

汽车单片机与车载网络技术

· 职业院校汽车类专业（方向）通用教材 ·

主 编◎王晓勤 朱会东 席敏

电子科技大学出版社



# 汽车单片机

## 与车载网络技术

QICHE DANPIANJI  
YU CHEZAI WANGLUO JISHU

主 编◎王晓勤 朱会东 席 敏



电子科技大学出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press

# 目 录

<b>项目一 汽车单片机技术基础</b> .....	1
任务一 概    述 .....	1
任务二 单片机的内部结构和原理 .....	6
任务三 单片机指令系统与程序设计 .....	10
任务四 单片机的内部资源及应用 .....	27
任务五 单片机系统的扩展技术 .....	54
<b>项目二 汽车单片机控制技术</b> .....	65
任务一 CAN 总线概述 .....	65
任务二 CAN 数据链路层的基本原理 .....	69
任务三 CAN 总线的总线管理 .....	78
任务四 SJA1000CAN 控制器 .....	85
<b>项目三 车载网络技术基础</b> .....	89
任务一 现场总线 .....	89
任务二 车载网络的结构与组成 .....	92
任务三 常用基本术语 .....	95
任务四 汽车网络参考模型 .....	104
任务五 车载网络分类和通信协议标准 .....	104
任务六 汽车对通信网络的要求 .....	114
<b>项目四 局部连接网络</b> .....	116
任务一 概述 .....	116
任务二 LIN 总线的组成和工作原理 .....	121
<b>项目五 常用车载网络技术</b> .....	136
任务一 汽车车载局域网 .....	136
任务二 VAN 总线 .....	146
任务三 FlexRay 总线 .....	154
任务四 MOST 总线 .....	171
任务五 蓝牙技术 .....	175
任务六 汽车光纤技术 .....	179

项目六 典型汽车车载网络系统 .....	184
任务一 大众/奥迪轿车 .....	184
任务二 东风雪铁龙赛纳轿车 .....	206
任务三 通用欧宝威达轿车 .....	226
任务四 一汽马自达 6 轿车 .....	233
任务五 奔驰轿车光纤通信系统 .....	238
项目七 车载网络系统故障与检修 .....	243
任务一 车载网络系统故障 .....	243
任务二 车载网络系统的故障检修 .....	245
任务三 车载网络系统案例分析 .....	263
参考文献 .....	279

# 项目五 常用车载网络技术

## 项目概述

本项目主要介绍了：LAN、VAN、FlexRay、MOST、蓝牙、汽车光线等常用车载网络技术的结构组成及其工作原理。

### 任务一 汽车车载局域网

汽车车载局域网（Local Area Network, LAN）是指分布在汽车上的电器与电子设备在物理上互相连接，并按网络协议相互通信，以共享硬件、软件和信息等资源为目的的电子控制系统。LAN 的性能取决于传输介质、拓扑结构和 MAC 协议，其中传输介质和拓扑结构是主要的技术选择，它们在很大程度上决定了可以传输的数据类型、通信速度、效率以及网络提供的应用种类。LAN 常用的拓扑结构有 3 种，即星形、环形和总线型/树形。

#### 一、LAN 的结构和特点

##### 1. LAN 的构成

LAN 的构成如图 5-1 所示，在汽车内部采取基于总线形式的网络结构，可以达到信息共享、减少布线、降低成本以及提高总体可靠性的目的。通常的汽车网络结构采用多条不同传输速率的总线分别连接不同类型的节点。CAN 等通信协议的开发使多个 LAN 可通过网关（智能服务器）进行数据通信，实现整车的信息共享和网络管理。

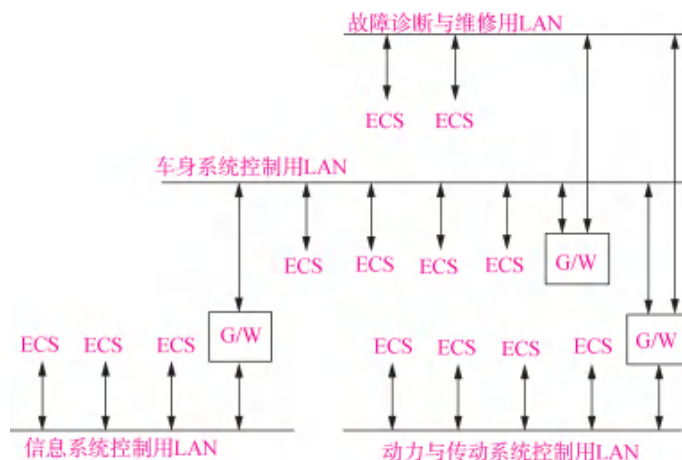


图 5-1 LAN 的构成

G/W-网关 ECS-电控单元或电子控制系统



开发和应用 LAN 使各个电控单元之间能互相交换数据和协调工作，并实现对汽车性能的精确、快速控制，减少配件，简化故障诊断和维修。

典型的 LAN 结构如图 5-2 所示。与其他控制环境相比，车内温度变化范围和电磁干扰大，所以 LAN 的运行可靠性十分重要。

目前，国内外中高档轿车，如上海大众帕萨特 B5 和波罗、一汽大众宝来和奥迪 A6、广州本田、东风雪铁龙等车都采用了 LAN 技术。

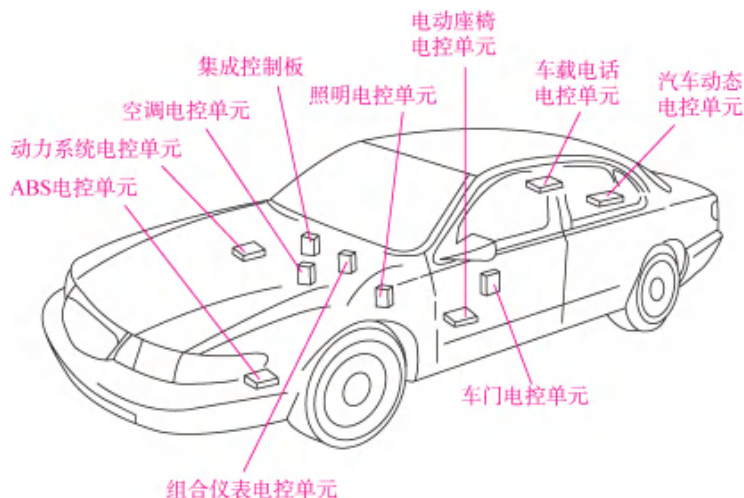


图 5-2 典型的 LAN 结构

## 2. 采用 LAN 技术汽车的特点

- (1) 汽车电子控制系统只需一根通信电缆，减少线束连接，减轻汽车重量。
- (2) 电子控制系统部件数量减少，使汽车的可靠性增加。
- (3) 可实现实时故障诊断、测试和报警，实现集中显示、历史查询和故障自诊断等功能，使汽车具有行驶记录仪的功能。
- (4) 电子控制系统的扩展性强，增加电控装置时几乎不需要对原有局域网的软件和硬件进行任何改动。

## 二、LAN 的传输介质

LAN 的传输介质有同轴电缆、双绞线和光纤，其特性如表 5-1 所示。

表 5-1 同轴电缆、双绞线和光纤的主要特性对比

传输介质	信号类型	最大数据传输速度 (Mbit/s)	最大传输距离/km	网络节点数
双绞线	数字	1~2	0.1	几十
同轴电缆 (50 Ω)	数字	10		几百
同轴电缆 (75 Ω)	数字	50	1	几十
同轴电缆 (75 Ω)	FOM 模拟	20	10	几千
同轴电缆 (75 Ω)	单信道模拟	50	1	几十
光纤	模拟	100	1	几十

## 三、LAN 的 MAC 协议

LAN 总线适用于复杂系统，其传输介质的形式有总线型/树形、星形和环形等。网络众多节点之间相

互访问的控制十分重要，以解决众多节点共用一个信息通道产生冲突等问题，称为 MAC 技术。

MAC 的基本方法如下：

#### 1. 循环式

每个节点轮流得到发送机会，每次发送数据总量或时间有一个限制，超过该限制的数据在下一循环中发送，适合很多节点都发送数据，网络利用率高。

#### 2. 预约式

由节点请求后预约，适合数据长时间连续传输。

#### 3. 竞争式

适合突发、短时间、零星数据传输，由各节点自由竞争发送机会。

美国电气和电子工程师协会（IEEE）于 1980 年 2 月为 LAN 的 MAC 制定一个协议，称为 IEEE802 标准。当一个 LAN 网络的传输介质和拓扑结构选定后，局域网的性能就主要取决于 MAC。

### 四、LAN 的应用

#### 1. 丰田汽车采用的两种供多路传输通信需要的集成电路

丰田汽车采用的供多路传输通信需要的集成电路有通信控制 IC 和总线收发器 IC，都以 SAE J1850 标准的脉宽调制（PWM）编码格式作为基础的通信协议。

通信控制 IC 的设计与众不同，如有较高的故障自动防护操作和能减少施加在 CPU 上的额外通信量的特性，IC 采用 CMOS 技术制造，芯片尺寸为 5.5 mm×5.5 mm，芯片中约有 14 000 个晶体管。

总线收发器 IC 的特点如下：

（1）在数据传输周期中，能使进入总线中的一对双绞线线芯的电流与总线中另一对线芯的返回电流精确匹配，能抵抗电磁干扰，对车内无线电接收非常有利。

（2）在数据接收周期中，当总线中的任一对双绞线线芯出现故障时，具有改变数据接收阈值电压的能力。IC 采用双极技术制造，在 3.0 mm×5.7 mm 的芯片中约有 700 个元件。

#### 2. 丰田汽车公司选用 SAE J1850 标准的 PWM 编码作为两种集成电路通信协议的基础

从电子控制的角度出发，通信速率越高，汽车的控制性能越好，即大量的数据能在一个单位时间内传输和交换，而使数据通信延迟保持在最低级别。但较高的通信速率，会在高频区不可避免地增大辐射噪声，从而在车内引起无线电接收噪声。采用同轴电缆或光纤能有效地限制辐射和噪声。

目前，选择 J1850-PWM 作为通信控制 IC 和收发器 IC 通信协议的基础。J1850 是 SAE 推荐的作为 B 类通信的标准，即为专供汽车 LAN 运行在中等通信速率的标准，也可用作汽车故障诊断的接口协议基础。

#### 3. 丰田汽车按 SAE J1850 标准设置的两种集成电路的相关规范

##### （1）主要特征

位速率为 41.67 kbit/s，位编码为 PWM，总线访问/存取采用具有非破坏性位仲裁及碰撞检测功能的载波监听多路访问/冲突检测（CSMA/CD）技术，传输媒介为双线。

##### （2）帧格式

J1850-PWM 的帧格式如图 5-3 所示，数据组按字节单位，先安置最高有效位，共 12 个字节（包括 CRC 和 IFR）并允许调节。



图 5-3 J1850-PWM 的帧格式

## (3) 位和符号格式

J1850-PWM 的位（数据 1 或 0）和符号格式如图 5-4 所示。位和符号被限定在  $24\ \mu\text{s}$  的间隔帧或其整数倍帧内，对于各帧的允许误差为  $\pm 2\%$ 。

## (4) 传输启动条件

当总线空闲或被检测到的前导脉冲边缘处于帧间空间（IFS）时，允许传输启动。

## (5) 非破坏性位仲裁

J1850-PWM 采用非破坏性位仲裁，位仲裁的典型电路如图 5-5 所示。在各个节点上，若给定的至发送器的全部输入信号  $\text{TX}_n$ （ $\text{TX}_1$ 、 $\text{TX}_2$ ）为低电平，则连接到总线（+）和总线（-）的全部驱动晶体管都截止。由于下拉电阻与总线（+）相通，因此总线（+）的电压也处于低电平；由于上拉/负载电阻与总线（-）相连，故总线（-）的电压处于高电平。因此，各个独立节点上的接收器输出低电平。

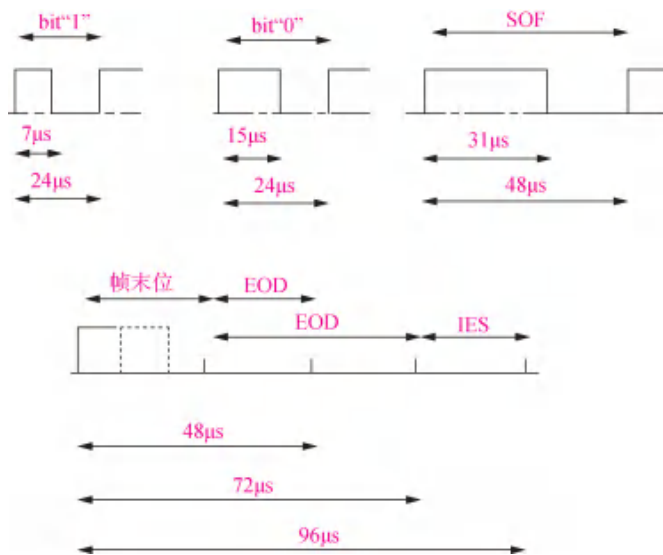


图 5-4 J1850-PWM 的位和符号格式

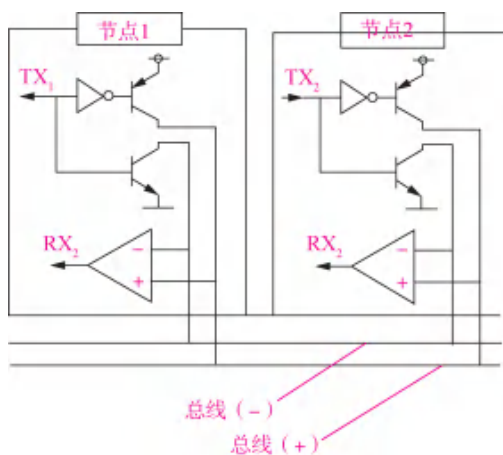


图 5-5 非破坏性位仲裁电路

若在最末节点上给予发送器的输入信号  $\text{TX}_n$  为高电平，则两个对应的驱动晶体管导通，总线（+）的电压处于高电平，总线（-）处于低电平。因此，各个节点上的接收器输出高电平。

接收器输出信号波形如图 5-6 所示。节点 1 和节点 2 能同时启动传输数据，与总线上的 J1850-PWM 相符。对于 J1850-PWM，当位 1 与位 0 相互碰撞时，位 0 占优势（处于支配地位）。对于该协议，要求所

有节点都具有碰撞检测能力，即使在传输过程或瞬态停止传输过程中都能一直监测总线的状态。如果从某节点输出的波形发生畸变，节点自身能进行发送检测。具有碰撞检测能力的几个节点进行启动传输，其中总有一个节点能在帧未被破坏的情况下完成传输。

因此，通过首选的几位作为优先位，对于各个独立帧有可能赋予理想的优先次序，以确保进位最优先的帧，在最短的等待时间间隔内，甚至是总线最繁忙的情况下获得传输权。能在限定的时间间隔内传输紧急信息非常重要，有了该项技术规范，采用 LAN 设计出的电子控制系统能很好地满足实际需要。

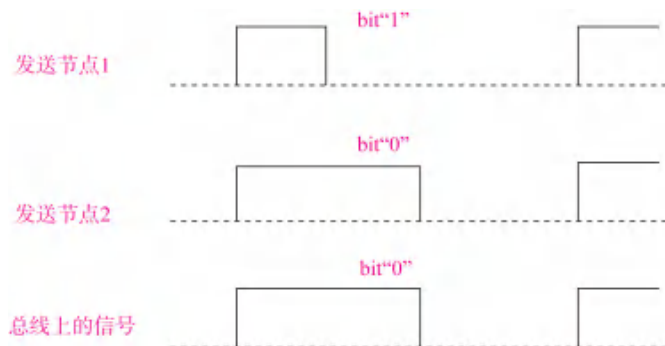


图 5-6 接收器输出信号波形

#### 4. 通信控制 IC 的结构特点

通信控制 IC 位于主 CPU 与收发器 IC 之间，用于将 0 和 1 数据流转换为与通信协议相符的格式，或将 PWM 位转换为 0 和 1 数据流。

通信控制 IC 芯片的尺寸为  $5.4\text{ mm} \times 5.5\text{ mm}$ ，含 13 500 个晶体管，采用双层铝-2  $\mu\text{m}$  COMS 工艺制造。其结构特点如下：

##### (1) 发送端与接收端的脉冲宽度有差别

判别 PWM 位和符号可参考脉冲宽度，但发送端信号发送的脉冲宽度与接收端的脉冲宽度会有差别。为实现非破坏性位仲裁，以下两点是造成发送端与接收端脉冲宽度差异的主要原因：

1) 脉冲上升和下降的时间不等。非破坏性位仲裁受发送器赋予的高电平和下拉电阻给予的低电平之间完全不同的驱动力影响。脉冲上升时间取决于总线上的寄生电容量和发送器上的驱动力，而脉冲下降时间取决于总线上的寄生电容量和下拉电阻上的位仲裁驱动力。由于脉冲上升和下降时间的差值较大，因此，脉冲宽度存在差异。

2) 在传输位同步电路中，由于延迟造成脉宽扩展。对于非破坏性位仲裁，任一（或全部）正常传输节点上的位传输启动时间在信号碰撞过程中必须重合。这就要求每个独立的节点都具有持续不断地监测总线，检测前导边缘，以及在数据传输过程中能立即发送下一位的能力。但在传输位同步的电路中，从首次检测任一前导边缘，到传送下一位的信号处理通路，若存在着任何延迟，则脉冲宽度会相应变宽。

脉冲宽度差别的程度主要取决于 LAN 的电路布局、总线长度和节点数量。由于总线长度和节点数量随车型而异，仅靠发送和接收系统对脉宽变动允许量作为鉴别系统工作可靠性的依据并不充分。若所用的参数遵循 J1850-PWM 规定，则在各种不利条件都同时存在的情况下，要保障非破坏性位仲裁很困难。

为此，丰田汽车公司研制了具有较高可靠性的发送和接收系统，对其传输波形的脉冲宽度做了选择（如图 5-7 所示），与图 5-4 相比较，位 1 和 0 的波形有所改变。



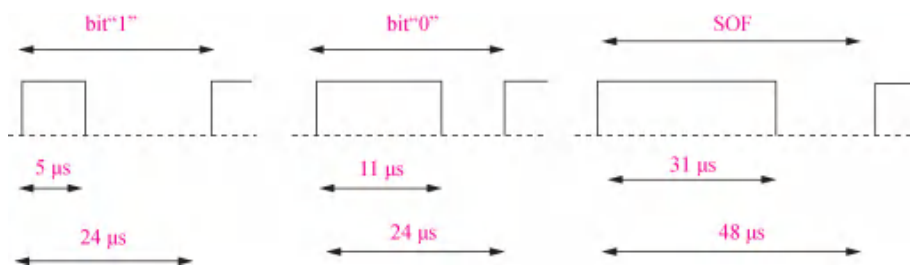


图 5-7 位和 SOF 波形

另外，接收过程中的抽样点也重新做了选择，如图 5-8 中的“△”符号处。经测定，这些抽样点可以引导每个位和符号的错误识别成为最少的一组。

发生和接收系统的时钟误差容限（±20%）为通过通信 IC 时钟误差的最大公差，在此公差范围内，如果由收发器 IC 和总线组成的信号通路无延迟，则通信正常。延迟容限（6.5 μs）是在信号通路中允许的最大延迟级，如果通信 IC 时钟无误差，则信号通路中能有效地建立通信。

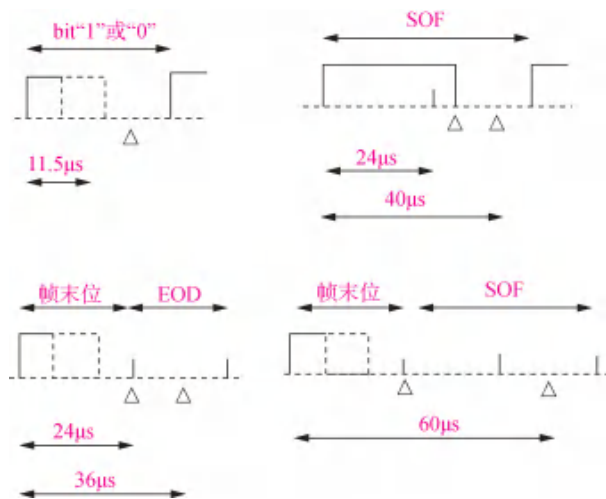


图 5-8 位和符号抽样点

## (2) 配置有故障自检测功能的多种内部控制块

通信控制 IC 内部控制块的配置如图 5-9 所示。各种控制块的功用及特点如下：

1) LAN 控制块：由传输控制块、传输线故障检测器、帧内响应（IFR）控制块、接收控制块、差错检测器和帧选择器组成。

① 传输控制块转换数据为 PWM 波形以及对数据添加符号。

② 传输线故障检测器检测通信 IC 是否有信号送出，以便检测通信 IC 在信号接收接柱上发生的断路故障。

③ IFR 控制块检测传送数据过程中从接收节点收到的帧内响应码。在接收数据过程中，IFR 控制块生成 IFR 码，在发帧过程中如果没有从接收节点获得正确的 IFR 码，通信控制 IC 将自动地重发帧多达 3 次。

④ 接收控制块在接收数据中鉴别符号和位数，同时将其转换为位流 0 和 1，由发送和接收系统完成。传输信号的脉冲宽度和抽样点可通过改变 IC 人工掩膜的铝层达到预期的变换，以精确地与原 J1850-PWM 相适配。接收控制块有机内数字滤波器，用于减小噪声。由于采用了滤波器，在边缘检测时产生延迟。为确保传输位同步，传输控制块内提供了一种能补偿这种延迟的逻辑能力。

⑤ 差错检测器检测 CRC 和帧长度错误。

⑥ 帧选择器检测所接收到的帧是否按要求通过主 CPU，使主 CPU 避免接收不需要的信息，减少进入 CPU 的载荷。

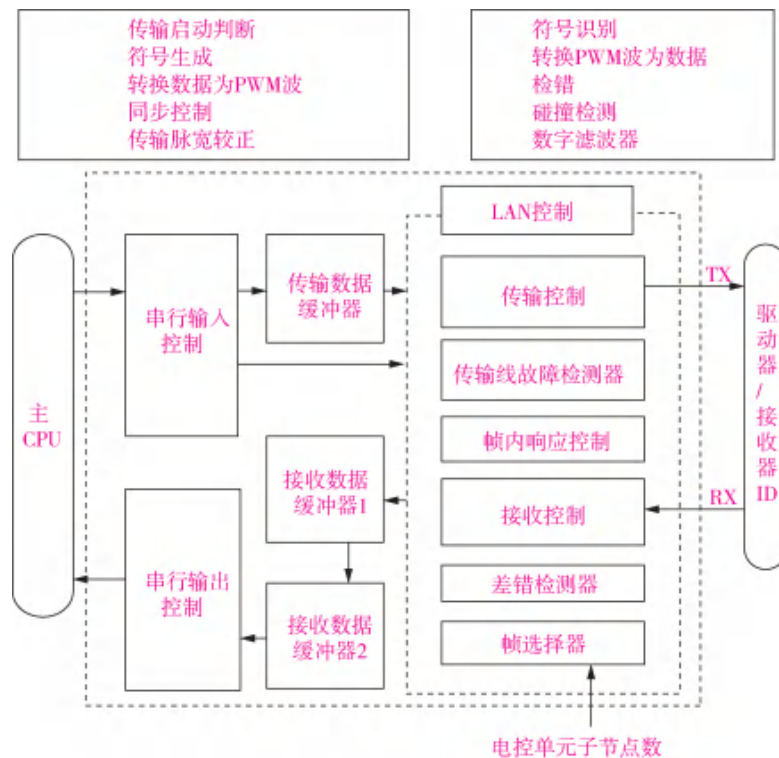


图 5-9 通信控制 IC 内部控制块的配置

2) 串行输入控制块：属于输入接口，用于发送来自主 CPU 的信号，含有串行输入口和与主 CPU 组成的信号交换控制回路。另外，还有通向 LAN 控制块按传输要求的信号生成回路。

3) 传输数据缓冲器：属于存储缓冲器，存储将要发送的数据帧。

4) 接收数据缓冲器 1 和 2：属于存储缓冲器，分别存储将要被接收的数据帧。如果经检测的数据和经鉴定传输到主 CPU 的数据无错误，则从 LAN 控制块接收到的数据首先存储在接收数据缓冲器 1 中，然后再送入接收数据缓冲器 2。

5) 串行输出控制块：将所接收的数据传送至主 CPU 的输出接口，包括串行输出口和与主 CPU 组成的信号交换控制回路。

#### 5. 收发器 IC 的结构特点

收发器 IC 采用一个直接接口与通信总线互联，其芯片尺寸为  $3\text{ mm} \times 5.7\text{ mm}$ ，有 550 个元器件（含晶体管、电阻、电容），采用双级处理工艺。

##### (1) 发送器的结构特点

发送总线与抑制无线电噪声技术密切相关，无线电接收装置的高频元件及所接收的调幅或调频波的噪声特性，会对汽车其他电子设备产生不利影响。在通信过程中，无线电噪声的出现率将成为采用 LAN 的最大障碍。因此，要正确选择抑制噪声的电路结构和方法。

传统的电压驱动法如图 5-10 所示。当总线上的电压逐渐增高至最大值（持平），总线上的电流方向就突然改变，以此限制电磁干扰辐射。但此方法对采用 CSMA/CD 的 LAN 不利，因为采用具有碰撞检测功能的 CSMA/CD 的局域网，允许有一个以上的节点同时传输数据。

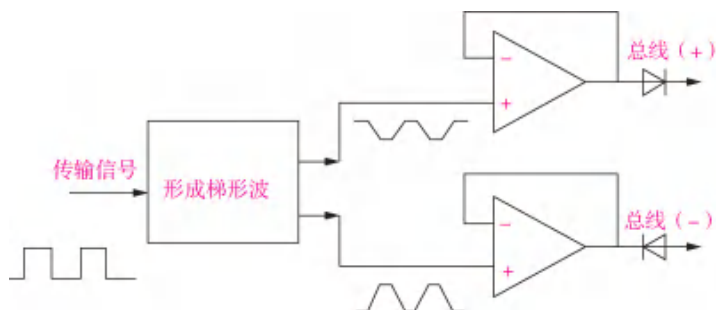


图 5-10 传统的电压驱动法

多节点电路如图 5-11 所示。节点 1 开始传输稍后一点时隙，节点 2 才开始传输。假设总线发送器赋予节点 1 和节点 2 的特性值相同，发送器分配给节点 2 的驱动力达到最大级时，等量电流才分别流入节点 1 和节点 2，此时流入节点 1 的电流仍占 1/2。当节点 2 上的驱动力达到最大级时，位于节点 1 和节点 2 之间的电流发生突降，一旦节点 2 上的驱动力稍微超过了节点 1，相应 P 点的电流突降会更陡，此时 CSMA/CD 的 LAN 性能不好。因此，采用传统的电压-驱动法抑制无线电噪声效果不理想。

电流驱动法如图 5-12 所示。从通信控制 IC 发送出的脉冲信号，经过梯形脉冲生成电路进行“波形韧化”，再通过电压-电流转换器，将电压转换为电流传送。该电路能确保进入总线（+）的电流能与总线（-）返回的电流精确匹配。电流驱动法直接控制电流量，能保证总线上的电流不再发生突降，即使总线上的电流总量随现行传送数据的节点数量的增加而增大，甚至发生碰撞，电流变化过程也只会经电压钳位器输出。电压钳位器能将总线电压限制到某一固定电平。电流驱动法并不直接控制总线电压，但会控制高电压不出现。因此，电压钳位器对抑制无线电噪声非常有效。

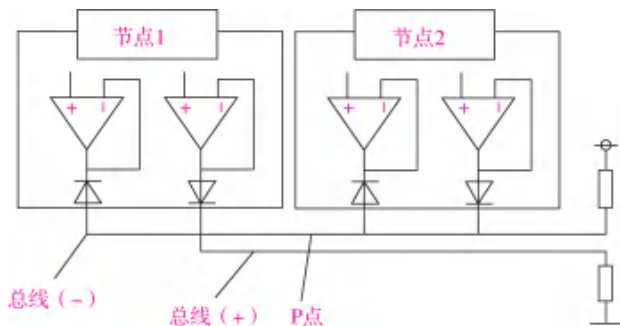


图 5-11 多节点电路

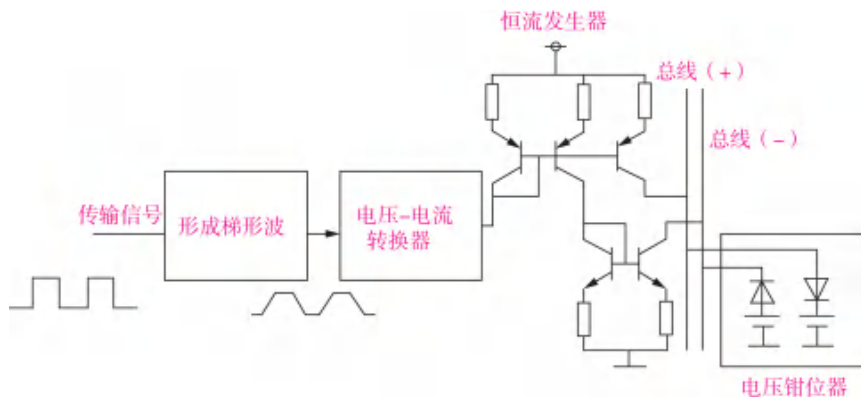


图 5-12 电流驱动法

(2) 接收器的结构特点

接收器电路具有故障容错功能，即在绞线对中的某根线断路或短路时，通信仍能继续进行，以增强网络的工作可靠性。接收器控制电路如图 5-13 所示。

通过交流耦合电容器 1 和 2，将通信总线上的电压转换传送至 A 点和 B 点。在 C 点由减法电路产生一个等于 A 点和 B 点间的电位差输出。峰值和底值保持电路在 D 点和 E 点分别存储峰值和底值电压作为模拟信号。在 F 点出现一个等于峰值和底值的平均电压。C 点的电压（A 点和 B 点间的电位差）送给比较器，F 点的电压也馈入比较器，再由比较器输送至通信控制 IC。该电路能恒定地调节电压至最佳值，以适应通信总线电压变化。

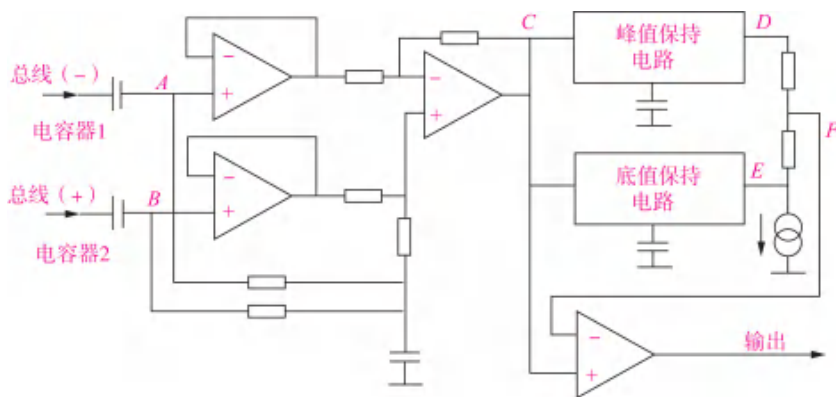


图 5-13 接收器控制电路

当通信总线处于正常状态时，图 5-13 中各点电压的相应转换如图 5-14a 所示。当总线（+）对搭铁短路，各点的电压变化如图 5-14b 所示。若总线（+）对搭铁短路，则总线上电压的幅值变小，虽然噪声容限也随之减小，但还可继续通信。尽管总线（+）对搭铁短路，其输出波形与图 5-14a 仍完全相同。

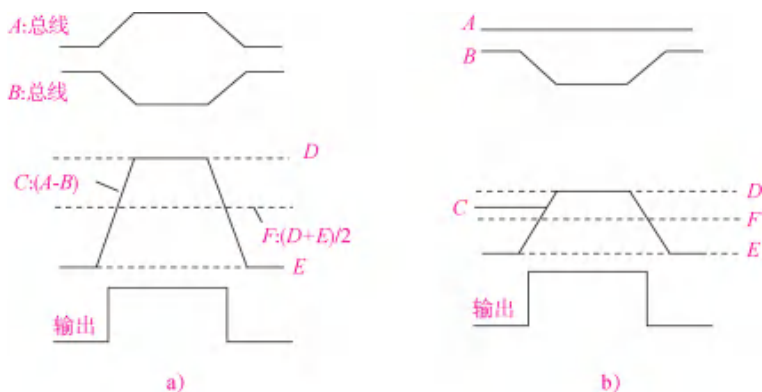


图 5-14 接收控制块波形

a) 正常状态；b) 总线（+）搭铁短路

6. 通信控制与收发器 IC 的使用情况

丰田汽车配置了由 5 个电控单元组成的 LAN 系统，采用了前述的通信和收发器 IC，并用带屏蔽的双绞线电缆作为通信总线，通信总线在车内布置成环形（如图 5-15 所示），将 5 个电控单元当作节点与其相连，并分别控制发动机和悬架等，所需的数据有发动机转速和车速等，数据经由环形总线进行传输。



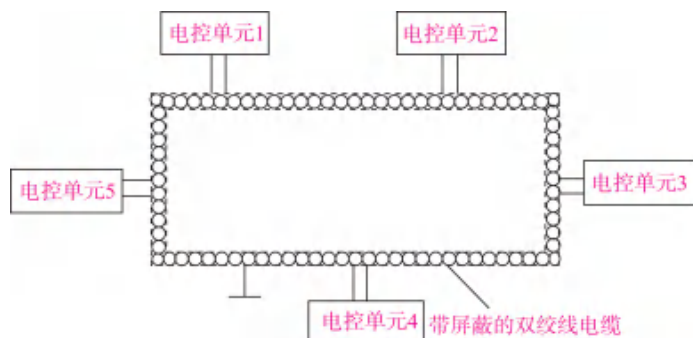


图 5-15 汽车网络

两种 IC 及车内 LAN 通信的效果如下：

(1) 对无线电噪声的抑制能力

经试验台上试验表明，新型收发器 IC 装用在车上比传统的开式集电极电路装用在车上的噪声明显减小，能满足噪声上限规范的要求。

(2) 对电磁干扰的承受能力

LAN 能承受电磁干扰，所测值能满足所有频带对应的限值要求。

(3) 对电气噪声的抵抗能力

测试评价时，对喇叭、空调、刮水器、照明装置和行李舱开启器等 14 种电气负载各驱动 50 次，伴随着开关负荷产生的噪声进行。测试表明它能确保检测不超过 8 位的突发差错，因此，即使在有电气噪声存在的情况下，数据也不会被错判。

通信过程中，若生成的电气噪声破坏了通信帧，则通信控制 IC 的重发能力会使总线尽快恢复稳定工况并重发数据。重发也需要时间，但最多延迟一个帧的时间间隔。

电气负载的输入、输出信息通过量很小，测试和评价结果表明电气负载产生的噪声对 LAN 的控制性能影响不大。

(4) 对信息通过量与等待时间的测定

通信协议采用非破坏性位仲裁，即使输入、输出信息通过量上升至 100% 也不会发生严重问题，但输入、输出信息通过量增加会使通信/传输等待时间延长。对于汽车控制，传输等待时间过长会出现问题，因此，对于 LAN 网络，需要确定合理的等待时间。

可用检验器测量 LAN 通信量。检验器重复发送最低优先级和最高优先级帧。发送频率调至约每秒一次的较小值，不会影响通信量。测试结果表明，LAN 的传输等待时间的级别不会对汽车控制造成不良影响。

#### 7. 丰田汽车公司除选用 PWM 编码协议外又定义了 NRZ 编码协议

前述的通信控制和收发器 IC 采用 PWM 位编码和双总线系统，主要是针对发动机和悬架等复杂控制对象。而对于车身内部电子控制，如中央门锁、电动车窗、可调倾角的伸缩式转向柱、车内照明设备亮度和刮水器等控制，都没有必要采用高成本复杂的通信 IC，而只需采用较少分立元件的多路复用 IC 和简单的收发器电路以及单总线系统，即可满足车身内部电子控制的需要。

为匹配较简单的多路传输系统，丰田汽车公司又定义了一种功能较少的 NRZ 编码的协议，其主要特征及帧格式如下：

(1) 总线存取方法为具有非破坏性位仲裁及碰撞检测功能的 CSMA/CD。

(2) 位编码为 NRZ。

- (3) 位速率为 5 kbit/s。
- (4) 数据长为 2 B。
- (5) 错误校验为 8 位 CRC（可检测 3 位以内的随机差错）。
- (6) 传输媒体为单线。

帧格式如图 5-16 所示。



图 5-16 帧格式

## 任务二 VAN 总线

### 一、概述

VAN 是车辆局域网 (Vehicle Area Network) 的简称，由法国雪铁龙汽车公司、雷诺汽车公司和标致集团联合开发，主要应用于车身电气设备的控制。VAN 作为专门为汽车开发的总线，1994 年成为国际标准。VAN 通信介质简单，在 40m 内传输速率可达 1 Mbit/s，按 SAE 分类标准属于 C 类，VAN 总线系统协议是一种只需要中等通信速率的通信协议，反应时间约为 100 ms。VAN 支持分布式实时控制的通信协议，可广泛应用于汽车门锁、电动车窗、空调、自动报警和娱乐控制等系统。VAN 总线为串行通信网络，与一般总线相比，其数据通信的可靠性、实时性和灵活性好。VAN 标准特别考虑了苛刻的环境温度、电磁干扰和振动等因素，尤其适用于需要现场总线的实时控制。VAN 总线协议的 OSI 模型分层如图 5-17 所示。

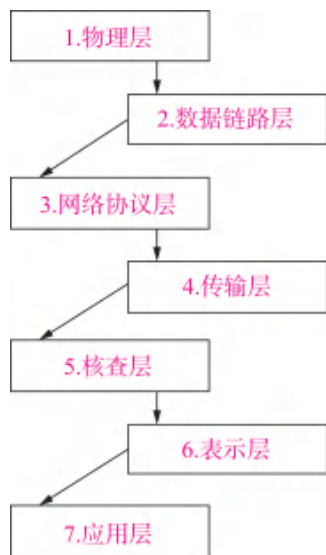


图 5-17 VAN 总线协议的 OSI 模型分层

## 二、VAN 总线的组成

### 1. VAN 总线的典型结构

VAN 总线协议将各复杂通信系统进行连接，同时将简单元件和支线连接成总线，确保网络传输，其典型结构如图 5-18 所示。

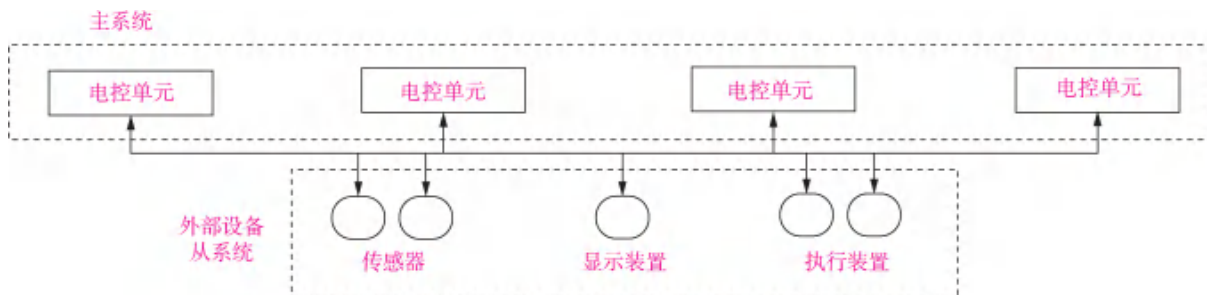


图 5-18 VAN 总线的典型结构

### 2. 拓扑结构

拓扑是指 VAN 总线协议允许的各个电控单元之间的排列方式，电控单元通常按照总线—树形或总线—树形—星形的拓扑方式相互连接，如图 5-19 所示。

### 3. 传输介质

VAN 总线的信号传输常用双绞铜线，每个电控单元只对应一个双绞铜线的传输介质。两根导线分别被称为 DATA 和 DATAB，对应于 CAN-H 和 CAN-L 导线，任何一根导线都可以将 VAN 的信息传输至显示屏或收放机。VAN 的数据导线既可以采用铜质双绞线，也可采用同轴电缆，还可用光导纤维（即光纤或光缆）。

VAN 总线的 DATA 数据线和 DATAB 数据线电压如图 5-20 所示，VAN 总线采用差动信号传输方式，抗干扰能力强，且具有良好的容错能力。VAN 总线在一条导线出现故障的情况下，还具有单线工作能力。

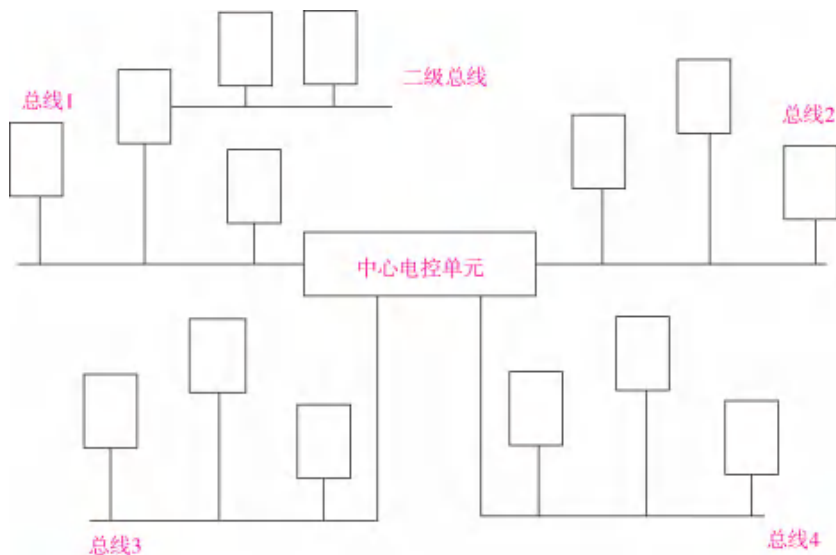


图 5-19 VAN 总线拓扑的结构

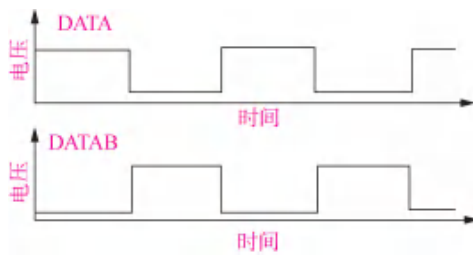


图 5-20 VAN 总线的 DATA 数据线和 DATAB 数据线电压

#### 4. 节点结构

VAN 总线电控单元之间采用标准接口（VAN 标准）进行信息数据处理，由协议控制器和线路接口组成，如图 5-21 所示。

##### (1) 协议控制器

负责 VAN 信息输入和输出的编码和译码，检测到空闲总线之后即进入该总线，冲突管理，错误管理，与微处理器（或微型控制器）的接口进行数据传输。

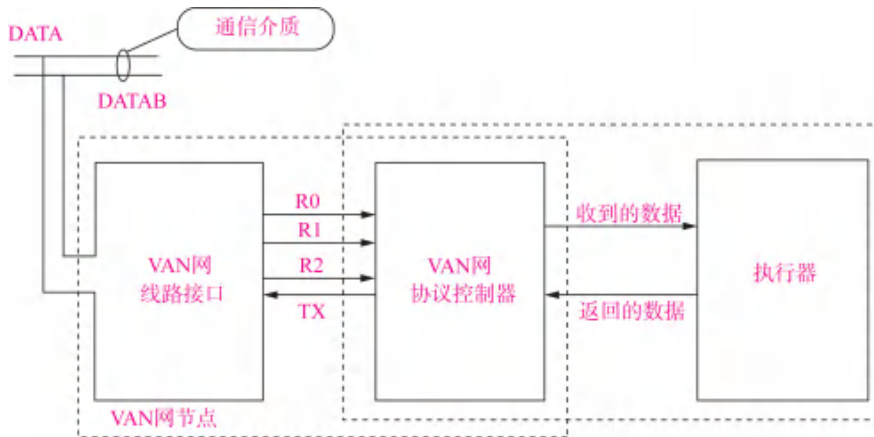


图 5-21 VAN 总线系统节点的结构

##### (2) 线路接口

将 VAN 总线的 DATA 和 DATAB 信号翻译成无干扰的 R0、R1 和 R2 信号，传送至协议控制器；或将协议控制器的 TX 信号翻译成 DATA 和 DATAB 信号传送至 VAN 总线。

#### 5. 帧结构

VAN 总线的帧由 9 个域组成，如图 5-22 所示，其功能如表 5-2 所示。



图 5-22 VAN 总线的帧结构



表 5-2 VAN 总线帧的组成及功能

域名称	英文缩写	功能
帧始域	SOF	表示 VAN 数据总线系统帧结构的起始, 允许 VAN 支线外部设备自动适应 VAN 总线的速度
识别域	IDEN	标明数据的性质和数据的接收者
控制域	COM	标明帧的类型 (读或写) 以及分类传输模式 (点对点或数据发散, 是否需要签收回复命令)
数据域	DAT	包含有用的数据信息
控制区域	CRC	检验 VAN 帧内容的完整性
数据结束域	EOD	标示数据域结束和校验结束
获知域	ACK	用于存储接收数据的签收回复
帧结束域	EOF	标示出 VAN 帧的结束和组成空余总线的第 1 部分
帧分区域	IFS	保障帧之间的最小空间以及组成空余总线的第 2 部分

## 6. 传输模式

VAN 总线有 3 种传输模式, 如表 5-3 所示。

表 5-3 VAN 总线的传输模式

传输模式	功能
定时传输	VAN 总线定期向网络传送信息, 必须保证时间充裕, 便于接收时对每条信息合理取舍
事件传输	用于 VAN 总线信息数据传输交换
混合传输	上述两种传输模式组合使用, 确保可随时刷新信息

## 7. 进入传输介质

VAN 总线电控单元依靠随机方式和异步方式进入传输介质, 可根据需要执行命令。

(1) 进入 VAN 总线时, 需先检测是否空闲。若总线能连续读取 12 位的隐性数据, 即视为空闲, 此时 VAN 总线的各电控单元都能传送和接收信息。

(2) 两个以上的 VAN 总线电控单元同时进入网络时, 会发生冲突, 必须要判断优先级。

## 8. 服务功能

1) 用发散模式写入数据, 将一个数据发往多个数据使用者, 不在帧内签收回复。

2) 用点对点模式写入数据, 将一个数据发往一个确切的数据使用者, 在帧内签收回复。

3) 一个数据使用者向一个数据制造者发出数据请求。

4) 帧中回应, 在同一帧中对一个请求的回应; 或为滞后回应, 数据制造者没有在提出请求时立刻回应。

## 9. VAN 总线签收回复

VAN 总线的签收回复由数据发送激活和实现。若最后一个请求与一个确切的电控单元相连接 (“点对点”模式), 则将激活签收回复命令。此时, 单个确切的电控单元检测帧的格式是否正确, 对其回应一个信息 (识别域将进行核实); 未涉及此交换的其他电控单元则不产生回复。反之, 若最后一个请求与几个电控单元或网络中的电控单元整体相连, 则取消回复命令, 所有电控单元不产生回复, 只有相关电控单元处理该信息。因此, VAN 总线系统协议同样适用于数据发散模式和点对点交换模式。

### 三、VAN 总线的物理层

#### 1. 互补数据对

VAN 总线的物理层由互补数据对组成，其两条线分别为 DATA 和 DATAB。DATA 线和 DATAB 线同时传送相反且互补的信息，两条线比较靠近且呈双绞状，截面面积为  $0.6 \text{ mm}^2$  的铜导线，电磁半径较小，电磁力互相抵消，VAN 总线物理层入口的差逻辑计算器可将干扰消除，如图 5-23 所示。

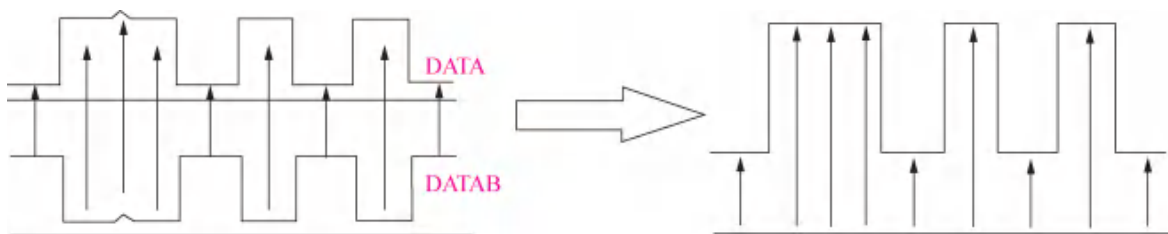


图 5-23 VAN 互补数据对

#### 2. 电压水平

VAN 总线互补数据对的电压水平统一，信号上升和下降的时间如图 5-24 所示。互补数据对形式的 VAN 信号如图 5-25 所示，VAN 总线信号接收和传输电路如图 5-26 所示，VAN 总线信号的传输过程如图 5-27 所示，VAN 总线信号的接收过程如图 5-28 所示。

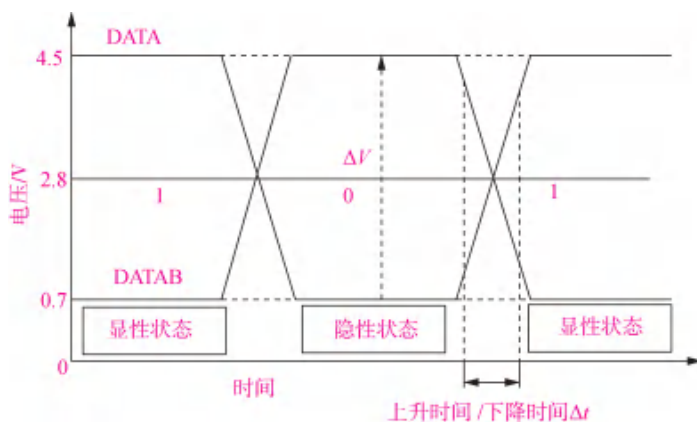


图 5-24 VAN 总线互补数据对的信号形式

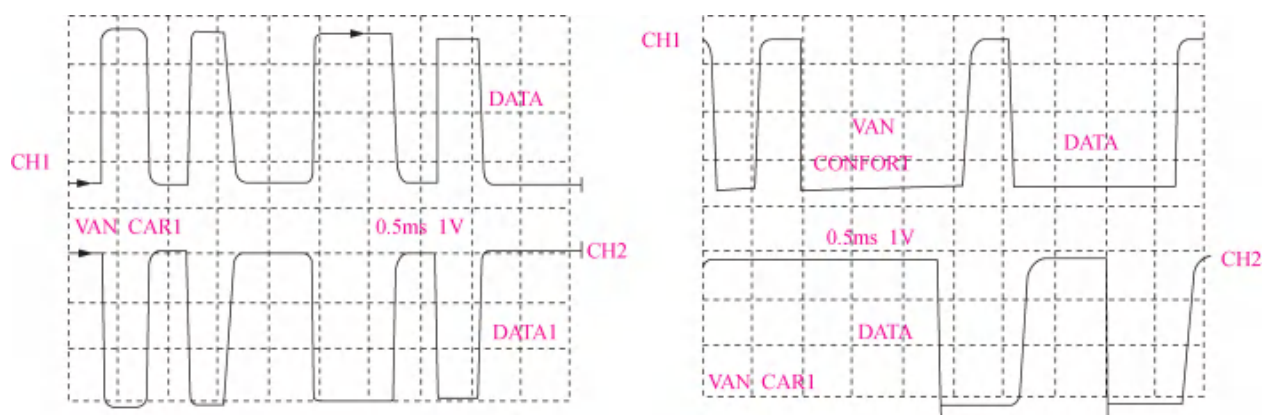


图 5-25 互补数据对形式的 VAN 信号

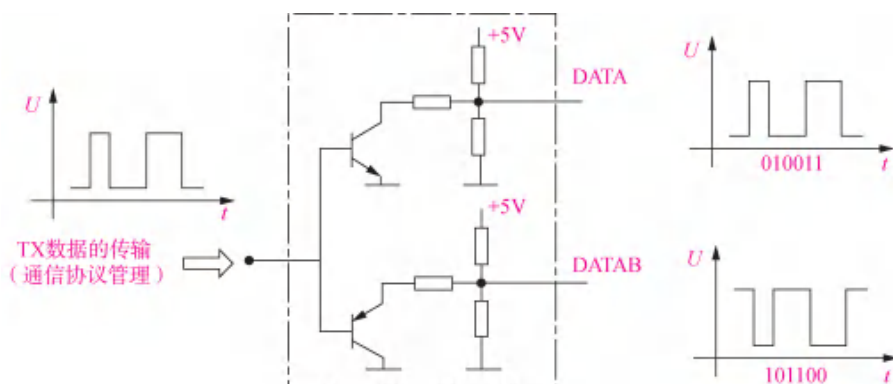


图 5-26 VAN 总线信号接收和传输电路

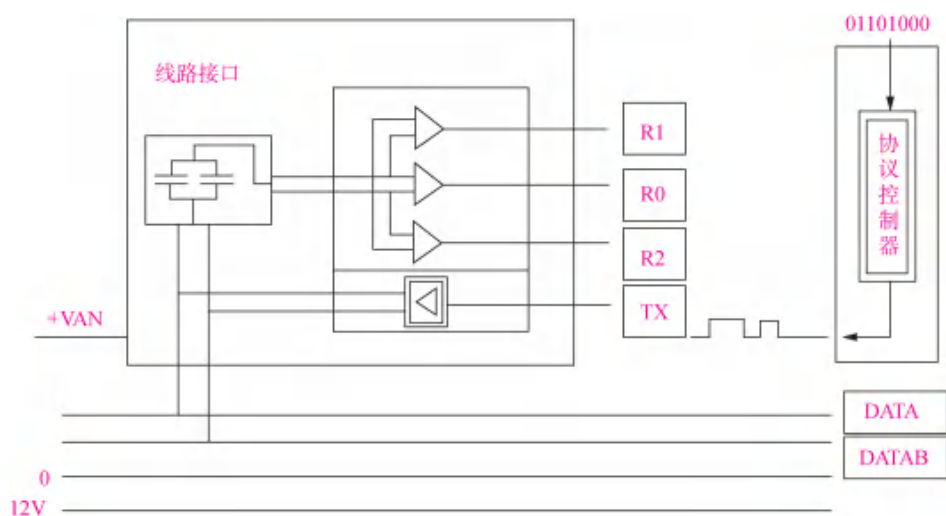


图 5-27 VAN 总线信号的传输过程

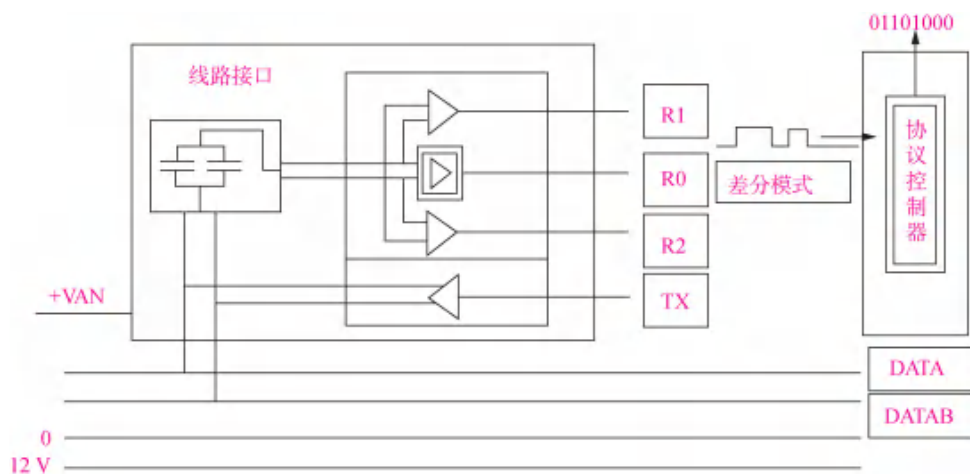


图 5-28 VAN 总线信号的接收过程

### 3. 故障诊断

VAN 总线的物理层有 3 个共用模式的比较器, 如图 5-29 所示。比较器将 DATA 线和 DATAB 线电压与参照电压进行比较, 以确定是否存在故障, 其原理如图 5-30 和图 5-31 所示。

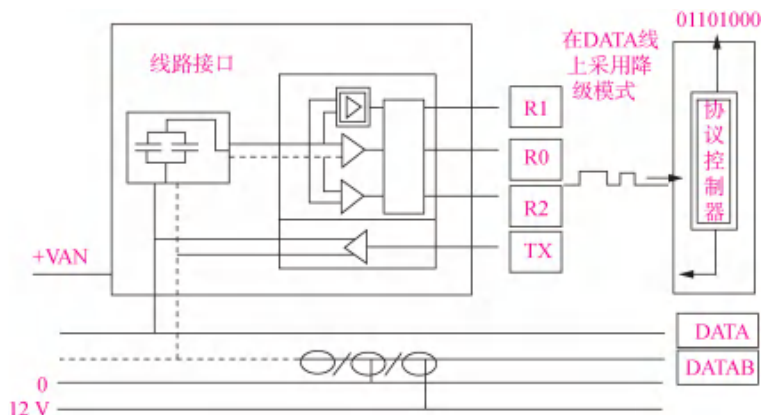


图 5-29 VAN 入口的 3 个比较器

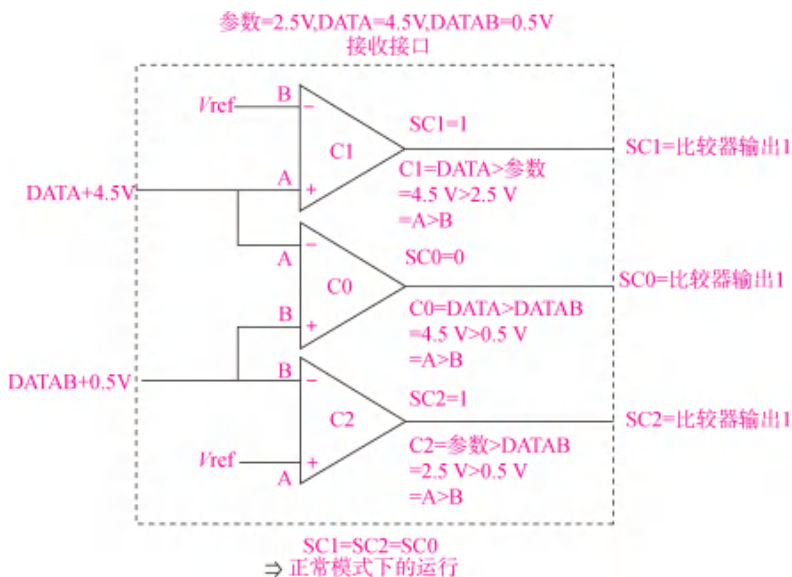


图 5-30 VAN 总线接收接口比较器参数比较 (一)

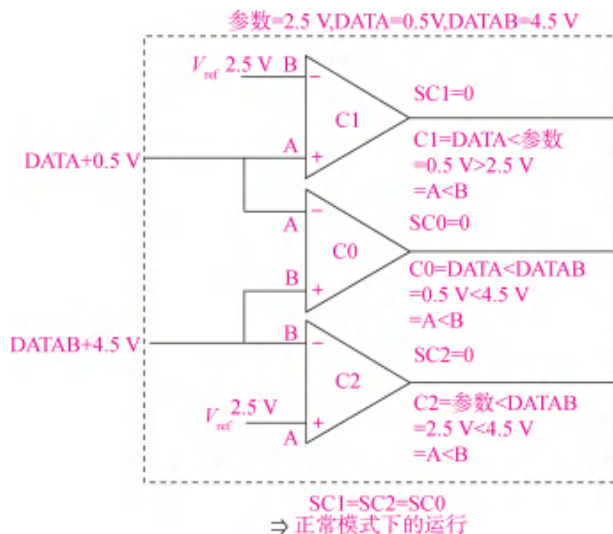


图 5-31 VAN 总线接收接口比较器参数比较 (二)



3 个比较器中至少有 1 个总能保持运转，故障形式：DATA 搭铁线短路，DATAB 运行；DATA 正极短路，DATAB 运行；DATAB 搭铁线短路，DATA 运行；DATAB 正极短路，DATA 运行；DATA 断路，DATAB 运行；DATAB 断路，DATA 运行。

若 DATA 和 DATAB 出现相互短路，则 VAN 总线发生真正故障。VAN 总线的故障模式如图 5-32 所示。

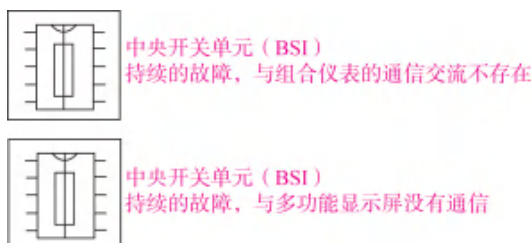


图 5-32 VAN 总线的故障模式

#### 4. 休眠和唤醒

VAN 总线的物理层负责管理系统的休眠与唤醒。VAN 总线的线路接口提供 3 个主要插头，实现以下功能：

- (1) 控制由驾驶人操作引起的网络唤醒，如车辆解锁。
- (2) 检测由另一个计算机造成的网络唤醒和允许正常功能运行。
- (3) 车辆从解除休眠状态转入再次休眠状态。

系统处于休眠状态时，主系统将 Sleep 插头搭铁，使 DATAB 线接通蓄电池电压。VAN 总线的休眠/唤醒策略如图 5-33 所示，电控单元利用 Wake 插头唤醒网络，Wake 插头消耗了 VAN 总线 DATAB 线路上的电流，主系统电控单元检测到电流，对 Sleep B 插头加 12V 电压退出休眠模式。DATAB 线路不再是蓄电池电压，主系统蓄电池电压转换成 +VAN 信号，VAN 总线被唤醒，可以正常通信。

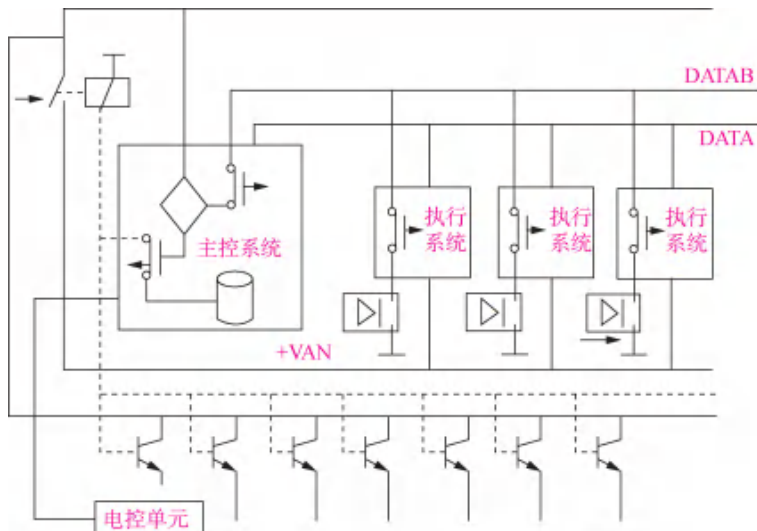


图 5-33 VAN 总线的休眠/唤醒策略

## 四、VAN 总线在汽车上的应用

VAN 总线以单一的 VAN 网络和 VAN 与 CAN 混合网络应用于汽车上，单一的 VAN 网络为多路传输系统。

### 1. 单一的 VAN 网络

早期研发的车载 VAN 舒适网主要用于汽车空调、报警、导航、CD 机、收音机、组合仪表、多功能显示屏、门锁、车窗和车灯等舒适性调节，目前应用的 VAN 多功能传输系统使用智能控制盒，即中央控制计算机对各功能单元进行控制，如图 5-34 所示，以减少对驾驶人本身素质的依赖，提高驾驶和乘车的舒适性及安全性。

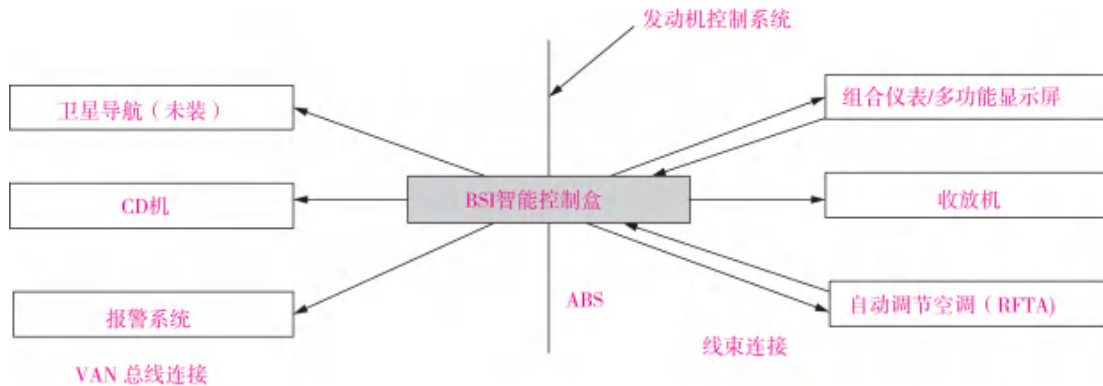


图 5-34 VAN 多功能传输系统

### 2. VAN 与 CAN 混合网络

VAN 与 CAN 混合网络主要用于满足更多功能和更高舒适度要求的车辆，如图 5-35 所示。CAN 总线为多主系统网络，用于发动机和底盘等；VAN 总线为多主控式网络，用于仪表、收音机、空调控制和导航系统等，VAN 与 CAN 具有可靠性、简单性和经济性，其中 VAN 总线多用于连接车身中的控制系统，CAN 总线通常用于连接轿车中的实时控制系统。

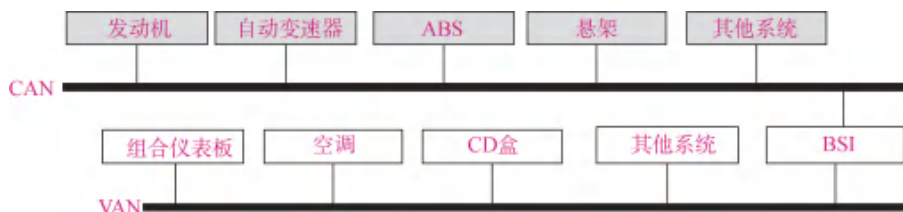


图 5-35 VAN 与 CAN 混合网络

## 任务三 FlexRay 总线

随着汽车电子技术的发展和线控系统（X-by-wire）的增加，对于车载网络通信系统的要求也在不断提高。被广泛应用的一些基于事件触发的总线系统，如控制器局域网 CAN，不能适应高通信速率的需要，不能满足分布式控制系统对于同步和延时的要求。在这样的背景下，产生了一些基于时间触发、传输速率高、通信延时小且固定的总线，其中就包括 FlexRay 总线。本项目将对 FlexRay 产生的背景、技术特点、通信原理及应用等方面进行介绍。

### 一、FlexRay 简介

1995 年，宝马汽车公司（BMW）和罗伯特·博世有限公司（Roben Bosch GmbH）开始探索“线

控”。1999年，宝马和戴姆勒-克莱斯勒公司（Daimler Chrysler）开始进行FlexRay研究。2000年9月，宝马、戴姆勒-克莱斯勒、Motorola公司（Motorola）（后来成为飞思卡尔公司）和Philips公司（Philips）（后来成为恩智浦半导体公司）一起签署了一个“联盟协议”，成立了FlexRay联盟（FlexRay Consortium）。Flex取自Flexibility，意为“灵活的”，Ray指联盟的标志——鳐鱼。稍后，博世、通用汽车公司（General Motors）、大众汽车公司（Volkswagen）也加入进来，这7家公司是FlexRay联盟的核心成员，他们负责制定FlexRay需求定义，开发FlexRay通信协议，定义数据链路层，提供支持FlexRay的控制器，开发物理层规范。2001年，提出了硬件解决方案，出现了第一个收发器原型。2004年6月，公布名为“FlexRay 2.0”的扩展协议规范。2005年5月，公布名为“FlexRay 2.1”的扩展协议规范。2005年11月，推出第一个内置FlexRay 2.1通信控制器的微控制器。2006年1月，Vector、Decomsys等面向FlexRay的开发工具上市。2006年9月，BMW X5车中主动式阻尼控制系统采用了FlexRay，这标志着FlexRay开始进入整车实际应用阶段。2008年，宝马7系中全面应用了FlexRay。此时，已经应用了FlexRay的车型包括：奥迪A6和A8，宝马X5、7系、5系，宾利慕尚，劳斯莱斯幽灵等。此后，奔驰、兰博基尼、路虎、沃尔沃等汽车制造商也逐渐上市配备有FlexRay的车型。

随着FlexRay通信协议逐步发展成熟，几乎所有核心的汽车制造商、电子和半导体公司都加入了该联盟。FlexRay成员分为4个等级，分别是核心成员、重要联系成员、联系成员和开发成员。截至2009年9月，该联盟共有28个重要联系成员和60多个联系成员。2009年年底，为了开放式发展，FlexRay协议被提交至国际标准化组织（ISO），随后该联盟解散。

FlexRay协议已被国际标准化组织纳入标准体系中，2010年6月公布了ISO 10681-1:205-3-通用信息和用例定义，ISO 10681-2:205-3-通信层服务。2013年2月公布了ISO 17458-1:2013到ISO 17458-5:2013，分别为：通用信息和用例定义、数据链路层规范、数据链路层一致性测试规范、电气物理层规范、电气物理层一致性测试规范。ISO 14229统一诊断标准中定义了会话层和应用层中相关的规范。FlexRay的分层结构如图5-36所示。



图 5-36 FlexRay 的分层结构

## 二、FlexRay 技术特点

### 1. FlexRay 特点

FlexRay 作为新一代汽车总线技术，为满足未来通信系统的需要，具有一系列先进特性，其主要特点如下：

#### (1) 高传输速率

FlexRay 总线支持两个通信信道，可在单通道上支持 10 Mb/s 的通信。当两个通道传输相同信息时，具有冗余容错能力；当两个通道传输不同信息时，总通信速率最高可达到 20 Mb/s，远高于 CAN 总线。

#### (2) 时间确定性

FlexRay 通信是以循环通信周期为基础的，在一个通信周期中采用两种媒体访问方法，分别为时分多址（Time Division Multiple Access, TDMA）和柔性时分多址（Flexible Time Division Multiple Access, FTDMA），周期性发送的消息在通信周期中拥有固定的时隙，从而确保了消息发送行为的确定性。

#### (3) 分布式时钟同步

FlexRay 的访问方法是基于同步时基的，同步时基通过协议自动建立和纠偏，时基的精确度介于  $0.5 \sim 10 \mu\text{s}$ ，一般取值为  $1 \sim 2 \mu\text{s}$ 。根据这个同步时基，网络中的所有节点都可以达到同步，并能预知消息到来的时间。

#### (4) 容错数据传输

FlexRay 总线具有专用决定性故障容错协议，支持多级别容错能力。此外，FlexRay 具有双通道冗余通信能力，可实现两通道间硬件功能的完全复制，并进行进度监测，进一步提高网络容错能力。

#### (5) 灵活性

FlexRay 总线支持总线型、星型及混合型等多种拓扑；采用两种媒体访问方式，既具有时间触发的确定性，也具有事件触发的灵活性；支持两个通信信道，既能用于冗余容错，也能用于增加总线带宽（并行通信方式）；且提供大量可配置的参数供用户进行系统调整、扩展，以满足不同的需求。

### 2. FlexRay 应用领域

基于上述特点，FlexRay 具有广泛的应用领域。

#### (1) 替代 CAN 总线

在数据速率要求超过 CAN 的应用中，会采用两条或多条 CAN 来实现，FlexRay 的数据传输速率远高于 CAN，可以替代这种多总线解决方案。

#### (2) 用作“数据主干网”

FlexRay 具有很高的数据速率，且支持多种拓扑结构，非常适合作为车辆骨干网络，用于连接多个独立子网络。

#### (3) 用于分布式控制系统

分布式控制系统用户要求确切知道消息到达的时间，且消息周期偏差非常小，这使得 FlexRay 成为具有严格实时要求的分布式控制系统的首选手段，可用于动力系统、底盘系统的集成控制中。

#### (4) 用于高安全性要求的系统

FlexRay 具备很强的容错冗余能力，可以支持面向安全的 X-by-wire 系统设计。

## 三、FlexRay 通信原理

### 1. FlexRay 物理层

#### (1) 节点基本结构

FlexRay 节点的基本结构如图 5-37 所示，主要由电源系统（Power Supply）、主机（Host，也称为主控制器）、通信控制器（Communication Controller, CC）、总线驱动器（Bus Driver, BD）和可选的总线监控器（Bus Guardian, BG）组成。