

TJA1020 LIN 收发器应用指南

目录

1. 简介	3
2. 总体描述	4
2.1 特征	4
2.2 方框图	5
2.3 工作模式	5
2.3.1 睡眠模式	7
2.3.2 准备模式	7
2.3.3 普通斜率模式	9
2.3.4 低斜率模式	9
2.4 和 3.3V 器件兼容	10
3. 从机应用	10
3.1 结构	10
3.2 详细的引脚描述	11
3.2.1 NSLP 引脚	11
3.2.2 TXD 引脚	11
3.2.3 RXD 引脚	12
3.2.4 NWAKE 引脚	13
3.2.5 INH 引脚	16
3.2.6 LIN 引脚	17
4. 主机应用	17
4.1 主机终端直接连接到 BAT	18
4.2 主机终端连接到 INH	18
4.3 INH 和 BAT 的主机终端分离	19
5. EMC 方面	19
5.1 EME—斜率控制	19
5.2 EME—低斜率模式	19
5.3 EMI—电容性负载	20
6. 收发器的控制	20
6.1 INH 控制的微控制器电源	20
6.1.1 使用 NWAKE 的应用	20
6.1.2 不使用 NWAKE 的应用	21
6.2 持续上电的微控制器	22
6.2.1 使用 NWAKE 的应用	22
6.2.2 不使用 NWAKE 的应用	23
6.3 从普通斜率模式 / 低斜率模式转换到睡眠模式	24
6.3.1 使用 NWAKE 的应用	24
6.3.2 不使用 NWAKE 的应用	25
7. 故障管理	26

7.1.1 LIN 总线对地短路	26
7.1.2 TXD 显性的故障	27
7.2 最小的波特率和最大的 TXD 显性相位	27
7.2.1 主机节点的最小波特率.....	27
7.2.2 最小的从机节点波特率.....	27
8. 功率消耗	27
8.1 睡眠模式功率消耗.....	28
8.2 出现 LIN 总线短路时的睡眠模式功率消耗.....	28
8.3 TJA1020 和普通 LIN 收发器的应用比较.....	28
9. 参考资料	29

1. 简介

LIN (Local Interconnect Network) 是一个低速的 (最高 20kBaud) A 类串行总线协议。LIN 的子总线可以用于像座位、门、房顶、控制板、方向盘等模块。它的作用是将开关、执行元件和传感器从子总线连接到主总线 (例如 CAN 总线)。

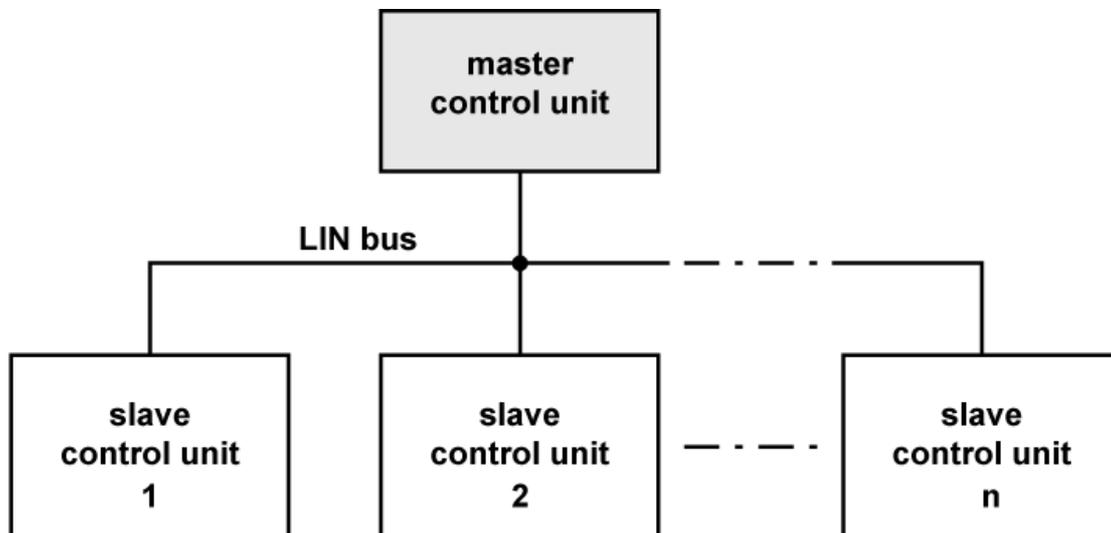


图 1 单主机 / 多从机原理

LIN 协议[2]采用 8N1 编码字节区的 UART/SCI 串行数据链路格式。LIN 网络包括一个主机节点和一个或多个从机节点；主机节点控制媒体访问。这样一个单主机 / 多从机的网络，如图 1 所示。

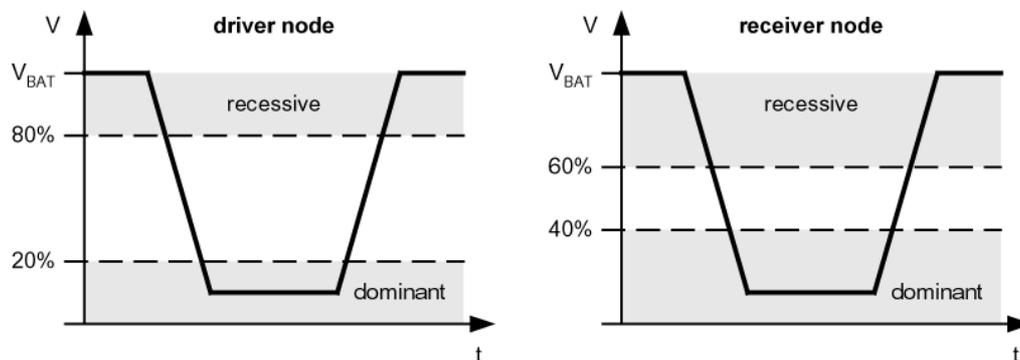


图 2 LIN 总线上的电压电平

LIN 的物理层在 ISO 9141[3]标准中定义。而且，为了符合汽车环境中的特殊应用 (譬如 EMC、ESD 等等)，还作了一定的提高。LIN 总线是单线总线，它用 12V 电池的隐性电平线与总线。LIN 总线的电平如图 2 所示。

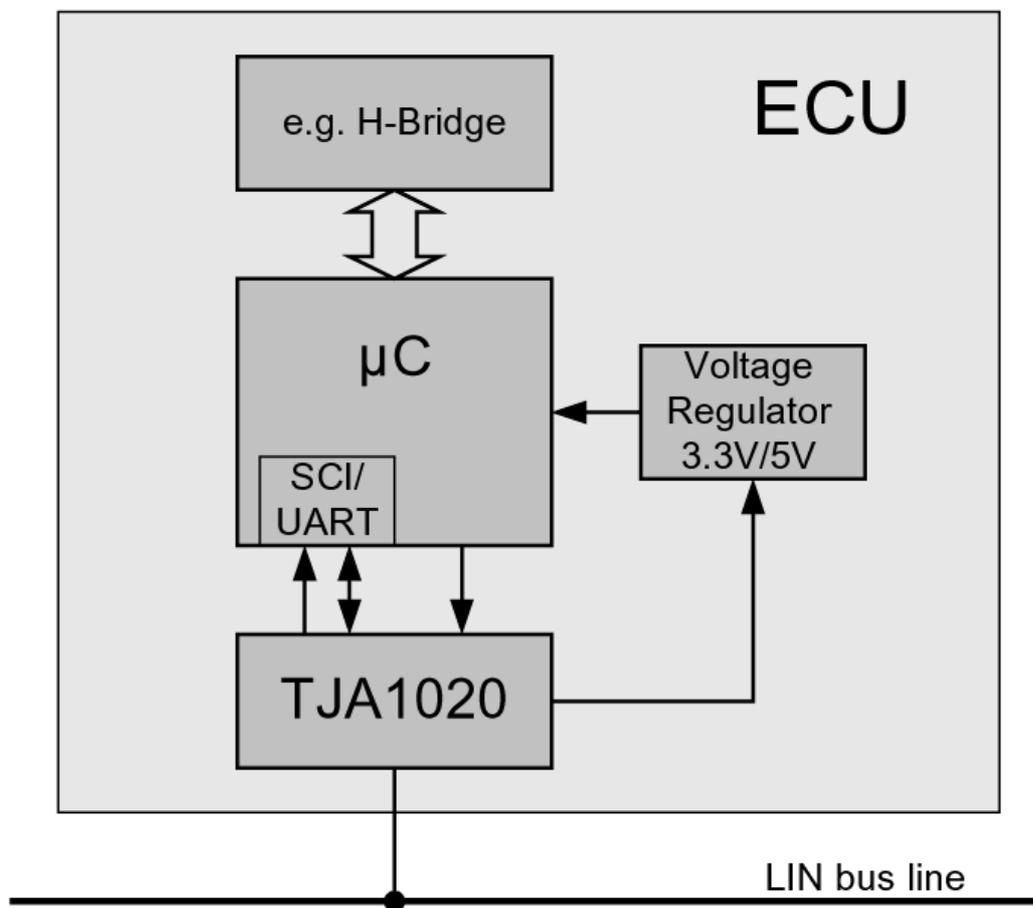


图3 典型的 LIN ECU

本文档将讲述 TJA1020[1]在 LIN 中作为物理媒体连接工具的技术实现。文档会着重介绍使用 Philips 半导体的 LIN 收发器 TJA1020 设计 LIN 电子控制单元 (ECU) 的应用提示 / 建议。

2. 总体描述

TJA1020 收发器是一个物理媒体连接 (Physical Medium Attachment), 它是 LIN 主机 / 从机协议控制器和 LIN 传输媒体之间的接口。协议控制器输入引脚 TXD 的发送数据流被 LIN 收发器转换成总线信号, 而且电平翻转速率和波形都受到限制, 以减少电磁辐射 (EME)。TJA1020 的接收器检测到 LIN 总线上的数据流并通过 RXD 引脚将它传送到协议控制器。

收发器有低功耗管理模式 (见 2.3 节), 它在睡眠模式中几乎不消耗电流 (见 8.1 节) 并在错误模式中减少功率消耗 (见 8.2 节)。

TJA1020 适合用于最高 20kBaud 的 LIN 传输速率, 网络中的节点数可多达 16 个[2]。

TJA1020 的引脚和标准的 K 线收发器兼容。

2.1 特征

TJA1020 的主要特征是:

- 波特率高达 20kBaud
- 修整输出波形以使电磁辐射 (EME) 非常低
- 高抗电磁干扰性 (EMI)

- 在低速应用中 (<10kBaud) 使用低斜率模式以进一步减少 EME
- 睡眠模式中的电流消耗极低
- 在 LIN 对 GND 短路时电池受到放电保护
- 传输数据 (TXD) 显性超时功能
- 电池的工作范围广, 可以从电压降 (5V) 到跳变启动情况 (27V)
- 控制输入电平与 3.3V 以及 5V 的器件兼容
- LIN 从机应用时集成端电阻
- 睡眠模式下本地和远程唤醒
- 唤醒源的识别 (本地或远程)
- 不上电情况下的自动防故障保护, 没有反向电流通路
- 总线终端可防止短路和汽车环境下的瞬变
- 直接的电池操作, 可以防止负载断电、跳跃启动和瞬态
- 不需要 5V 电源
- 温度保护

2.2 方框图

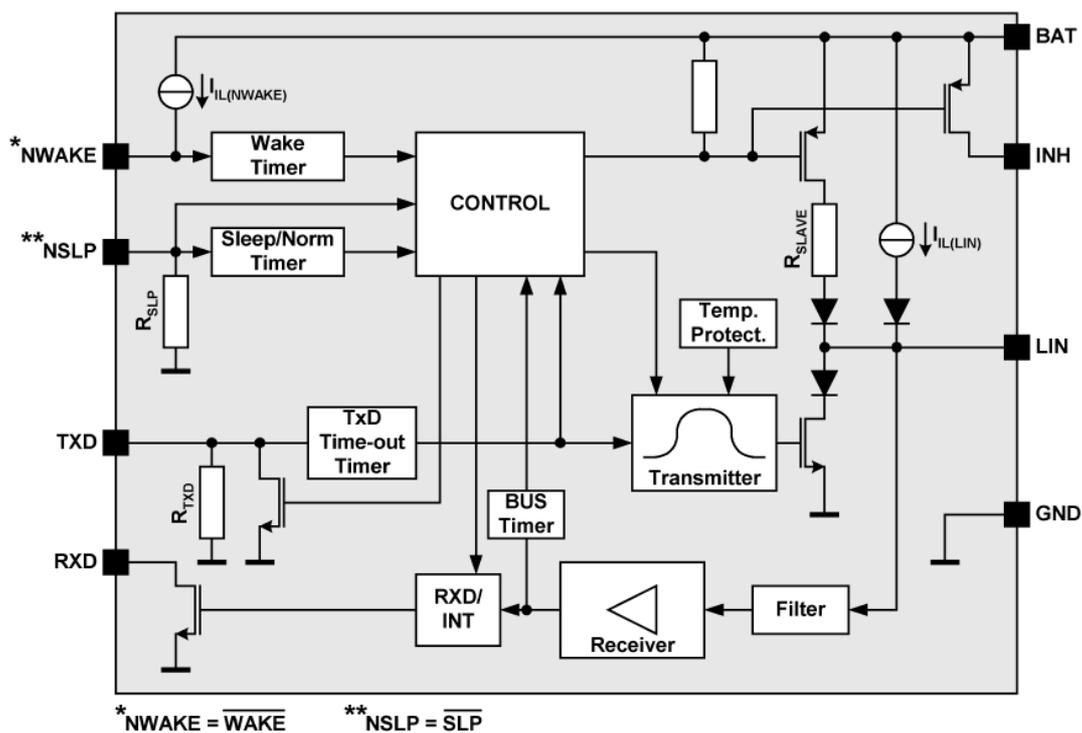


图 4 TJA1020 的方框图

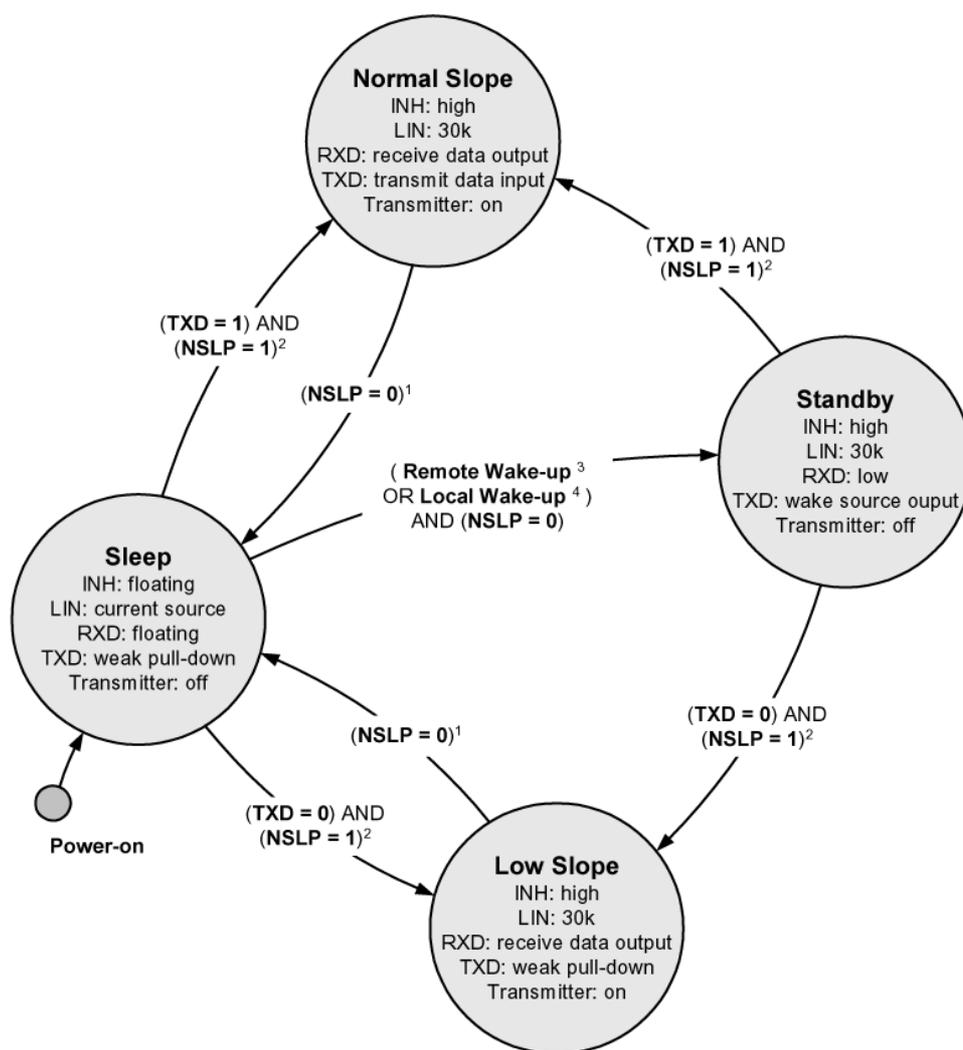
2.3 工作模式

TJA1020 共有 4 种工作模式, 它们分别是: 普通斜率模式、低斜率模式、准备模式和睡眠模式。这些操作模式的详细情况请参看表 1 和图 5。

表 1 工作模式

模式	NSLP	TXD	RXD	INH	发送器	R _{SLAVE}	备注
睡眠	0	弱下拉	悬空	悬空	关闭	电流源	见 2.3.1
准备	0	远程唤醒: 弱下拉; 本地唤醒: 强下拉	低	高(V _{BAT})	关闭	30kΩ	见 2.3.2
低斜率	1	弱下拉	高: 隐性状态 低: 显性状态	高(V _{BAT})	启动	30kΩ	见 2.3.4
普通斜率	1	弱下拉	高: 隐性状态 低: 显性状态	高(V _{BAT})	启动	30kΩ	见 2.3.3

TJA1020 的状态图如图 5 所示。



- 1) $t_{(NSLP=0)} > t_{\text{gotosleep}}$ [1]
- 2) $t_{(NSLP=1)} > t_{\text{gotonorm}}$ [1]
- 3) LIN becomes dominant for $t_{(LIN=0)} > t_{\text{BUS}}$ [1] and is followed by an edge to recessive
- 4) NWAKE becomes low for $t_{(NWAKE=0)} > t_{\text{NWAKE}}$ [1]

图 5 状态图

2.3.1 睡眠模式

TJA1020 的睡眠模式使 LIN ECU 的功耗非常低。这是由于收发器本身的电流消耗非常低，而且通过 INH 输出关断了外部电压调节器造成的。因此，睡眠模式中，INH 引脚悬空。

尽管功率的消耗极低，但 TJA1020 仍能识别 LIN 引脚的远程唤醒和 NWAKE 引脚的本地唤醒并将模式切换到准备模式（见 2.3.2）。而且，TJA1020 还可以通过引脚 NSLP 直接激活普通或低斜率模式（见 2.3.3 和 2.3.4），这对于微控制器的电源不是由 INH 输出控制的应用非常有用。

TJA1020 收发器在接收器（LIN）的输入、本地唤醒输入（NWAKE）和睡眠控制输入（NSLP）使用滤波器和 / 或定时器，以防止由汽车瞬态或 EMI 造成的不必要的唤醒。因此，所有的唤醒时间都要维持一段时间（ t_{BUS} ， t_{WAKE} ， $t_{gotonorm}$ ）。

如果睡眠输入引脚 NSLP 的低电平维持了至少 $t_{gotonorm}[1]$ （见图 6）而且这段时间内没有发生唤醒事件，则 TJA1020 进入睡眠模式。这段滤波时间可以防止 TJA1020 由于 EMI 产生的不必要的瞬态而进入睡眠模式。如果引脚 LIN 和 / 或 NWAKE 连接到地也可以激活睡眠模式，譬如对地短路。

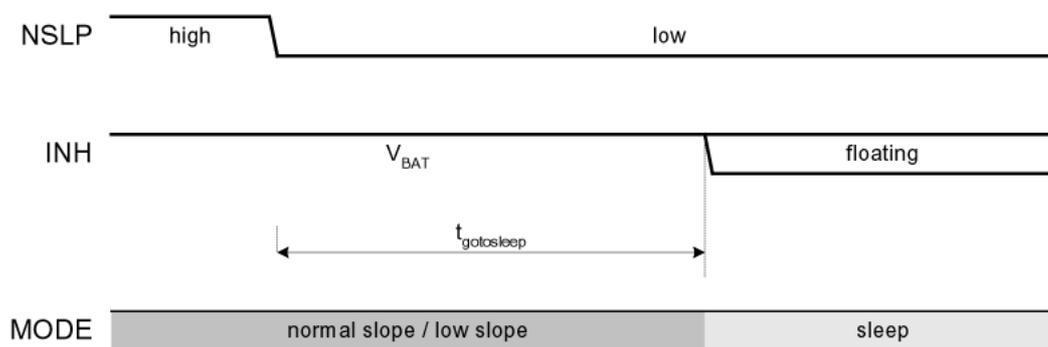


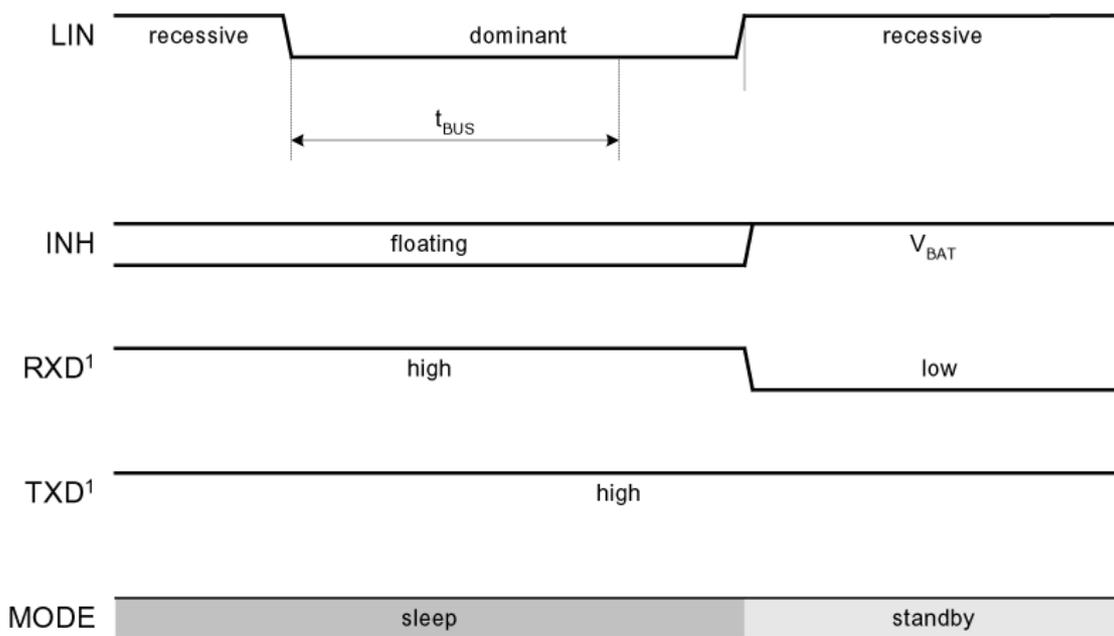
图 6 睡眠模式时序图

睡眠模式中，连接引脚 LIN 和 BAT 的内部从机端电阻 R_{SLAVE} 禁能；可以将它看作是一个弱电流源。当 LIN 总线对地短路时，它将电流的消耗减到最低。

2.3.2 准备模式

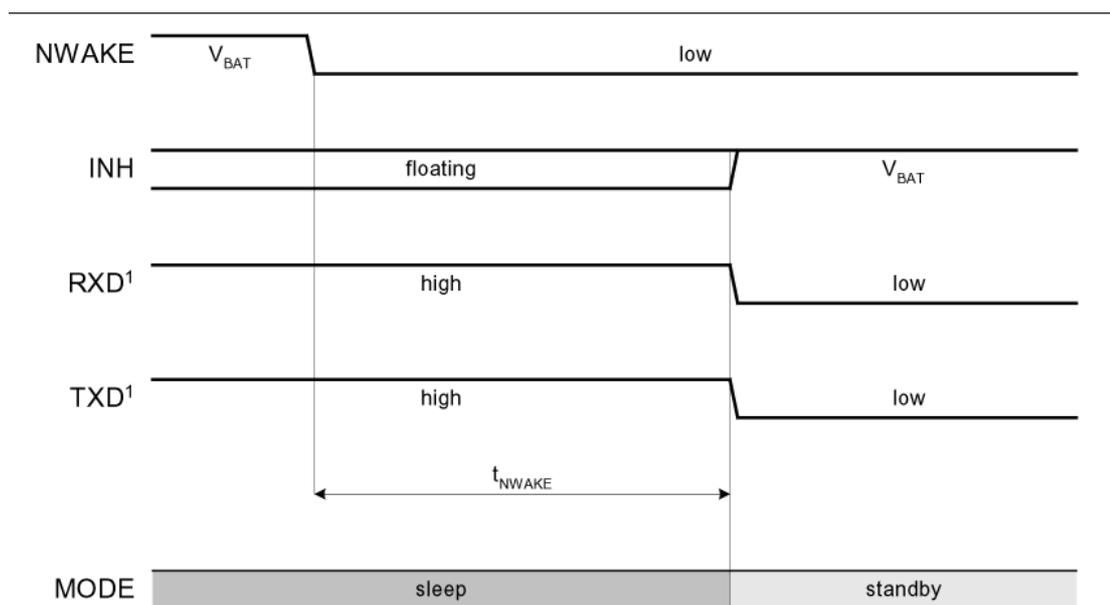
准备模式是一个中间模式，只有当 TJA1020 在睡眠模式时产生远程和本地唤醒时才会进入准备模式。准备模式中，INH 引脚输出电池高电平，将外部电压调节器激活。另外，连接引脚 LIN 和 BAT 的内部从机端电阻 R_{SLAVE} 激活（接通）。

TJA1020 用 RXD 引脚的低电平来标志准备模式。它也可以作为微控制器的唤醒中断请求。另外唤醒源可以用引脚 TXD 的下拉来标志。远程唤醒事件会在引脚 TXD 产生弱下拉，而本地唤醒事件将在 TXD 引脚产生强下拉。外部的上拉电阻由所使用的微控制器来决定（见 3.2.2）。



1: only if a pull-up reference is present

图 7 远程唤醒的准备模式时序图



1: only if a pull-up reference is present

图 8 本地唤醒的准备模式时序图

图 7 和图 8 是远程和本地唤醒的时序图以及在引脚 RXD 和 TXD 的特定输出。如果 LIN 总线在一个隐性总线电平之后的显性电平至少持续了 $t_{BUS}[1]$ ，则可以通过 LIN 总线检测到远程唤醒。如果低电平持续了至少 $t_{NWAKE}[1]$ ，则 NWAKE 引脚的下降沿将引起本地唤醒。

2.3.3 普通斜率模式

普通斜率模式用于通过 LIN 总线发送和接收数据。总线数据流由接收器转换成数字位流并在 RXD 引脚输出到微控制器。RXD 引脚的高电平表示 LIN 总线是隐性电平，而低电平表示 LIN 总线是显性电平。TJA1020 的发送器将在 TXD 输入的微控制器数据流转换成 LIN 总线信号波形，并加以修整，使 EME 达到最小。TXD 输入的低电平会使 LIN 总线是显性电平，而高电平性则使 LIN 总线是隐性电平。

普通斜率模式中，内部从机端电阻 $R_{SLAVE[1]}$ 将 LIN 总线引脚拉高。引脚 INH 的电池高电平使外部电压调节器保持接通。

将引脚 NSLP 和 TXD 置高电平，并持续至少 $t_{gotonorm,max}[1]$ ，也可以进入普通斜率模式。当 $t_{gotonorm}$ 超时会执行模式转换。图 9 是从睡眠模式或准备模式转换成普通斜率模式的时序图。

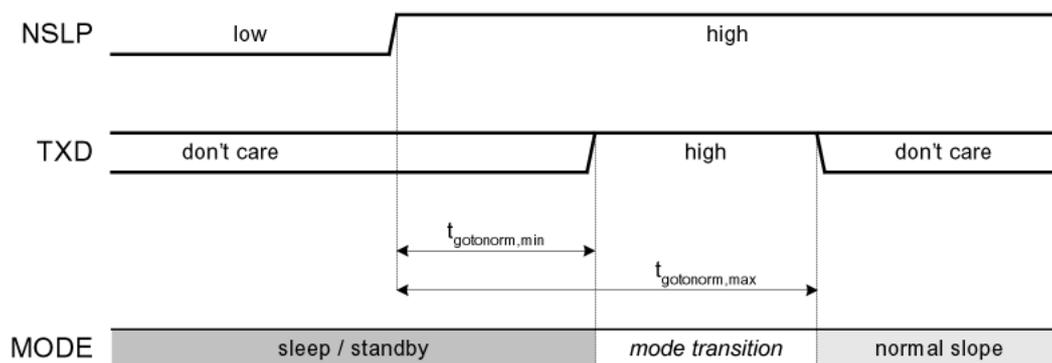


图 9 普通斜率模式时序图

2.3.4 低斜率模式

如果 LIN 系统的速率低于 10kBaud，可以使用低斜率模式。它和普通斜率模式相比可以进一步减少（普通斜率模式中）已经非常低的 EME。因此，它和普通斜率模式的唯一不同点是总线信号的过渡时间（transition time）。低斜率模式的过渡时间是普通斜率过渡时间的两倍（参见图 10）。

低斜率模式只能通过睡眠或准备模式进入，不可能直接从普通斜率模式直接转换成低斜率模式。

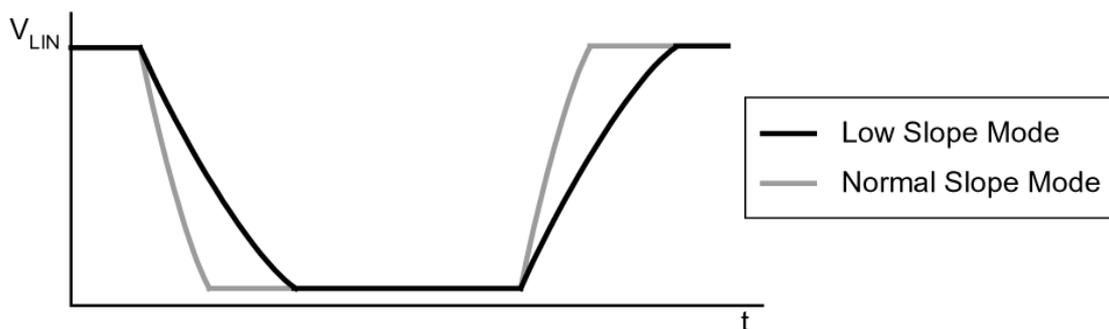


图 10 低斜率模式减少 LIN 总线斜率

当引脚 TXD 的低电平和引脚 NSLP 的高电平维持了至少 $t_{gotonorm,max}[1]$ ，TJA1020 进入低斜率模式。当 $t_{gotonorm}$ 超时会执行模式转换。图 11 是从睡眠模式或准备模式转换成低斜率模式的时序图。

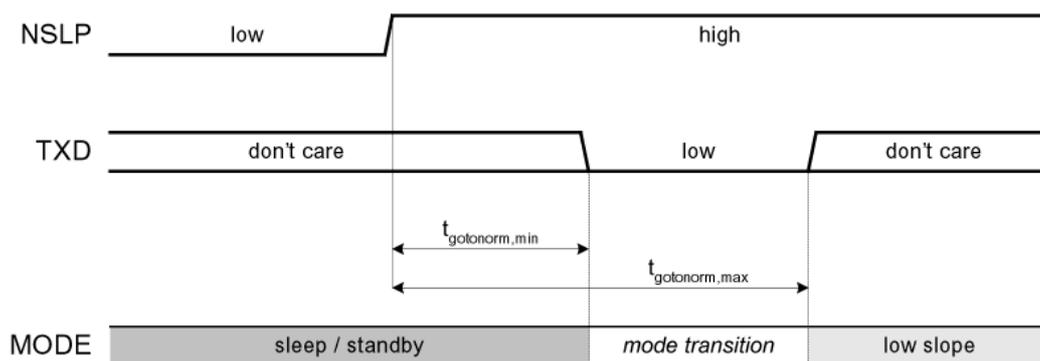


图 11 低斜率模式时序图

2.4 和 3.3V 器件兼容

TJA1020 被设计成用于日益增长的汽车低电压 (<5V) 应用。它的引脚 TXD 和 NSLP 减小了输入阈值，输出引脚 RXD 和 TXD 为漏极开路。因此，它可以和使用 3.3V 或 5V 电源的微控制器兼容。这样，TJA1020 和主微控制器之间不需要 5V 的转换接口，而且收发器本身不需要额外的 VCC 电源。

为使引脚 RXD 和 TXD 达到高电平，当微控制器的端口引脚没有集成上拉电阻时，要加外部上拉电阻。

3. 从机应用

3.1 结构

图 12 是 LIN 收发器 TJA1020 的从机应用。协议控制器（例如：微控制器）通过 UART/SCI 接口或标准 I/O 口引脚连接到 LIN 收发器。TJA1020 的 TXD 引脚是发送数据输入，RXD 引脚是接收数据输出。LIN 收发器的睡眠控制输入 NSLP 可以通过微控制器的端口引脚来控制。TJA1020 还有一个内部从机端电阻。因此，从机应用不需要外部的 LIN 总线端电阻。我们推荐使用图 12 中的电容 C_{SLAVE}，以提高 LIN 系统的 EME 和 EMI 性能（参见第 5 章）。

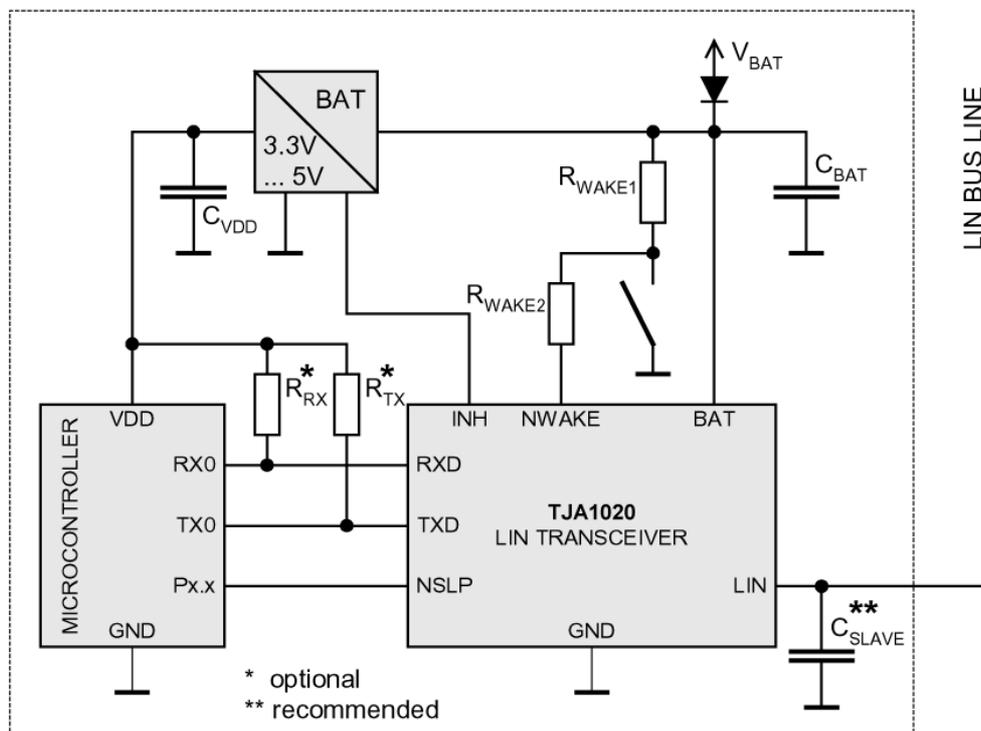


图 12 TJA1020 应用举例

3.2 详细的引脚描述

3.2.1 NSLP 引脚

睡眠控制引脚 NSLP 有内部下拉电阻 R_{SLP} ，当发生开路故障时，仍能保持一个固定的输入电平。NSLP 的低电平使 TJA1020 进入睡眠模式，并将功率的消耗减到最小。器件电源的输入阈值范围是 5V 和 3.3V。典型的 NSLP 引脚应用可以参见图 13。

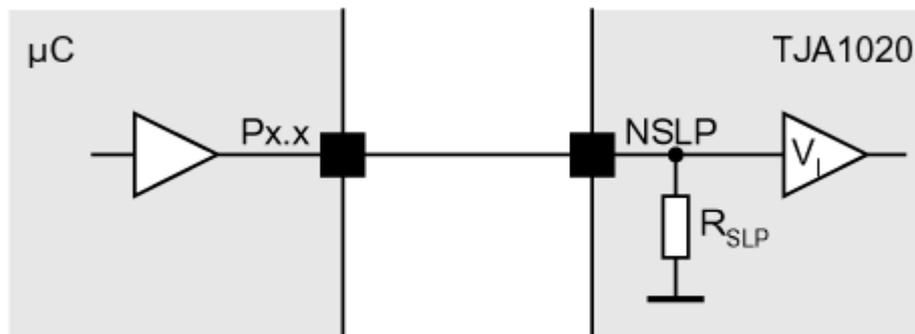


图 13 典型的 NSLP 引脚应用

微控制器端口引脚对 NSLP 引脚的最小驱动能力可以用下面的方程计算：

当 $V_{uC} > V_{IH(SLP),min}$ 时，端口在最小高电平时的引脚扇出能力为：

$$I_{HIGH(uC),min} = \frac{V_{IH(SLP),min}}{R_{SLP,min}} + I_{IL(SLP),max}$$

其中[1]

$V_{IH(SLP),min}$	NSLP 高电平输入电压的最小值
$R_{SLP,min}$	NSLP 下拉电阻的最小值
$I_{IL(SLP),max}$	NSLP 低电平输入电流的最大值

3.2.2 TXD 引脚

3.2.2.1 唤醒源识别

TXD 引脚是一个双向引脚。在普通斜率模式和低斜率模式中，它作为发送数据输入，而在准备模式中，用于标志唤醒源。TXD 引脚的低电平输出表明在 NWAKE 引脚发生本地唤醒事件。如果 NWAKE 引脚被用作本地唤醒源，TXD 引脚要被上拉。这个上拉可以用两种方法执行：

- 微控制器的端口引脚有集成的上拉电阻 $R_{TX(uC)}$ （见图 14a）
- 将外部上拉电阻 $R_{TX(ext)}$ 连接到本地 VCC（见图 14b）

如果没有本地唤醒源（NWAKE 不使用），不需要外部上拉电阻。TXD 不会被 TJA1020 强下拉至低电平。

如果 TJA1020 使用本地唤醒特征，外部上拉电阻 R_{TX} 要求的上拉能力由下面的条件定义：

- 当发生本地唤醒事件时，集成的唤醒源晶体管具有拉引脚 TXD 到低的驱动能力
- TJA1020 的集成 TXD 下拉电阻 $R_{TXD}[1]$

微控制器端口引脚的能力以及上拉电阻 R_{TX} 的值可以用下面的方程算出：

在 $V_{TX(uC)} > V_{IH(TXD),min}$ 时的最小高电平时上拉电流：

$$I_{HIGH(RTX),min} = \frac{V_{IH(TXD),min}}{R_{TXD,min}} + I_{IL(TXD),max}$$

当 $V_{TX(uC)} < V_{IH(TXD),max}$ 时的最大低电平时上拉电流：

$$I_{LOW(RTX),max} = \frac{V_{IL(TXD),max}}{V_{TXD}} I_{OL(TXD),min} \quad \text{其中 } V_{TXD}=0.4V$$

上拉电阻的阻值范围:

$$R_{TX,min} < R_{TX} < R_{TX,max} \quad \text{其中}$$

$$R_{TX,min} = \frac{VCC_{max} - V_{IL(TXD),max}}{I_{LOW(RTX),max}} \quad \text{和} \quad R_{TX,max} = \frac{VCC_{min} - V_{IH(TXD),min}}{I_{HIGH(RTX),min}}$$

其中[1]

$V_{IH(TXD),min}$ TXD 高电平输入的最小电压

$V_{IL(TXD),max}$ TXD 低电平输入的最大电压

$R_{TXD,min}$ TXD 下拉电阻的最小阻值

$I_{IL(TXD),max}$ TXD 低电平输入的最大电流

$I_{OL(TXD),min}$ TXD 低电平输出的最小电流

注意: 由于 TXD 引脚的 LIN 信号在上升和下降的过程对称, 因此它对整个系统的容差有影响。所以我们建议 TXD 输入的 RC (负载) 时间常数尽量小。

例子: 如果微控制器的电源电压 ($VCC=VCC_{min}=VCC_{max}$) 是 5V, 则上拉电阻 R_{TX} 的阻值范围是:

$$R_{TX,min} = \frac{VCC_{max} - V_{IL(TXD),max}}{I_{LOW(RTX),max}} = 1.4k\Omega \quad \text{其中} \quad I_{LOW(RTX),max} = \frac{V_{IL(TXD),max}}{V_{TXD}} I_{OL(TXD),min} = 3mA$$

$$R_{TX,max} = \frac{VCC_{min} - V_{IH(TXD),min}}{I_{HIGH(RTX),min}} \approx 140k\Omega \quad \text{其中} \quad I_{HIGH(RTX),min} = \frac{V_{IH(TXD),min}}{R_{TXD,min}} + I_{IL(TXD),max} = 2\mu A$$

建议上拉电阻 R_{TX} 的阻值是 2.2k Ω 。

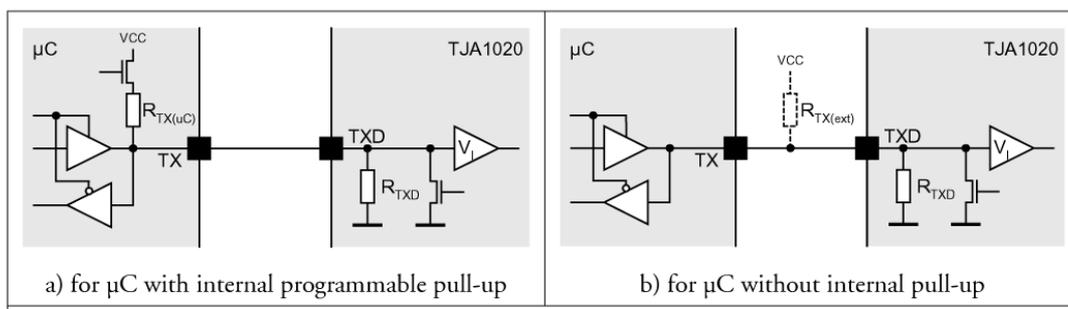


图 14 典型的 TXD 引脚应用

开漏输出以及 $V_{IN(TXD)}$ [1] 的最大输入阈值被设计用于支持 3.3V 和 5V 的微控制器。因此, 3.3V 的微控制器可以直接连接 TJA1020 而不需要 5V 的兼容接口。

3.2.2.2 开路处理

引脚 TXD 有一个内部弱下拉电阻 R_{TXD} [1], 它可以保证在出现开路故障时还能维持定义的输入电平。TXD 的输入电平是显性, TXD 控制超时功能可以防止 LIN 总线被箝位在显性电平而禁能发送器。而且弱下拉可以提供一个输出电平来释放 TXD 引脚。

3.2.3 RXD 引脚

接收数据输出 RXD 提供了一个开漏特性以获得和微控制器电源电压适配的输出电平。因此, 3.3V 的微控制器可以在不用兼容接口时使用。如果微控制器没有集成的上拉电阻, 则要加上连接到微控制器电源电压

VCC 的外部上拉电阻。图 15 是典型的 RXD 应用。

上拉电阻 R_{RX} 的阻值由 TJA1020 的 RXD 输出引脚的驱动能力确定，可以通过下面的方程计算：

上拉电阻的阻值范围：

$$R_{RX,min} < R_{RX} < R_{RX,max} \quad \text{其中}$$

$$R_{RX,min} = \frac{V_{CC,max} - V_{LOW(RX),max}}{V_{LOW(RX),max}} \cdot \frac{V_{RXD}}{I_{OL(RXD),min}}, \quad V_{RXD}=0.4V$$

$$R_{RX,max} = \frac{V_{CC,min} - V_{HIGH(RX),min}}{V_{LH(RX),max}}$$

其中

$I_{LH(RXD),max}$	最大的 RXD 高电平漏电流[1]
$I_{OL(RXD),min}$	最小的 RXD 低电平漏电流[1]
$V_{HIGH(RX),min}$	微控制器端口引脚 (RX) 最小的高电平输入电压
$V_{LOW(RX),max}$	微控制器端口引脚 (RX) 最大的低电平输入电压

注意：由于 RXD 引脚的 LIN 信号在上升和下降的过程对称，因此它对整个系统的容差有影响。所以我们建议 RXD 输出的 RC (负载) 时间常数尽量小，但上拉电阻 R_{RX} 不应当低于 $1k\Omega$ 。

例子：如果微控制器的电源电压 ($V_{CC}=V_{CC,min}=V_{CC,max}$) 是 5V，微控制器端口输入的最小阈值电压是从 $V_{LOW(RX),max}=0.8V$ 到 $V_{HIGH(RX),min}=2V$ ，则上拉电阻 R_{RX} 的阻值范围是：

$$R_{RX,min} = \frac{V_{CC,max} - V_{LOW(RX),max}}{V_{LOW(RX),max}} \cdot \frac{V_{RXD}}{I_{OL(RXD),min}} = 1.4k\Omega$$

$$R_{RX,max} = \frac{V_{CC,min} - V_{HIGH(RX),min}}{V_{LH(RX),max}} \approx 600k\Omega$$

建议上拉电阻 R_{RX} 的阻值是 $2.2k\Omega$ 。

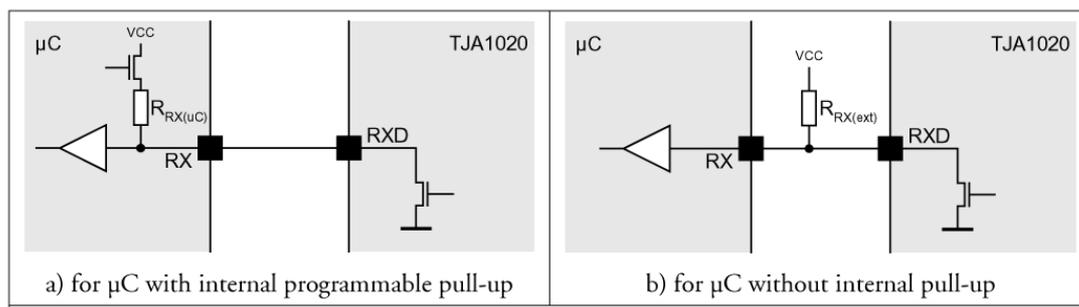


图 14 典型的 RXD 引脚应用

3.2.4 NWAKE 引脚

可以通过本地唤醒输入引脚 NWAKE 的下降沿检测本地唤醒事件。在下降沿后必须要有维持至少 t_{NWAKE} 的低电平以保证最基本的 EMI 滤波。NWAKE 引脚有一个电流流向电池的內部弱下拉电流源 $I_{L(NWAKE)}$ [1]，它在开路故障时可以定义一个引脚高电平。我们建议连接一个外部上拉电阻 R_{WAKE1} 为外部唤醒开关或晶体管提供足够的电流。如果 NWAKE 的唤醒源 (开关或晶体管) 和 TJA1020 的接地通路不同，我们建议在 NWAKE

引脚和唤醒源之间连接一个串联电阻 R_{WAKE2} 。如果在唤醒源仍然连接到地而 ECU 丢失了地时，串联电阻 R_{WAKE2} 可以通过 NWAKE 的内部保护二极管保护 ECU 不会有反向电流。图 16 是一个典型的 NWAKE 引脚应用，它通过外部开关进行本地唤醒。

上拉电阻 R_{WAKE1} 只是由唤醒源（开关或晶体管）要求的电流决定，而串联电阻 R_{WAKE2} 主要由应用中的 ECU 和外部唤醒源的电平偏移决定。下面的方程显示了如何计算建议的串联电阻阻值：

串联电阻的阻值范围：

$$R_{WAKE2,min} < R_{WAKE2} < R_{WAKE2,max} \quad \text{其中}$$

$$R_{WAKE2,min} = \frac{V_{BAT,max}}{I_{NWAKE,min}}$$

$$R_{WAKE2,max} = \frac{V_{IL(NWAKE),max} - |V_{GND-shift}|}{I_{IL(NWAKE),min}} \quad \text{其中，例如 } V_{GND-shift}=1.5V$$

其中[1]

$V_{IL(NWAKE),max}$ 最大的 NWAKE 低电平输入电压
 $I_{IL(NWAKE),min}$ 最小的 NWAKE 上拉电流
 $I_{NWAKE,min}$ 最小的 NWAKE 输出电流（限值）

举例：如果最大的对地漂移 $V_{GND-shift}=1.5V$ ，电池电压范围是 $V_{BAT}=5\sim 27V$ ，则 R_{WAKE2} 的阻值范围是：

$$R_{WAKE2,min} = \frac{V_{BAT,max}}{I_{NWAKE,min}} = 1.8k\Omega$$

$$R_{WAKE2,max} = \frac{V_{IL(NWAKE),max} - |V_{GND-shift}|}{I_{IL(NWAKE),min}} \approx 6.6k\Omega$$

串联电阻 R_{WAKE2} 的典型值是 $3k\Omega$ 。

由于 NWAKE 引脚由于有内部上拉电阻和滤波特性，因此当应用不需要本地唤醒时，NWAKE 要保持开路。我们建议将 NWAKE 引脚直接连接到 BAT 引脚（参见图 16b）。

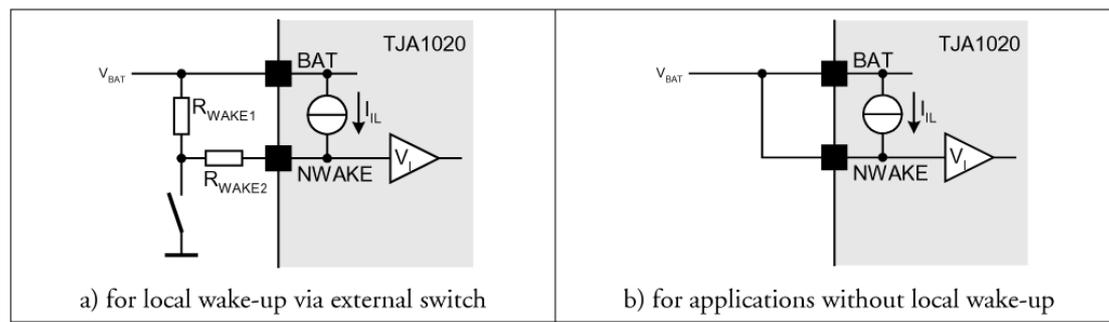


图 16 典型的 NWAKE 引脚应用

对于其他引脚 3 是 VCC 电源输入而不是本地唤醒输入的 LIN 收发器，TJA1020 也可以在硬件上兼容。因此，NWAKE 输入的唤醒阈值被定义为高于 $5V$ 。这样，这个引脚可以直接连接到应用的 VCC 电源，而且当 VCC 下降时（例如：系统的睡眠模式）也不会产生唤醒事件。不过，此方式将引起系统有小的额外电流消耗 $I_{IL(NWAKE)}$ [1]（内部弱电流源）。

3.2.4.1 上电后的唤醒

TJA1020 在上电后会直接进入睡眠模式使 INH 保持悬空，因此 LIN 节点的电源禁能。这个特性将减少 LIN 子系统上电时的整体峰值电流。

但在一些应用中，要求 LIN 节点在上电后会自动唤醒。这个功能可以用 NWAKE 引脚上的 RC 电路来实现(见图 17b)。上电期间，这个 RC 电路可以将 NWAKE 的输入电压 V_{NWAKE} 维持在 $V_{IL(NWAKE),max}$ 至少 $t_{NWAKE,max}$ 时间，以产生一个本地唤醒。

图 17a 的电路提供了两种解决方案，分别是：通过外部开关进行本地唤醒和在上电后自动唤醒。其中 R_{WAKE1} 和 R_{WAKE2} 的校准可参看上面。

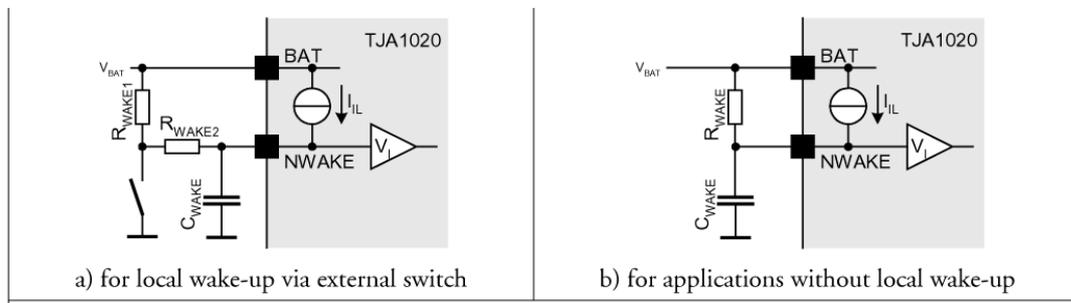


图 17 典型的 NWAKE 引脚应用——上电后唤醒

图 18 是电池电压 V_{BAT} 和在上电期间的 NWAKE 电压 V_{NWAKE} ，它还显示了唤醒 TJA1020 的限制。RC 电路可以通过下面的法则计算：

上电后唤醒的 RC 时间常数：

$$R_{WAKE}C_{WAKE} = t_{BAT-ON,max} > 2t_{NWAKE,max}$$

其中

$t_{NWAKE,max}$ 通过 NWAKE 唤醒的最大显性时间

$t_{BAT-ON,max}$ V_{BAT} 的最大上电斜坡上升时间

举例：假设最大的上电斜坡上升时间 $t_{BAT-ON,max}$ 是 1ms，上拉电阻 R_{WAKE} 是 10k Ω ，则 C_{WAKE} 是：

$$C_{WAKE} = \frac{t_{BAT-ON,max}}{R_{WAKE}} = 100nF \quad \text{其中 } t_{BAT-ON,max} = 1ms > 2t_{NWAKE,max} = 100\mu s$$

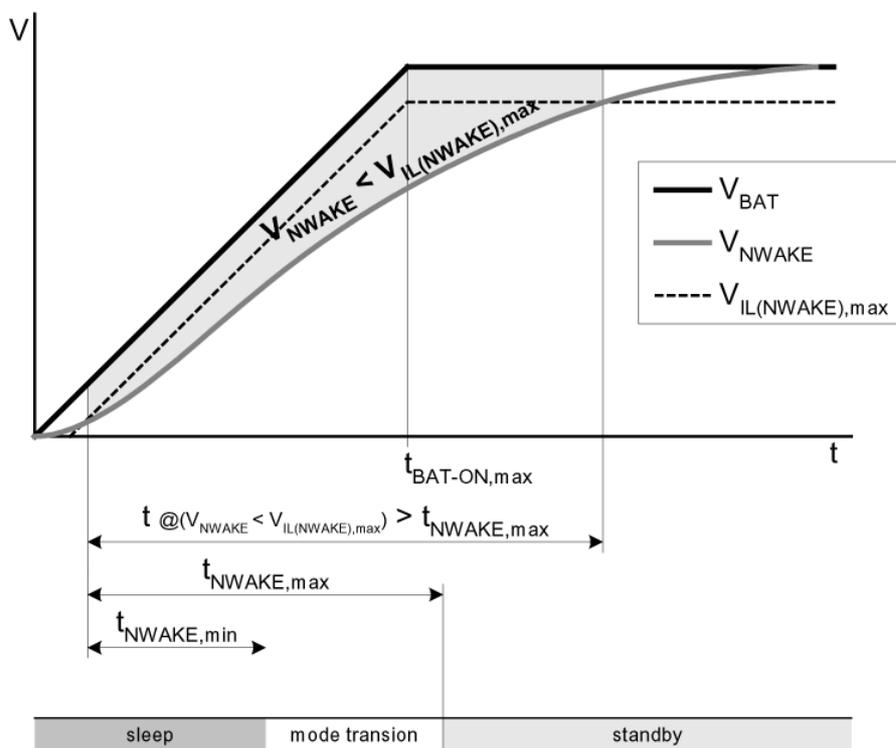


图 18 上电后唤醒的时序图

3.2.5 INH 引脚

3.2.5.1 INH 控制的电压调节器

INH 输出引脚是一个连接着 BAT 引脚的开漏输出，它可以控制一个外部电压调节器。因此，必须要有一个连接到地的外部下拉电阻 R_{INH} 。这个下拉通常由电压调节器本身集成。典型的 INH 引脚应用如图 19a。

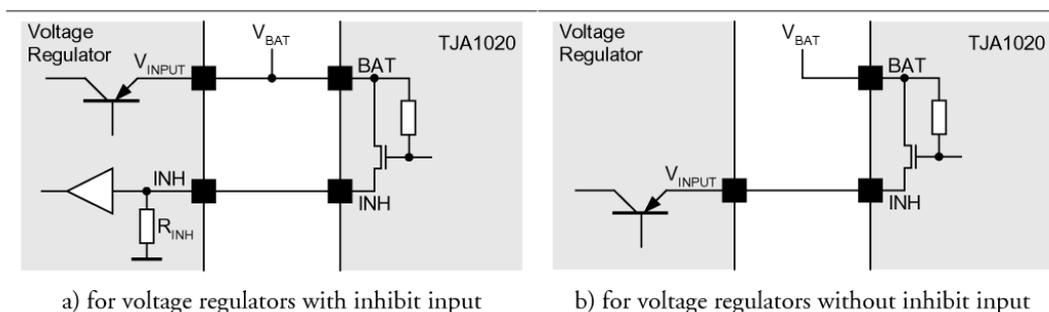


图 19 典型的 INH 引脚应用

下拉电阻 R_{INH} 的阻值范围可以用下面的方程来计算：

下拉电阻的阻值范围：

$$R_{INH,min} < R_{INH} < R_{INH,max} \quad \text{其中}$$

$$R_{INH,min} = \frac{V_{BAT,max}}{I_{INH,max}} \quad I_{INH,max} \text{ 请参看 3.2.5.2}$$

$$R_{INH,max} = \frac{V_{LOW(VoltReg),max}}{I_{LH(INH),max}}$$

其中

$I_{LH(INH),max}$ 最大的 INH 高电平漏电流[1]

$V_{LOW(VoltReg),max}$ 最大的限制低电平输入电压（电压调节器）

3.2.5.2 直接的电压调节器电源

由于 INH 具有驱动能力，TJA1020 可以直接给电压调节器供电。图 19b 是一个从设备的典型 INH 引脚引用。

INH 引脚到电压调节器的最大电源电流 $I_{INH,max}$ 和最大的电压降 V_{DROP} 可以用下面的方程来计算：

引脚 INH 的最大电压调节器电源电流是：

$$I_{INH,max} = \sqrt{\frac{P_{max} - P_{Q,max} - P_{TX,max}}{R_{SW(INH),max}}} \quad \text{其中 } I_{INH,max} \leq 50mA$$

$$P_{max} = \frac{T_{vj,max} - T_{amb,max}}{R_{th(j-a)}}$$

INH 引脚的最大电压降：

$$V_{DROP} = R_{SW(INH),max} \cdot I_{INH,max}$$

其中

$P_{Q,max}$ 最大的静止功率消耗（普通斜率模式，总线隐性， $V_{INH}=V_{BAT}$ ）见图 20

$P_{TX,max}$	最大的发送器功率消耗（普通斜率模式，发送占空比=50%， $V_{INH}=V_{BAT}$ ）见图 20
$R_{SW(INH),max}$	BAT 和 INH 的最大开关阻抗[1]
和	
$T_{vj,max}$	最大的虚拟连接点温度（K）[1]
$T_{amb,max}$	最大的环境温度（K）
$R_{th(j-a)}$	温度阻抗（K/W）[1]

注意：与上面的计算无关，INH 引脚的电流 I_{INH} 不能超过 50mA。

功率的消耗由电源电压 V_{BAT} 和波特率确定。图 20 显示了静态功率消耗 P_Q 和 TJA1020 的发送器功率消耗 P_{TX} 都是电源电压 V_{BAT} 的函数。图 20 的发送器功率消耗 P_{TX} 是在占空比是 50%、LIN 总线负载（ $R_L=500\Omega$ ， $C_L=10nF$ ）的情况下测出。

温度阻抗 $R_{th(j-a)}$ [1]是在典型的空气条件下，IC 封装向周围环境传导热的能力。在实际的应用中，通常会将大面积覆铜连接到引脚 GND，以减少温度阻抗和增加最大的 INH 电流 $I_{INH,max}$ 。

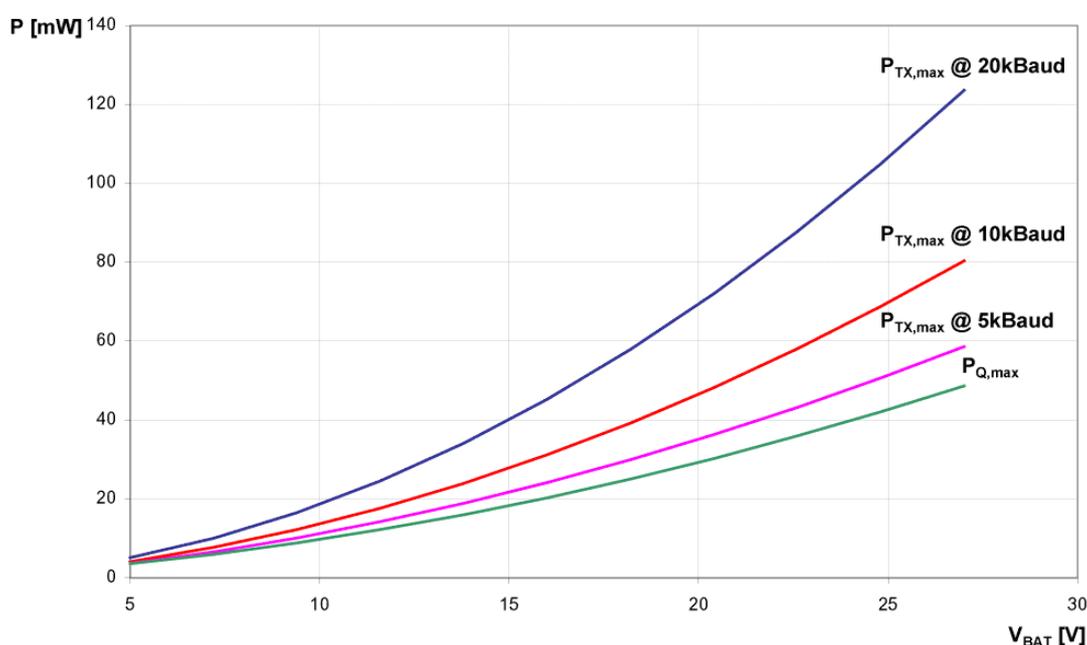


图 20 普通斜率模式中的功率消耗

3.2.6 LIN 引脚

引脚 LIN 用于在 LIN 总线上发送和接收数据。发送是由一个控制波形的下方开关管（Low side switch）来执行，而接收是由接收器执行。接收器的阈值 $V_{th(rx)[1]}$ 和 BAT 引脚电压有关，并有滞后 $V_{thr(hys)[1]}$ 。

LIN 引脚具有弱上拉电流源 $I_{L(LIN)[1]}$ 和一个与 BAT 并联的从机端电阻 $R_{SLAVE}[1]$ 。从机端电阻、电流源以及下方开关管（Low side switch）都有一个保护电流二极管（见图 20）。因此，不需要外部元件。而且，在 LIN 总线上使用一个电容负载可以改善 EME 和 EMI 特性，如图 12 所示。

由于从机端电阻 $R_{SLAVE}[1]$ 在睡眠模式中关断，电流源 $I_{L(LIN)}$ 可以作为一个额外的弱上拉。因此，当 LIN 对地短路时，转换到睡眠模式将减少电流消耗（见 8.2 节）。

4. 主机应用

主机应用和从机应用的最大不同点是主机应用要有一个额外的主机端电阻 $R_{MASTER}[2]$ 。为了提高 EME 以及 EMI，我们建议连接一个电容负载 $C_{MASTER}[2]$ （见第 5 章）。下面我们将介绍 TJA1020 的几个主机应用解决方案。

4.1 主机终端直接连接到 BAT

如图 21 所示，主机应用通过在 LIN 和 BAT 引脚之间串联的反向电流二极管和电阻 $R_{MASTER}[2]$ 实现。

这样的主机应用解决方案在 LIN 总线错误地对地短路时并不提供自动防故障功能。短路电流不能被关断，所以电池将持续放电。

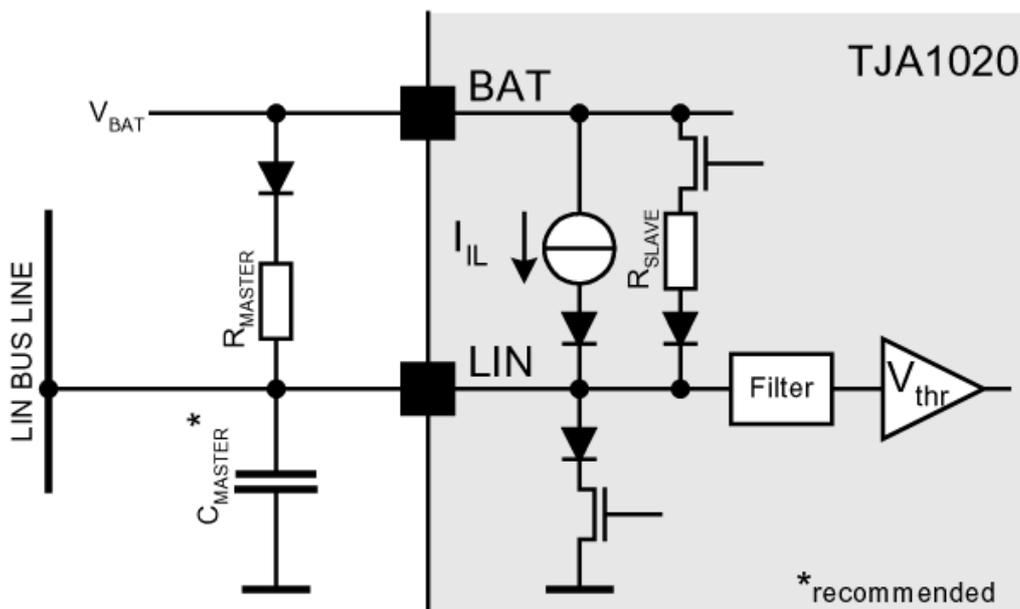


图 21 典型的主机终端

4.2 主机终端连接到 INH

为了实现自动防故障，TJA1020 支持使用 INH 引脚驱动主机终端电阻 $R_{MASTER}[2]$ 的高级应用解决方案。如图 22，主机端电阻和反向电流二极管串联连接到 INH 引脚而不是 BAT 引脚。这个解决方案的优点是可以切换到睡眠模式来关断主机终端，这样就解决了上面提到的 LIN 对地短路。

当应用中，微控制器检测到由于 LIN 总线对地短路而产生的持续显性电平后，微控制器可以通过选择睡眠模式来减少功率消耗。切换到睡眠模式可以关断外部电压调节器、主机终端 $R_{MASTER}[2]$ 和内部的从机端电阻 $R_{SLAVE}[1]$ 。内部的弱上拉电流源 $I_{L(LIN)}[1]$ 和 TJA1020 的内部电流消耗决定了 LIN 节点在这个故障情况下的电流消耗（见 8.2 节）。

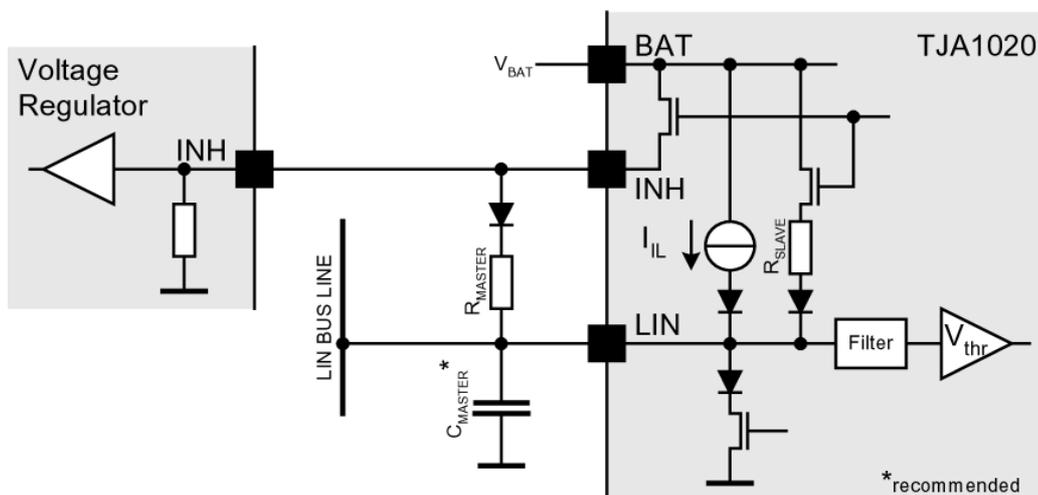


图 22 INH 引脚的高级主机终端

4.3 INH 和 BAT 的主机终端分离

由于 4.2 章的高级主机终端提供了一个自动防故障系统而且睡眠模式中有高的 LIN 总线阻抗。如果 LIN 总线可以容忍高的短路电流，则可以选择结合了 4.1 和 4.2 章的终端概念（见图 23）。

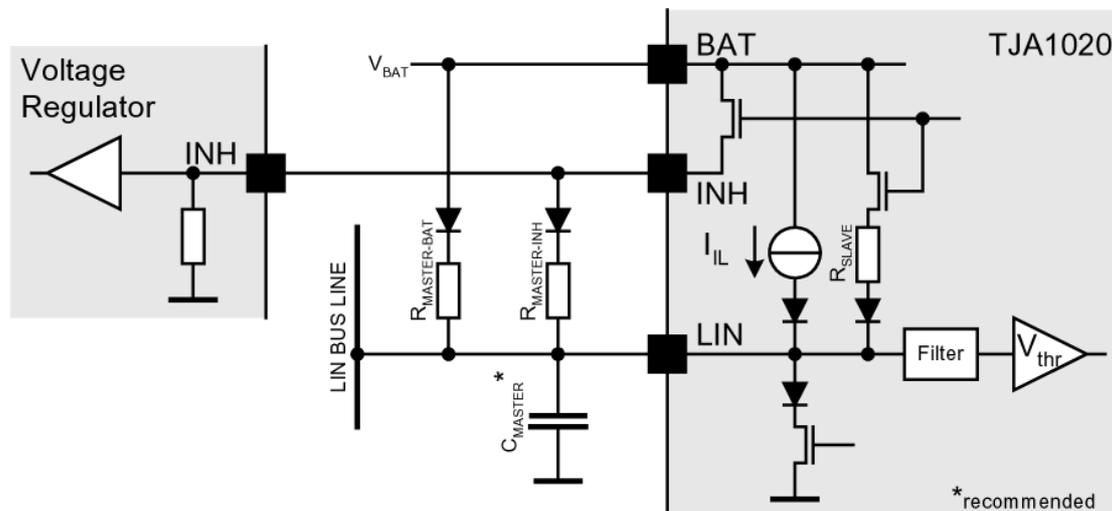


图 23 平衡的主机应用

当 TJA1020 在准备、普通斜率或低斜率模式中时，并联的电阻 $R_{MASTER-BAT}$ 和 $R_{MASTER-INH}$ 决定主机的终端。睡眠模式中，主机终端由 $R_{MASTER-BAT}$ 决定。因此，最大的 LIN 总线短路电流 $I_{SC,max}$ 可以用 $R_{MASTER-BAT}$ 来平衡：

$$R_{MASTER-BAT} = \frac{V_{BAT,max}}{I_{SC,max}}$$

$$R_{MASTER-INH} = \frac{R_{MASTER-BAT} \cdot R_{MASTER}}{R_{MASTER-BAT} - R_{MASTER}} \quad \text{其中 } R_{MASTER} = 1k\Omega$$

5. EMC 方面

5.1 EME—斜率控制

LIN 物理层是一个单线式的线与总线，使用电池的隐性电平。因此，不需要对双线（使用差分信号）进行电磁场的补偿（例如：高速 CAN）。此时，输出波形的平滑度变得非常重要。电磁辐射 EME 主要是由于 LIN 总线波形的上升和下降斜率引起。斜率越低，EME 也越低。

TJA1020 可以通过修改 LIN 总线的电容负载（ C_{MASTER} [2]或 C_{SLAVE} ）来控制斜率。当电容量增加，斜率将降低。因此，增加整个网络的电容（ $C_{BUS} = C_{MASTER} + n \cdot C_{SLAVE} \cdot C_{LINE}[2]$ ）可以进一步减少 EME。在接近 20kBaud 的高速 LIN 总线中，斜率时间也影响系统的容差，譬如接地漂移。因此，我们不建议在位速率非常高的情况下使用最大的电容量 $C_{BUS,max}[2]$ ，使系统可以保留一些安全余量。

5.2 EME—低斜率模式

普通斜率模式中的 LIN 总线信号波形适用于指定的最大 LIN 传输速率（20kBaud）。因此，在低速的 LIN 应用（如 4.8kBaud）中，普通斜率模式的信号波形会变得陡峭。所以，TJA1020 有减少斜率的低斜率模式（见 2.3.4 节）（见图 10）。斜率的减低将进一步减少 EME，这种情况适用于 LIN 的传输速率低于 10kBaud。

5.3 EMI—电容性负载

LIN 总线引脚上的电容能减少 RF 干涉的影响。因此，我们建议在每个节点的 LIN 总线和地之间都连接一个电容（譬如 $C_{MASTER/SLAVE}=220\text{pF}$ ）。

6. 收发器的控制

TJA1020 的模式是由引脚 NSLP 和 TXD 控制。在接下来的章节中，将讨论 TJA1020 的模式控制以及如何处理 LIN 总线故障。

收发器的控制可以分成两个基本的应用：

- 微控制器的电源电压通过 TJA1020 的 INH 引脚控制
- 不考虑 TJA1020 的模式，微控制器持续供电

6.1 INH 控制的微控制器电源

在本地或远程唤醒后，TJA1020 自动进入准备模式。结果，INH 引脚输出一个电池高电平，接通外部电压调节器。接着，微控制器上电并启动初始化。TJA1020 用 RXD 引脚的低电平来表示唤醒事件。

NWAKE 引脚可以使用两种不同的软件流程进行模式控制：

6.1.1 使用 NWAKE 的应用

TJA1020 可以用 TXD 引脚区分不同的唤醒源。因此，TXD 引脚需要使用在 3.2.2 章所说的上拉功能。这个上拉功能要求能够识别 TJA1020 在引脚 TXD 的下拉晶体管，这个晶体管在 NWAKE 的本地唤醒事件后导通。这样，通过读 TJA1020 的 TXD 引脚就可以区分唤醒源。

TJA1020 的 TXD 引脚也可以区分普通斜率模式和低斜率模式。如果 TXD 在 NSLP 置高电平后维持高电平，则 TJA1020 进入普通斜率模式。由于唤醒源信息在 NSLP 变高电平时被立即清除，如果相应的微控制器端口引脚配置成输入（弱高），TXD 将在本地唤醒事件之后变高电平。模式转换本身是通过将 NSLP 置高并维持 $t_{gotomorm}[1]$ 来实现（见图 9 的时序）。

注意：没有强制要求微控制器端口引脚 TX 在置 NSLP 高电平后输出高电平的软件时序，因为本地唤醒源信息在 NSLP 变高电平时被立即清除，而模式转换在 $t_{gotonorm}$ 后执行[1]。

微控制器端口引脚 TX 只要在 TJA1020 的 NSLP 输入引脚是高电平之前置低电平，就可以进入低斜率模式。

图 24 是准备模式转换成普通 / 低斜率模式的相应软件流程图。

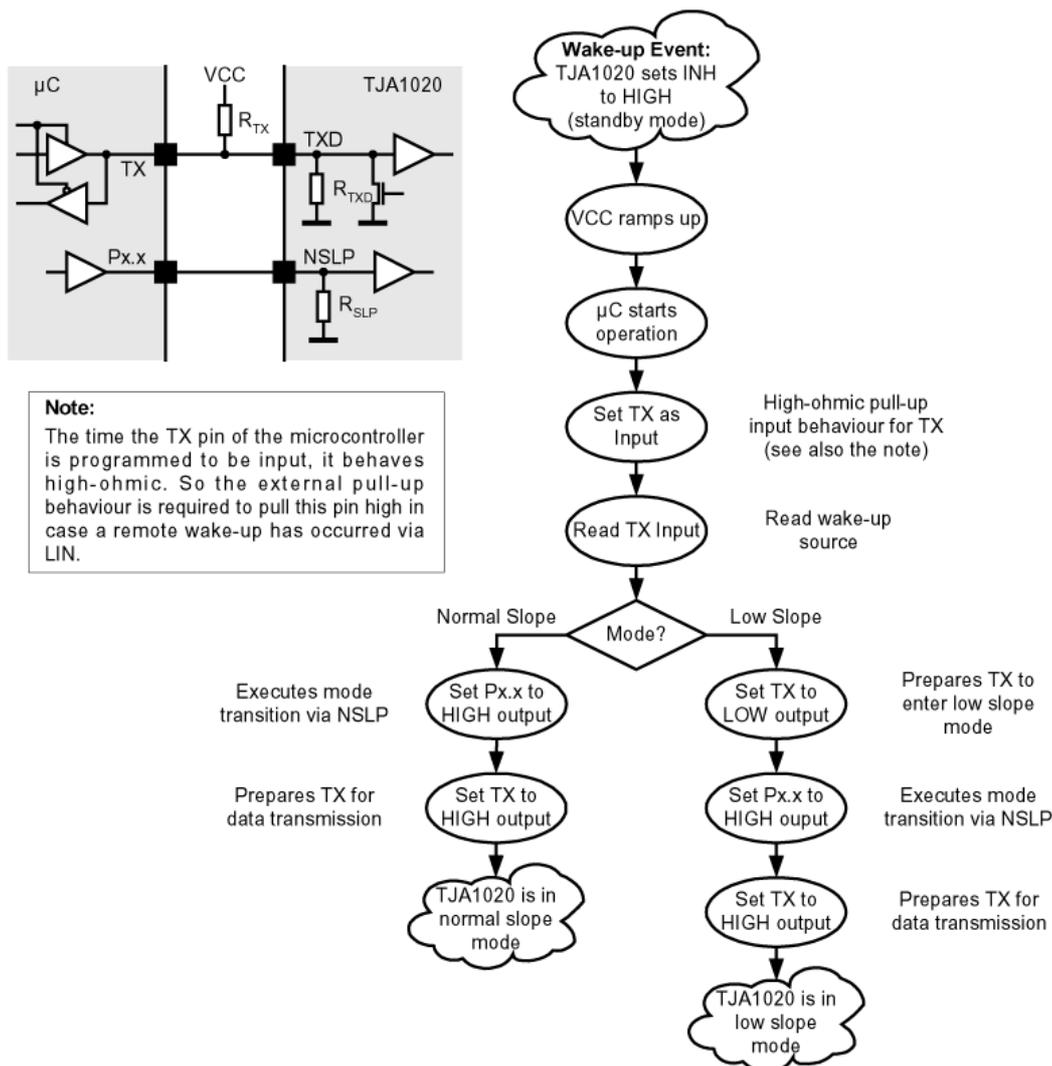


图 24 准备模式转换成普通 / 低斜率模式的流程图，使用 NWAKE 引脚

6.1.2 不使用 NWAKE 的应用

在没有本地唤醒源时，硬件变得非常简单。因为此时 TJA1020 的 TXD 引脚只作为输入。因此，不需要在 6.1.1 节中所说的弱下拉功能。

图 25 是软件流程图。这里，TJA1020 的 TXD 输入在 NSLP 输入变高电平前定义了下一个模式。

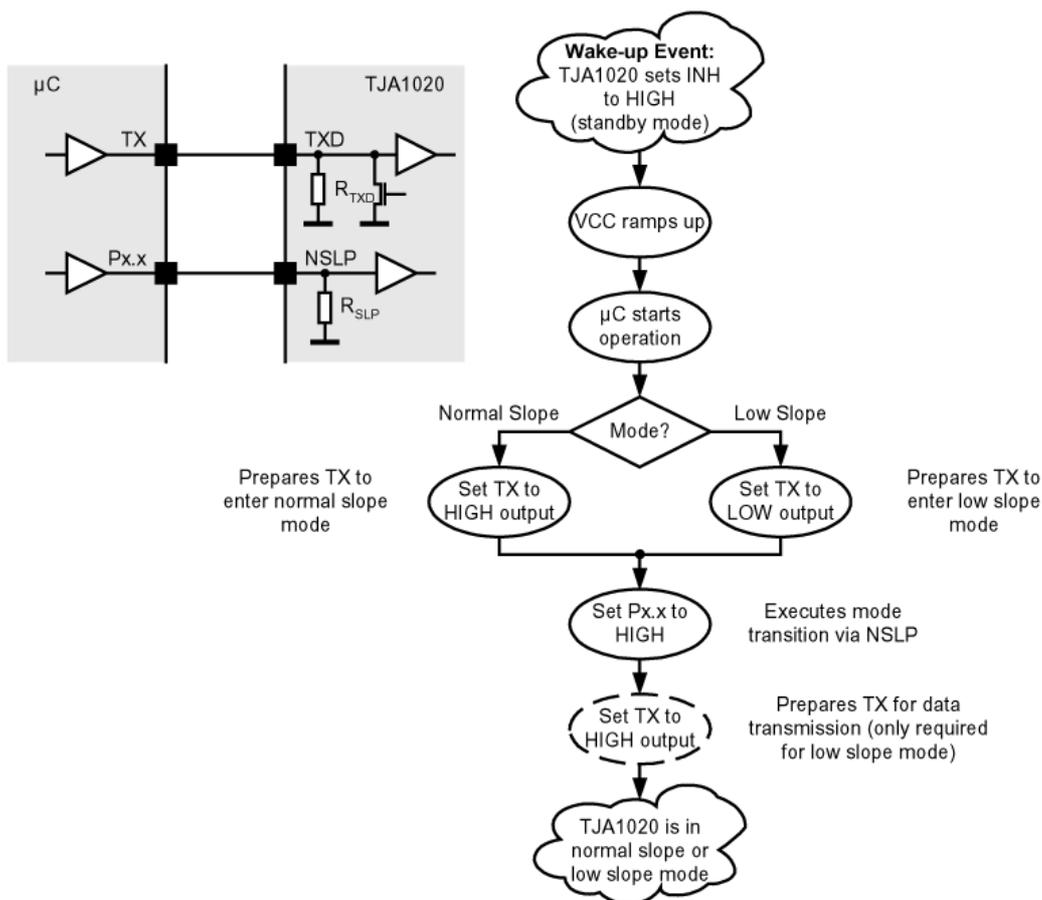


图 25 准备模式转换成普通 / 低斜率模式的流程图，不使用 NWAKE

6.2 持续上电的微控制器

在某些应用中，TJA1020 并不用于控制微控制器的电源。因此，不使用 INH 引脚，而将它用于其他的目的。在这些应用中，TJA1020 可以直接从睡眠模式转换成普通斜率模式或低斜率模式。

NWAKE 引脚可以使用两种不同的软件流程进行模式控制：

6.2.1 使用 NWAKE 的应用

这里使用和 6.1.1 中描述的相同的流程图。由于微控制器已经在运行，所以唯一的差别是不执行初始化的阶段。图 26 是根据 3.2.2 节描述的 TXD 引脚的相关软件流程图。

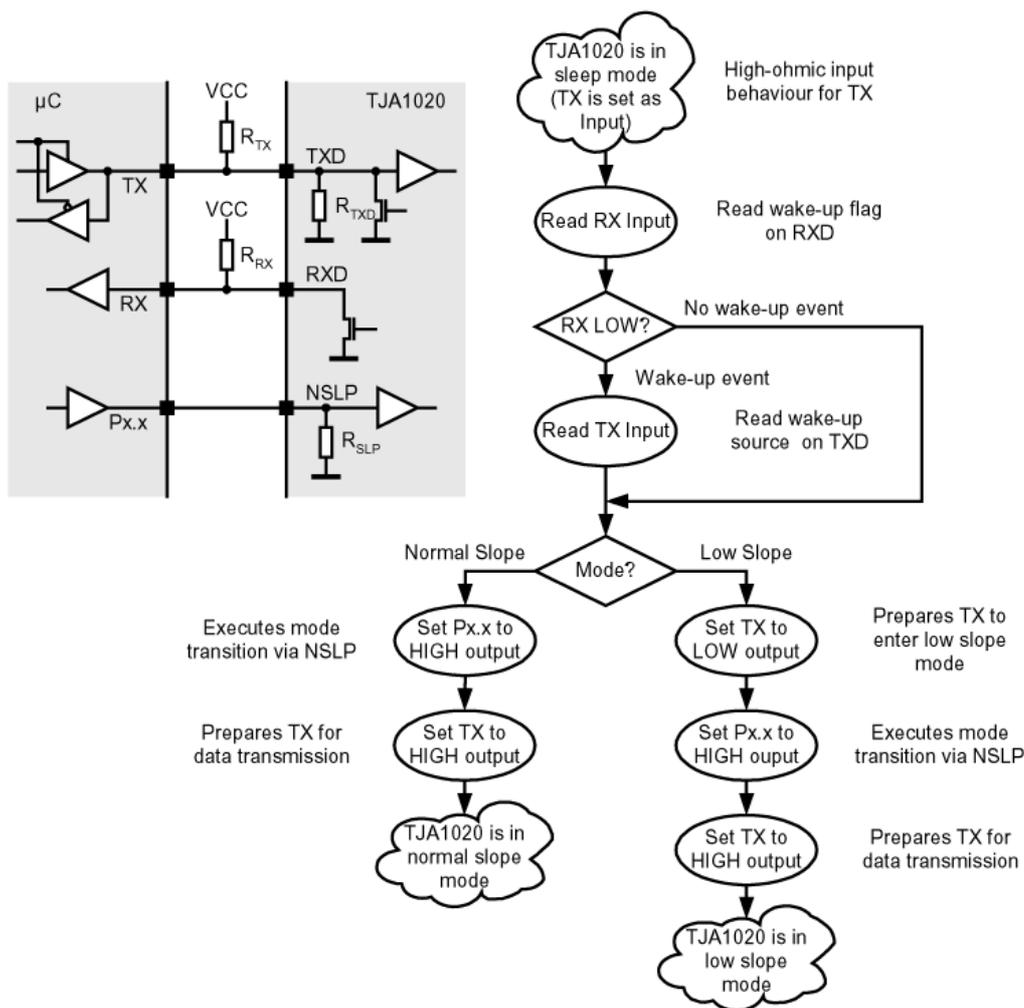


图 26 睡眠模式转换成普通 / 低斜率模式的流程图，使用 NWAKE

6.2.2 不使用 NWAKE 的应用

这里使用 6.1.2 节描述的相同的流程图。由于微控制器已经在运行，所以唯一的差别是不执行初始化的阶段。图 26 是相应的软件流程图。

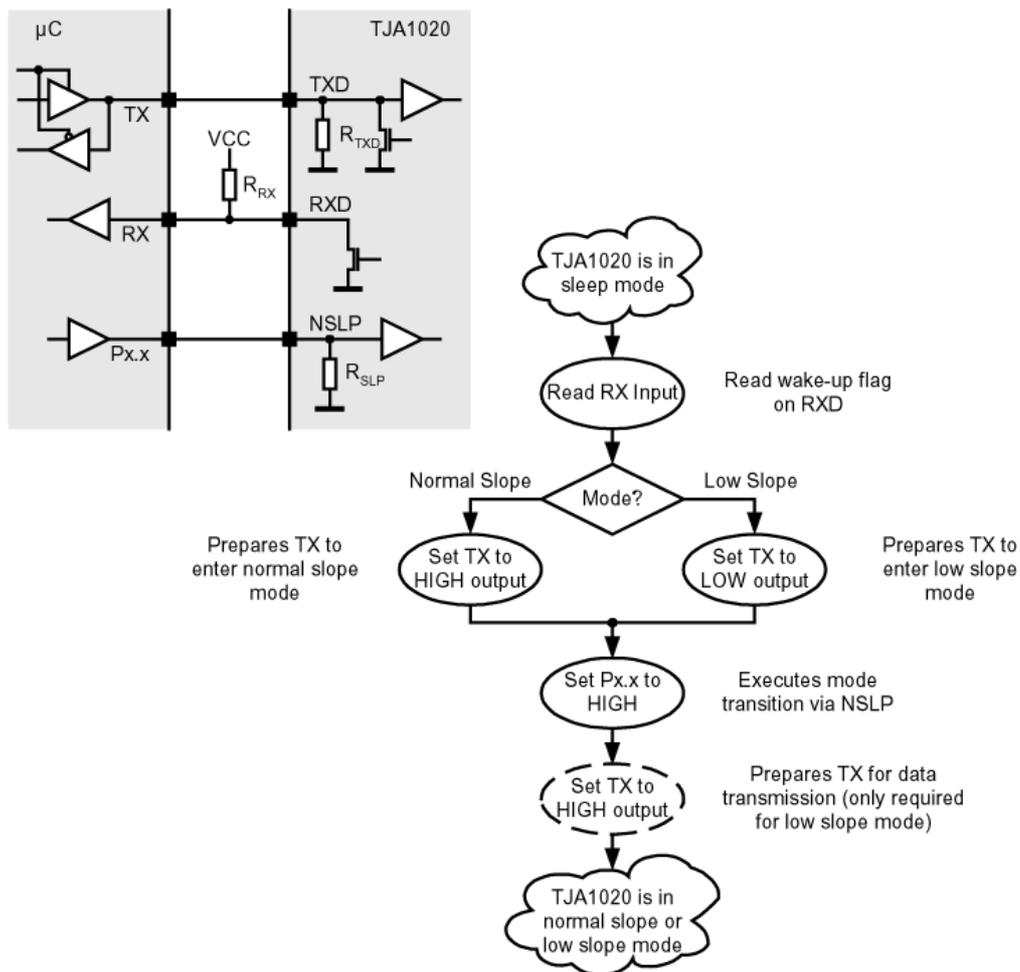


图 27 睡眠模式转换成普通 / 低斜率模式的流程图，不使用 NWAKE

6.3 从普通斜率模式 / 低斜率模式转换到睡眠模式

如果 NSLP 的低电平维持了至少 $t_{gotosleep}[1]$ 后，TJA1020 进入睡眠模式。

NWAKE 引脚可以使用两种不同的软件流程进行模式控制：

6.3.1 使用 NWAKE 的应用

如果 TJA1020 的 NWAKE 正在使用，由微控制器端口引脚（譬如：TX）驱动的 TJA1020 TXD 引脚可以在执行模式转换前配置成输入或双向输入（通过将 NSLP 引脚置低电平）。这样当模式转换成睡眠后 NWAKE 引脚发生唤醒事件时，引脚 TXD 具有上拉功能。图 28 是使用 NWAKE 的普通斜率模式或低斜率模式转换成睡眠模式的软件流程图。

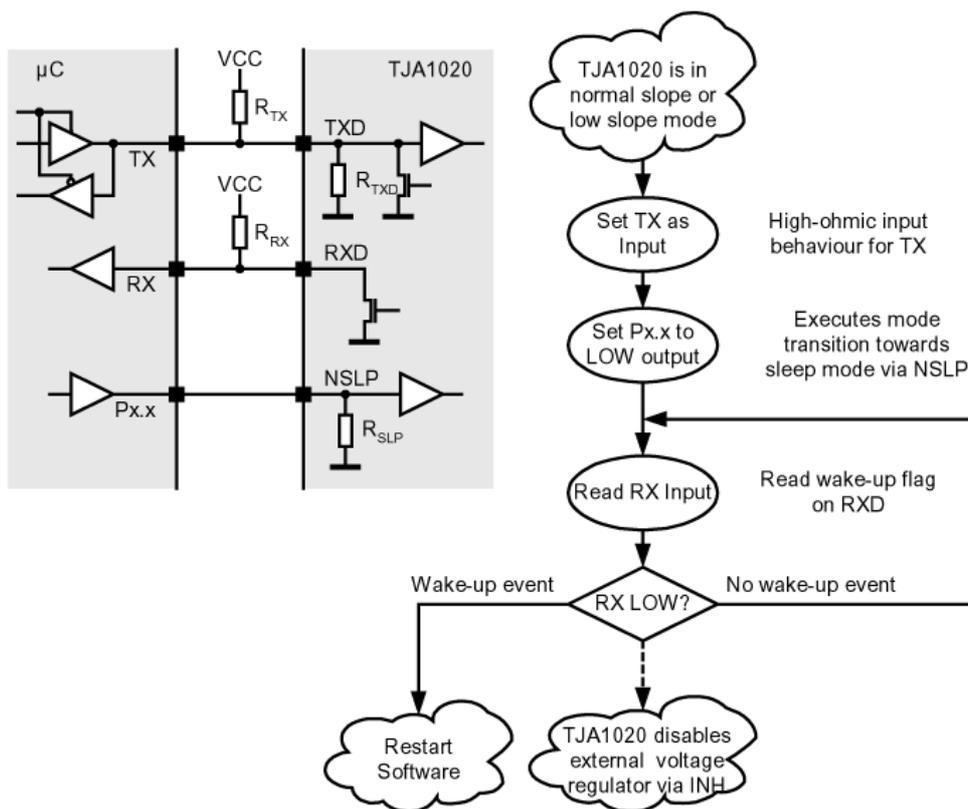


图 28 普通斜率模式或低斜率模式转换成睡眠模式的软件流程图，使用 NWAKE

6.3.2 不使用 NWAKE 的应用

如果不使用 NWAKE 引脚，TXD 不需要具有上拉功能（见 3.2.2.1），只有 NSLP 输入会变低（见图 29）。图 28 中软件流程的“置 TX 为输入”一步不能执行，因为如果微控制端口引脚 TX 没有上拉功能但被设置成高阻抗状态，弱下拉电阻会置 TXD 为低电平。这将造成：LIN 总线呈现显性电平，直到 NSLP 被置低或通过了 TXD 的控制超时阶段。

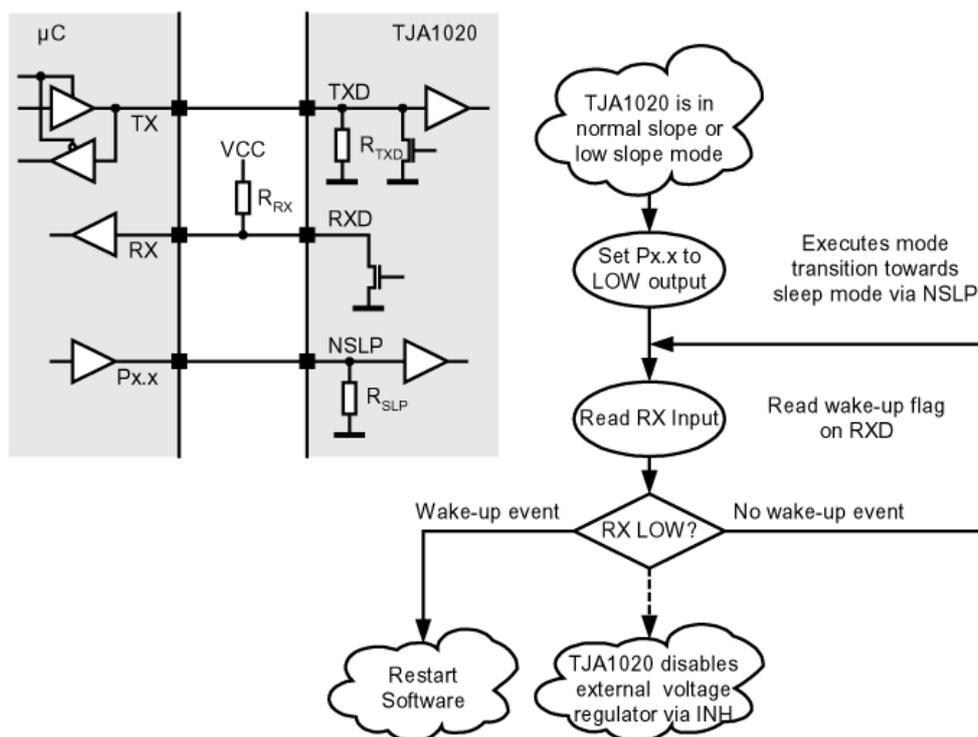


图 29 普通斜率模式或低斜率模式转换成睡眠模式的软件流程图，不使用 NWAKE

7. 故障管理

7.1.1 LIN 总线对地短路

LIN 总线对地短路后，LIN 的终端将产生一个持续的电流，从 V_{BAT} 流出。TJA1020 使用集成的终端控制可以将短路电流减少到最小。

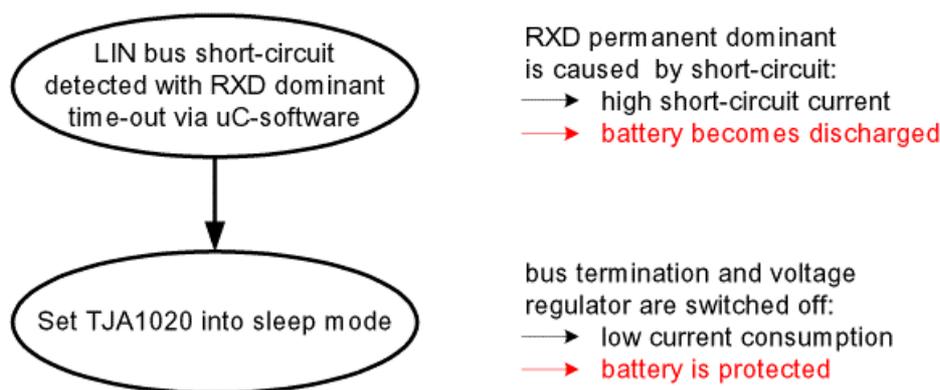


图 30 LIN 总线对地短路后的故障管理

LIN 总线一旦对地短路，软件将监控到 RXD 有持续的显性电平，这样就检测出短路故障。

为了减少故障电流，如果不再需要 TJA1020，它将进入睡眠模式。如果从机端电阻 $R_{SLAVE}[1]$ 以及外部主机端电阻 R_{MASTER} 连接到 INH，它们将被禁能。在 LIN 总线故障恢复过程中，只有内部弱上拉电流源 $I_{IL}(LIN)[1]$ 维持激活的状态。所以，INH 控制的主机端电阻 R_{MASTER} 适用于有自动防故障功能的系统。此时系统进入低

功耗模式 (VCC 关闭)。剩下的短路电流是内部偏置电流和上拉电流源 $I_{L(LIN)}[1]$ 之和。相应的故障管理流程图请参看图 30。

7.1.2 TXD 显性的故障

通常当 TXD 引脚对地短路时, LIN 总线被钳位为显性电平, 因此 LIN 总线不能进行任何传输。为了保证 LIN 总线不被持续的显性电平控制, TJA1020 有一个集成的 TXD 显性定时器。因此, 如果检测到发生了 TXD 显性故障, TJA1020 将被禁能, LIN 总线被再一次释放。

集成的下拉 TXD 电阻 $RTXD[1]$ 和 TXD 引脚开路也会引起持续的显性电平。这些情况下, 集成的 TXD 显性定时器可以检测到一个 TXD 开路故障, 它还会禁能 TJA1020 的发送器级。

如果 TXD 输入维持了至少 t_{DOM} 时间的显性电平, 所有这些 TXD 显性故障和 TXD 开路故障都可以被检测到。结果, LIN 传输速率被限制到最小的波特率。7.2 节将讲述如何计算。

另外, 如果出现了上面所说的其中一个故障, NSLP 输入信号的改变不会修改 TXD 显性定时器的状态, 因此, 确定 TJA1020 不会向总线发送任何显性 LIN 信号 (自动故障恢复功能)。

7.2 最小的波特率和最大的 TXD 显性相位

由于 TJA1020 进行 TXD 显性故障检测, 最大的 TXD 显性相位由最小的 TXD 显性超时时间 $t_{DOMmin}[1]$ 限制。结果, 传输速率被限制到一个最小的波特率。

7.2.1 主机节点的最小波特率

LIN 协议的最大显性相位是同步中断区 (SYNCH BREAK FIELD) 的最大的同步中断低相位 (SYNCH BREAK LOW PHASE) $T_{SYNBRK,max}[2]$ 。同步中断区是报文帧 HEADER 的一部分, 这个报文只能通过主机节点发送。最大的同步中断低相位 (SYNCH BREAK LOW PHASE) $T_{SYNBRK,max}[2]$ 代表由主机发送的最大数量显性位。根据最大的同步中断低相位 (SYNCH BREAK LOW PHASE) $T_{SYNBRK,max}[2]$ 和最小的 TXD 显性超时时间 $t_{DOMmin}[1]$ 的长度, 主机节点的最小波特率可以通过下面的方程计算:

$$\text{baudrate}_{\text{min,MASTER}} = \frac{T_{\text{SYNBRK,max}}}{t_{\text{DOM,min}}} \quad \text{其中 } T_{\text{SYNBRK,max}} > T_{\text{SYNBRK,min}}$$

$T_{\text{SYNBRK,min}}$ 在 [2] 中规定

因此, TJA1020 可以在 2.4kBaud 的主机应用下工作。

7.2.2 最小的从机节点波特率

从机节点只发送 LIN 报文帧的 RESPONSE 部分 [2], 这个部分有一个 9 位 (起始位 + 8 个数据位) 的最大显性相位。从机设备最低的波特率可以用下面的方程计算:

$$\text{baudrate}_{\text{min,SLAVE}} = \frac{9 + n_{\text{safe}}}{t_{\text{DOM,min}}} \quad \text{其中 } n_{\text{safe}} \text{ 是安全余量}$$

因此, TJA1020 可以在 1.8kBaud 的从机应用下工作。

8. 功率消耗

在 TJA1020 的设计过程中, 特别注意到系统的功率消耗, 在汽车应用中, 作为一个新的 LIN 子总线, 这是关键。TJA1020 不仅可以在无故障系统中执行低功耗, 而且, 当 LIN 总线有总线故障时也能执行低功耗。

尽管有极低的系统功耗, TJA1020 还能通过 LIN 总线提供完整的唤醒功能, 以及通过本地事件保持对电磁扰动有极高的免疫力。

8.1 睡眠模式功率消耗

TJA1020 在睡眠模式时的功耗非常低。如果收发器通过 INH 引脚用于控制 ECU，唯一剩余的电流将流入 BAT 引脚 ($I_{BAT(sleep)}$ [1])。所有其他的引脚不会扇出或灌入任何外部电流 (见图 3.1)。

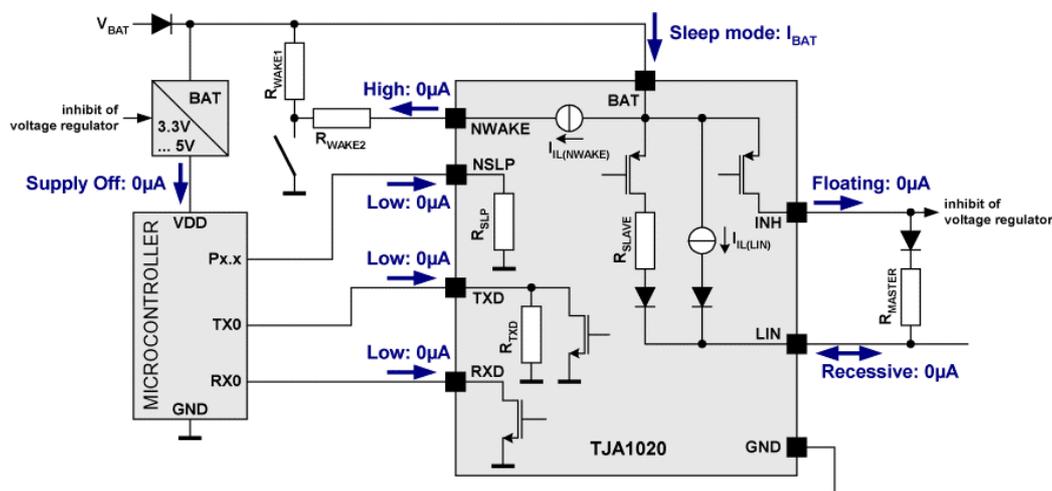


图 31 睡眠模式的电流消耗

8.2 出现 LIN 总线短路时的睡眠模式功率消耗

处于睡眠模式时，出现 LIN 对地短路，TJA1020 的功率消耗仍可以保持非常低。由于系统的终端在睡眠模式中几乎禁能，因此，短路电流由内部偏置电流和用于故障恢复的剩余上拉电流源决定 (见图 32)。

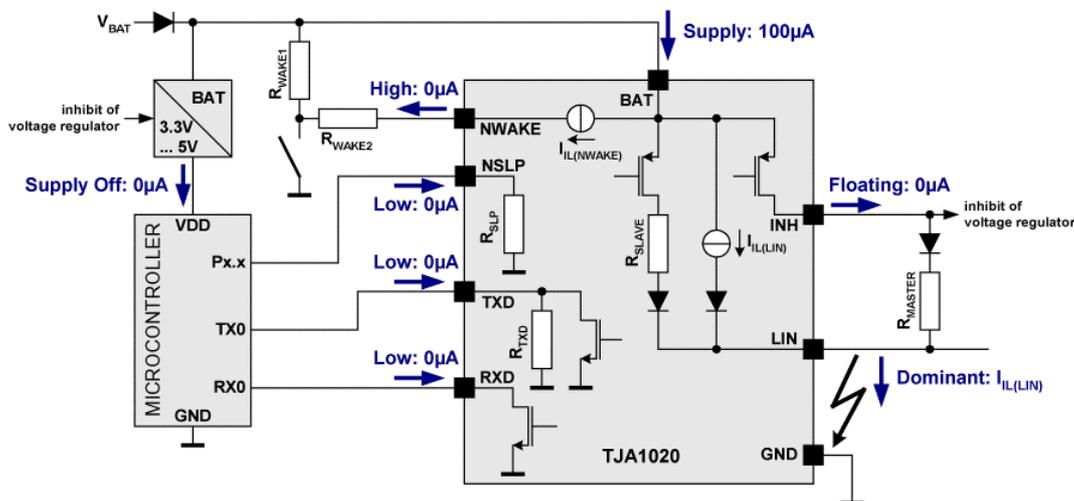


图 32 典型的睡眠模式短路电流消耗

8.3 TJA1020 和普通 LIN 收发器的应用比较

除了睡眠模式有非常低的功率消耗外，TJA1020 的自动故障恢复概念 (主机终端的 INH 引脚) 可以将整个系统的功耗减到最低，甚至在 LIN 总线对地短路的情况下，功耗也非常低。表 2 显示了低功耗模式中典型系统的电源电流概况。

表 2 典型系统的电源电流概况

	TJA1020 (主机终端连接 INH 引脚)			普通的 LIN 收发器 (主机终端连接到 VBAT)		
	主机节点	从机节点	6 节点网络	主机节点	从机节点	6 节点网络
睡眠模式系统电流 (没有总线故障)	3 μ A	3 μ A	18 μ A	30 μ A	30 μ A	180 μ A
睡眠模式系统电流 (LIN 对地短路)	100 μ A	100 μ A	600 μ A	12000 μ A	430 μ A	14150 μ A

9. 参考资料

- [1] Data Sheet TJA1020,LIN Transceiver,Philips Semiconductors,Dec.2001
- [2] LIN Specification Package,LIN Protocol Specification—Revision 1.2,LIN Consortium,Nov,2000
- [3] International Standard ISO 9141,Road Vehicles-Diagnostic Systems-Requirement for Interchange of Digital Information,International Standardization Organization,1989