

Test&Measurement

YOKOGAWA 

车载总线EBook

LIN、SENT、FlexRay总线



Precision Making

目录

Directory

前言	02
----	----

LIN总线	03
-------	----

- LIN总线简介及特点
- LIN总线布网组局
- LIN总线物理结构
- LIN总线数据帧结构
- 横河示波器进行LIN总线解码的优势
- 横河示波记录仪进行LIN总线监视的功能

SENT总线	09
--------	----

- SENT总线简介及特点
- SENT总线物理结构
- SENT总线数据帧结构
- 横河示波器进行SENT总线解码的优势
- 横河示波记录仪进行SENT总线监视的功能

FlexRay总线	16
-----------	----

- FlexRay总线简介及特点
- FlexRay总线拓扑结构及通讯协议
- FlexRay总线物理层结构
- FlexRay总线数据帧结构
- 横河示波器进行FlexRay总线解码的优势及应用



Preface

前言

随着汽车产业蓬勃发展,出于对安全性、舒适性、方便性、低公害、低成本的需求,各汽车厂商研发了各种各样的电子控制系统,越来越多的电子控制单元 (ECU) 被引入到汽车中。由于这些系统之间通信所用的数据类型及对可靠性的要求不尽相同,为了使这些ECU能够在共同的环境下协调工作,工程师们设计了针对汽车通信网络的多种串行总线协议。比如CAN协议主要用于车身控制系统和传动装置,SENT协议主要用于油门踏板等子系统, FlexRay协议可用于安全性很高的刹车和导向系统,因为它们符合通信的高容错性、高可靠性和高实时性要求, LIN协议用于只需要简单串行通信ECU的低端控制系统,如后视镜控制和车门智能传感器控制等。

本期资料介绍几种常用车载串行总线及横河YOKOGAWA测试仪器对这些串行总线的测试案例,车载CAN总线测试另见横河往期EBOOK。

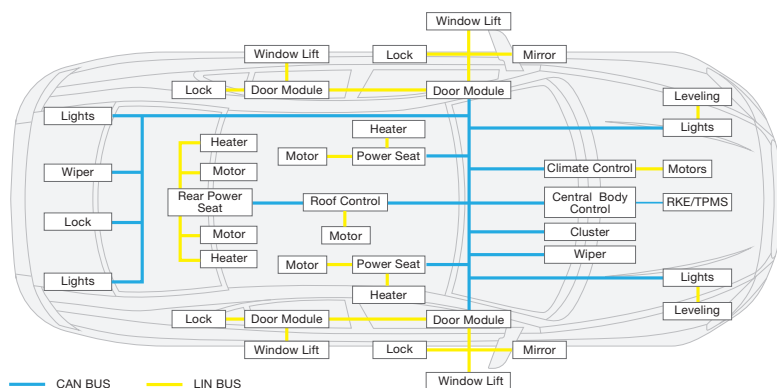


LIN (Local Interconnect Network) 总线是基于UART/SCI (通用异步收发器/串行接口) 的低成本串行通讯协议。其目标定位于车身网络模块节点间的低端通信,主要用于智能传感器和执行器的串行通信,而这些功能正是CAN总线的带宽和功能所不需求的部分。LIN总线是面向汽车低端分布式应用的低成本,低速串行通信总线,属于局部互联网,是SAE规范的汽车A类网络。

在汽车的应用上,比如车身电子配件(车窗、后视镜、大灯、车锁等),不需要报文像CAN总线上那样的“高速”传输,可以使用LIN总线,从而降低整车的总线架构成本。

LIN Bus Introduction

LIN总线简介



LIN总线的特点

- 网络由一个主节点与若干个从节点构成；
- 使用LIN总线可以大幅度削减成本 (CAN和LIN都需要收发器, 但是LIN属于单线制, 节省线束)；
- 传输具有确定性, 传播时间可以提前计算；
- LIN具有可预测的EMC (电磁兼容性) 性能, 为了限制EMC的强度, LIN协议规定最大传输速率为20kbps；
- LIN总线提供信号的配置、处理、识别和诊断功能；



LIN总线布网组局

LIN的通信包括主机、从机两部分。单线通信速度为20kbps。一个主机可以同时与最多15个从机通信。物理层采用单线连接, 两个电控单元间的最大传输距离为40m, 其总线驱动器和接收器的规范遵从改进的ISO9141单线标准。

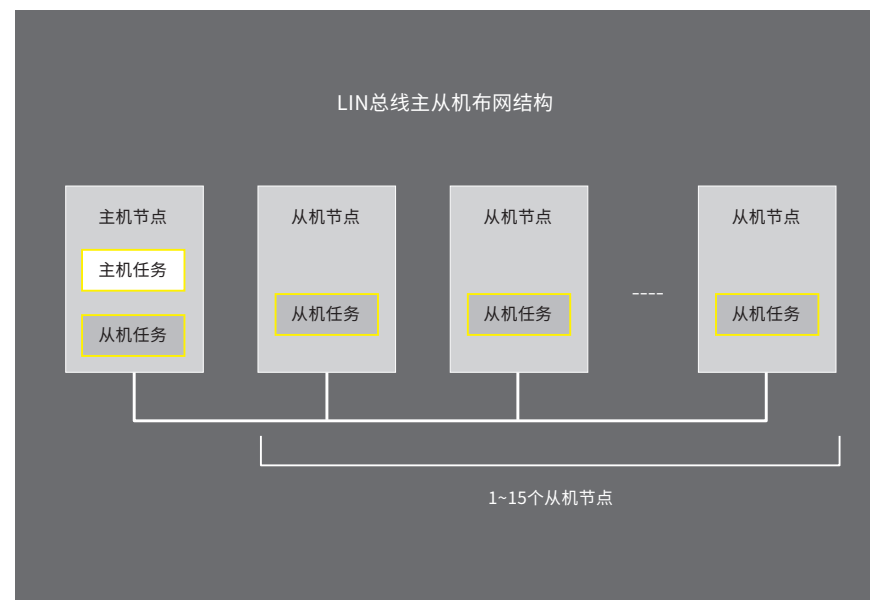
主机节点任务：

- 调度总线上帧的传输次序；
- 监测数据, 处理错误；
- 作为标准时钟参考；
- 接收从机节点发出的总线唤醒命令；

从机节点任务：

不能直接向总线发送数据, 需要接受到主节点发送的帧头后, 根据帧头所包含的信息来判断：

- 发送应答；
- 接收应答；
- 既不接收也不应答；

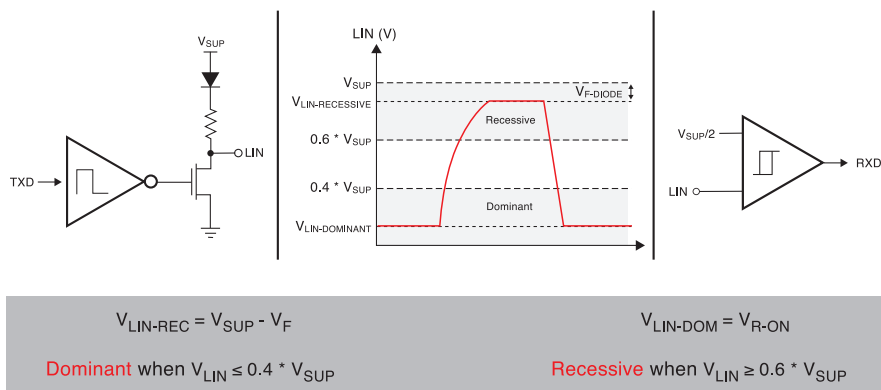


LIN总线物理结构

LIN总线最核心硬件:芯片,包含了最主要的两部分:serial network protocol controller(串行网络协议控制器)和 physical layer transceiver(物理层收发器)。

- 串行网络协议控制器:用于同步、逻辑控制、错误检测等;
- 物理层收发器:主要用于在收发时候LIN协议逻辑电平和模拟电平之间的转换。逻辑电平转换为模拟电平之后,和CAN总线一样,分为隐形和显性(定义如下图);

LIN Physical Layer



LIN总线物理层

LIN总线融合了I2C和RS232的特性:

- 像I2C总线那样, LIN总线通过一个电阻上拉到高电平, 而每一个节点又都可以通过集电极开路驱动器将总线电压拉低;
- 像RS232那样通过起始位和停止位标识出每一个字节、每一位在时钟上异步传输;

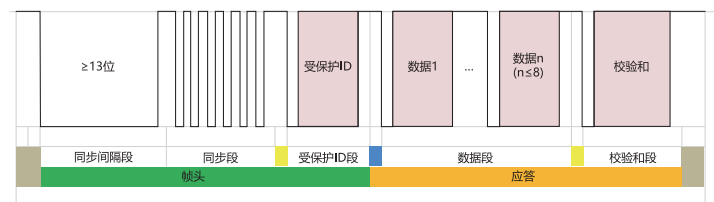
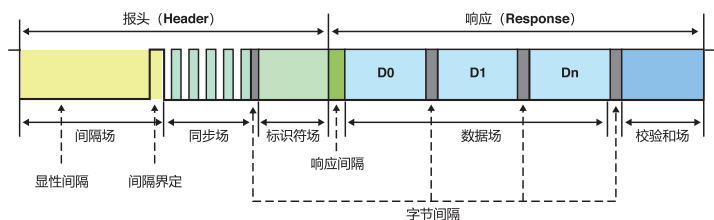


LIN总线数据帧结构

LIN报文帧包括帧头(header)与应答(response)两部分。主机负责发送至帧头,从机负责接收帧头并作出解析,然后决定是发送应答,还是接收应答或不回复。

LIN总线的一帧主要由两部分组成, 报文头 (Header) 和 报文响应 (Response)。具体内容如下:

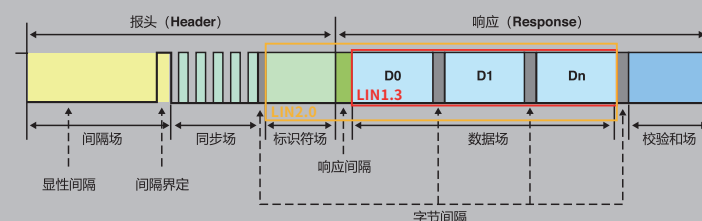
- 报文头包含同步间隙、同步域和报文标识符场 (0~63) ;
- 响应报文由1-9个字节构成: 其中2、4或8个字节的数据场和1个校验和场 (LIN1.3) ;
- 报文帧之间有帧间间隔分隔;
- 报文与响应之间有帧内响应空间分隔;
- 最小帧间间隔和帧内响应空间均为0;
- 最大长度受到报文帧的最大长度FRAME_max限制;



LIN协议数据帧结构

LIN2.0和LIN1.3的主要差异

- 支持最多8个字节的数据序列;
- 取消了受保护标识符中的数据长度字段, 即传输长度不再受限于ID, 并将最后一个字节视为校验和;
- 校验和的验算包括了受保护标识符;
- 支持自动波特率检测功能;
- 对零星帧进行了定义;
- 网络管理的定时用秒来定义, 而不是用比特数来定义;



LIN协议的校验和场

LIN总线协议解码

横河YOKOGAWA DLM系列示波器进行LIN协议解码特点：

- LIN总线自动设置触发快速检测和显示解码数据；
- 实时硬件解码；
- 支持多种触发模式设置；
- 独立的双缩放窗口，用于显示模拟波形和LIN总线波形；
- 内存深度最高可达500MPt，实现长时间的总线数据采集；
- 缩放搜索功能可查找指定的数据或错误帧；
- 可将解码后的数据以CSV文件格式存储到PC或内部存储器；
- 适用LIN Rev. 1.3、2.0、2.1协议版本；



LIN总线监视功能

LIN总线-应用

LIN总线监测功能

分析LIN的数据趋势, 横河YOKOGAWA推出了相应的解决方案。

横河DL950+LIN可以实现监视模块:

- 每个端口最多60个信号的趋势监视器(横河DL950);
- 同时模拟量波形监测对比;

LIN电源电压输入范围: 7V-18V;

支持协议: 物理层 ISO-9141;

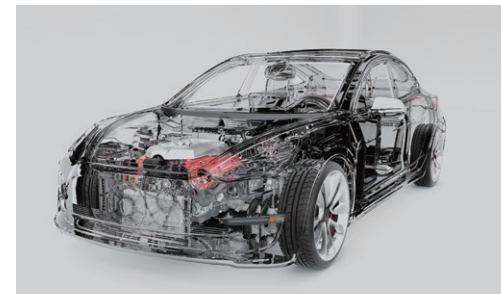
支持的比特率: 2400/9600/19200bps;

支持的数据长度: 最大4字节;

支持的数据场校验: 标准校验和扩展校验;

应用案例:

汽车发电机控制器的研发过程中, 使用LIN总线作为控制信号, 需要监控LIN总线的数据流并且将物理量趋势图显示出来。



横河DL950示波记录仪的LIN总线监视图





SENT的全称为:Single Edge Nibble Transmission,是一种点对点、单向传输方案协议,此协议简单且具有很多优势,被广泛使用在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。

SENT在信号开始时提供一个参考校准脉冲,在结尾提供一个检验位。报文的长度随着半字节值的变化而不同。

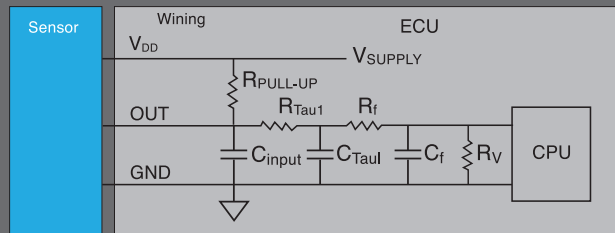
SENT(SAE J2716) 为汽车传感器新型接口标准,较模拟输出和PWM 输出相比,具有很好的EMC特性,可作为节省线束、节省插针接头的低成本方案。另外,它还能传输故障代码,让传感器系统具有很强的故障诊断能力。车载传感器数量的增加和对测量精度要求的提升,市场需要一个更便捷、可靠、经济的车载数据通讯解决方案,通用公司(GE)依据这种需求,率先制定了SENT标准,后来成为了SAE J2716标准。很快其他公司在动力系统中便采用了该标准,包括废气再循环、进气歧管执行器、柴油节气门及drive-by-wire油门踏板部件等子系统。

SENT将来会在局部系统中广泛取代CAN和LIN。

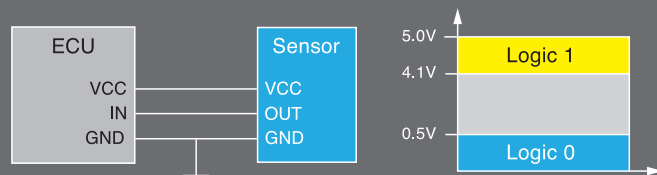
SENT Bus Introduction

SENT总线简介

SENT总线的拓扑结构、物理连接及特征



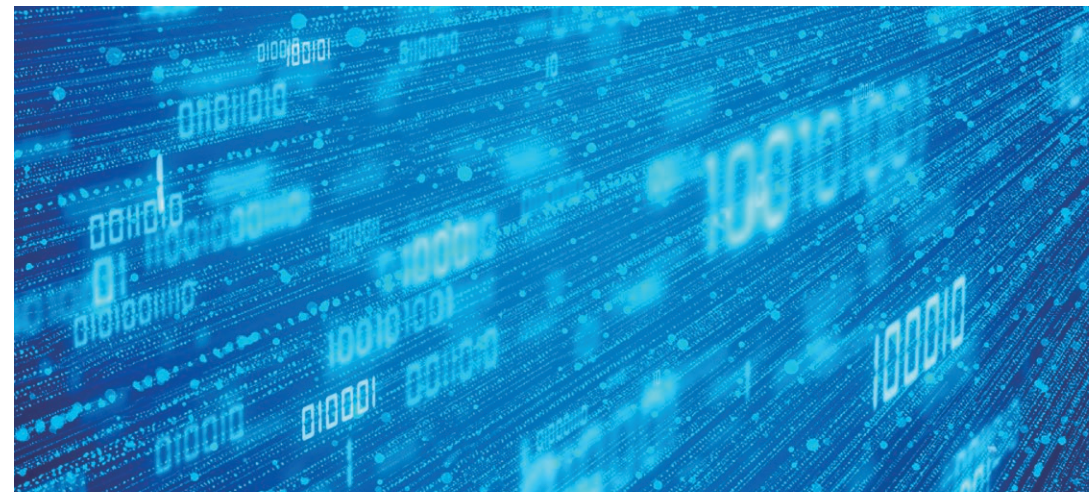
拓扑结构



SENT总线的硬件连接和逻辑电平图

SENT总线-特征

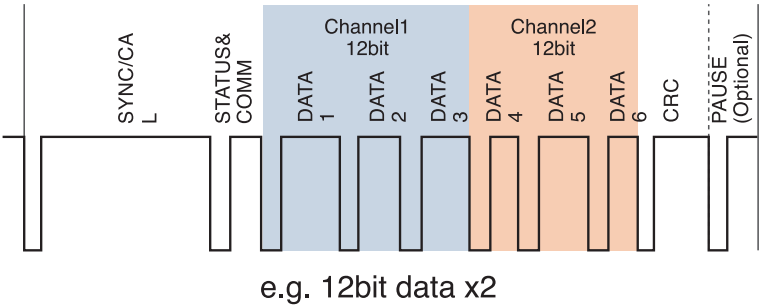
- SENT 总线是一种数字信号传输协议,具有非常高的传输精度和速度;
- SENT 总线是单线传输数据, 不仅减少信号线, 而且还能降低成本。加上电源和地线, 总共3线;
- SENT 总线具有更强大的诊断功能;
- SENT 总线逻辑电平的高低信号的电平要求: 0~0.5V为逻辑电平0, 4.1~5V 为逻辑电平1;
- SENT 总线单向传输协议, 数据只能从传感器到 ECU, 传输是连续的, 不需要请求命令;
- SENT 总线由帧来传输数据, 或者以数据包的形式传输, 而每一帧由不同宽度的脉冲即半字节组成;
- SENT 总线数据的传输可以分为快速通道和慢速通道, 重要的信号用快速通道以实现高频率的更新, 比如压力等, 对于非关键的信号, 如诊断等可以放在慢速通道传输;
- SENT 总线快速通道是每一帧传输一个完整的信号, 慢速通道需要多帧来传输一个完整的信号, 即更新频率不同;



SENT总线的结构

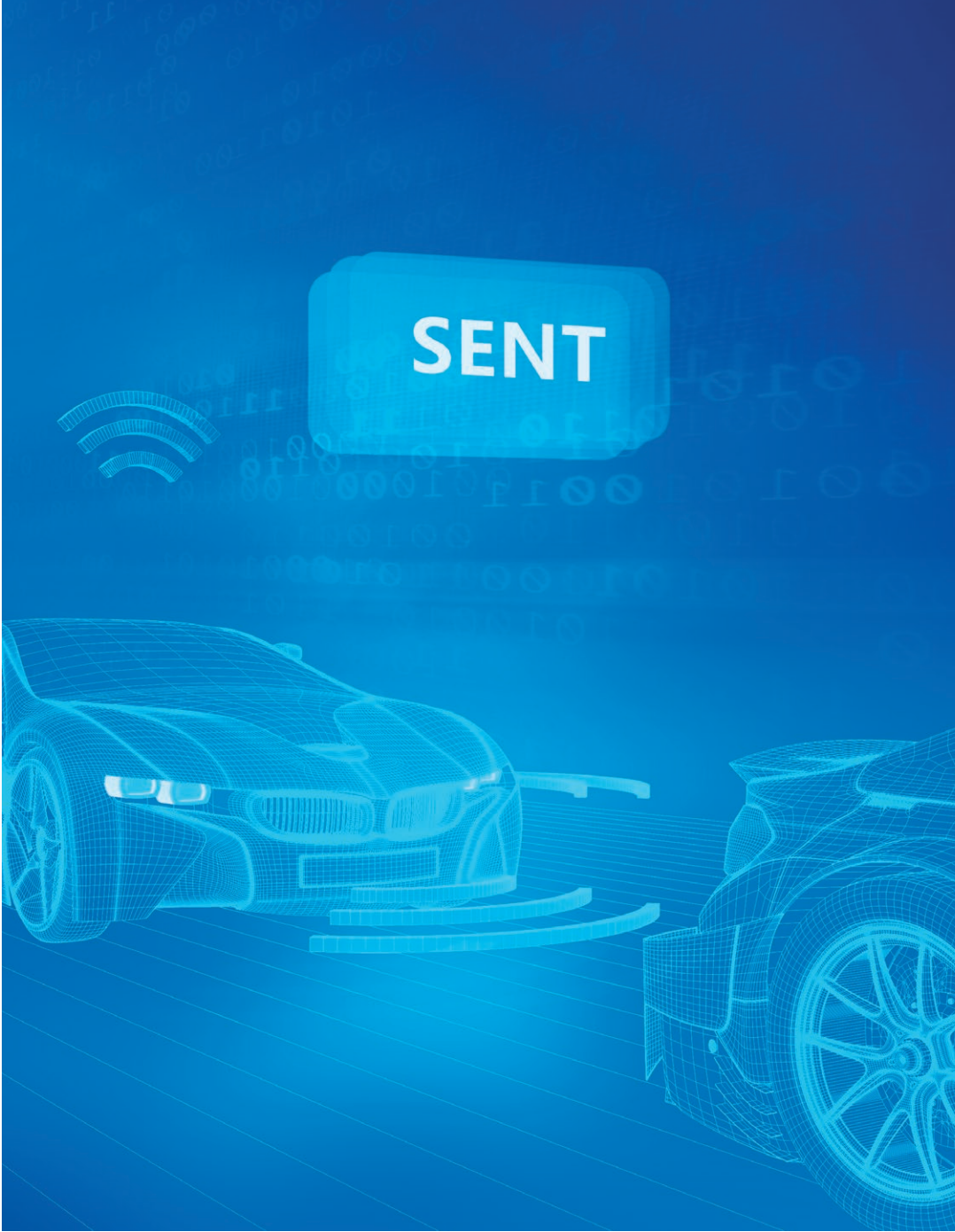
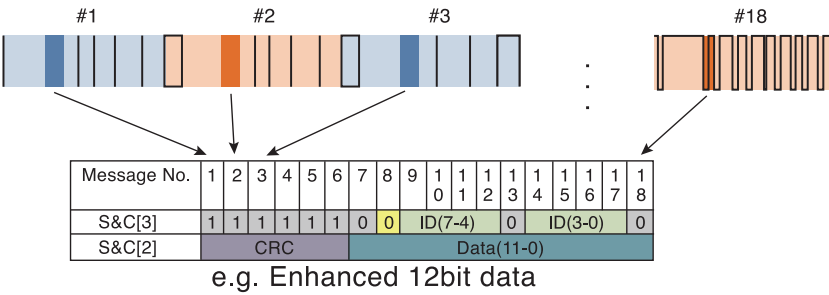
快速通道

最多可发送6位(24位)数据。
值对应于脉宽:0:12tick~15:27ticks。

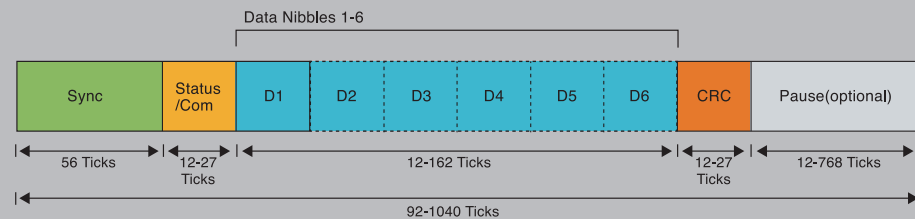


慢速通道(串行信息)

将不同的快速通道帧状态和通信字段中的第2位和第3位组合起来构成数据。适用于传输变化缓慢或错误信息的数据。数据有3种长度(8/12/16位)。



SENT总线的帧结构



SENT 总线的帧结构基本组成:

- 1、Sync 同步脉冲, 固定的 56Ticks;
- 2、Status/Com 状态及通讯字段, 12~27Ticks, 即1个Nibble (4bit) ;
- 3、Data 数据段, 12~162Ticks, 即1~6个Nibble;
- 4、CRC 校验字段, 12~27Ticks, 即1个 Nibble;
- 5、Pause 暂停脉冲, 12~768Ticks, 早期的SENT协议无此字段或者一个固定长度 Ticks, SENT2010 之后, 部分通过此功能可以动态调节TICKS的个数, 实现整个SENT 协议是同一个固定长度TICKS;



横河YOKOGAWA
DLM系列示波器进行SENT协议解码特点：

- SENT自动设置触发,快速检测和显示解码数据;
- 实时并同时显示快速和慢速通道的解码;
- 包括模拟、逻辑和SENT特定触发条件的全面触发功能;
- 独立的双缩放窗口,用于显示模拟波形、SENT波形和解码数据;
- 深度内存最高可达500MPt,即使时钟周期为3μs,也可采集200s的数据;
- 可将信息帧解码为半字节或用户定义格式;
- 缩放搜索功能可查找指定的数据或错误帧;
- 可将解码后的数据以CSV文件格式存储到PC或内部存储器;
- 支持2010以上版本;



横河DLM3054示波器sent总线解码图、列表和波形可同时显示



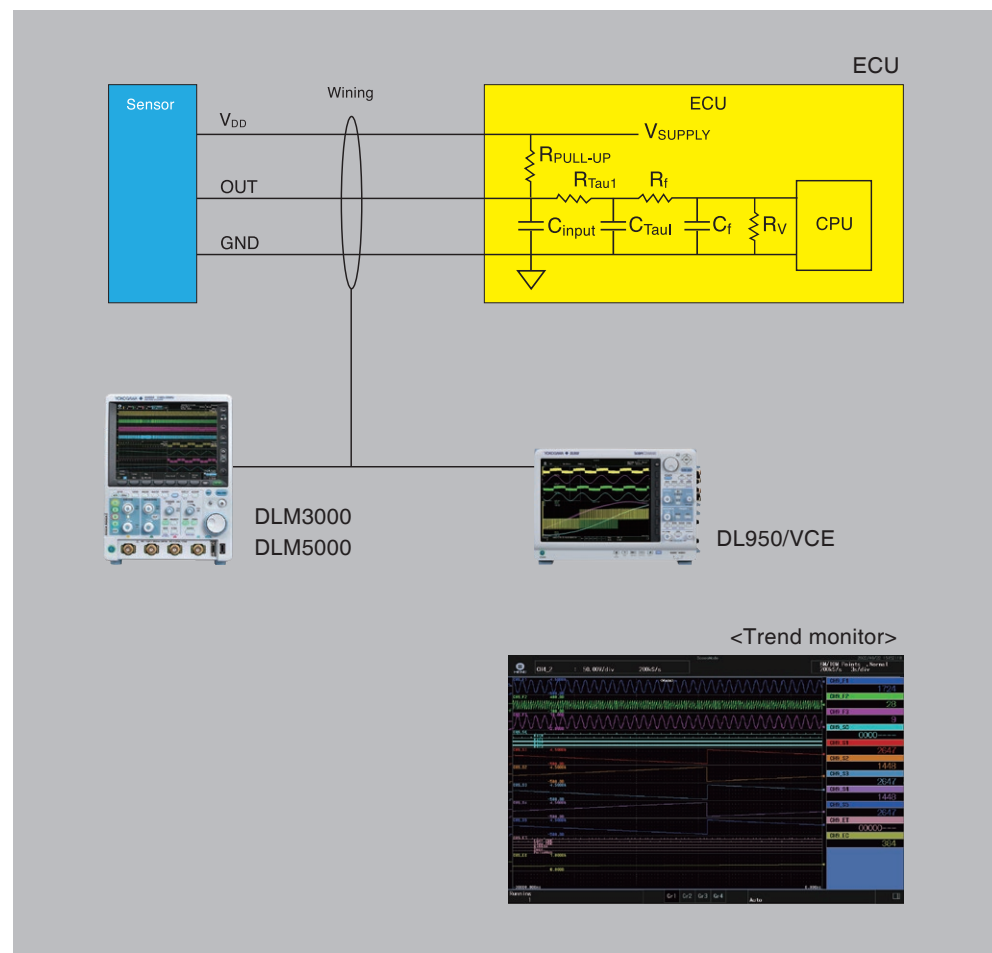
SENT总线的应用

SENT总线监测功能

为了应对更多的数据趋势分析,横河YOKOGAWA推出了自己的解决方案。

使用横河DL950/VCE选件+SENT监视模块,可以实现:

- 每个端口最多11个数据的趋势监视器 (DL950/VCE选件);
 - 快速通道 (3CH), S&C, 慢速通道 (5CH), 错误;
 - 错误计数 (错误发生的累计计数);
- 同时进行模拟量波形监测对比;
- 每个模块2个端口, 一台横河 DL950最多可装配8个端口;
- 同时评价多个通信系统;
- 有助于提高开发效率;



横河YOKOGAWA示波记录仪SENT总线监测应用：

在整车厂电力电子研发过程中，需要测试汽车油门踏板的角度信号，该信号为SENT总线信号，角度信息为nibble1、nibble2、nibble3组合而成，研发客户主要需要得到MSN、MidSN、LSN这三个参数，再进行加减运算（如： $256 * \text{MSN} + \text{MidSN} - 16 + \text{LSN}$ ）即可得到角度变化曲线。这其中需要用到横河DL950的SENT模块监测及实时运算功能。

横河DL950示波记录器sent总线监测图



<测量波形>

CH1_F1: FAST CH
CH1_F2: FAST CH
CH1_F3: FAST CH
CH1_SC: Status & Communication
CH1_S1: SLOW CH
CH1_S2: SLOW CH
CH1_S3: SLOW CH
CH1_S4: SLOW CH
CH1_S5: SLOW CH
CH1_ET: 错误触发(错误发生监视器)
CH1_EC: 错误计数
(错误发生的累计计数)

如上述及左图所示，每个端口最多可监视11个数据的趋势。

3



FlexRay Bus Introduction FlexRay总线简介

随着汽车控制技术智能化发展,智能网联汽车、无人驾驶汽车的兴起,车载控制元件也不断增加。通过CAN总线、LIN总线实现联网的方式接收、发送并处理大量的数据已经难以满足需求,而传输速率更高、容错功能更强、拓扑选择更全面、同时具备事件触发和时间触发的新型数据总线—FlexRay总线应运而生。

FlexRay总线是由宝马、飞利浦、飞思卡尔和博世等公司共同制定的一种新型通信标准,专为车内联网而设计,采用基于时间的触发机制,具有高带宽、容错性能佳等特点,在实时性、可靠性和灵活性方面具有很强的优势。

FlexRay具有高速、可靠及安全的特点, FlexRay在物理上通过两条分开的总线通信,每一条的数据速率是10MBit/s。FlexRay还能够提供很多网络所不具有的可靠性特点。尤其是FlexRay具备的冗余通信能力可实现通过硬件完全复制网络配置,并进行进度监测。FlexRay同时提供灵活的配置,可支持各种拓扑,如总线、星型和混合拓扑。FlexRay本身不能确保系统安全,但它具备大量功能,可以支持以安全为导向的系统(如线控系统)的设计。

FlexRay总线特点

高传输速率：

FlexRay的每个信道具有10Mbps带宽。由于它不仅像 CAN和LIN网络这样的单信道系统一般运行，还可以作为一个双信道系统运行，因此可以达到20Mbps的最大传输速率，是当前 CAN最高运行速率的20倍。

确定性：

通信是在不断循环的周期中进行的，特定消息在通信周期中拥有固定位置，因此接收器已经提前知道了消息到达的时间。到达时间的临时偏差幅度会非常小，并能得到保证。

灵活性：

在FlexRay协议的开发过程中，关注的主要问题是灵活性，反映在如下几个方面：

- ①支持多种方式的网络拓扑结构；
- ②消息长度可配置：可根据实际控制应用需求，为其设定相应的数据载荷长度；
- ③使用双通道拓扑时，即可用以增加带宽，也可用于传输冗余的消息；
- ④周期内静态、动态消息传输部分的时间都可随具体应用而定。

同步时基：

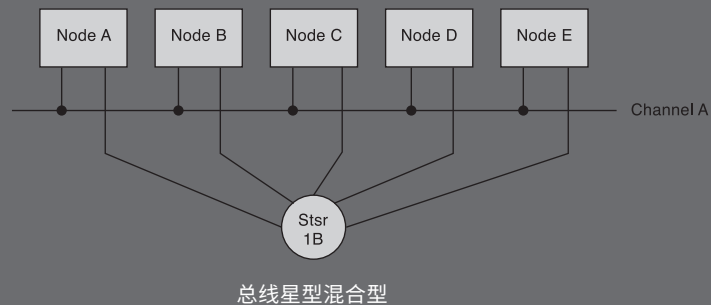
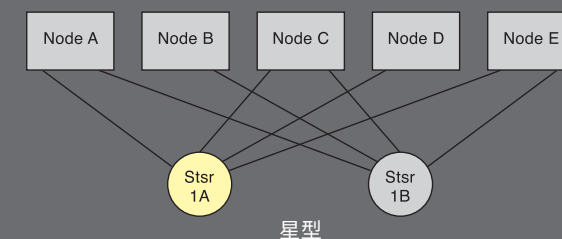
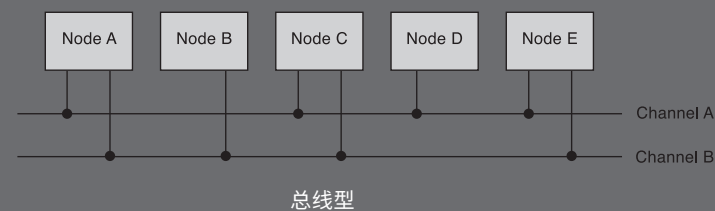
FlexRay中使用的访问方法是基于同步时基的。该时基通过协议自动建立和同步，并提供给应用。时基的精确度介于 $0.5\mu\text{s}$ 和 $10\mu\text{s}$ 之间(通常为 $1\sim 2\mu\text{s}$)。

高容错：

强大的错误检测性能和容错功能是FlexRay设计时考虑的重要方面。FlexRay总线使用循环冗余校验CRC (Cyclic redundancy check) 来检验通信中的差错。FlexRay总线通过双通道通信，能够提供冗余功能，并且使用星型拓扑可完全解决容错问题。

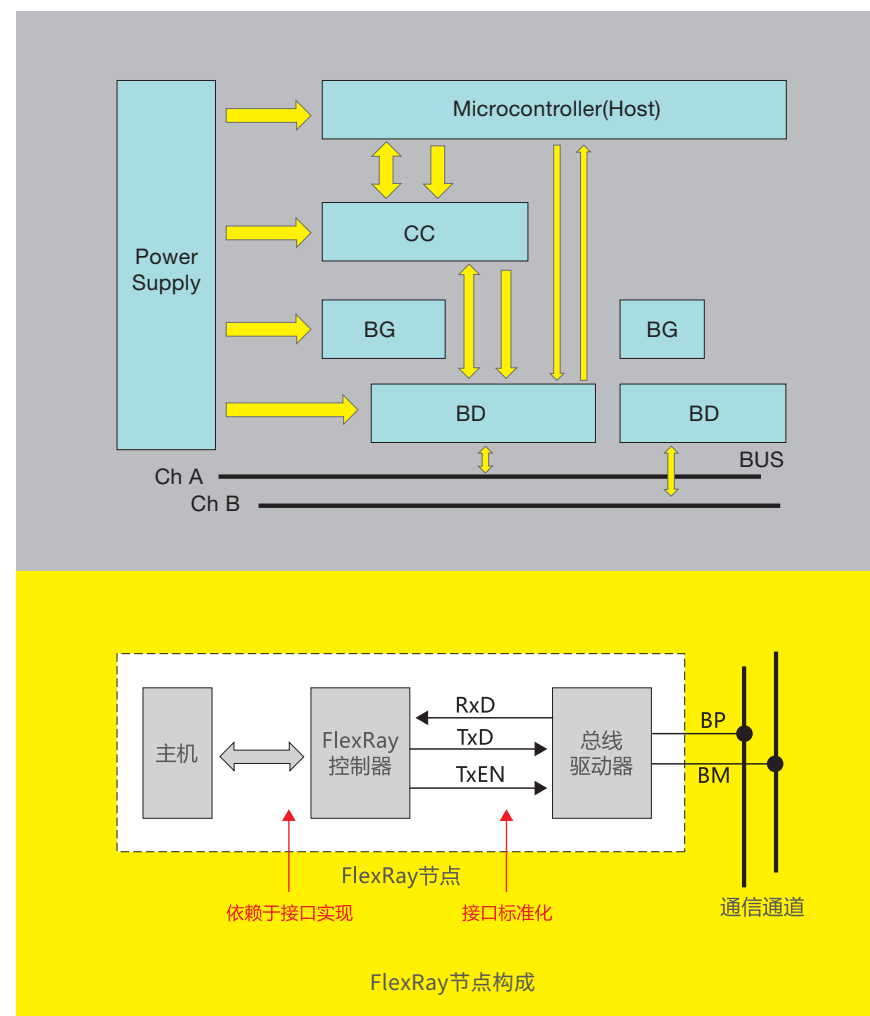
FlexRay拓扑结构

FlexRay 的拓扑主要分为 3 种：总线式、星型、总线星型混合型。



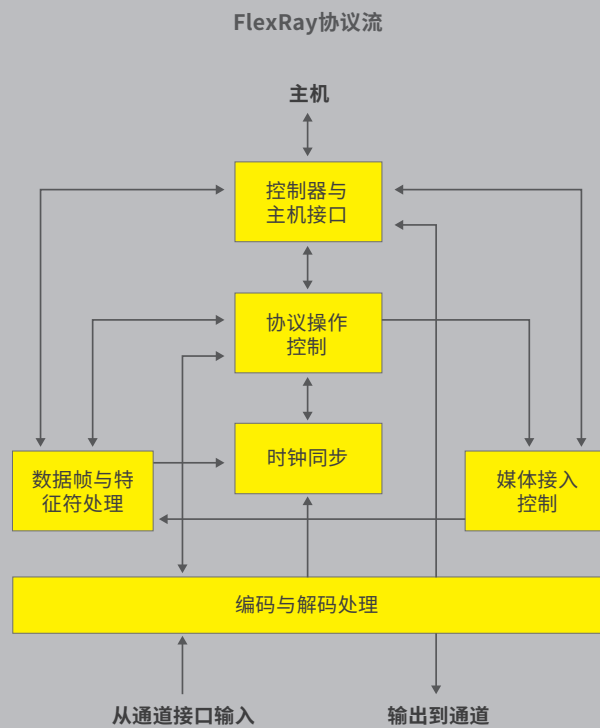
FlexRay节点构成

ECU (Electronic Control Unit), 即节点node, 是接入车载网络中的独立完成相应功能的控制单元。主要由电源供给系统 (Power Supply)、主处理器 (Host)、固化FlexRay 通信控制器 (Communication Controller)、可选的总线监控器 (Bus Guardian) 和总线驱动器 (Bus Driver) 组成, 如图所示。主处理器提供和产生数据, 并通过 FlexRay 通信控制器传出去。其中 BD 和 BG 的个数对应于通道数, 与通讯控制器和微处理器相连。总线监控逻辑必须独立于其他的通讯控制器。总线驱动器连接着通信控制器和总线, 或是连接总线监控器和总线。



FlexRay通讯协议和机制

FlexRay的网络通信协议主要包括:控制器主机接口、协议操作控制、数据帧与特征符处理、媒体接入控制、时钟同步、编码与解码处理。具体协议流程如右图所示:



FlexRay物理层

FlexRay 总线状态

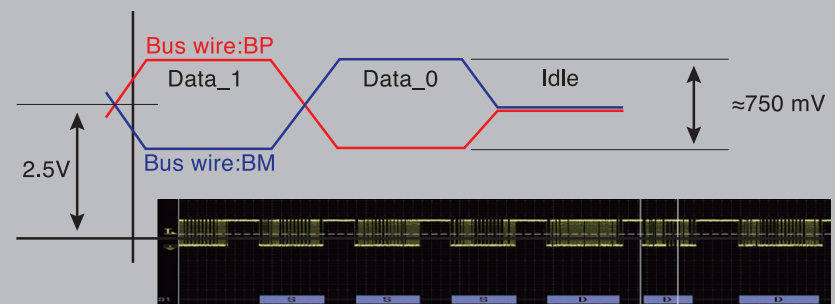
- 两种信号状态都是显性;
- Idle 是隐性;

Idle_LP: 低功率状态

Idle: 总线无通信状态

Data_1: 逻辑高

Data_0: 逻辑低



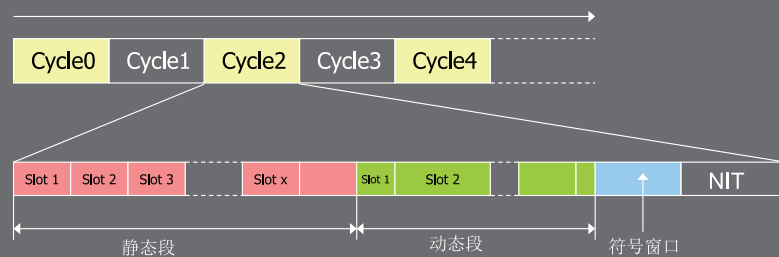
FlexRay通信周期

通信周期是一个基本过程。

通信周期计数在0-63之间重复工作。

它由同步的全局时钟周期性触发。

每个周期由静态段、动态段、符号窗口和网络空闲时间 (NIT) 组成。



时隙、空闲时间、帧、符号窗口和网络闲置时间

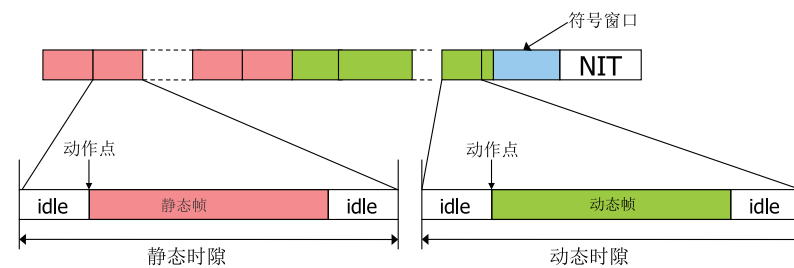
时隙是每个节点可以占用总线的时间段。

一个时隙是由空闲时间 (逻辑“1”) 和帧组成。

每个静态时隙都有固定的长度。静态时隙的数量为2-1023。

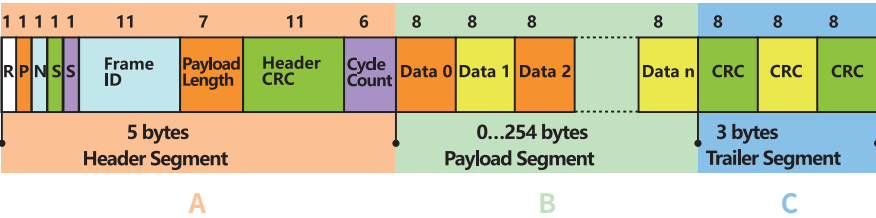
动态时隙的长度是灵活的, 并且使用迷你时隙构建。

一个周期内的最大时隙数为2047。



FlexRay数据帧

一个数据帧由头段 (Header Segment)、有效负载段 (Payload Segment) 和尾段 (Trailer Segment) 三部分组成。FlexRay 数据帧格式如图 所示。



A 头段共由5个字节 (40位) 组成, 包括以下几位:

- 1、保留位 (1位): 为日后的扩展做准备;
- 2、负载段前言指示 (1位): 指明负载段的向量信息;
- 3、无效帧指示 (1位): 指明该帧是否为无效帧;
- 4、同步帧指示 (1位): 指明这是否为一个同步帧;
- 5、起始帧指示 (1位): 指明该帧是否为起始帧;
- 6、帧 ID (11 位): 用于识别该帧和该帧在时间触发帧中的优先级;
- 7、负载段长度 (7位): 标注一帧中能传送的字数;
- 8、头部 CRC (11位): 用于检测传输中的错误;
- 9、周期计数 (6位): 每一通信开始, 所有节点的周期计数器增 1;

B 负载段是用于传送数据的部分, FlexRay 有效负载段包含 0~254 个字节数据。对于动态帧, 有效负载段的前两个字节通常用作信息 ID, 接受节点根据接受的 ID 来判断是否为需要的数据帧。

对于静态帧, 有效负载段的前 13 个字节为网络管理向量 (NM), 用于网络管理。

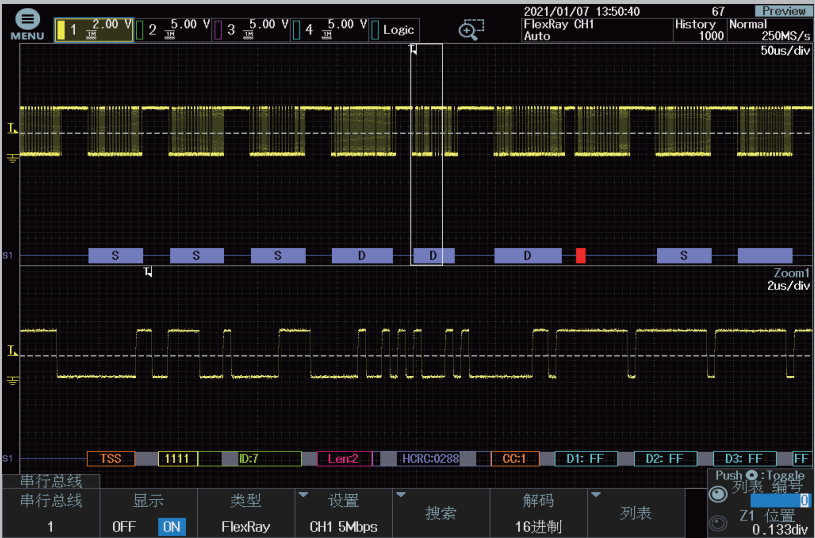
C 尾段只含有24位的校验域, 包含了由头段与有效负载段计算得出的CRC校验码。计算CRC时, 根据网络传输顺序将从保留位到负载段最后一位的数据放入CRC生成器进行计算。

横河YOKOGAWA示波器在FlexRay总线测试中的优势

横河YOKOGAWA DLM系列示波器进行FlexRay协议解码特点:

- FlexRay总线自动设置触发, 快速检测和显示解码数据;
- 实时硬件解码;
- 支持多种触发模式设置;
- 独立的双缩放窗口, 用于显示模拟波形和FlexRay总线波形;
- 深度内存最高可达500MPt, 实现长时间的总线数据采集, 可分析最长达5000帧;
- 缩放搜索功能可查找指定的数据或错误帧;
- 可将解码后的数据以CSV文件格式存储到PC或内部存储器;
- 适用FlexRay协议2.1版;

横河DLM3054示波器FlexRay总线解码图

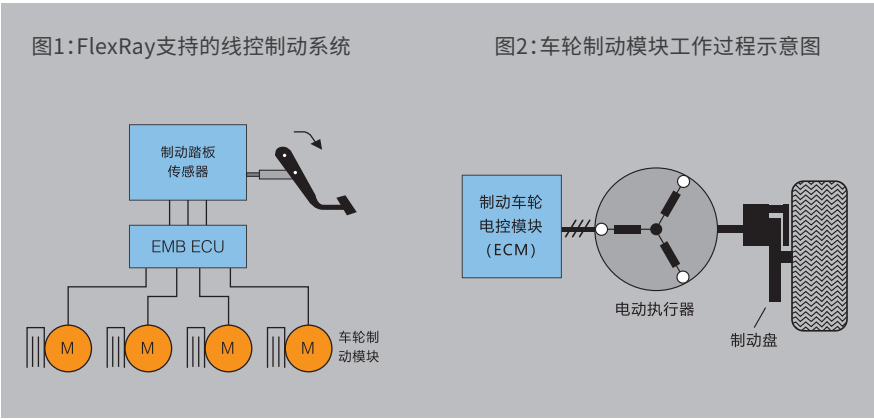


FlexRay总线在线控制制动系统中的应用

高级底盘控制是FlexRay推动新技术在汽车设计中的最好应用。虽然防抱死制动系统 (ABS) 在大量车辆上得到普及,但是车辆稳定性控制仍然是一个复杂、费用高昂的难题。基于FlexRay网络控制的线控制动技术的出现,车辆稳定性控制的主要组件将向更轻、更快、更简单、效率更高的方向发展,从而实现高级车辆的稳定性控制。

线控制动技术 (亦称电子机械制动—EMB) 可以消除制动液和液压管路的困扰。单独的高性能电机在每个车轮上产生制动力,制动由ECU控制,并由电子踏板模块发出的信号执行。FlexRay提供通信协议,支持整个系统的高速信息传送,FlexRay的容错功能保证了线控制动系统的绝对可靠性。

如图1所示, FlexRay支持的线控系统包括用作ECU部件的车辆控制节点、每个车轮提供的单独节点和一个制动踏板节点。系统包含大量传感器、电动执行器、电控模块 (ECM) 和减速器装置,制动车轮节点属于该系统。从根本上说,制动时电子信息便从踏板节点发送到ECU,ECU再将信息转载到车轮节点ECM,ECM的主要功能是接收制动踏板信号,处理并提供适当的电压向量,以便电动执行器能够完成必要的扭矩响应(如图2)。



电动执行器将电能转换成机械能,通过减速器装置传输到制动器外壳和制动垫块上,然后它们作为一个整体将制动力施加到制动盘上。FlexRay的高带宽功能可以快速传输大量极为详尽的信息,从而使机械反应变得非常迅速、准确。由于每个车轮节点都是FlexRay网络的独立系统,每个车轮可以在不同时间间隔提供不同的制动压力,从而在不同制动情况下提供即时的稳定性控制。此外,使用综合感应技术将其他信息 (如重量分配、乘客定位、胎压偏差、路面状况等) 装载到线控制动上,线控驾驶系统将提供空前的车辆稳定控制级别。

(注:该应用文章参考武汉理工大学学报信息与管理工程版“车载网络FlexRay及其在线控制动系统中的应用”,文章编号:1007-144X(2007)01-0030-03)

横河DLM3054示波器FlexRay解析结果列表



横河测量技术（上海）有限公司

上海市长宁区天山西路799号603室

电话：021-62396363

技术支持与服务热线：4008200372

