

# LIN收发器的协议层 和物理层要求

AN-13-00010

作者：Xiutao, Lou; Lele Zhang



# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 摘要

随着汽车智能化脚步的加快，车辆内部的电子设备数量在逐步上升，这对汽车内部电子设备之间的通信是一个挑战。为了减少线束、降低通信成本，在对性能、带宽和复杂性要求不高的场合，LIN（Local Interconnect Network，本地互连网络）总线作为CAN总线的辅助，已经得到了广泛的使用。而LIN收发器作为LIN协议控制器和LIN物理总线之间的接口，其性能决定了LIN总线通信效率，是组成LIN通信网络的关键。本篇应用笔记主要针对于LIN收发器的协议层和物理层要求展开了详细叙述。

## 目录

1. 引言	2
1.1. 什么是LIN	2
1.2. LIN的发展历史	2
1.3. LIN总线的特点	3
1.4. LIN总线的网络架构	3
2. LIN协议层	5
2.1. 帧结构	5
2.1.1. 同步间隔段	5
2.1.2. 同步段	6
2.1.3. 受保护ID段	6
2.1.4. 数据段	7
2.1.5. 校验和段	7
2.2. 帧传输时间	8
2.3. 帧类型	8
2.3.1. 无条件帧	8
2.3.2. 事件触发帧	9
2.3.3. 偶发帧	10
2.3.4. 诊断帧	11
2.3.5. 保留帧	11

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 目录

2.4.调度表	11
2.5.状态机	12
2.5.1.主任务状态机	12
2.5.2.从任务状态机	12
2.6.错误类型	13
2.7.睡眠与唤醒	14
2.7.1.睡眠	14
2.7.2.唤醒	14
3. LIN物理层	15
3.1.物理层硬件	15
3.2.LIN总线收发器	15
3.2.1.上拉电阻	16
3.2.2.LIN总线电平	16
3.2.3.阈值电平	17
3.2.4.比特率偏差	17
3.2.5.位采样	18
3.2.6.占空比要求	19
3.2.7.失效模式性能	20
3.2.8.TXD显性超时	20
3.3.线路特性	21
4. 修订历史	22

## 1.引言

### 1.1.什么是LIN

LIN (Local Interconnect Network, 本地互连网络) 总线是针对汽车分布式电子系统而定义的一种低成本的串行通讯网络, 是对控制器区域网络(CAN)等其它汽车多路网络的一种补充。LIN总线最大传输速率是20kbps, 主要用在汽车内不需要高速传输且对安全性要求不高的场合, 例如车灯控制、车窗控制、座椅调节和雨刷调节等。LIN 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。在汽车分级网络中LIN 网络的架构成本较低, 同时LIN标准已经形成了完备的规范, 可以大幅缩短研发周期, 因此LIN总线得到了迅速发展, 并且在汽车领域得到了越来越广泛的应用。

### 1.2.LIN的发展历史

1998年Audi、BMW、DaimlerChrysler、Volvo、Volkswagen和VCT公司以及Motorola公司共同创建了LIN协会(LIN-SUBBUS.ORG), 这个协会的目的是定义一个统一的总线通信标准。同时将这个标准公开, 供使用者免费使用。LIN总线规范的最初的版本是LIN1.0, 它是由LIN协会在1999年7月发布, 之后LIN协会对协议进行过几次修改(LIN1.1/LIN1.2/LIN1.3)。

LIN协会在2003年9月发布了LIN2.0, 这个版本是LIN协议发展的一个巨大台阶, 其中最重大的两个变化是对于总线诊断和配置的标准化支持, 并且使得LIN总线具有了指定节点能力, 这些为了简化网络节点而设置的, 它可以和低版本LIN相互通信。

LIN2.1版本发布于2006年11月, 澄清了部分内容, 提高了对LIN2.0版本的理解, 修正了配置部分, 将传输层和诊断层独立成章。LIN协会在2010年12月颁布了LIN规范2.2版本, 削弱了物理层中的位采样规范。LIN2.2A在LIN2.2版本上纠正了唤醒信号的定义, 是目前广泛使用的版本。

2012年, 基于LIN 2.0, SAE (Society of Automotive Engineers, 美国汽车工程师学会) 将LIN标准化为SAE J2602。

2016年, LIN被ISO标准化了 (ISO 17987:2016, ISO - Advanced search)。ISO接手后, LIN规范也就不再免费了。

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 1.3.LIN总线的特点

LIN总线作为一种异常串行通信总线，具有以下特点：

- (1) 基于通用的UART/SCI 硬件接口，与绝大部分的微处理器硬件兼容，节约了成本；
- (2) 单主机多从机结构，无需仲裁机制，数据的优先级由主节点调度表确定；
- (3) 从机节点不需要石英或者陶瓷振荡器，通过主节点发送帧头的同步场进行自同步，节省从节点的硬件成本；
- (4) 单线传输，其物理层建立成本非常低；
- (5) 传输速率最高可达20kbps；
- (6) 总线电平分为显性(Dominant)和隐性(Recessive)，其中“0”为显性电平，“1”为隐性电平；
- (7) 节点数量最多为16 个；
- (8) 信号传输实体明确，可以明确的计算出信号传输的时间，网络的可预期性强；
- (9) LIN 提供信号处理、配置、识别和诊断四项功能；
- (10) 安全性低：主节点如果发生故障，整个LIN总线都会故障，因为LIN无法用于安全相关的应用。

## 1.4.LIN总线的网络架构

由于LIN网络在汽车中一般不会单独存在，经常与上层网络（如CAN）相连，组成CAN/LIN混合网络，充分发挥各自的优势和特点，在保证系统可靠性的前提下，最大限度降低成本。图1.1以车灯控制为例，对CAN/LIN混合网络做了简要示意。对于这种混合网络，涉及到了两种总线协议，因此需要一个CAN/LIN网关，作用是将不同协议的报文进行相互转换。本例中的CAN/LIN网关既是一个CAN节点，也是一个LIN主节点。

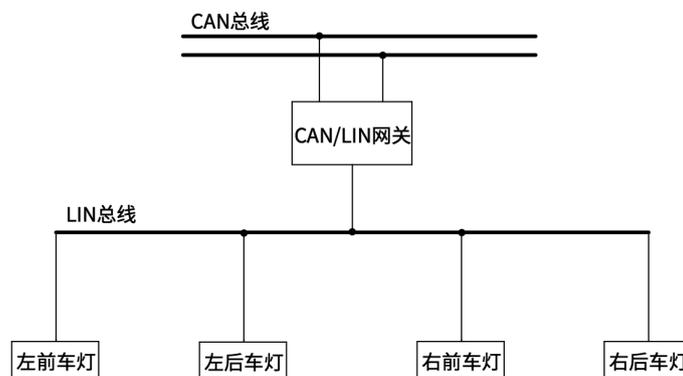


图1.1 CAN/LIN混合网络

对于CAN/LIN网关节点，所完成的三个主要功能是：接收网关前方的网络上的信息；翻译并解释所接收到的信息；向网关后方网络发送信息，如图1.2所示。同时网关的这种过程是可逆的。主控制器是网关的核心器件，它的性能好坏直接决定了网关的效率高低。

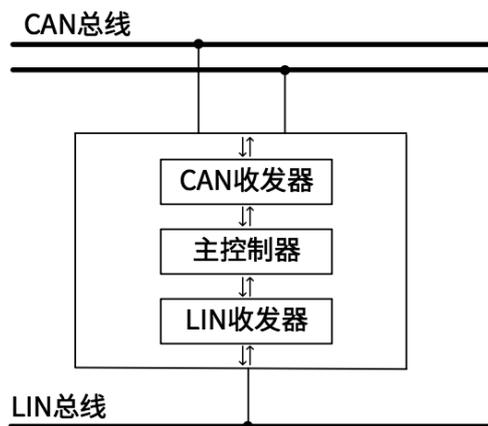


图1.2 CAN/LIN网关节点原理图

LIN总线采用单主多从的网络架构，即一个主节点和若干个从节点（理论上不超过16个），如图1.3所示。LIN总线的主节点包含一个主任务和一个从任务，而从节点只包含一个从任务。主任务通过发送帧头来发起总线上的通信，这样的通信可以是主节点与从节点间的通信，也可以是从节点与从机节点间的通信。从任务则对主任务发出的帧头做出应答，如图1.4所示。因此，主节点控制整个LIN网络的通信，网络中不存在信号冲突的问题，所以不需要网络仲裁机制。主节点保存了整个网络的所有的配置信息，所以从节点可以自由的接入或脱离LIN网络，并且不会对网络中的其他LIN节点产生影响。

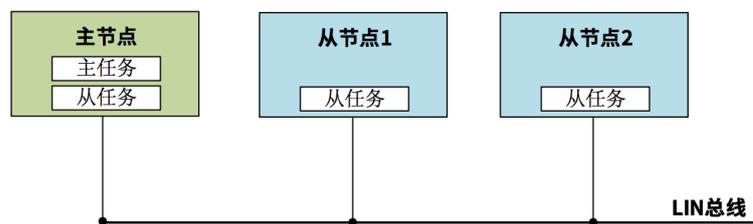


图1.3 LIN总线的网络架构

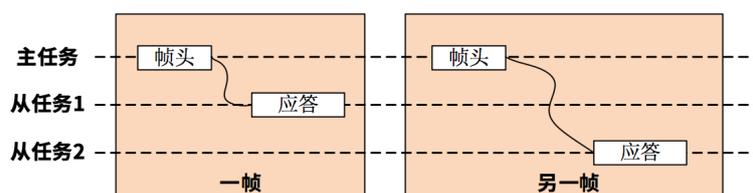


图1.4 帧在总线上的传输

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 2.LIN协议层

### 2.1.帧结构

在LIN总线上传输的实体是报文帧，包括主任务发送的帧头和从任务发送的应答，如图2. 1所示。帧头由同步间隔段、同步段和受保护ID段组成；应答由数据段和校验和段组成。帧头和应答之间存在应答间隔；帧与帧之间存在帧间隔；数据场中的数据字节通过字节间间隔来分隔。LIN总线上“0”为显性电平、“1”为隐性电平。总线上实行“线与”，即只要有一个及以上的节点发送显性电平时，总线即为显性电平；只有所有节点均发送隐性电平时，总线才为隐性电平，因此，LIN总线上显性电平起主导作用。

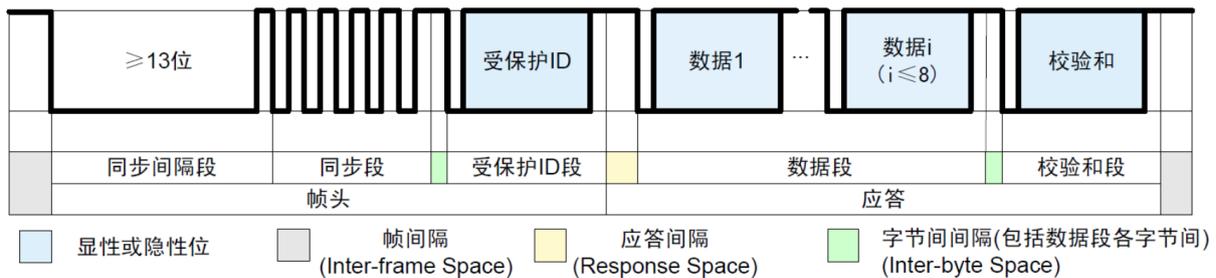


图2.1 LIN的帧结构

除了同步间隔段，帧结构中的其他段均是以字节场的格式来发送的，如图2. 2所示。数据传输先发送最低位LSB，最后发送最高位MSB，合计10位（包括起始位和停止位）。

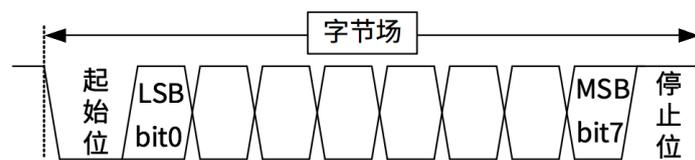


图2.2 字节场的结构

#### 2.1.1.同步间隔段

同步间隔段是一个新的报文帧开始传输的标志，由两部分组成：同步间隔和同步间隔界定符，如图2. 3所示。其中同步间隔至少需要13位显性电平，同步间隔界定符至少需要1位隐性电平。

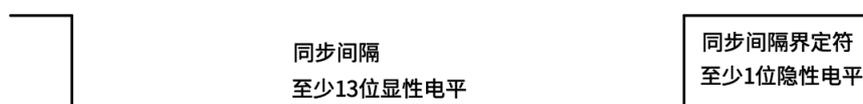


图2.3 同步间隔段

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 2.1.2.同步段

LIN节点中主节点需要石英或者陶瓷振荡器等精度较高的时钟，但是从节点采用精度和成本较低的时钟，因此需要通过同步段来实现从节点和主节点的位速率一致。同步段采用0x55，对应二进制是01010101b，即1和0交替构成，见图2.4。LIN同步是以下降沿为判断标志，从节点根据下面的公式来计算主节点的时钟频率，同时调整自己的时钟：

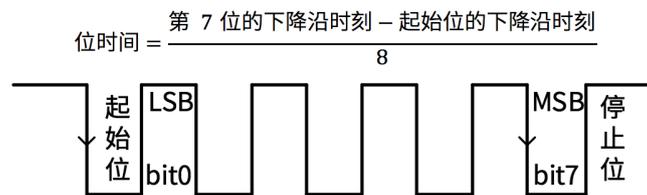


图2.4 同步段

## 2.1.3.受保护ID段

受保护ID段，又称PID，包括起始位、6位帧ID、2位奇偶校验位以及停止位，如图2.5所示。

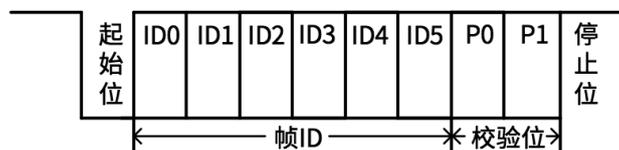


图2.5 受保护ID段

帧ID (ID0~ID5) 的范围是0x00~0x3F (0到63)，一共64个。帧的类型与帧ID直接相关，可分为三类，见表2.1。同时，帧ID中的ID4/ID5决定了数据段中的数据长度，可以是2/4/8个字节，见表2.2。

帧的类型		帧ID
信号携带帧	无条件帧	0x00 ~ 0x3B
	事件触发帧	
	偶发帧	
诊断帧	主机请求帧	0x3C
	从机应答帧	0x3D
保留帧		0x3E, 0x3F

表2.1 帧的类型与帧ID的关系

ID4/ID5	数据场字节长度	帧ID范围
0,0	2	0x00 ~ 0x1F
1,0	2	
0,1	4	0x20 ~ 0x2F
1,1	8	0x30 ~ 0x3F

表2.2 数据场长度与帧ID的关系

奇偶校验和是在帧ID的基础上计算的：

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4$$

$$P1 = \neg (ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5)$$

其中“ $\oplus$ ”代表“异或”运算，“ $\neg$ ”代表“取非”运算。因此正常通信下，受保护ID段不会出现0x00和0xFF的现象，否则即为传输错误。

#### 2.1.4. 数据段

数据段中最多8个字节的的数据，最前发送编号低的字节，见图2.6。单个字节的数据是10位，包括起始位、8位数据位、停止位。数据段的数据类型分为信号和诊断消息，其中信号由信号携带帧传输、诊断消息由诊断帧传输。

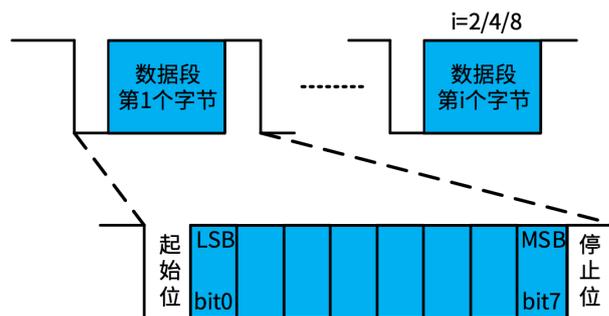


图2.6 数据段

#### 2.1.5. 校验和段

校验和段是用于验证帧的传输内容正确与否，如图2.7所示。校验和分为标准校验和和增强校验和两种，通过主节点管理，并由帧ID决定。诊断帧（0x3C和0x3D）采用标准校验和，其余帧ID采用增强校验和。标准校验和是对数据段中的所有字节进行校验，而增强校验和是对数据段和受保护ID段的所有字节进行校验。



# LIN收发器的协议层和物理层要求

校验和类型	校验对象	适用场合
标准校验和	数据段的所有字节	诊断帧 (0x3C和0x3D)
增强校验和	数据段和受保护ID段的所有字节	除诊断帧之外

图2.7 校验和段

校验方法如下：发送方将校验对象对应的所有字节逐个进行带进位的二进制相加运算（当结果大于或等于256时减去255），得到最终的和后，进行取反，即为校验和。接收方根据校验和类型，以及接收到的数据，进行同样的带进位的二进制相加运算，但是不取反，将得到的数值与接收到的校验和相加，如果等于0xFF，则校验和正确。LIN协议正是通过这种方法来保证数据传输的正确性。

## 2.2. 帧传输时间

图2.1给出了单个帧的示意图。在不考虑帧间隔、应答间隔、字节间间隔的情况下，最小帧传输时间如图2.8所示，计算公式如下：

$$T_{\text{帧头min}} = 34\text{bit}, T_{\text{应答min}} = (i+1) * 10\text{bit}$$

通常，帧头和应答会有40%的余量，因此最大传输时间计算公式如下：

$$T_{\text{帧头max}} = 1.4 * T_{\text{帧头min}}, T_{\text{应答max}} = 1.4 * T_{\text{应答min}}$$

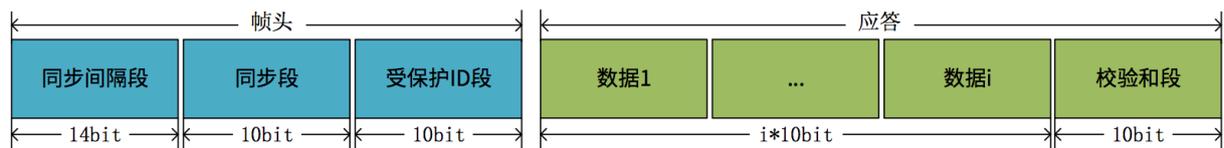


图2.8 最小帧长度

## 2.3. 帧类型

根据2.1.3节中的表2.1 帧的类型与帧ID的关系中提到不同的帧ID对应不同的帧类型。帧类型是能够有效传输帧的前提条件。在一个网络中并不是一定要使用所有类型的帧。

### 2.3.1. 无条件帧

无条件帧的帧ID范围是0x00 ~ 0x3B (0~59)。无条件帧在主节点分配的帧时隙中传输，帧头总是由主节点发送。总线上一旦有了帧头，必须有从任务作为应答。应答可以是主节点与从节点通信，也可以是从节点之间通信。图2.9给出了三种典型的无条件帧示例：

(1) 帧ID=0x30：主节点发送帧头后，从节点1向主节点应答，即从节点1是发布节点，主节点是接收节点。

(2) 帧ID=0x31：主节点发送帧头后，主节点向从节点1/2均应答，即主节点是发布节点，从节点1和从节点2都是接收节点。

(3) 帧ID=0x32: 主节点发送帧头后, 从节点2向从节点1应答, 即从节点2是发布节点, 从节点1是接收节点。

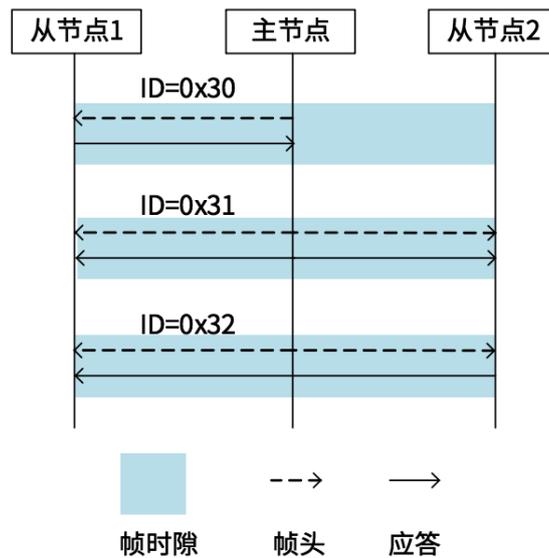


图2.9 无条件帧

### 2.3.2. 事件触发帧

如果主节点需要一直轮询所有从节点的信号, 但是从节点的信号变化频率很低, 这时主节点采用无条件帧会占用很大的带宽, 为此, LIN协议提出了事件触发帧。事件触发帧是主节点在帧时隙中用来查询所有从节点的信号在一个帧的时间内是否发生变化时采用的帧。

事件触发帧与一个或者多个无条件帧相关联, 只有当其中的无条件帧的信号被更新后才发送数据, 因此事件触发帧允许从节点没有应答。但是当存在多个从节点应答时, 主节点会使用开发时定义的调度表来解决冲突。

每个事件触发帧都有一个冲突解决调度表。冲突解决调度表的切换是由主节点中的驱动程序自动完成的。冲突解决调度表应在冲突发生后的下一个帧时隙开始激活。冲突解决调度表一旦处理结束, 主节点的处理程序将切换回上一个调度表。在发生冲突的进度条目之后, 它应继续执行进度条目。与事件触发帧关联的多个无条件帧, 需要满足以下五个条件:

- (1) 数据段的字节数相同;
- (2) 采用相同的校验和类型;
- (3) 数据段的第一个字节需要是无条件帧的受保护ID段, 方便确定是哪个无条件帧作出了应答;
- (4) 通过不同的从节点发送;
- (5) 不可以和该事件触发帧在同一个调度表中。

图2.10给出了事件触发帧的三种示例。一个调度表只有一个事件触发帧，事件触发帧的帧ID=0x10，与之关联的两个无条件帧的帧ID=0x11（从节点1）和0x12（从节点2）。冲突解决调度表中包含了这两个无条件帧。

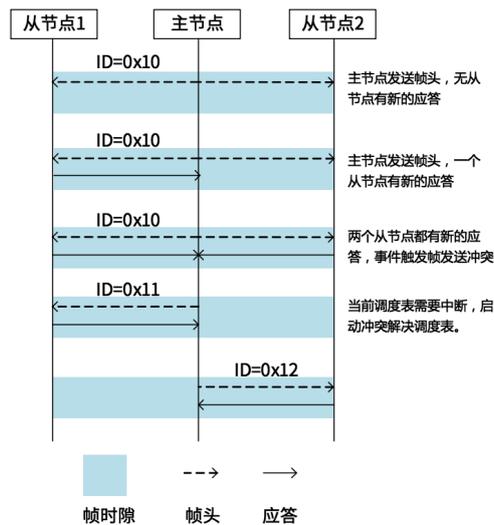


图2.10 事件触发帧

### 2.3.3. 偶发帧

主节点在帧时隙中，当自身信号发生变化时会发送偶发帧。偶发帧中只能由主节点作为发布节点，偶发帧也关联了一组无条件帧，因此主节点事先就知道各个无条件帧的优先级，在传输时不会发生冲突。

(1) 当关联的无条件帧没有发生信号变化时，该帧时隙保持静默，主节点连帧头都不会发送，见图2.11。

(2) 当有一个关联的无条件帧包含的信号发生变化时，主节点作为发布节点，将信号发送给从节点，见图2.11。

(3) 当有两个或者多个关联的无条件帧包含的信号发生变化时，通过事先规定的优先级来仲裁。优先级高的先发送应答；优先级低的等偶发帧的帧头出现后应答。

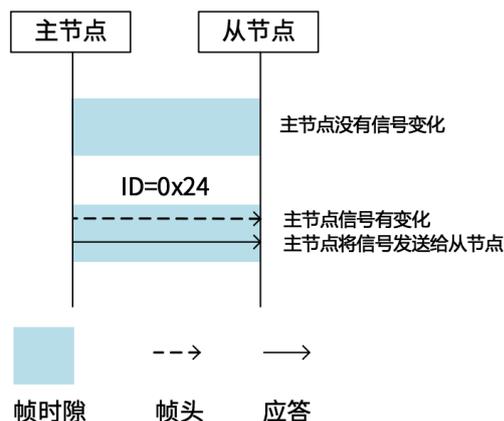


图2.11 偶发帧

## LIN收发器的协议层和物理层要求

### 2.3.4. 诊断帧

诊断帧包括主机请求帧（帧ID=0x3C）和从机应答帧（帧ID=0x3D），数据段总是8个字节数据，一律采用标准校验和。诊断帧用于配置、识别和诊断。

### 2.3.5. 保留帧

保留帧的帧ID 为0x3E 和0x3F，用于后续扩容。

## 2.4. 调度表

LIN协议的一个关键特点就是调度表的使用。调度表规定了LIN总线上帧的传输次序和帧在总线上的传输时间。调度表可以确保总线永远不过载，也是保证信号周期性的关键要素。调度表在主节点，由主节点启动。调度表可有多个。

(1) 对于单个正在执行的调度表，如果没有新的调度表启动，它会从入口处开始顺序执行，直到该调度表的最后一帧，再返回到该调度表的第一帧循环执行，见图2. 12 (a)。

(2) 对于多个调度表，可以依次进行顺序循环执行，图2. 12 (b)。

(3) 如果在执行某个调度表时发生中断，则先去执行另一个调度表，图2. 12 (c)。

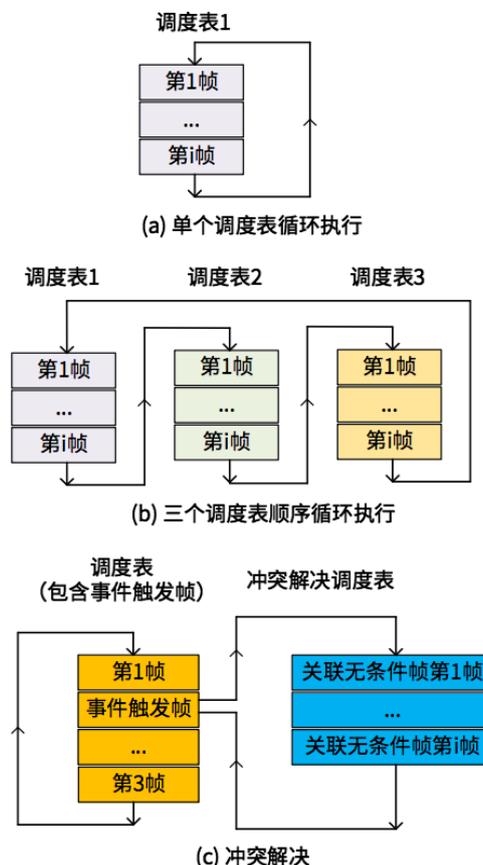


图2.12 调度表示意图

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 2.5. 状态机

### 2.5.1. 主任务状态机

当主节点往总线上发布帧头时，主任务会依次发送同步间隔段、同步段和受保护ID段，如图所示。

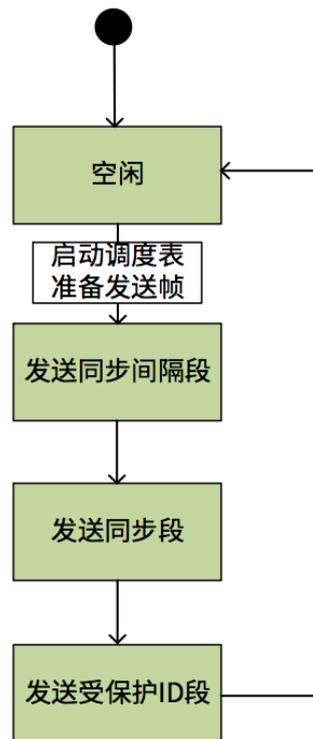


图2. 13 主任务状态机

### 2.5.2. 从任务状态机

当作为发布节点时，从任务负责发送帧的响应；当作为接收节点时，从任务负责接收响应帧。从任务用两个状态机模型：

#### (1) 同步间隔段和同步段序列检测器

要求任何节点在任何状态下都能识别。同步间隔段让从任务检测到新的帧的开始，同步段让从节点与主节点保持速率同步。

#### (2) 帧处理器

帧处理由2个状态组成：空闲状态和激活状态。激活状态包含5个子状态，分别是接收并分析PID、接收数据、接收校验和、发送数据、发送校验和。只要收到同步间隔段同步段时序（不管从哪个状态或哪个子状态），系统将进入激活状态中的PID子状态。

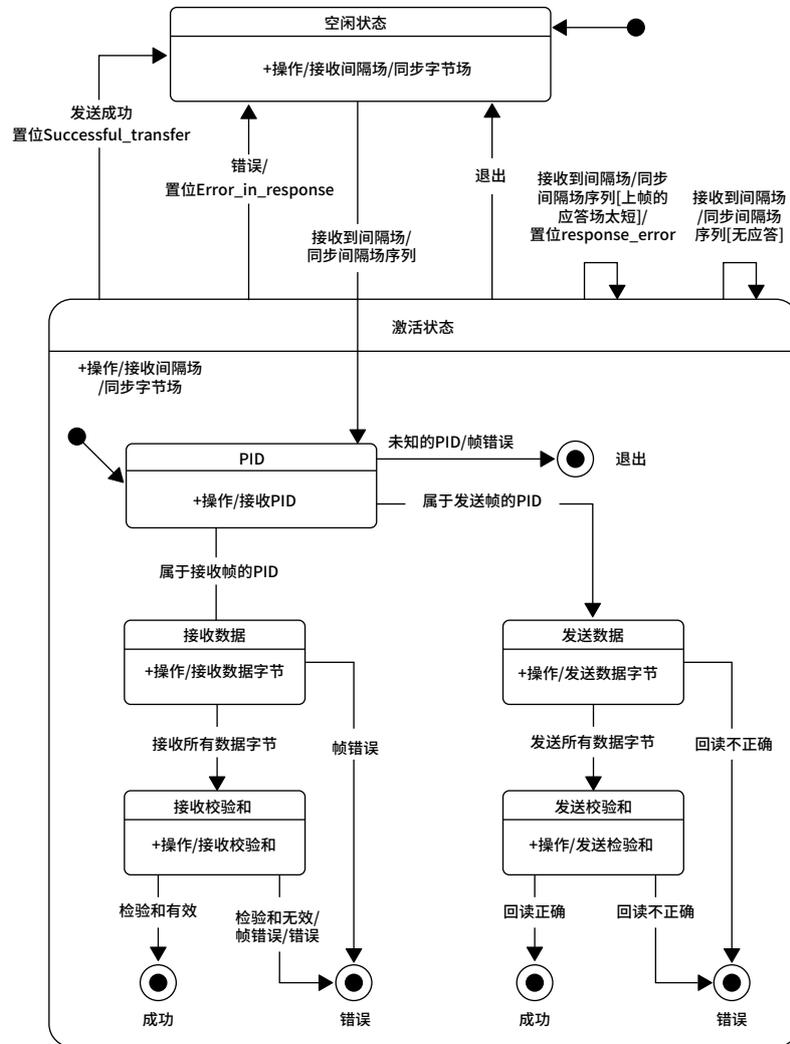


图2.14 从任务帧处理器状态机

## 2.6. 错误类型

LIN的标准中没有将错误类型规范化，此处罗列了一些常见的错误类型。

- (1) 位错误：发布节点检测总线上的数据与发送的数据不一致。
- (2) 总线错误：总线短接到电源或者地，导致总线无法正常通信。
- (3) 同步段错误：当从节点根据同步段检测到位速率偏差在允许范围之外，视为同步段错误。
- (4) 奇偶校验位错误：接收节点根据接收到的受保护的ID段，计算得到奇偶校验位与实际接收的不一致。
- (5) 校验和段错误：接收方根据校验和类型，以及接收到的数据，进行带进位的二进制相加运算，但是不取反，将得到的数值与接收到的校验和相加，不等于0xFF。

# LIN收发器的协议层和物理层要求

- (6) 无应答错误：除事件触发帧外，主节点发布帧头后，总线上没有出现应答。
- (7) 帧错误：字节场中的停止位出现了显性电平。
- (8) 应答不完整错误：接收节点收到的数据段不完整或者缺少校验和段。

## 2.7.睡眠与唤醒

### 2.7.1.睡眠

LIN网络中存在两种进入睡眠状态的方式：

- (1) 采用0x3C的主机请求帧，要求该帧的数据段首字节是0x00，其余7个字节均为0xFF。

数据段 第1个字节	数据段 第2个字节	数据段 第3个字节	数据段 第4个字节	数据段 第5个字节	数据段 第6个字节	数据段 第7个字节	数据段 第8个字节
0x00	0xFF						

- (2) 当总线的静默时间达到4s-10s 时(没有显性和隐性电平之间的切换)时，LIN节点会自动进入睡眠状态。

### 2.7.2.唤醒

当LIN网络进入睡眠状态后，主节点和从节点都可以往LIN总线发送唤醒信号来唤醒LIN网络。唤醒信号的显性时间需要在 $250\mu\text{s}\sim 5\text{ms}$ 之间，如图2.15所示，若节点发送完唤醒信号之后，在 $150\text{ms}\sim 250\text{ms}$ 之内没有检测到总线出现帧头，则重新发送唤醒信号。需要注意的是，唤醒信号最多发送三次，若三次均没有检测到帧头，至少等待1.5s后才能重新发送唤醒信号，如图2.16所示。唤醒信号发送之后，其余节点的显性阈值为 $150\mu\text{s}$ 。并且主节点和从节点需要唤醒信号上升沿之后的 $100\text{ms}$ 内准备好通信。

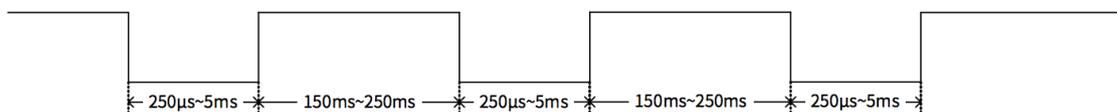


图2.15 唤醒信号波形

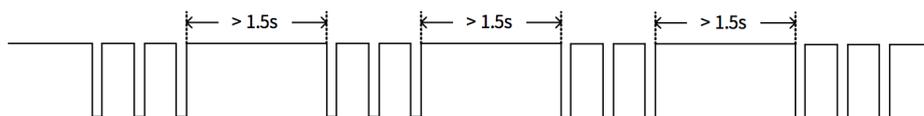


图2.16 唤醒间隔

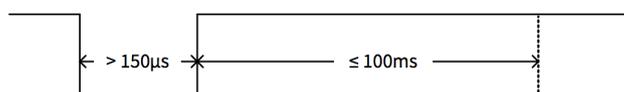


图2.17 唤醒信号识别及初始化

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 3.LIN物理层

### 3.1.物理层硬件

图3.1给出了LIN总线上的节点物理连接示意图，包括协议控制器、LIN总线收发器和单根LIN总线。

#### (1) 协议控制器

协议控制器具有SCI/UART的微控制器，半双工方式工作。协议控制器需要完成发送和接收的功能：发送时，将二进制并行数据转成串行传输的高低电平信号给总线收发器；接收时，将来自总线收发器的高低电平串行数据转成二进制并行数据。

#### (2) LIN总线收发器

总线收发器是应用于协议控制器和物理总线之间的接口芯片，最大传输速率达20Kbps。TXD端接收来自协议控制器的高低电平信号，将其转换成显性和隐形的总线电平；RXD端将LIN总线显隐性电平转成的高低电平信号后，传给协议控制器。

#### (3) LIN总线

LIN总线是连接所有LIN节点的物理通信介质，一般采用铜线。

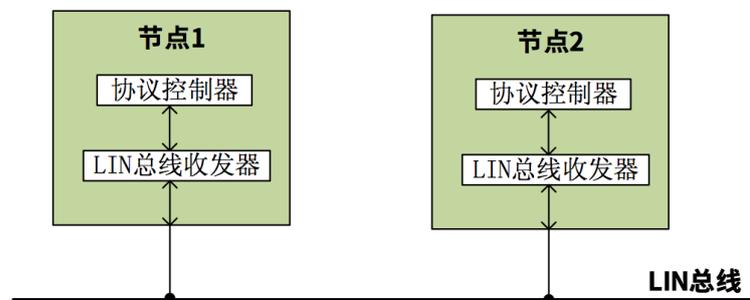


图3.1 LIN总线的节点硬件示意图

### 3.2.LIN总线收发器

对于总线收发器而言，TXD和RXD与协议控制器相连，电平等级一般为3.3V/5V。芯片供电 $V_{BAT}$ 分为12V和24V，与汽车系统中的电池电压相对应。

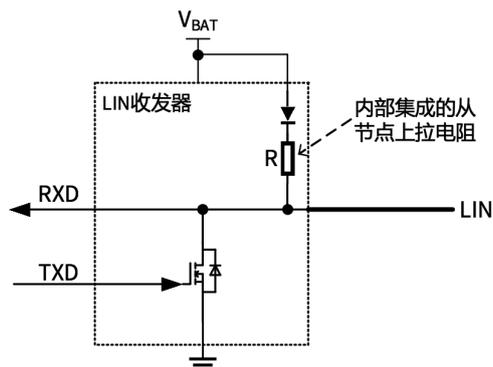


图3.2 LIN收发器模型示意图

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 3.2.1. 上拉电阻

LIN系统中主节点的总线收发器需要将LIN端口通过一个二极管和一个 $1\text{k}\Omega$ 的电阻串联后接至 $V_{\text{BAT}}$ 或者INH。从节点的上拉电阻阻值为 $30\text{k}\Omega$ ，目前大部分的LIN总线收发器芯片内部集成了从节点所需的 $30\text{k}\Omega$ 上拉电阻，如图3.3所示。

关于上拉电阻，有以下几点的应用注意事项：

- (1) 二极管是必需的，其作用是防止当电池断电时，LIN总线向 $V_{\text{BAT}}$ 供电。
- (2) 主节点的 $1\text{k}\Omega$ 外部上拉是必需的，其作用是增强总线的驱动能力，减少延迟，增强信号的稳定性。
- (3) 主节点的 $1\text{k}\Omega$ 外部上拉可以接到 $V_{\text{BAT}}$ 或者INH，但是推荐接到INH。因为当发生LIN总线短路时，可以将LIN收发器切换至睡眠模式，INH变成floating的状态，不会一直消耗 $V_{\text{BAT}}$ 的能量。

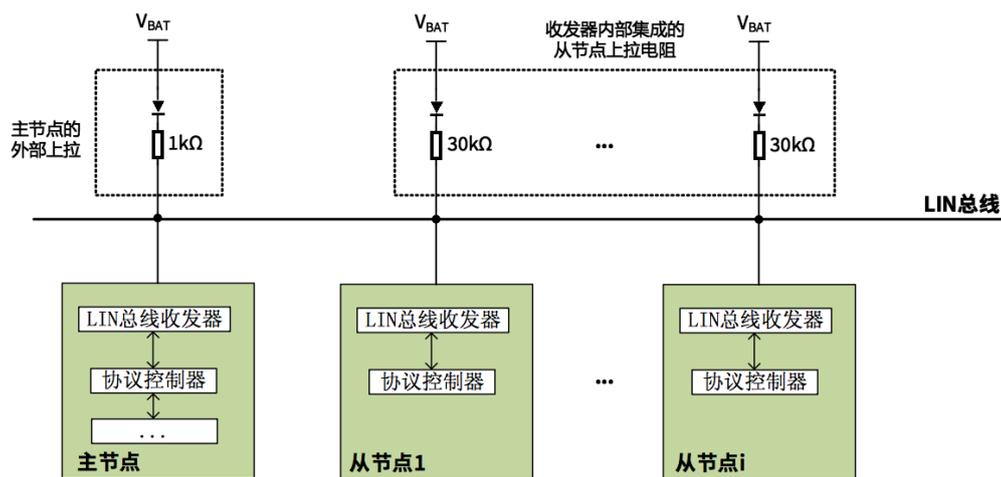


图3.3 上拉电阻示意图

给出了主节点和从节点的上拉电阻范围

节点类型	最小值	典型值	最大值	单位
主节点	900	1000	1100	$\Omega$
从节点	20	30	60	$\text{k}\Omega$

## 3.2.2. LIN总线电平

发送过程中，当TXD为低电平时，对应的开关管处于截止状态，此时LIN总线被上拉电阻拉到接近于 $V_{\text{BAT}}$ 的电平（存在二极管压降）；当TXD为高电平时，对应的开关管处于导通状态，此时LIN总线被拉低至接近于GND的电平（存在压降）。

## LIN收发器的协议层和物理层要求

### 3.2.3. 阈值电平

对于LIN收发器而言，发送器和接收器对于阈值的要求不同。导致差异的原因包括通信线束上的压降和地偏移等因素，如图3.4所示。

对于发送器：需要将电平强驱到  $20\% * V_{BAT}$  以下才能是显性电平；需要将电平强驱到  $80\% * V_{BAT}$  以上才能是隐性电平。

对于接收器：总线上电压低于  $40\% * V_{BAT}$  以下就认为是显性电平；总线上电压高于  $60\% * V_{BAT}$  以上就认为是隐性电平。

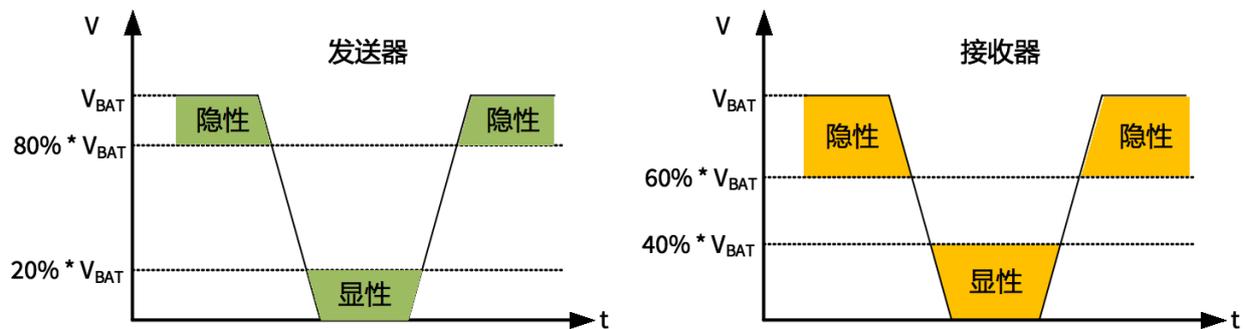


图3.4 LIN收发器阈值电平

### 3.2.4. 比特率偏差

LIN网络中除了主节点需要石英或者陶瓷振荡器外，其余从节点不需要高精度时钟源，主要依靠同步段实现速率同步。除了时钟源本身的偏差，温度改变和电压偏移也会对比特率造成影响。表3.1定义了LIN网络中的比特率偏差要求。

比特率偏差类型	允许范围
主节点与标准比特率的偏差	$\pm 0.5\%$
不使用同步段进行同步的从节点（使用了高精度时钟），与标准比特率的偏差	$\pm 1.5\%$
使用同步段进行同步的从节点（未使用高精度时钟），在同步之前与标准比特率的偏差	$\pm 14.0\%^{[1]}$
使用同步段进行同步的从节点，在同步之后与主节点比特率的偏差	$\pm 2.0\%$
任何两个通信从节点之间的比特率偏差	$\pm 2.0\%$

表3.1 比特率偏差要求

[1]14%是使用低成本的片上振荡器造成的，借助内部校准功能，可以实现优于  $\pm 14\%$  的精度。

3.2.5.位采样

从节点通过主节点发送的帧头的同步段完成同步后，需要准确地对每个位完成采样，如图3.5所示。

(1) 在字节场的起始位下降沿同步，字节场同步时间为 $t_{BFS}$ ，该值典型值是 $1/16t_{bit}$ ，最大值是 $2/16t_{bit}$ 。

(2) 之后，需要在最早位采样 $t_{EBS}$ 和最晚位采样时间 $t_{LBS}$ 之内完成采样。其中最晚位采样时间 $t_{LBS}$ 取决于字节场同步时间 $t_{BFS}$ ，公式为 $t_{LBS} = 10/16 t_{bit} - t_{BFS}$

(3) 之后位的采样要求与之前保持一致，采样窗口重复时间为 $t_{SR}$ 指的是相邻两位的最早位采样时间 $t_{EBS}$ 或者最晚位采样时间 $t_{LBS}$ 差值，公式为： $t_{SR} = t_{EBS(n)} - t_{EBS(n-1)} = t_{LBS(n)} - t_{LBS(n-1)} = t_{bit}$

时间点	最小值	典型值	最大值	备注
$t_{BFS}$		$1/16 t_{bit}$	$2/16 t_{bit}$	
$t_{EBS}$	$7/16 t_{bit}$			$t_{EBS} \leq t_{LBS}$
$t_{LBS}$				$t_{LBS} \geq t_{EBS}$

表3.2 位采样要求

表3.3给出了两种位采样的示例：

$t_{BFS}$	$t_{EBS}$	$t_{LBS}$
$1/16 t_{bit}$	$7/16 t_{bit}$	$9/16 t_{bit}$
$2/16 t_{bit}$	$8/16 t_{bit}$	$8/16 t_{bit}$

表3.3 位采样示例

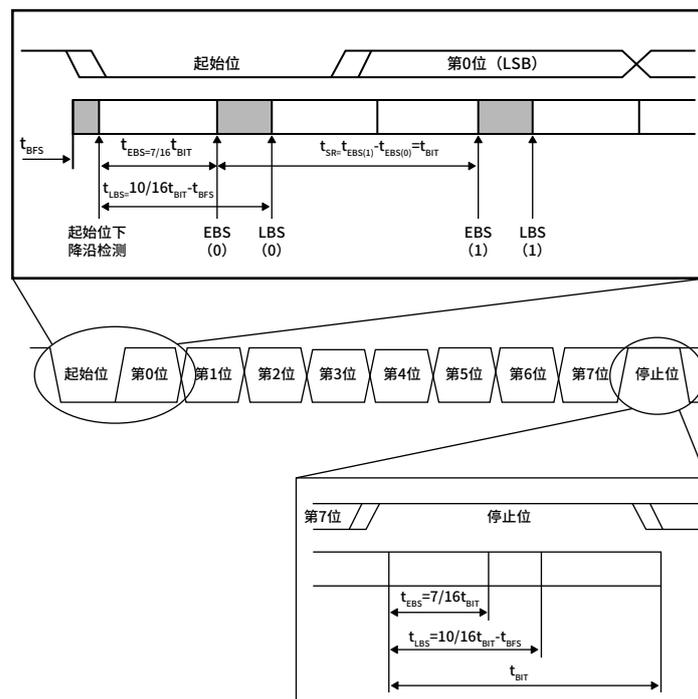


图3.5 位采样示意图

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 3.2.6. 占空比要求

为了保证LIN报文可以正常传输及解析，LIN收发器的发送器需要保证总线电平符合设计逻辑，接收器可以采样到正确的电平。即TXD传输到LIN总线，以及LIN总线传输到RXD，需要保证占空比不失真。表3. 4给出了LIN总线在20kbps和10.4kbps通信速率下的占空比要求。图3. 6给出了占空比的示意图。

参数	变量	最小值	典型值	最大值	单位	备注
总线负载条件( $C_{BUS} / R_{BUS}$ ): 1 nF / 1 kΩ, 6,8 nF / 660 Ω, 10 nF / 500 Ω)						
Duty Cycle 1	D1 <sup>[1]</sup>	0.396				$V_{th(rec)(max)} = 0.744 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(max)} = 0.581 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 7V \text{ to } 18V, t_{bit} = 50 \mu s^{[2]}$
		0.396				$V_{th(rec)(max)} = 0.76 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(max)} = 0.593 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 5.5V \text{ to } 7V, t_{bit} = 50 \mu s^{[2]}$
Duty Cycle 2	D2 <sup>[1]</sup>			0.581		$V_{th(rec)(min)} = 0.422 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(min)} = 0.284 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 7.6V \text{ to } 18V, t_{bit} = 50 \mu s^{[2]}$
				0.581		$V_{th(rec)(min)} = 0.41 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(min)} = 0.275 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 6.1V \text{ to } 7V, t_{bit} = 50 \mu s^{[2]}$
Duty Cycle 3	D3 <sup>[1]</sup>	0.417				$V_{th(rec)(max)} = 0.778 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(max)} = 0.616 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 7V \text{ to } 18V, t_{bit} = 96 \mu s^{[2]}$
		0.417				$V_{th(rec)(max)} = 0.797 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(max)} = 0.63 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 5.5V \text{ to } 7V, t_{bit} = 96 \mu s^{[2]}$
Duty Cycle 4	D4 <sup>[1]</sup>			0.59		$V_{th(rec)(min)} = 0.389 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(min)} = 0.251 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 7.6V \text{ to } 18V, t_{bit} = 96 \mu s^{[2]}$
				0.59		$V_{th(rec)(min)} = 0.378 \times V_{BAT}$ $V_{th(dom)(min)} = 0.242 \times V_{BAT}$ $V_{BAT} = 6.1V \text{ to } 7V, t_{bit} = 96 \mu s^{[2]}$

表3. 4 占空比要求

[1]D1, D3=  $t_{bus(rec)(min)} / (2 * t_{bit})$ , D2, D4=  $t_{bus(rec)(max)} / (2 * t_{bit})$ .

[2]  $t_{bit} = 50 \mu s$  (20 kbps),  $t_{bit} = 96 \mu s$  (10.4 kbps).

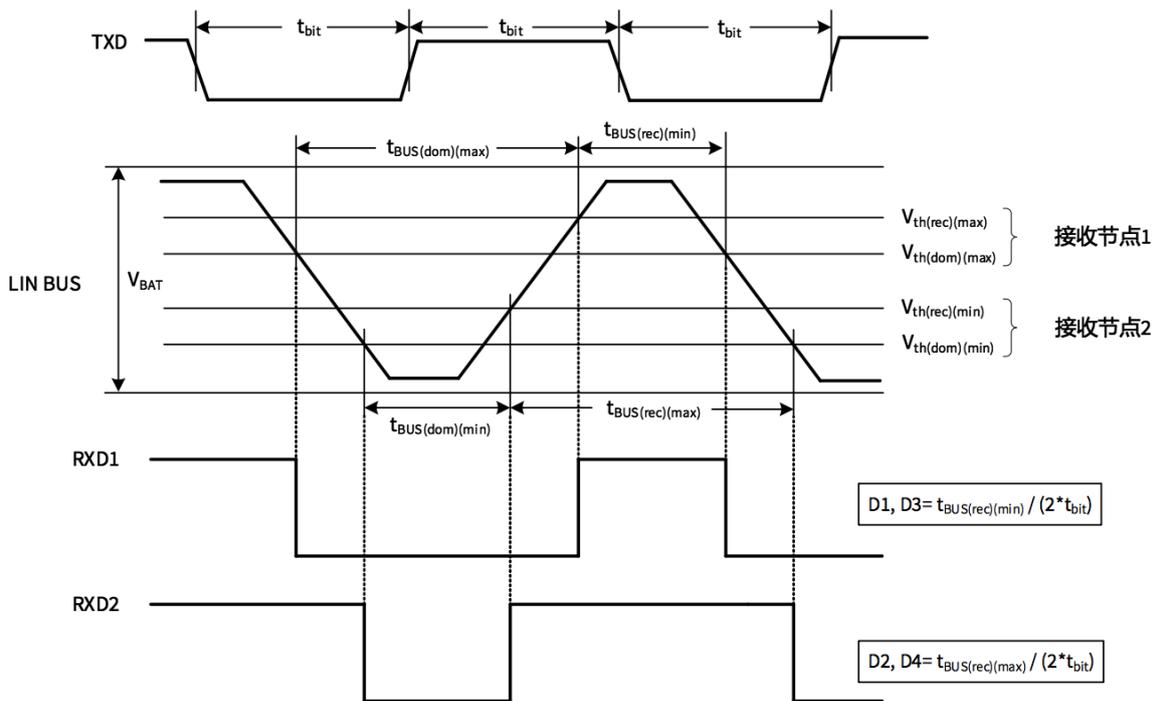


图3.6 占空比示意图

### 3.2.7. 失效模式性能

(1) 当LIN收发器失去 $V_{BAT}$ 或者GND的连接后，不能影响总线上其他节点的正常通信。当故障节点的供电恢复后，可以重新参与网络通信；

(2) 当LIN总线与 $V_{BAT}$ 或者GND短接时，允许总线无法通信，但是故障排除后，总线需要恢复正常通信。

### 3.2.8. TXD显性超时

对于LIN收发器，TXD显性超时是一种常见的保护功能。在正常工作的模式下，如果检测到TXD长时间驱动成低电平，会触发超时保护，禁能发送器，总线拉至隐状态。计时器在TXD下降沿开始计时，在TXD上升沿复位。该功能的目的是防止由于硬件或者软件造成TXD一直为低，造成过多的电池能量消耗。

## LIN收发器的协议层和物理层要求

### 3.3.线路特性

对应LIN网络而言，随着节点数量的增加，总线对地电容会增加，同时上拉电阻的等效阻值会降低。而总线的上升时间由时间常数 $\tau$ 决定，具体参数要求见表3.5。其计算公式为 $\tau=R_{BUS} \times C_{BUS}$ 。其中 $R_{BUS}$ 和 $C_{BUS}$ 的计算表达式如下所示：

$$C_{BUS} = C_{MASTER} + n * C_{SLAVE} + LEN_{BUS} * C'_{LINE}$$

$$R_{BUS} = R_{MASTER} || R_{SLAVE1} || \dots || R_{SLAVEN}$$

参数	最小值	典型值	最大值	备注
$C_{MASTER}$		220pF		主节点电容
$C_{SLAVE}$		220pF	250pF	从节点电容
$C'_{LINE}$		100pF/m	150pF/m	线路电容，与线长有关
$LEN_{BUS}$			40m	总线长度
$\tau$	1 $\mu$ s		5 $\mu$ s	LIN网络系统常数

表3.5 LIN线路特性

# LIN收发器的协议层和物理层要求

## 4.修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	初稿	Xiutao, Lou; Lele Zhang	2023/12/26

销售联系方式: [sales@novosns.com](mailto:sales@novosns.com); 获取更多信息: [www.novosns.com](http://www.novosns.com)

## 重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权,包括但不限于对信息准确性、完整性,产品适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责,并确保应用的安全性。客户认可并同意:尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供,但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的所有法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用,不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源,或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等,纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息,请与纳芯微电子联系 ([www.novosns.com](http://www.novosns.com))。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有