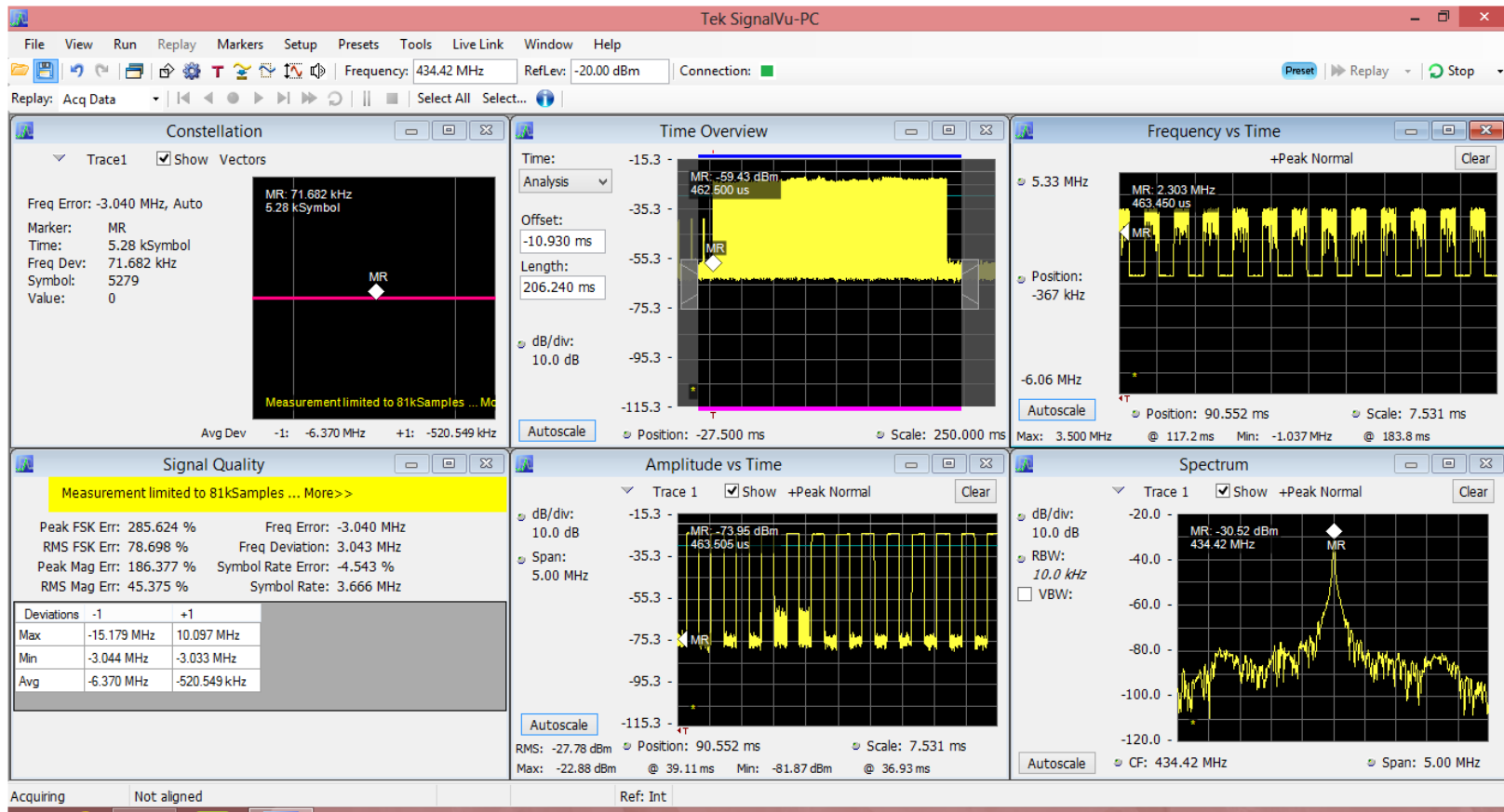
RKE频谱



泰克的信号分析仪可以对射频的调制特性进行测试，同时可以观察到更多的射频信号信息，如：射频包含的数据调制解调，了解到数据波形

汽车电子PKE/RKE的测量技术—射频调制分析

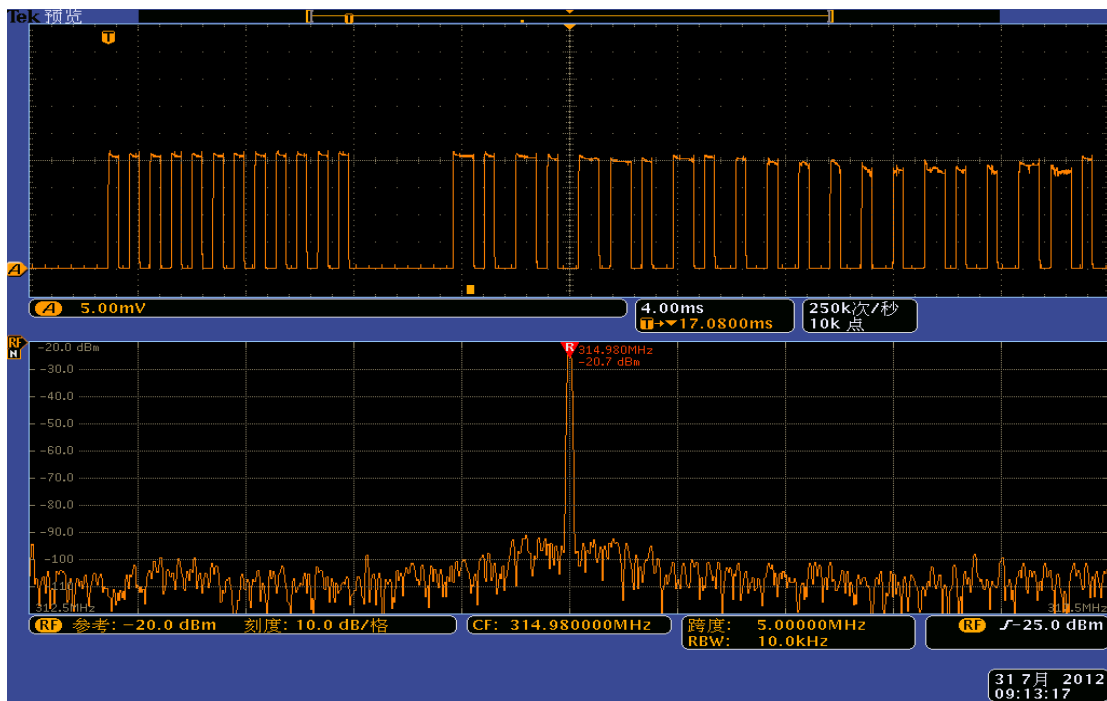
2FSK
AK的
解调
测试



泰克的信号分析仪更多、更通用的数据调制分析能力，能让工程师分析射频的调制特性

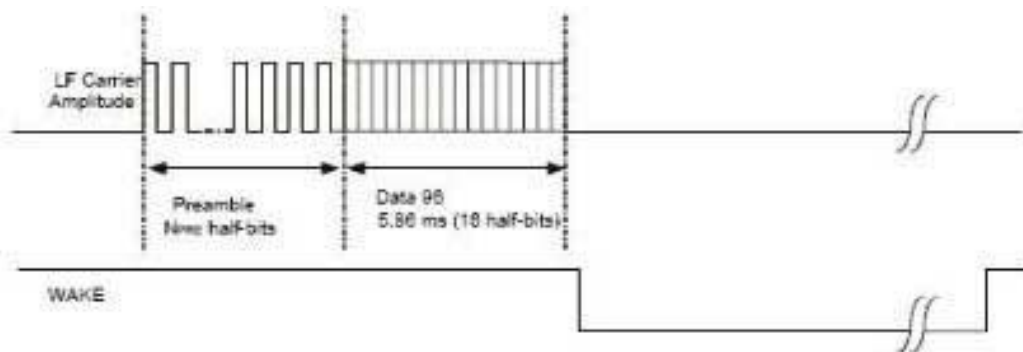


汽车电子PKE/RKE的测量技术—射频调制分析

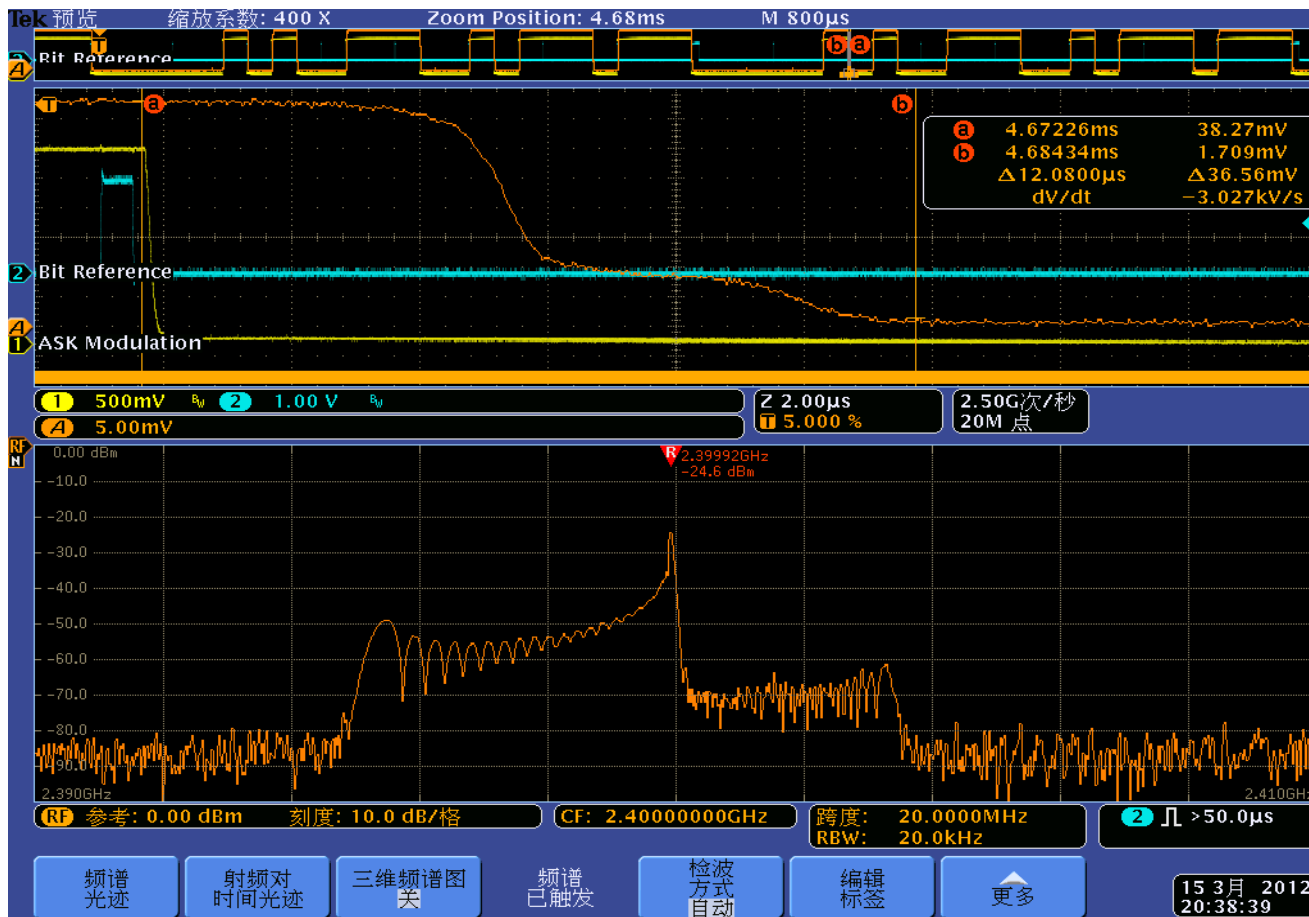


- MDO4000C-3/6同时可以捕捉射频、模拟信号和数据信号，并同时可以解码协议如CAN/SPI/LIN。
- MDO4000C-3/6也可以对射频信号进行幅度、频率、相位的波形解调，对于PKE/RKE就可以同时看到射频、协议和ASK/FSK等的数据码波形

MDO测试ASK导码及数据码定时



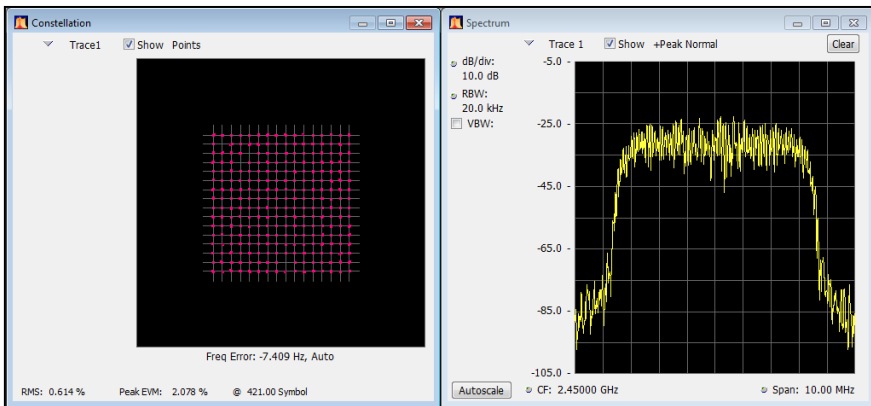
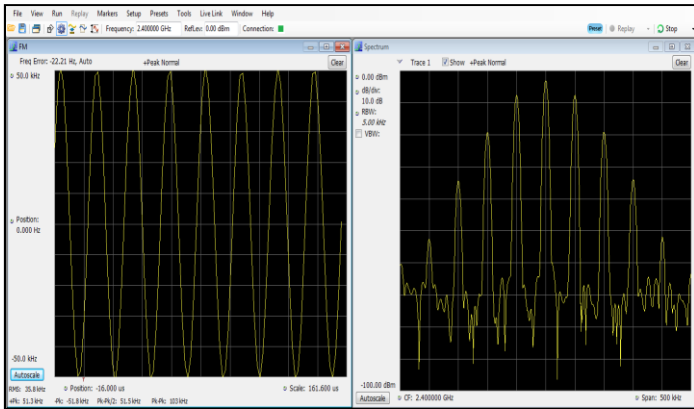
汽车电子PKE/RKE的测量技术-基带和射频混合域相关分析



MDO4000C-3可以同时捕捉：射频、射频调制解调、CS信号等，还可以增加SPI\CAN等协议信号

MDO 发现 ASK 射频调制信号与基带信号时延超标

汽车电子PKE/RKE的测量技术 —信号产生及灵敏度测试



- TSG4100A模拟和矢量信号源

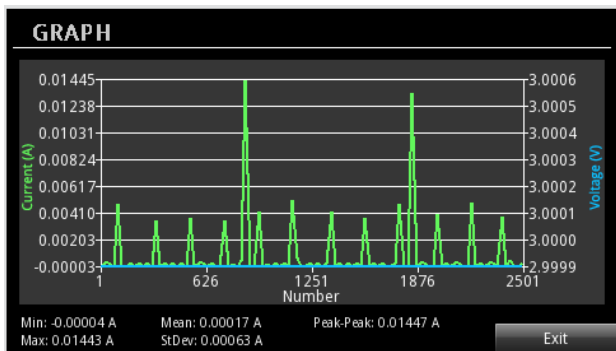
- 模拟调制

Amplitude Modulation
Frequency Modulation
Phase Modulation
Pulse Modulation

- 矢量调制(Dual Baseband Gen)

汽车电子PKE/RKE的测量技术—钥匙耗电分析

- 动态电流的捕捉 设置最快采样速率分析电流波形:

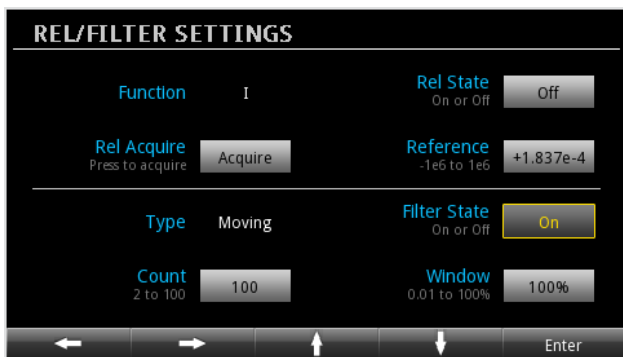


DATA SHEET

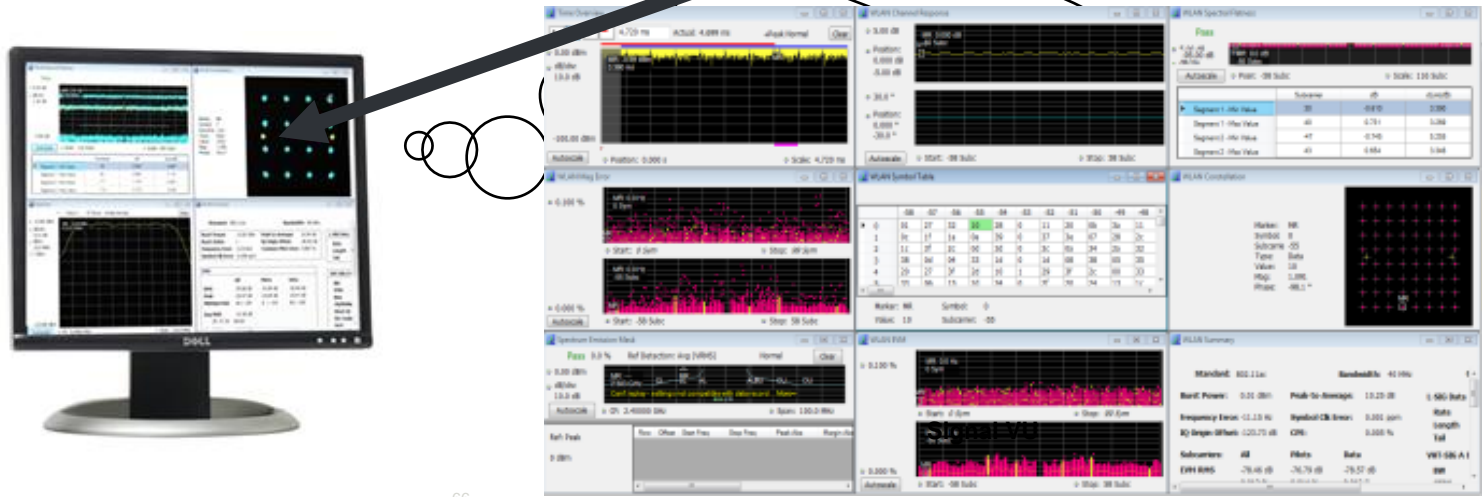
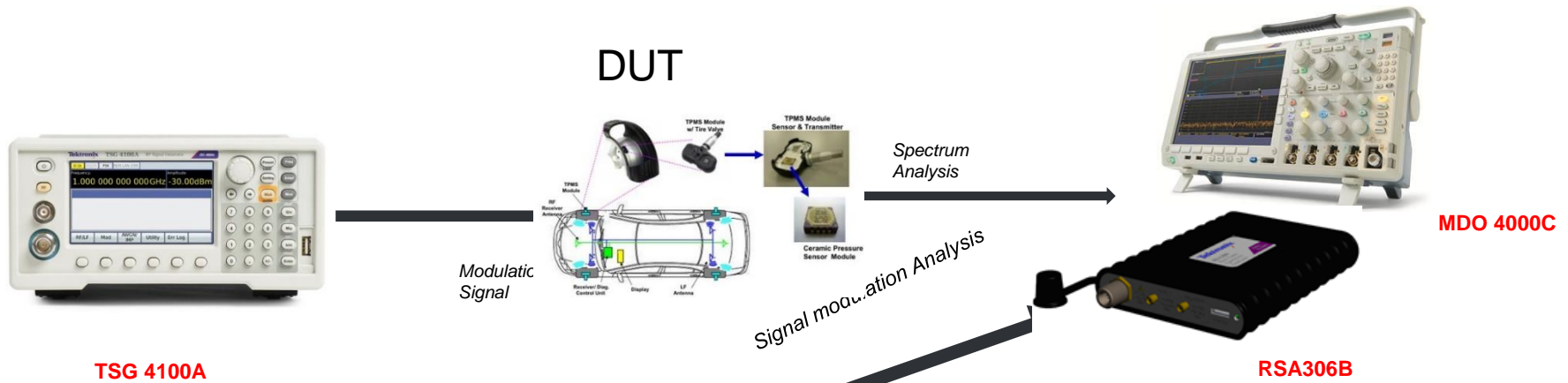
Points	Time	Voltage	Current
1113	05/09 16:34	+003.0000 V	+000.2999 mA
1114	16:34:42.43	+003.0000 V	+000.1779 mA
1115	16:34:42.43	+003.0000 V	+000.0670 mA
1116	16:34:42.43	+003.0000 V	+000.0375 mA
1117	16:34:42.43	+003.0000 V	+000.0264 mA
1118	16:34:42.43	+003.0000 V	+000.8656 mA
1119	16:34:42.43	+003.0000 V	+005.1874 mA
1120	16:34:42.43	+003.0000 V	+001.6382 mA

Exit

- 待机电流的平均值 打开Filter功能，可以得到非常稳定的读数

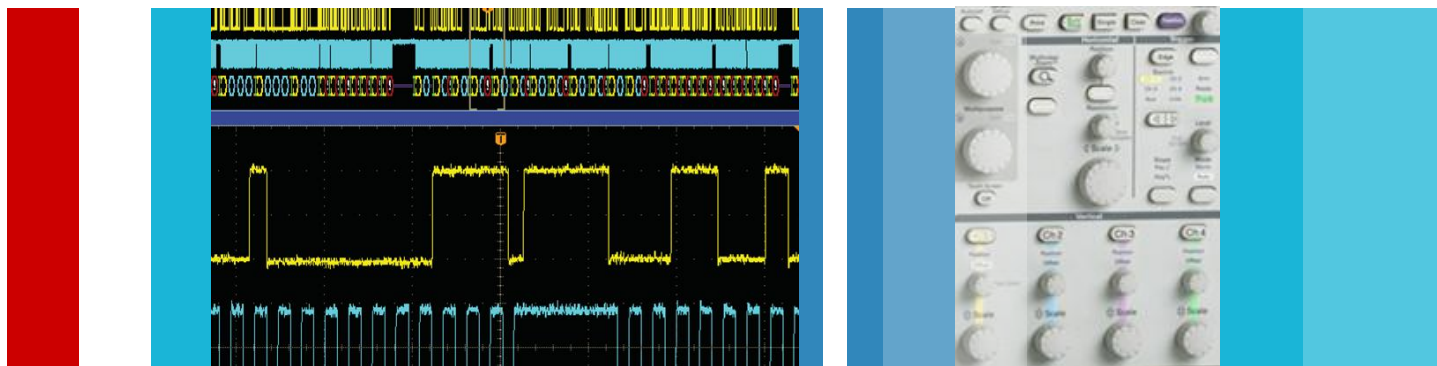


汽车中的无线连通性测试—车联网、蓝牙、RFID



泰克方案

完整的汽车电子系统及部件功能测试方案



泰克示波器选择平台



	DPO7000C Series	MSO/DPO5000 Series	MDO4000C Series	DPO4000B Series	MDO3000 Series
带宽	500 MHz to 3.5 GHz	350 MHz to 2 GHz	100 MHz to 1 GHz	100 MHz to 1 GHz	100 MHz to 1 GHz
采样率	5 GS/s to 40 GS/s	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
通道	4 analog	4 analog 16 digital (MSO)	4 analog, 16 digital, 1 RF	2, 4 analog, 16 digital (MSO)	2, 4 analog, 16 digital, 1 RF
记录长度(Max)	50 M – 500 M	12.5M – 250 M	20 M	20 M(5M)	10 M
显示	12.1 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	10.4 inch, XGA color	9.0 inch, WVGA color
并行总线	No	Yes (MSO Series)	Yes	Yes (MSO Series)	Yes (option)
串行总线分析	I ² C, SPI, CAN, LIN RS-232/422/485/UART, USB 2.0	I2C, 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 FlexRay / USB 1553
扩展分析能力	MIPI® D-PHY DSI-1 and CSI-2, Ethernet, and USB 2.0 Compliance Testing, Jitter, Timing, Eye Diagrams, Power, DDR Memory Bus Analysis, Wideband RF	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 BW Updates

MDO3000 系列可定制混合域示波器



无限灵活

- 六合一
- 完全定制，完全可升级
- 包含时域和频域

	MDO3104 MDO3102	MDO3054 MDO3052	MDO3034 MDO3032	MDO3024 MDO3022	MDO3014 MDO3012
带宽	1 GHz	500 MHz	350 MHz	200 MHz	100 MHz
模拟通道数	2 or 4				
模拟通道采样率	2.5 GS/s (3 or 4 ch) 5 GS/s (1 or 2 ch)		2.5 GS/s (All ch)		
记录长度	10 M				
波形刷新率	>280,000 wfms/s		>235,000 wfms/s		
频谱分析仪	标配: 9kHz 到示波器模拟带宽 可选: 9kHz to 3GHz				
数字通道	可选: 16 数字通道+ P6316 16-ch 逻辑探头 500 MS/s (2.5 ns 分辨率), 8.25 GS/s (121.2 ps 分辨率), 数字 MagniVu™				
AFG	可选: 1 通道输出, 13 中预置波形, 任意波形				

MDO4000C混合域分析仪系列



- 多达**21**条通道，全面查看系统特点
- 示波器、频谱仪完美集成
- 在一台仪器中查看时间相关的模拟信号、数字信号和**RF**信号
- 多达**4**条总线的分析

型号	模拟通道	模拟带宽	数字通道	RF 通道	RF 频率范围
MDO4014C-3	4	100 MHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4034C-3	4	350 MHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4054C-3	4	500 MHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4054C-6	4	500 MHz	16	1	9 kHz – 6 GHz
MDO4104C-3	4	1 GHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4104C-6	4	1 GHz	16	1	9 kHz – 6 GHz

MSO/DPO5000B系列示波器



	MSO/DPO5034B	MSO/DPO5034B	MSO/DPO5104B	MSO/DPO5204B
带宽	350 MHz	500 MHz	1 GHz	2 GHz
采样率	5 GS/s (2通道和4通道)		10 GS/s (2通道), 5 GS/s (4通道)	
数字通道	MSO型号有16条通道, DPO型号提供客户升级选项			
波形捕获速率	250,000波形/秒 (所有通道上>200,000)			
记录长度	25 M点 (所有通道) 125 M点 (选配)		25 M点 (所有通道), 50 M (2通道) 125 M点, 250 M 2通道 (选配)	
FastFrame	多达290,000个内存段及>310,000捕获速率			
捕获和搜索	可视触发和Wave Inspector®及智能搜索和标记			
显示器	10.4" (264mm) 彩色显示器, XGA分辨率, 触摸屏			
协议触发和解码	I²C, SPI, RS232, RS4xx, UART, CAN, LIN, FlexRay, 以太网, PCI-Express ¹ , USB 2.0, USB HSIC (选项)			
通过/失败测试	极限测试 (标配), 模板和串行数据一致性测试 (选项)			
PC存储器	Windows 7, 480 GB固态硬盘			
探头 <small>注: 仅解码</small>	2 GHz和1 GHz型号标配TPP1000 1 GHz, <4pF探头 500和350 MHz型号标配TPP0500 500 MHz, <4pF探头			



现为标配

泰克汽车电子的测量方案—模拟和矢量信号源

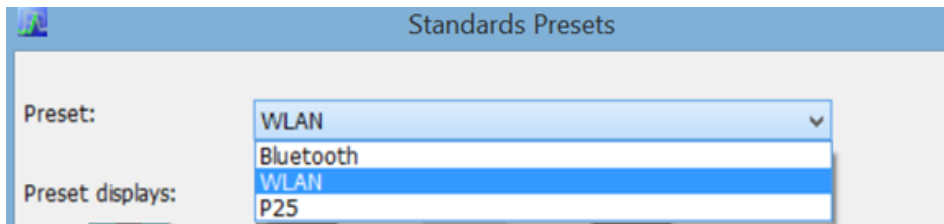
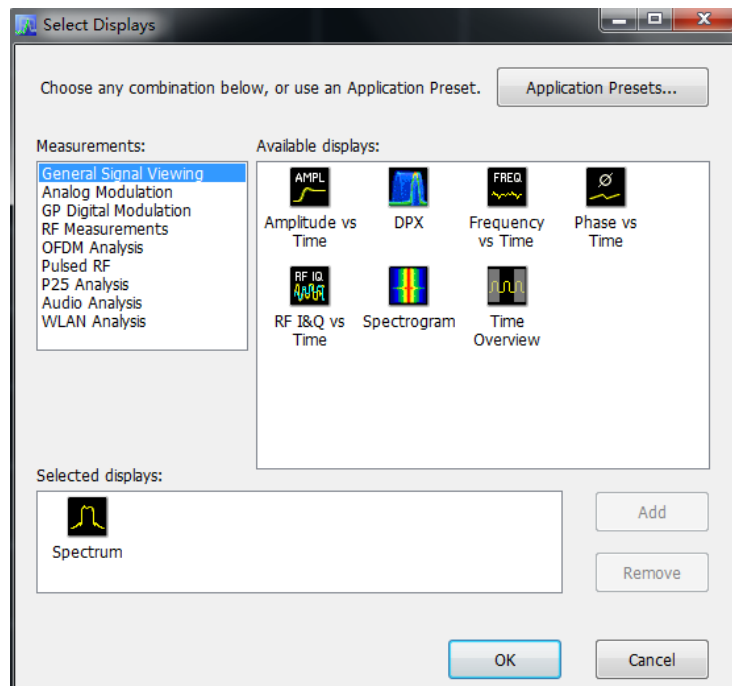
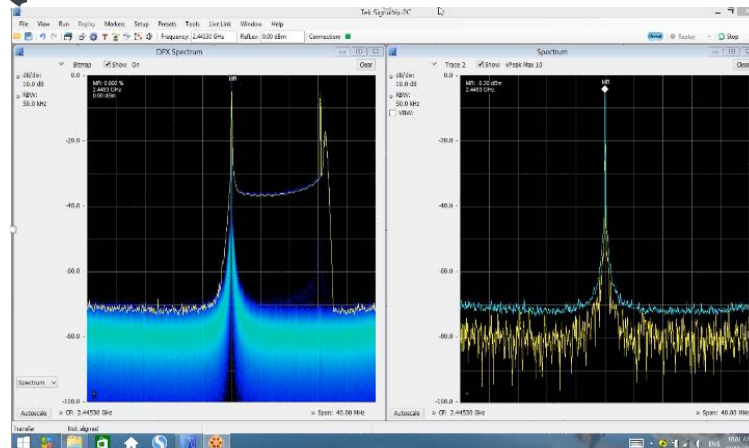
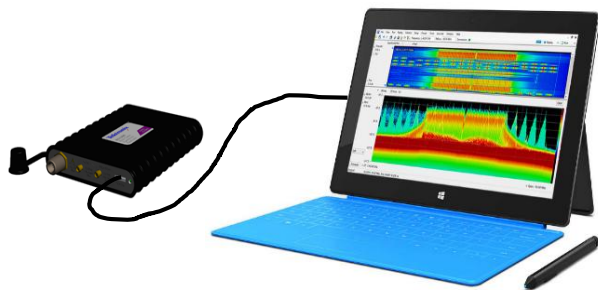


- 频率: True DC to 6GHz
- 幅度精度: $< \pm 0.4\text{dB}$ (TYP), 1GHz CW from +16 to -100dBm
- 最高200MHz的调制带宽 (最大RF调制带宽400M, $F_c < 2.5\text{GHz}$)
- 模拟和数字调制能力
- 高稳时基 OCXO ($< \pm 0.05\text{ppm/year}$)

型号	频率 (GHz)	频率精度 (Fc=1GHz)	相噪 (0dBm,1GHz @20KHz offset)	输出电平 (dBm)		矢量调制带宽 (内/外)	调制
				Min	Max		
TSG4102A	0 to 2	$\pm 52\text{Hz}$	-113dBc/Hz	-110	+16	6/200MHz	AM/FM/PM/Pulse ASK/FSK/PSK/Q AM/CPM/MSK/V SB/GSM/EDGE/T ETRA/NADC/W-CDMA/P-25/DECT
TSG4104A	0 to 4			-110	+16	6/200MHz	
TSG4106A	0 to 6			-110	+16*	6/200MHz	

RSA306B高性价比频谱分析仪

- 频谱仪
 - 通用频谱仪
 - **模拟调制分析**
 - 音频分析
 - 实时频谱仪显示DPX
- 矢量信号分析仪
 - 数字调制分析
 - 脉冲分析
 - ...
- 射频一致性测试（标准测试）
 - WLAN
 - BLUETOOTH
 - P25（数字对讲机-北美）



时基准确的保证—泰克计时器/频率计/分析仪



FCA3000 系列

400 MHz、3 GHz 和 20 GHz 型号



FCA3100 系列

400 MHz、3 GHz 和 20 GHz 型号



MCA3000 系列

27 GHz 和 40 GHz 型号

- 更精——业界领先的定时与频率分辨率
- 更快——极快的数据传送速度与吞吐量
- 超越同侪——第4代 定时器/计数器/分析仪
 - 独有的图形化分析模式
 - 更直观的操作方法



各种信号的仿真— AFG3000C函数信号源

	AFG2021	AFG3011C	AFG302xC	AFG305xC	AFG310xC	AFG325xC
通道	1	1	1 or 2			
正弦波频率	20MHz	10MHz	25MHz	50 MHz	100MHz	240MHz
方波频率	10MHz	5 MHz	25 MHz	40 MHz	50 MHz	120 MHz
其它频率	200KHz	100 kHz	500 kHz	800 kHz	1 MHz	2.4 MHz
脉冲/方波 沿时间	18ns	50 ns	9 ns	7 ns	5 ns	2.5 ns
任意波沿时间	20ns	80 ns	14 ns	10 ns	8 ns	3 ns
采样率	250MS/s	250 MS/s		Up to 1 GS/s		Up to 2 GS/s
幅度 (50 Ω load)	10 mV _{p-p} - 10 V _{p-p}	20 mV _{p-p} to 20 V _{p-p}	10 mV _{p-p} to 10 V _{p-p}		20 mV _{p-p} to 10 V _{p-p}	50 mV _{p-p} to 5 V _{p-p}
任意波存储深度	4X128KS	4X128KS				
显示	3.5"	5.6" TFT color LCD				
接口	GPIO, LAN, USB					



高性能的电参数测试 — 万用表系列



	DMM4020	2110	DMM4050/4040	2000/2100	2001/2010	2002
分辨率	5.5位	5.5位	6.5位	6.5位	7.5位	8.5位
基本量程直流电压的精度	0.015%	0.012%	4050: 0.0024% 4040: 0.0035%	2100 : 0.0038% 2000 : 0.0020%	0.0018%	0.0006%
测量功能	交流电压、电流，直流电压、电流，电阻，通断，二极管，频率	交流电压、电流，直流电压、电流，电阻，通断，二极管，频率、电容、TC/RTD	交流电压、电流，直流电压、电流，电阻，通断，二极管，频率，周期 4050:RTD, 电容	交流电压、电流，直流电压、电流，电阻，通断，二极管，频率，周期 2000:dB\dBm\TC 2100:RTD	交流电压、电流，直流电压、电流，电阻，频率，周期，TC/RTD 2010:接触电阻、比率，通断，二极管 2001: 尖峰电压	交流电压、电流，直流电压、电流，电阻，频率，周期，TC/RTD ,尖峰电压
分析模式	极限比较	极限比较	趋势，统计，直方图	无	无	无
扫描卡扩展	无	无	无	2000 : 10ch	10CH	10CH
接口	RS232	USB、GPIB	RS232/USB/GPIB	2100 : USB 2000 : GPIB	RS232/GPIB	GPIB

系统、功能测试 — 数采和开关系列

产品	产品描述	插槽数	插入卡	测量分辨率	低频通道数 (最多)	通道/秒	最高频率	连通性
2700	便携式/台式数据采集系统 内置 6 ½ 位数字万用表	2	多路复用器 开关矩阵 通用 RF 数字 IO 数模转换器	22 位	80 个 2 线多路复用器 96 个 2 线开关矩阵交叉点	250 通道/秒	3.5 GHz	GPIB、RS-232 ExcelINX
2701	12 种插卡可供选择 板上温度参考	2		22 位	80 个 2 线多路复用器 96 个 2 线开关矩阵交叉点	500 通道/秒	3.5 GHz	LAN、RS-232 ExcelINX
2750	台式数据采集系统 内置 6 ½ 位数字万用表 12 种插卡可供选择 板上温度参考	5		22 位	200 个 2 线多路复用器 240 个 2 线开关矩阵交叉点	2500 通道/秒	3.5 GHz	GPIB、RS-232 ExcelINX

型号	描述	通道数	连接器	最大电压	最大电流	备注
7700	差分多路复用器 带CJC	20	接线柱	300VDC	1A	2- or 4-wire, 2 Current Channels, 3A Max
7701	低压差分多路复用器	32	50-pin D-sub 25-pin D-sub	150VDC	1A	Common Side Ohms configuration 2- or 4-wire
7702	差分多路复用器	40	接线柱	300VDC	1A	2- or 4-wire, 2 Current Channels, 3A Max
7703	高速差分多路复用器	32	Dual 50-pin D-sub	300VDC	0.5A	Reed Relays, 2- or 4-wire
7705	控制模块	40	Dual 50-pin D-sub	300VDC	2A	SPST Switches
7706	I/O 模块	20AI、6 DO 2 AO、1 CT	接线柱	300VDC	1A	Automatic CJC, +/- 12V Anal. Out Max Count = 4billion+
7707	多路复用器 – 数字 I/O 模块	10 Analog In 32 Digital I/O	50-pin D-sub 25-pin D-sub	300VDC (analog) 33VDC (digital)	1A (analog) 0.1A (digital)	Configurable DIO
7708	差分多路复用器带CJC	40	接线柱	300VDC	1A	Automatic CJC, 2- or 4-wire
7709	6x8 矩阵	48 Crosspoints	50-pin D-sub 25-pin D-sub	300VDC	0.5A	25-pin D-sub for easy expansion
7710	长寿命差分多路复用器	20	接线柱	60VDC	0.1A	Automatic CJC, High Speed 10 billion+ operations
7711	2Ghz, 50 Ohm RF 模块	Dual 1x4	SMA	60VDC	0.5A	Max power = 10W/channel <300ps Rise Time
7712	3.5Ghz, 50 Ohm RF 模块	Dual 1x4	SMA	42VDC	0.5A	Max power = 10W per channel <200ps Rise Time



供电、老化、寿命测试—DC程控型电源



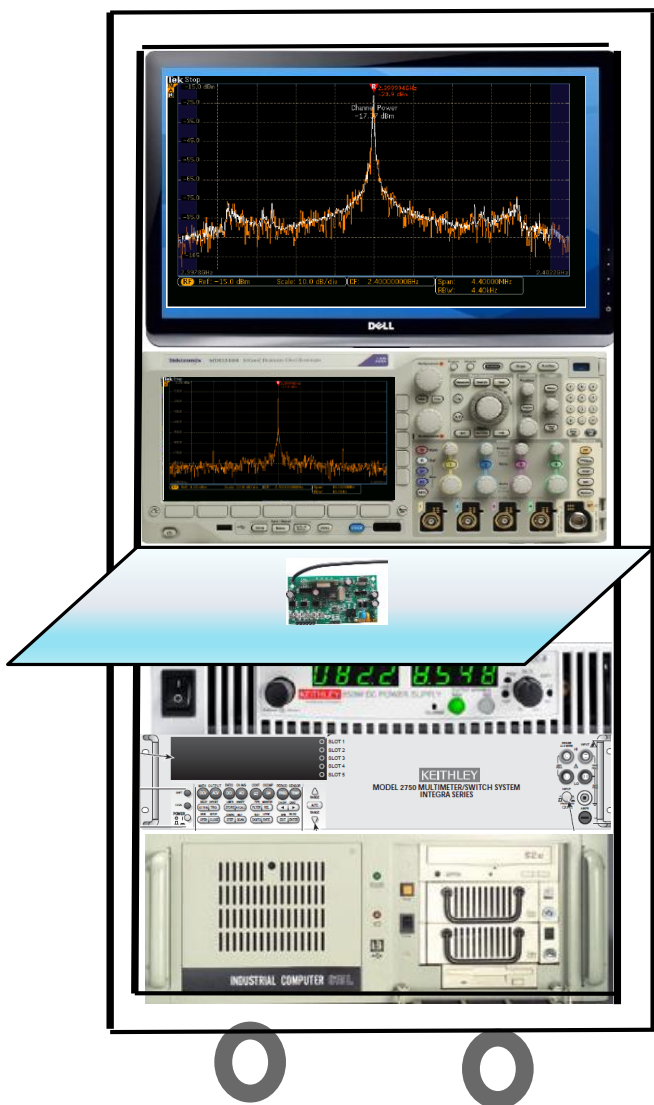
特点	PWS4000 和 2200 系列	2220/G	2230/G	2260B	2268	2280S
通道	1	2	3	1	1	1
电压	20V/30V/32V/60V/72V	Ch 1&Ch 2:30V	Ch1&Ch 2: 30V, Ch 3: 6V	30/80	20V, 40V, 60V, 80V, 100V和 150V	30/80
电流	5A/5A/3A/2.5A/1.2A	Ch1&Ch 2: 1.5A	Ch1&Ch 2: 1.5A, Ch 3: 5A	26/72/13.5/27	42A, 21A, 14A, 10.5A, 8.5A和 5.6A	26/72/13.5/27
功率	80--150W	45W/channel; 90W total	Ch 1 and CH 2: 45W Ch 3: 30W, 120W total	360W/720W	850W	360W/720W
纹波、噪声	<1mV _{RMS} , <4mV _{P-P}	<1mV _{RMS} , <3mV _{P-P}		<1mV _{RMS} , <3mV _{P-P}	50mV--100mVp-p	<1mV _{RMS} , <3mV _{P-P}
分辨率	1mV, 0.1mA	1mV, 1mA		1mV, 1mA	2.4mV,5.04mA	1mV, 1mA
电压精度	0.03%	0.03%		0.03%	0.5% of output voltage or current ±1 count	0.03%
电流精度	0.05%	0.1		0.1		0.1
接口	USB (PWS4000) USB, GPIB (2200)	USB/GPIB		USB,LAN	LAN, USB, GPIB, RS-232,RS-485	USB,LAN

器件、传感器的最新方案 — 数字源表 (SMU) 仪器



	高功率源表 (2657A, 2651A)	低电流源表 (2635A/36A, 237, 6430)	2600B系列源表	2400系列源表	2450/2460触摸源表
#通道数	1 (可扩展至32)	1 – 2 (可扩展至64)	1 – 2 (可扩展至64)	1	1 (可扩展至32)
电流 最大/最小	50A pulse / 1pA 100A (并联)	10A pulse / 10aA	10A pulse / 1pA	5A / 10pA	7A/1A/0.5fA
电压 最大/最小	3000V / 1uV	1100V / 1uV	200V / 1uV	1100V / 1uV	200V / 1uV
功率	180W(2657A) 200W,(2651A) 脉冲2000W (2651A)	2W- 30W/通道	30W – 40W/通道	20W – 110W	100W/20W
最大读数/秒	38500 1uSec / pt., 18-bit Digitizer	20,000	20,000	2,000	>250,000
接口类型	GPIB, LAN (LXI), RS-232, Digital I/O, TSP-Link®	GPIB, LAN (LXI), RS-232, Digital I/O, TSP-Link®	GPIB, LAN (LXI), RS-232, Digital I/O, TSP-Link®	GPIB, RS-232, Digital I/O	GPIB, LAN (LXI), USB, Digital I/O, TSP-Link®

泰克汽车电子PKE/RKE的测量方案 — 生产测试



- 系统配置
 - DC电源
 - 频谱仪
 - 开关
 - 附件
- 功能
 - 可以对PKE/RKE的耗电和射频功率、频率等测试
- 特点
 - 生产吞吐量大
 - 生产效率高
 - 产品合格率高

Tektronix®

- <http://cn.tek.com>
- 400-820-5835