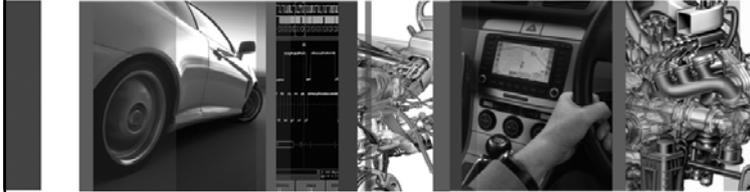


电动汽车-混合动力汽车 测试方案



泰克科技(中国)有限公司
陈鑫磊 13816606936
Xinlei.chen@tektronix.com



新能源汽车概念

- 新能源汽车是指除汽油、柴油发动机之外所有其它能源汽车。据不完全统计,全世界现有超过400万辆液化石油气汽车,100多万辆天然气汽车。
- 《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》已于2009年7月1日正式实施,《规则》强调说明:新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置),综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术,形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车。
- 新能源汽车包括混合动力汽车(HEV)、纯电动汽车(BEV,包括太阳能汽车)、燃料电池电动汽车(FCEV)、氢发动机汽车、其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等各类别产品。

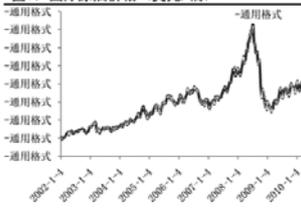
2



为什么发展新能源汽车

资源问题

图1: 国际原油价格(美元/桶)

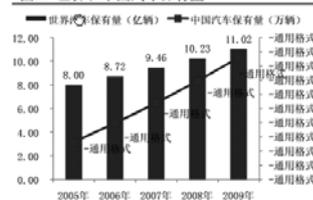


数据来源: NYEMX

石油价格长期上升的趋势明显,日益高昂的油价已成为经济不能承受之重。

世界和中国汽车保有量迅速攀升,对石油消耗造成严重负担。

图2: 世界和中国汽车保有量

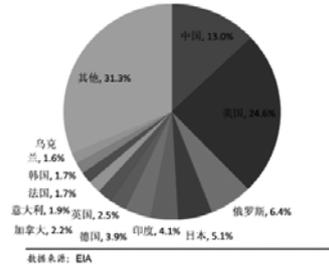


3



为什么发展新能源汽车 环境问题

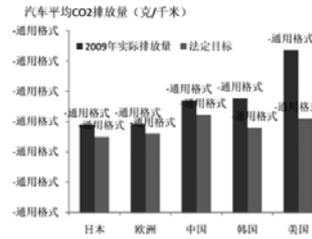
图3: 世界主要国家CO2排放比例



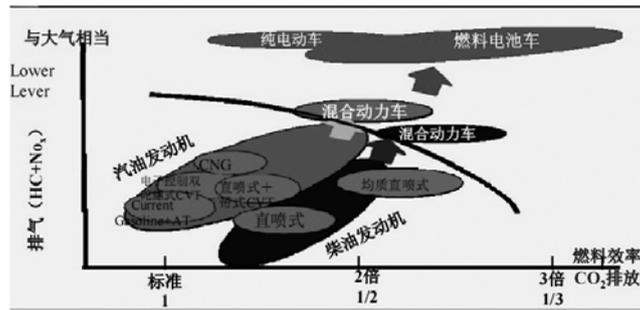
能源的大量消耗带来温室气体排放问题, 是造成气候变化的主要原因。

为了减少汽车对全球气候变暖的影响, 各国排放标准不断严格。

图4: 各国汽车减排目标



为什么发展新能源汽车

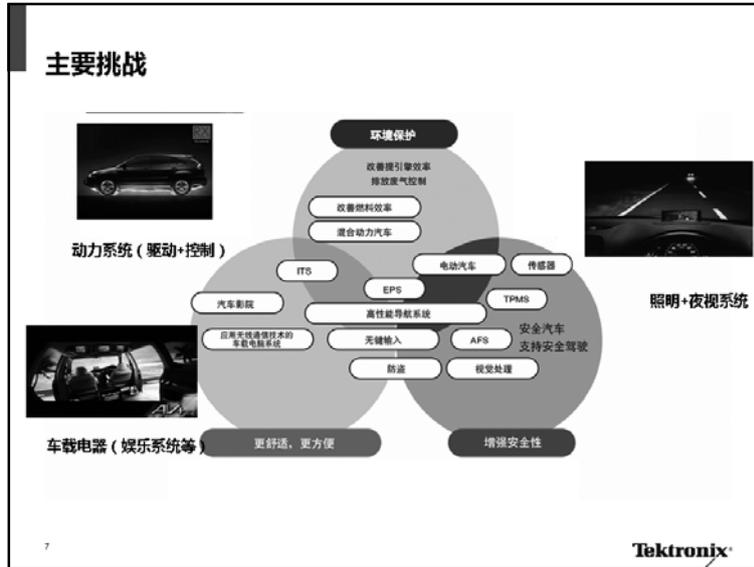


面对能源与环境的巨大挑战, 汽车能源动力系统的技术变革已成为汽车技术发展的焦点和核心。当前混合动力车的产业化高潮正在改变着全球汽车工业的格局。

新能源汽车发展 确定性的未来

汽车产业“十二五规划”

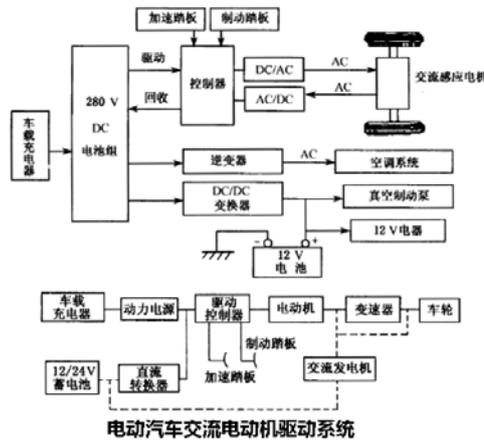
产业结构调整	发展节能与新能源汽车
1. 2015年, 中国将促进汽车产业与关联产业、城市交通基础设施和环境保护协调发展, 从汽车制造大国转向汽车强国, 预计2015年产量达到2500万辆。	1. 国家将大力扶持传统燃料的节能环保汽车, 以纯电动汽车为主的新能源汽车, 及支持研究开发混合燃料、氢燃料等汽车。
2. 2015年, 中国自主品牌汽车市场比例将进一步扩大, 自主品牌乘用车国内市场份额超过50%, 其中自主品牌轿车国内份额超过40%。	2. 2015年前, 将大力扶持发展节能与新能源汽车的关键零部件的发展。在电机、电池等核心零部件领域, 力争形成3至5家动力电池、电机等关键零部件骨干企业, 产业集中度超过60%。
3. 中国汽车业将从依靠内需市场, 转向大规模走出国门, 2015年自主品牌汽车出口占产量的比例超过10%。	3. 实现普通混合动力汽车的产业化, 力争中/重度混合动力乘用车保有量达到100万辆以上。



- ### 新能源汽车测试项目
1. 驱动马达测试
 2. ECU测试
 3. 汽车大灯测试
 4. 点火系统
 5. 汽车音响
 6. 汽车总线信号
 7. 胎压监测
 8. 遥控钥匙
 9. 安全气囊
- 8 Tektronix®

- ### 部件测试—驱动马达
- 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
- 9 Tektronix®

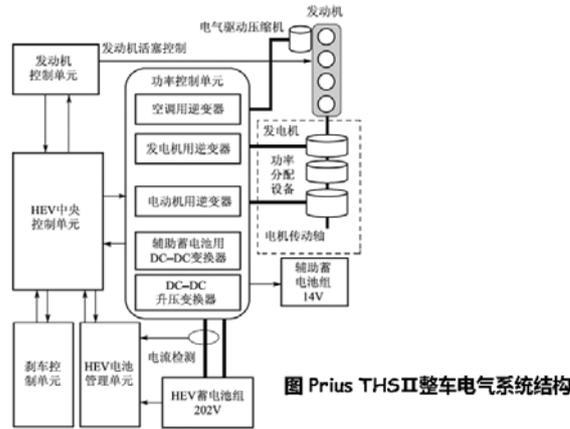
部件测试—驱动马达



10

Tektronix

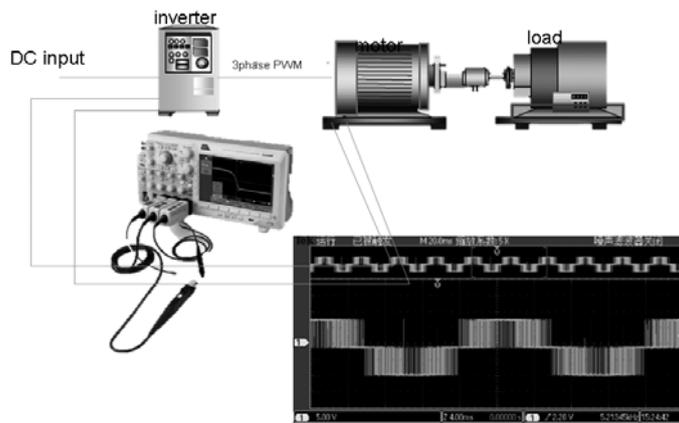
部件测试—驱动马达控制



11

Tektronix

部件测试—驱动马达



12

Tektronix

驱动马达--逆变的基本原理

- 逆变器的输出波形

逆变器输出电压方波经L/R积分为电流波形近似为正弦波

13 **Tektronix**

驱动马达：PWM调制测试（FilterVu功能）

- 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

14 **Tektronix**

驱动马达：FilterVu™ 可变低通滤波器

新业内率先提供的功能

- 从信号中滤掉不想要的噪声或高频信号，同时直到示波器的全部带宽捕获重要的细节

- 低通滤波器平滑预计信号
- 峰值检测min/max采样显示毛刺

15 **Tektronix**

驱动马达：PWM调制测试（DPO3000/DPO4000B）

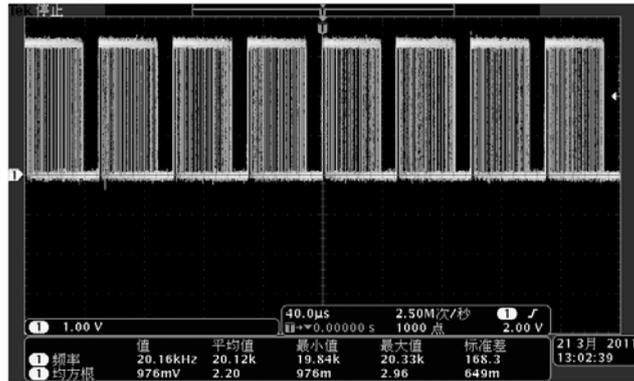
- 因为该2个机型是没有filterVu功能的，所以在测试PWM波时会有一定的难度，客户比较关注的的数据：
 1. 逆变后电压的频率。
 2. PWM电压的有效值（因为PWM脉宽调制直接计算有效值无法得到准确数据），测得该数据才能计算消耗功率等参数。

16

Tektronix

驱动马达：PWM调制测试（DPO3000/DPO4000B）

- 测试方法如下：正常测试的PWM波形，测试的频率及有效值不对（因为计算方法不同）

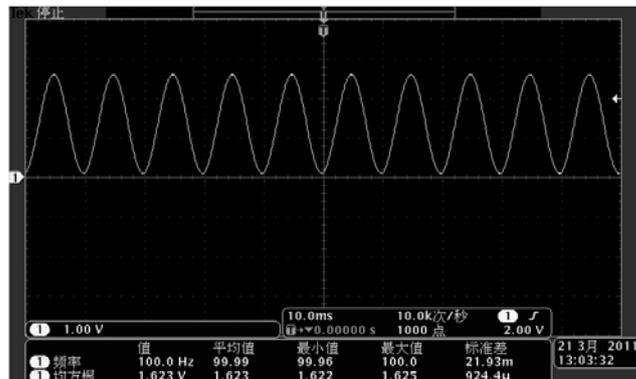


17

Tektronix

驱动马达：PWM调制测试（DPO3000/DPO4000B）

- 实际测试结果如下：测试数据准确。



18

Tektronix

驱动马达：PWM调制波基波的测试方法

- 仪器设定：
 1. 仪器的纪录长度设定为1000pts
 2. 采样模式设定为“高精度采样”模式
 3. 时基设定为10ms，采样率为10KS/s

$$U_{rms} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |u(t)|^2 dt}$$

- 测试结果比较：
 - 根据功率计的计算公式 可以计算出电压的Vmean值和通

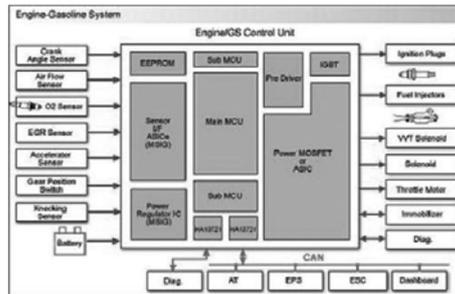
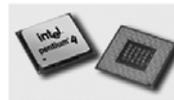
过滤波功能的波形计算的电压有效值为误差基本在1%。

- 测量的频率是100HZ，可以帮助客户监会调试

19

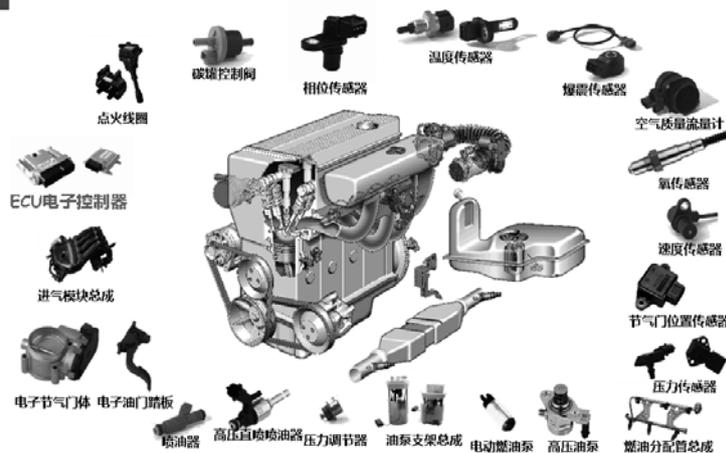
ECU测试----汽车中的电子控制单元

- 汽车电子控制单元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



20

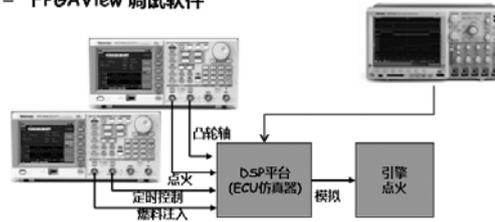
ECU测试--发动机电控单元系统



21

ECU测试—复杂的测试挑战

- ECU系统设计与调试
 - 捕获模拟信号、数字信号和总线信号
 - 分析DSP或FPGA内部的逻辑和数字定时问题
 - TLA逻辑分析仪或MSO混合信号示波器
 - 传感器、执行器模拟和仿真
 - AFG任意波形发生器
 - 系统级的综合调试
 - CAN/LIN总线触发、解码
 - FPGAView 调试软件

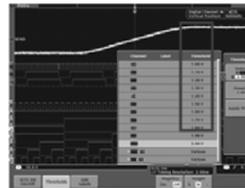


22

Tektronix®

ECU测试—真正的混合信号采集和分析

- 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



MSO4000可以为每条通道单独设置门限



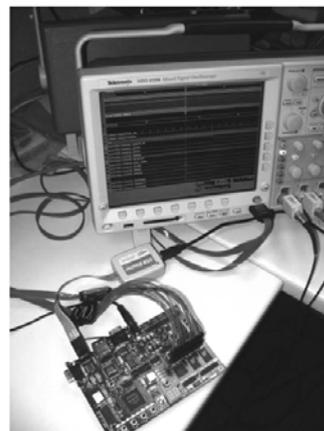
多通道建立时间和保持时间违规

23

Tektronix®

ECU测试—FPGA调试挑战

- 众多电控单元包含FPGA
- 设计检验成为关键瓶颈
 - 设计规格和复杂程度提高
 - 接入内部信号受限
- 产品开发周期缩短, 需要更少的调试时间
 - 调试时间可能会占到设计周期时间的50%以上
- 简单地查看外部引脚是不够的
- 在FPGA中增加调试电路会影响设计
 - 占用宝贵的芯片空间
 - 提高工程师的时间
 - 可能会影响设计的定时性能
 - 接入通常会用光稀疏的芯片引脚
 - 可能很难探测电路板上的多个信号



24

Tektronix®

ECU测试---FPGA实时逻辑调试解决方案

- **FPGAView™**
 - 支持Xilinx和Altera FPGA设备
 - First Silicon Solutions开发的软件包 (www.fs2.com)
 - 在Windows 2000和Windows XP 机器上运行

逻辑分析仪

混合信号示波器

功能	解决方案
复用器	Xilinx: FS2 TestCore Altera: Quartus® II v5.1
控制软件	FS2 FPGAView™
测试设备	MSO4000混合信号示波器或TLA系列逻辑分析仪 (v4.3)
JTAG 电缆	Xilinx: Platform Cable USB及其它 Altera: USB-Blaster™或ByteBlaster™

Tektronix®

ECU测试---使用FPGAView: 4步轻松完成

创建接口模块

为调试环境配置FPGAView

把FPGA引脚映射到逻辑分析仪或MSO

进行测量

第1步:

第2步:

第3步:

第4步:

Tektronix®

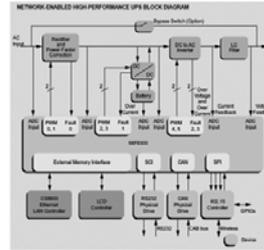
车身网络调试

- 大量ECU和传感器、执行器通过汽车线束连接成系统
- 线束中传输的除驱动、供电外，还有大量控制信号
- 控制信号已经逐渐由模拟信号向数字总线信号过渡
 - 目前已经出现通过Flexray控制的全数控制试车

Tektronix®

车身网络调试

- 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
 - 总线拓扑不限于点对点网络
- 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



28

车身网络调试：串行数据解码

- 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

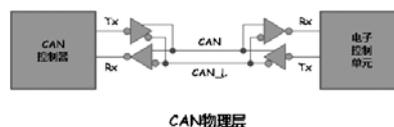


RS-232解码格式

29

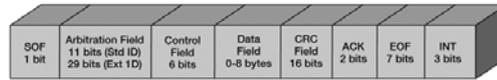
车身网络测试--CAN (控制器局域网)

- 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
- 物理总线采用单线和双线拓扑，具有容错能力



30

车身网络测试---CAN数据和远程帧

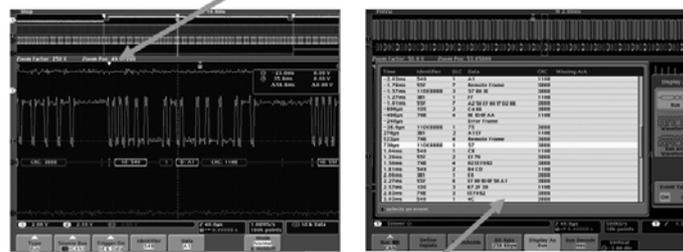


- **SOF** - 开头是一个帧头(SOF)位
- **仲裁** - 包括标识符(地址)和远程传输请求(RTR)位
 - 标识符可以采用标准格式 (11位 - 2.0A版)或扩展格式 (29位 - 2.0B版)
 - RTR用来区分数据帧和数据请求帧, 也称为远程帧
- **控制** - 6位, 包括标识符扩展(IDE)位和数据长度代码(DLC)
 - IDE区分CAN 2.0A (11位标识符)标准帧和CAN 2.0B (29位标识符)扩展帧
 - DLC是一个4位指示符, 表明数据帧数据字段中的字节数或远程帧请求的字节数
- **数据** - 由0-8字节数据组成
- **CRC** - 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

31

DPO/MSO系列示波器CAN解决方案

搜索和标记功能

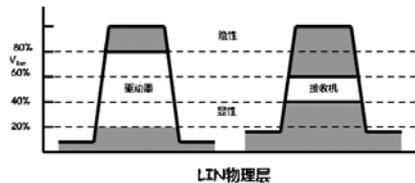
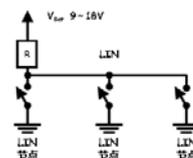


事件表显示解码后的带有时间标记的CAN消息帧

32

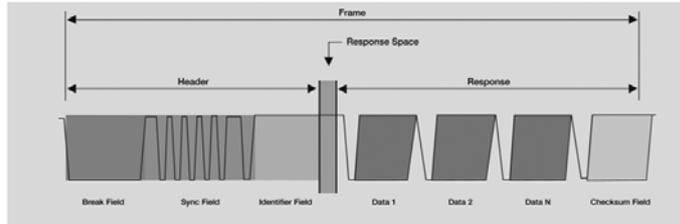
车身网络测试---LIN (本地互连网络)

- 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



33

车身网络测试---LIN消息帧

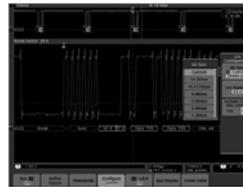


- 包头组成部分
 - 中断字段: 用来表明新帧开始
 - 同步字段: 从设备用来确定主节点使用的波特率及用来相应地进行自身同步
 - 标识符字段: 指明哪个从设备采取行动
- 响应组成部分
 - 数据: 指定从设备会应答 1 - 8 字节的数据
 - 校验和: 计算得出的字段, 用来检测数据传输中的错误

34

DPO/MSO系列示波器LIN解决方案

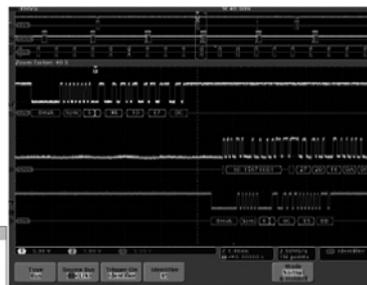
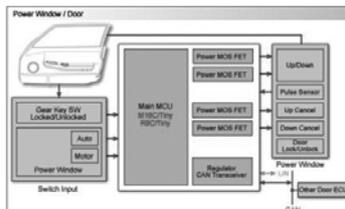
- DPO/MSO系列的LIN触发功能在下述条件下激活:
 - 同步字段 (如图 所示)
 - ID
 - 数据和ID/数据
 - 唤醒帧和睡眠帧
 - ID奇偶性错误
 - 校验和错误
- 触发LIN总线(Bus1), 同时捕获和解码 Bus2和Bus3
- 在业务通过网关和系统从一条总线传送到另一条总线时, 现在可以查看所有总线业务



35

车身网络测试---汽车电路中CAN/LIN网络联合调试实例

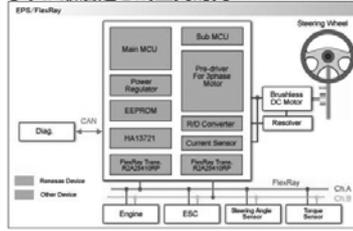
- 调试汽车电动车窗系统
- 想知道在司机按下按钮到实际车窗开始动作需要多长时间?
- 还需要同时关注汽车CAN/LIN总线传递的命令是否正常



36

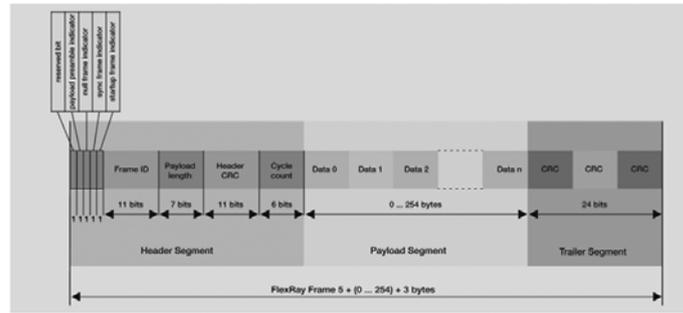
车身网络测试---FlexRay总线

- FlexRay是一种新型汽车总线，由FlexRay联盟支持
- 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



37 Tektronix®

FlexRay帧结构

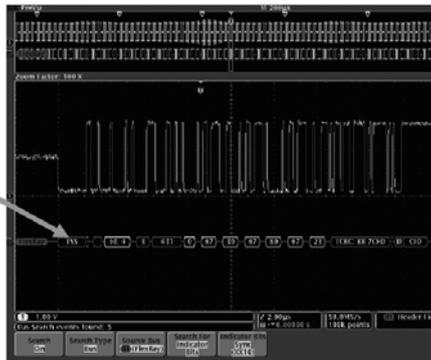


- 包头段：包含指示位，帧号，净荷长度(单位为字)，包头CRC和周期数
- 净荷段：包含帧传送的数据。最大净荷长度是127个字(254字节)
- 包尾段：包含一个24位字段(三个8位CRC寄存器)，保护包头和净荷

38 Tektronix®

DPO/MSO4000B系列示波器FlexRay解决方案

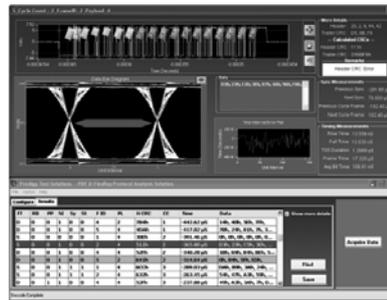
FlexRay总线TSS(传输开始顺序)触发DPO/MSO4000系列，它发起建立网络连接，后面跟着帧号(02)、包头CRC和净荷(数据)。



39 Tektronix®

车身网络测试---FlexRay 物理层分析软件

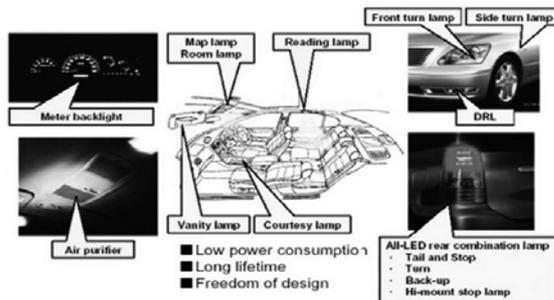
- DPO4AUTOMAX全面支持物理层分析软件
- 通过USB或以太网与外部计算机一起运行
- 提供完整的一套工具评估物理层性能
 - 眼图分析
 - 同步测量
 - 定时测量
 - 时间间隔误差 (TIE)



40

车辆照明系统测试—照明系统发展趋势

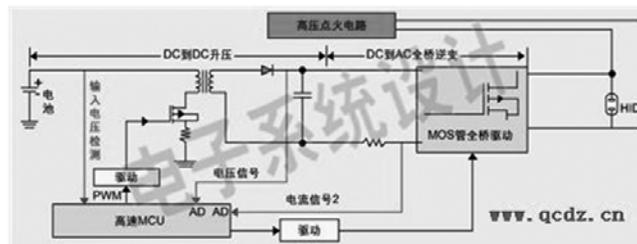
- HID前车灯的广泛应用
 - 较普通卤素灯泡三倍亮度输出，色温度舒适度高
 - 数倍产品寿命，减半的电力消耗
- LED照明的应用
 - 体积小、寿命长、反应快
 - 从指示型照明向前大灯发展



41

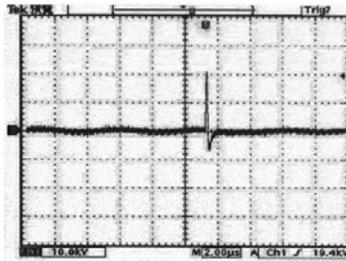
车辆照明系统—HID前大灯、安定器测试

- 类似普通照明电源测试
- 测试高压发弧点亮脉冲

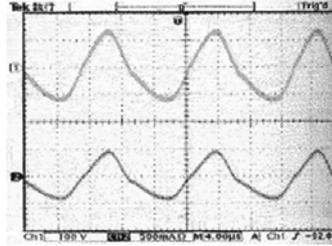


42

车辆照明系统—HID前大灯、安定器测试



灯管发弧电压



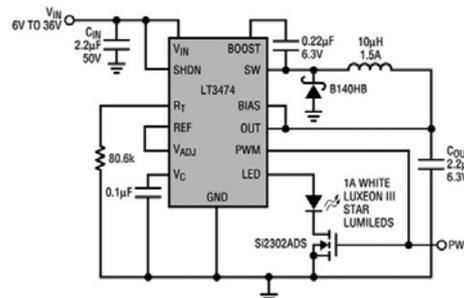
工作状态下的电压和电流

43

Tektronix

车辆照明系统—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

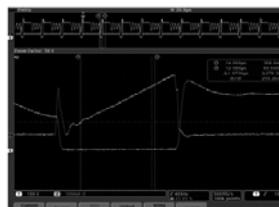
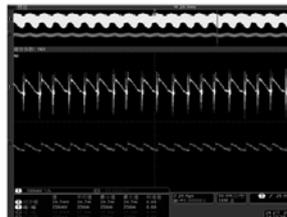


44

Tektronix

车辆照明系统—LED车灯测试

- 泰克LED照明测试方案
 - 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

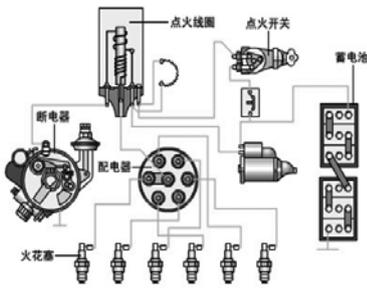


45

Tektronix

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

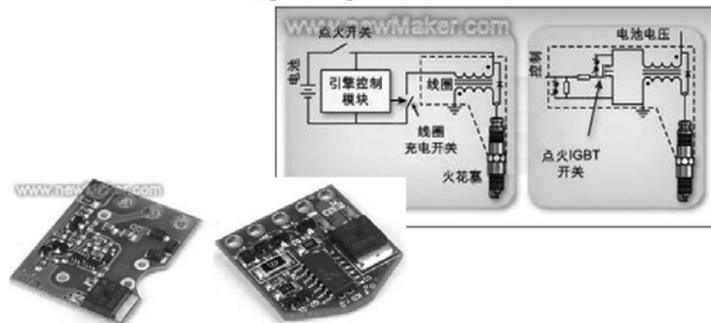


传统点火系统的组成

46 Tektronix

点火系统测试

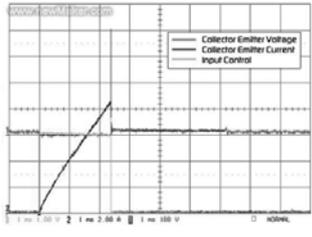
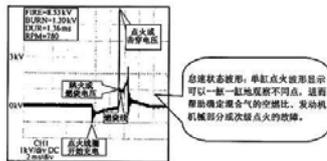
- IGBT点火系统的特点
 - 大电流下的饱和压降低;
 - 易于构建出能处理高压线圈(400~600V)的电路;
 - 简化的MOS驱动能力;
 - 在线圈异常工作时能承受高能耗



47 Tektronix

点火系统测试

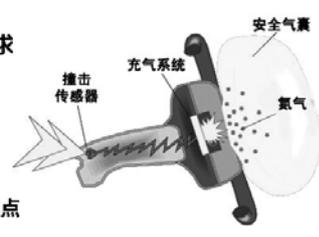
- 泰克推荐测试方案
 - 长存储示波器
 - DPO/MSO系列
 - 高压探头
 - P6015A
 - 高压差分探头
 - 共模抑制比高达-80dB
 - 电流探头
 - TCP系列
 - DC/AC, 纯AC探头
 - 隔离通道示波器
 - TPS2000B系列

48 Tektronix

安全气囊测试

- 安全气囊系统
 - 属于辅助约束系统 (SRS)
- 各国法规要求强制执行
 - 我国2000年实施了CMVDR 294《关于正面碰撞乘员保护的设计规则》
 - 欧洲ECER94
- 安全气囊系统中电子设备的特殊要求
 - 高精度
 - 高可靠性
 - 抗干扰能力强
- 安全气囊点火控制要求
 - 准确的点火、防止误点、漏点和迟点
 - 5in-30ms的准确
 - 乘员向前移动5in时刻的前30ms时刻是气囊目标点火时刻

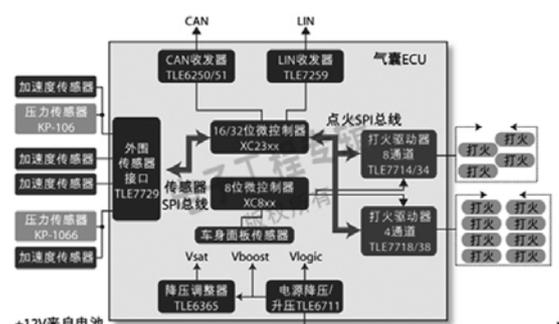


安全气囊
充气系统
氮气
撞击传感器

49 Tektronix®

安全气囊测试

- 测试挑战
 - 加速度和碰撞传感器模拟
 - 碰撞与气囊触发时间测试
 - ECU工作流程验证, 防止误触发和漏触发
 - ECU与其他子系统的系统功能验证

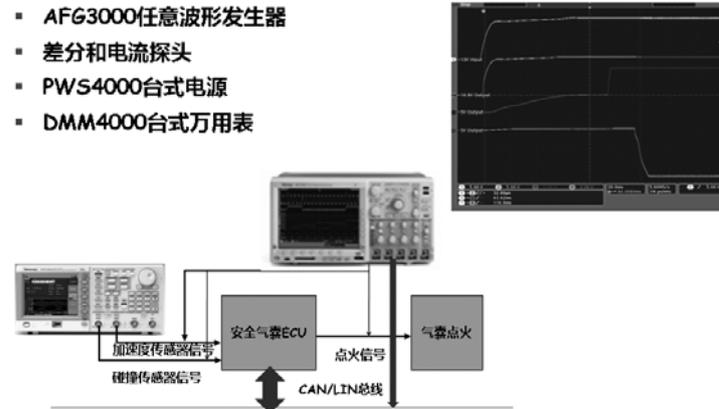


CAN LIN
CAN收发器 TLE6250/51 LIN收发器 TLE7259
气囊ECU
16/32位微控制器 XC23xx
点火SPI总线
打火驱动器 8通道 TLE7714/34
打火驱动器 4通道 TLE7718/38
8位微控制器 XC8xx
传感器 SPI总线
车身体板传感器
Vsat Vboost Vlogic
降压调整器 TLE6365 电源降压/升压 TLE6711
+12V来自电池

50 Tektronix®

安全气囊测试—泰克推荐方案

- 带有CAN/LIN/Flexray总线分析功能的示波器
- AFG3000任意波形发生器
- 差分 and 电流探头
- PWS4000台式电源
- DMM4000台式万用表

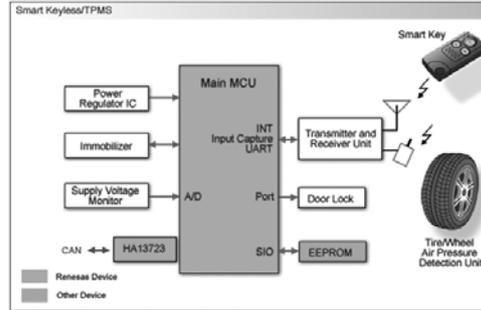


安全气囊ECU
点火信号
气囊点火
CAN/LIN总线
碰撞传感器信号
加速度传感器信号

51 Tektronix®

倒车雷达/TPMS测试

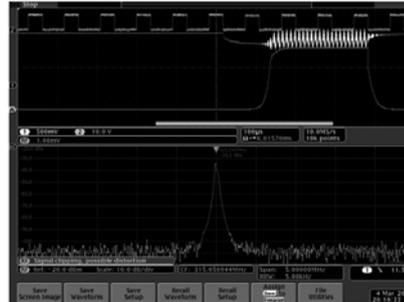
- 数字电路、ECU和RF信号的综合调试
- 模拟射频基带信号
- 总线解码和触发，分析系统工作时序



52

MDO混合域分析仪

- 同时观测时域和频域信号
- 提供AvsT, FvsT和Phase vsT轨迹
- 测试发射机和接收机与控制系统的时序关系
- 解决系统级问题



53

TPMS 胎压检测系统测试

- 轮胎压力监测系统 - Tire Pressure Monitoring System



- 防盗器和无键进入系统



54

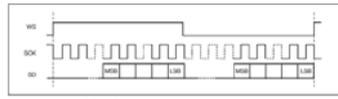
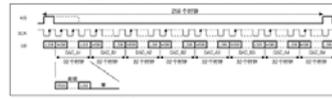
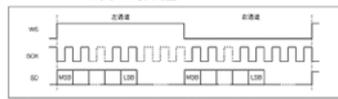
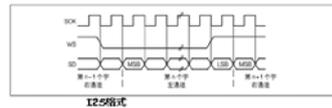
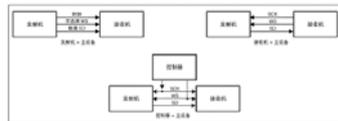
汽车音响系统测试

- 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

55

Tektronix®

车载娱乐系统音频总线I2S



使用DPOxAUDIO音频分析模块进行I2S总线信号分析

56

Tektronix®

泰克汽车电子测试方案

应用	DPO/MSO示波器	AFG3000任意波形发生器	DMM4000万用表	FCA3000频率计	PWS4000台式电源	差分/电流探头
ECU测试	•	•	•		•	•
车身总线	•	•			•	•
照明系统	•	•	•		•	•
点火系统	•					•
安全气囊	•	•	•		•	•
倒车雷达	•	•	•	•	•	
胎压监测	•	•	•	•	•	
仪表总成	•	•	•	•	•	
汽车音响	•	•	•			
空调系统	•	•	•			•
其它电子	•	•	•		•	•

57

Tektronix®

MDO/MSO/DPO系列示波器



	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	4条模拟通道 16条模拟通道 (MSO系列)	2条或4条模拟通道 16条模拟通道 (MSO系列)	2条或4条模拟通道 16条模拟通道 (MSO系列)
记录长度	20 M点	5 M点	1 M点
波形捕获速率	>50,000 wfms/s	>50,000 wfms/s	5,000 wfms/s
并行总线分析	是 (MSO系列)	是 (MSO系列)	是 (MSO系列)
适配器总线分析	•PC, SPI •CAN, LIN, FlexRay •RS-232/422/485/UART •PS/LJR/J/TDM •LAN, 1553, USB	•PC, SPI •CAN, LIN •RS-232/422/485/UART •PS/LJR/J/TDM	•PC, SPI •CAN, LIN •RS-232/422/485/UART
适配器分析附件包	•电源分析 •HDTV和自定义视频	•电源分析 •HDTV和自定义视频	

58

Tektronix®

AFG3000函数信号源产品

	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 mHz - 5 MHz	1 mHz - 12.5 MHz		1 mHz - 50 MHz		1 mHz - 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	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 (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						

59

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 转换	LAN, GPIB, RS232 & USB 转换	
传送速度 (读数/秒)	100		1000
保修期	3 years		
软件	NI LABVIEW SignalExpress Tek 版本		

60

Tektronix®

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, 损坏检测
- 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、电流真实读数或极限值
- 直接数字输入键盘
- 40个设置存储
- USB 设备接口, 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				

61 **Tektronix®**

FCA/MCA3000系列频率计

性能



- 12 位的频率分辨率
- 14 位的显示位数
- 高时间测试分辨率
 - 50 ps (3100 Series)
 - 100 ps (3000 Series)

测试速度



- 最快的单次触发测试
- 通过 USB/GPIB 快速传输数据
 - 15 k Sa/s (3100 Series)
 - 5 k Sa/s (3000 Series)

分析



- 13项测试功能, 集成功率计 (MCA Series)
- 直方图显示
- 趋势图显示
- 统计功能 ALLAN 方差测试

易于使用



- 多参数显示
- 单键测试操作
- USB/GPIB 接口
- 兼容 安捷伦 53131/32 A

	FCA3000	FCA3100	MCA3000
频率范围	400 MHz, 3 GHz, 20 GHz	400 MHz, 3 GHz, 20 GHz	27 GHz, 40 GHz
测试精度/分辨率	<ul style="list-style-type: none"> 100 ps (time) 12 digits/s (freq) 3 mV (V_{max}, V_{min}) 	<ul style="list-style-type: none"> 50 ps (time) 12 digits/s (freq) 1 mV (V_{max}, V_{min}) 	<ul style="list-style-type: none"> 100 ps (time) 12 digits/s (freq) 3 mV (V_{max}, V_{min})

62 **Tektronix®**

构筑完美的测试平台

助您轻松应对调试复杂设计



63 **Tektronix®**