

TJA1041 CAN 高速收发器应用指南

目录

1. 介绍	3
2. 高速 CAN 的一般应用	3
3. 新特性	6
3.1 低功耗管理	6
3.2 总线故障诊断	7
3.3 系统的自动防故障特性	7
3.4 共模稳压	7
3.5 I/O 级和主控制器电源电压的匹配	7
4. 工作模式	7
4.1 正常模式	8
4.2 Pwon/只听模式	8
4.3 待机模式	9
4.4 睡眠模式	9
4.5 进入睡眠命令模式 (Go-to Sleep Command Mode)	9
5. TJA1041 在应用中的使用	10
5.1 应用举例	10
5.2 如何使用引脚 “V _{I/O} ”	11
5.3 如何使用引脚 “INH”	12
5.4 如何使用引脚 “Wake”	12
5.4.1 R _s 和 R _{eb} 的计算	13
5.5 分裂终端和共模稳压	13
5.5.1 分裂终端的概念	13
5.5.2 传统收发器产品的共模稳压	13
5.5.3 TJA1041 的共模稳压	14
5.5.4 短截线 (stub) 节点的分裂终端	14
6. 诊断	15
6.1 标志	15
6.2 检测和发信总线故障	16
6.2.1 哪些总线故障可被检测?	16
6.2.2 如何读总线故障标志	18
6.3 检测和发信本地故障	18
6.3.1 从本地故障恢复	19
6.3.2 TxD 显性 箝位	19
6.3.3 TxD/RxD 短路	19
6.3.4 引脚 “RXD” 隐性箝位	20
6.3.5 总线显性箝位	20
6.3.6 过热保护	20
6.4 处理通讯故障的软件流程图	20
6.5 V _{CC} /V _{I/O} 欠电压检测	22

6.6	V _{BAT} 欠电压检测	22
7.	TJA1041 的低功耗管理	22
7.1	ECU 冷启动的软件流程图	22
7.2	ECU 热启动的软件流程图	23
7.3	如何进入待机模式（第一级低功耗）	24
7.4	如何进入睡眠模式（第二级低功耗）	25
8.	和其他高速收发器的互操作性	26
8.1	TJA1041 和 C520/251 在待机模式结合使用	26
8.2	TJA1041 和不上电的 TJA1050/C250/C251 在点火后结合使用	27
8.3	TJA1041 和 TJA1040 在待机模式结合使用	27
9.	参考文献	27
10.	附录	28
10.1	V _{CC} 电源	28
10.1.1	没有总线故障的 V _{CC} 平均电源电流	28
10.1.2	存在总线故障时的 V _{CC} 平均电源电流	28
10.1.3	计算电压调节器的旁路电容	28

1. 介绍

根据 ISO 11898 [2]和 SAE J2284 [3], Philips Semiconductors 的 CAN 高速收发器 TJA1041 [1]可以实现协议控制器和物理传输媒体之间的物理连接。它主要在始终由电池供电的汽车电子控制应用中使用。因此, TJA1041 提供了类似容错的 CAN 收发器 TJA1054 [4]的低功耗管理功能。依照这些概念, 收发器自动地控制电子控制单元 (ECU) 的一个或多个外部电压调节器。例如, 在 TJA1041 的睡眠模式中, 电压调节器通常都被 TJA1041 关断, 禁能收发器和主控制器的 Vcc 电源。

TJA1041 如图 1.1 所示, 用 SO14 封装。SO14 封装的上面部分引脚和用 SO8 封装的 Philips Semiconductors 的其他 CAN 高速收发器, 例如 PCA82C250 [5]、PCA82C251 [6]、TJA1050 [7] 和 TJA1040 [8] 的引脚一致 (兼容)。

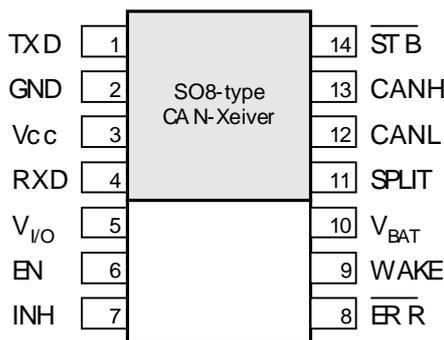


图 1.1 TJA1041 的引脚图

2. 高速 CAN 的一般应用

高速 CAN 的一般应用如图 2.1 所示。这里的 ECU 通过短截线 (stub) 连接到线形拓扑的总线。根据 ISO 11898 [2], 额定的总线负载是 60Ω, 因此每条总线的末端都端接一个 120Ω 的电阻。图 2.1 也显示了分裂终端 (Split Termination) 的概念, 它有助于改善 CAN 高速总线系统[9]的 EMC 性能。它将前面的单个 120Ω 端接电阻分裂成两个 60Ω 的电阻, 中心抽头通过电容 C_{spl} 连接到地。

图 2.1 的结构图说明了 ECU 的结构。典型的 ECU (CAN 节点) 是由一个独立的收发器和一个集成了 CAN 控制器的主控制器组成, 它们都由电压调节器供电。虽然 CAN 高速收发器使用+5V 的电源, 但越来越多新的微控制器产品使用更低的电源电压。这种情况下, 微控制器就必需使用一个专用的电压调节器。协议控制器通过串行数据输出线 (TxD) 和串行数据输入线 (RxD) 连接到收发器。收发器则通过两个有差动接收和发送能力的总线终端 CANH 和 CANL 连接到总线。

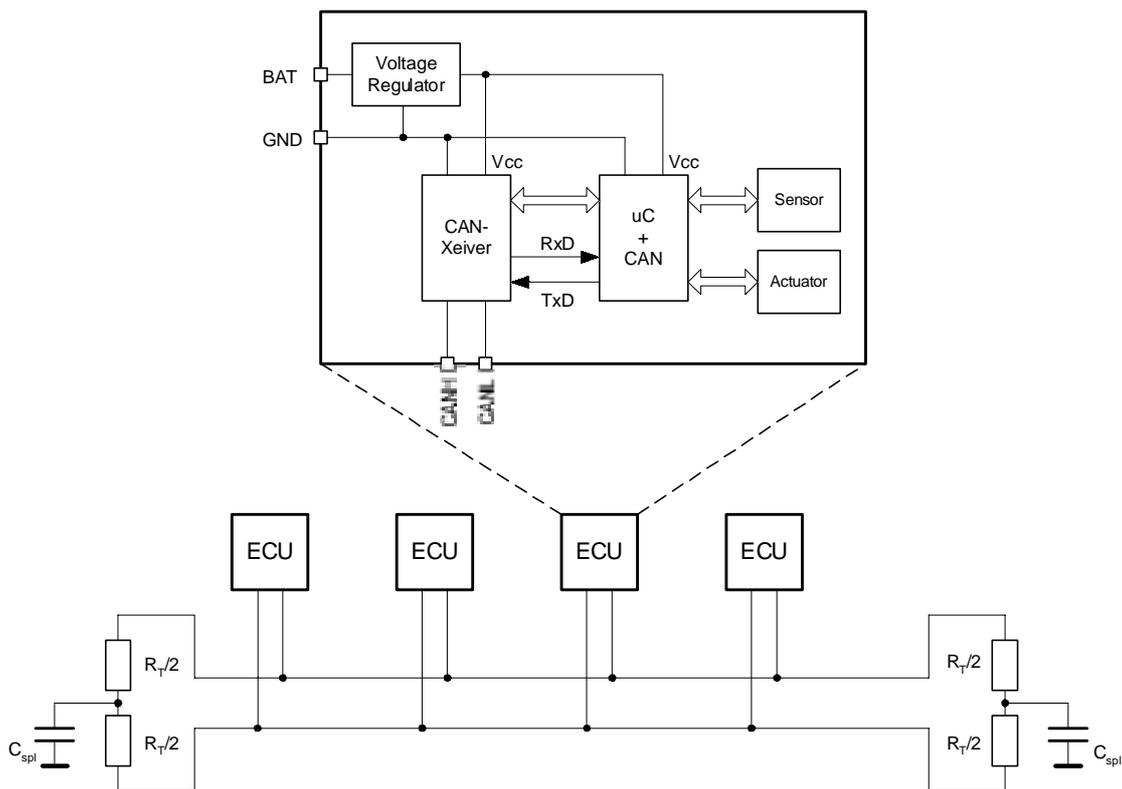


图 2.1 高速 CAN 的应用

协议控制器输出一个串行的发送数据流到收发器的 TxD 输入。TJA1041 的内部上拉功能将 TxD 输出置成逻辑高电平，即总线输出驱动器在开路的情况下是不起作用的。在隐性状态时（见图 2.2），CANH 和 CANL 引脚被偏置到 $V_{cc}/2$ 的电压级。在 TxD 是逻辑低电平的情况下，总线输出级被激活，因此在总线上产生显性状态（图 2.2）。输出驱动器 CANH 提供了向 V_{cc} 的源（级）输出，而 CANL 提供了向 GND 的下拉输出。这在图 2.3，TJA1041 的结构图中说明。

如果没有总线节点发送一个显性位，总线会一直处于隐性状态。如果一个或多个总线节点发送一个显性位，总线进入显性状态，覆盖原来的隐性状态（线与特性）。

接收器将差动的总线信号转换成逻辑电平信号，并在 RxD 输出。那么，串行接收数据流就被传送到总线协议控制器译码。接收比较器是一直激活的，即它在总线节点发送报文时监控总线。这就要求支持 CAN 的非破坏性逐位仲裁方案。

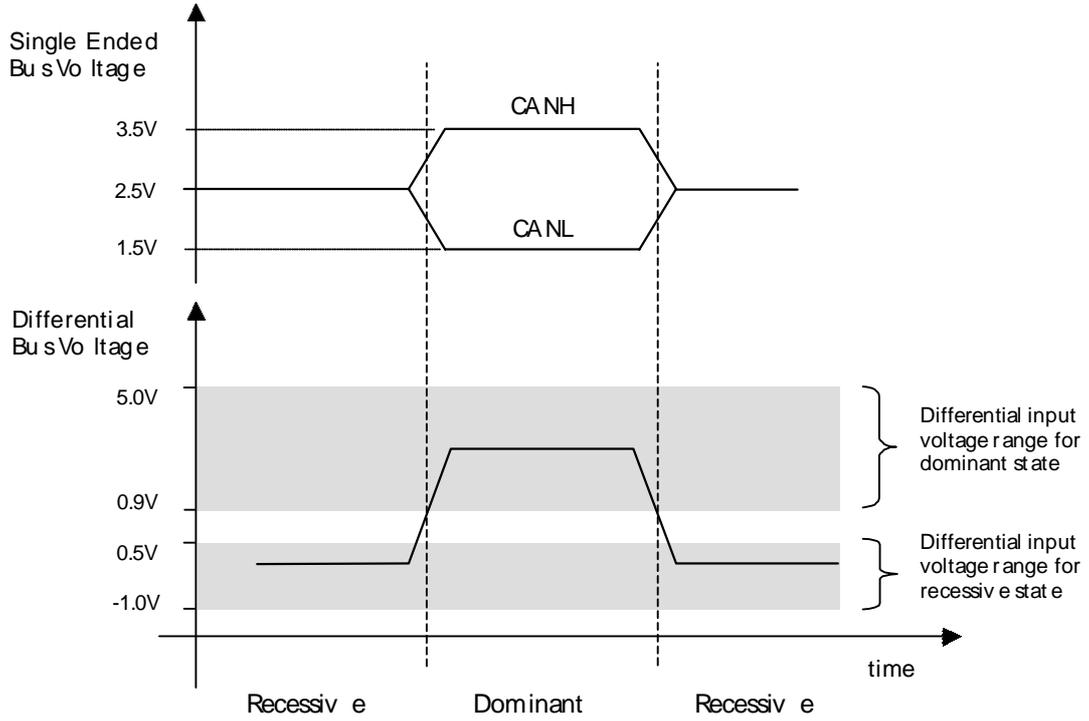


图 2.2 按照 ISO11898 的额定总线电平

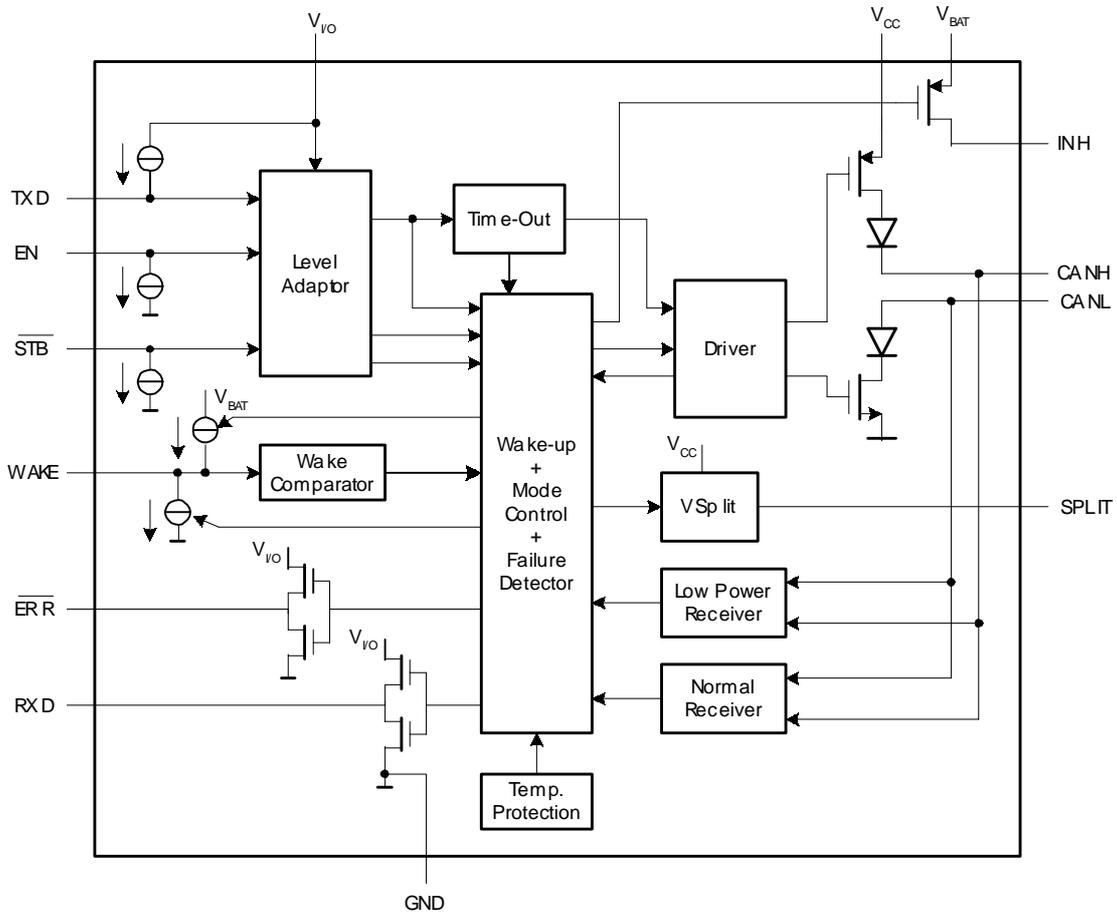


图 2.3 TJA1041 的结构图

3. 新特性

由于汽车中的 CAN 网络越来越复杂，现代的总线愈加要求系统功率消耗低、系统可靠性高、有优良的 EMC（电磁兼容性）性能和灵活的接口。TJA1041 的新特征反映了这些日益增加的要求，见图 3.1。

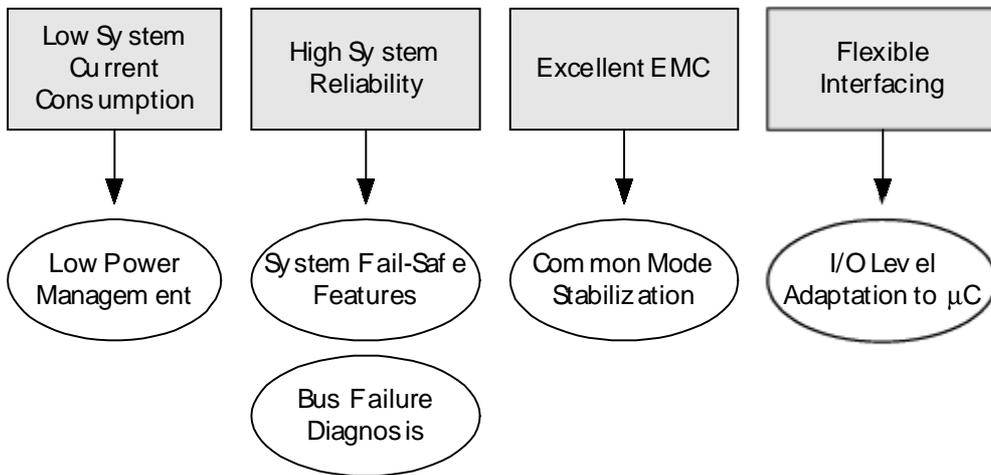


图 3.1 TJA1041 的新特征

3.1 低功耗管理

现代的汽车内网络结构要求 CAN 高速总线甚至在汽车停车时也能使用。由于连接的 CAN 节点越来越多而且停车时它们需要用电池供电，所以静态的 ECU 电流消耗要尽可能低。否则，电池会在汽车停车后的短时间内放电完毕。TJA1041 的低功耗管理允许将整个节点的静态电流消耗减少到大约 20μA（典型值）。这样的电流消耗就足够低，允许电池对节点持续地供电。这样，系统能对本地事件以及 CAN 报文作出反应，唤醒整个总线系统。

TJA1041 的工作模式（正常、Pwon/只听、待机、睡眠）建立了三个不同级别的低功耗管理，见表 3.1。在第 0 级，总线系统是活动的，TJA1041 工作在正常或 Pwon/只听模式。收发器和主控制器由有效的 Vcc 电源供电。

下一个低功耗级别是第 1 级，此时 TJA1041 在待机模式中工作。收发器和主控制器仍然由有效的 Vcc 供电，但收发器的电流消耗显著下降。通常，主控制器也处于掉电状态以减少电流。由于微控制器仍然上电，它可以监控自己输入引脚的本地唤醒事件。

第 2 级低功耗对应的是 TJA1041 的睡眠模式。这个模式中，向收发器和主控制器供电的电压调节器关断。因此，收发器和微控制器的 Vcc 电源不存在。当主控制器完全不上电时，TJA1041 通过“VBAT”的电池供电保持有效（可使用）。这个电源是用于确保 TJA1041 能被总线或本地唤醒事件唤醒。第 2 级低功耗保证节点的电流消耗最低。

表 3.1 不同低功耗级别的特性

低功耗级别	工作模式	Vcc 电源	μC	节点功率消耗
第 0 级 (总线活动)	正常、Pwon/只听	有效	上电	正常
第 1 级	待机	有效	上电	低
第 2 级	睡眠	关闭	不上电	非常低

3.2 总线故障诊断

物理的总线故障通常会导致总线通信中断, 高速 CAN 的物理层容许存在某些总线故障。如果 TJA1041 没有诊断总线故障的功能, 应用的微控制器就没有机会意识到 (知道) 这些总线故障。这些总线故障除了增加电流消耗外, 还使 EMC 性能变得很差, 所以要避免产生总线故障。TJA1041 能够检测出总线线路短路, 还包括上面所描述的那些故障。TJA0141 通过提供的总线故障标志向微控制器发信总线故障信息。

3.3 系统的自动防故障特性

目的是建立一个自动防故障系统, 能够检测和处理严重影响总线操作的故障, 使总线系统的其他部分不受故障的影响。有几种本地的总线故障情况, 像引脚短路, 都会导致总线通讯被严重扰乱或者甚至通讯中断。如果使用 TJA1041, 这些本地故障的影响都被限制在故障节点上, 不会降低其他节点间的总线通讯质量。TJA1041 通过提供的本地故障标志向微控制器发信本地故障信息。

3.4 共模稳压

由于在隐性状态中, 总线相应地呈现高阻抗, 此时总线上很小的漏电流就会导致共模电压显著地下降。当系统中存在不上电的 ECU 而其他 ECU 处于工作状态时, 漏电流就可能会产生。TJA1041 通过在引脚 “Split” 提供 $V_{CC}/2$ 的额定电压源提供了一种共模稳压的方法 (见 5.5.3 节)。如果 TJA1041 没有这个特性, 总线在隐性状态时微弱的漏电流将导致共模电压有显著的下降。在发送 CAN 报文的第一个显性位 (帧的起始位) 前, 共模电压将恢复到它的额定值, 此时电压将产生一个大的阶跃, 使辐射增大。实际上, 即使总线上有不上电的 ECU, TJA1041 的共模稳压功能仍能确保总线有优良的 EMC 性能。

3.5 I/O 级和主控制器电源电压的匹配

由于 TJA1041 支持 ISO11898 标准的物理层, 因此它需要 +5V 的电源电压作为参考电压。另一方面, 现代的微控制器集成电路通常使用低于 5V 的电源电压, 大多数使用 3.3V 和更低的电源电压。

TJA1041 提供了一个连续的阈值电平, 可以匹配最低 2.5V[1] 的微控制器电源电压。因此, 主控制器的电源电压连接到收发器的引脚 “V_{IO}”, 为输入 / 输出引脚提供参考电压。它定义了 TXD、EN、/STB 的公制数字输入阈值和 RXD、/ERR 的高电平输出电压。由于 TJA1041 具有这些功能, 它可被接口到任何电源电压的典型值在 2.5V 和 5V 之间的微控制器。

4. 工作模式

TJA1041 提供了 5 种不同的工作模式, 由输入引脚 “/STB” 和 “EN” 控制。在 V_{BAT}、V_{CC} 或 V_{IO} 任一条引脚出现欠电压的情况下, “/STB” 和 “EN” 的模式选择都被否决, 强迫收发器进入睡眠模式。工作模式的状态图如图 4.1 所示。对于不同的工作模式, 收发器的接收器和总线驱动器以及 “/ERR” 和 “RXD” 等输出引脚都呈现不同的性能。每个工作模式的特征总结见表 4.1。此外, 这些模式都被编码成 “自动防故障”, 确保控制引脚 “/STB” 和 “EN” 上可能出现的短脉冲 (低频干扰) 不会产生不需要的 (有害的) 影响。

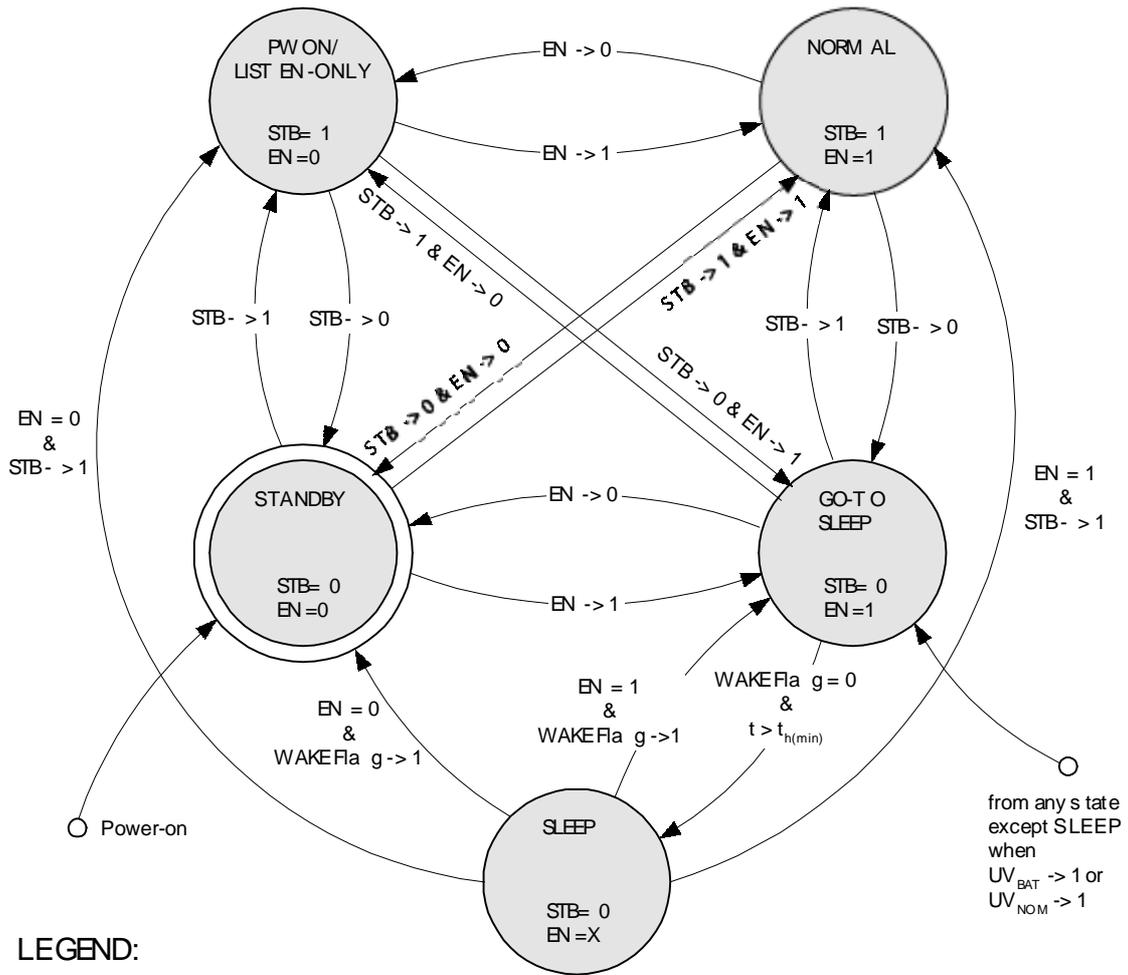


图 4.1 不同工作模式的状态图

4.1 正常模式

正常模式用于 CAN 通讯。从 TxD 输入的数字位流被转换成相应的模拟总线信号。同时，收发器监控总线，将模拟的总线信号转换成相应的数字位流，并在 RxD 输出。这种模式中，外部电压调节器是激活的，总线被偏置到 Vcc/2，发送器使能。设置/STB=1 和 EN=1 可以进入正常模式。

4.2 Pwon/只听模式

Pwon/只听模式通常有两种不同的功能。第一种功能就象名字所提示的一样，实现只听的性能。节点只允许从总线接收报文，不允许发送报文到总线。CAN 控制器在 TxD 上的数字位流都被忽略。这样，可以防止节点影响总线。

第二种功能是：Pwon/只听模式在引脚“/ERR”提供了微控制器可读的本地故障标志和 PWON 标志。引脚“/ERR”的发信请参考 6.1 节。设置/STB=1 和 EN=0 就可以进入 Pwon/只听模式。

4.3 待机模式

待机模式可以达到第一级低功耗。此时，TJA1041 的功率消耗比正常模式或 Pwon/只听模式有明显的下降。在待机模式中，TJA1041 不能发送和接收常规的 CAN 报文。但 TJA1041 仍监控总线上的 CAN 报文。当在总线上检测到大于 $t_{bus}[1]$ 的显性相位（表示总线要进行通信）时，内部的唤醒标志置位。TJA1041 也可以通过引脚“Wake”接收到本地唤醒信号。另外一个可能产生唤醒信号的操作是使模式转换到正常模式或 Pwon/只听模式。检测到远程或本地唤醒后，内部唤醒标志被置位。在待机模式中，这个标志在引脚“/ERR”和“RXD”输出。为了尽量减少电流消耗，总线被端接到地，而不是像正常模式或 Pwon/只听模式一样偏置到 $V_{cc}/2$ 。设置/STB=0 和 EN=0 就可以进入 Pwon/只听模式。

4.4 睡眠模式

睡眠模式可以达到第二级低功耗。此时收发器的电流消耗和待机模式一样，但收发器还能关断给收发器、主控制器等供电的外部电压调节器（供电到 V_{cc} ）。

睡眠模式和待机模式唯一的差别是引脚“INH”的使用。这个引脚提供了一个连接电池的开漏输出来控制一个或多个外部电压调节器。在睡眠模式中，引脚“INH”是悬空的，典型地禁能收发器和微控制器的电压调节器，而在所有其他模式中（包括待机模式）“INH”呈现高电平（基于 V_{BAT} ）。当微控制器完全不上电的时候（没有 V_{cc} 电源），TJA1041 通过电池电源保持部分激活，使收发器可以监控总线的 CAN 报文。实际上，收发器是一个自动控制 ECU V_{cc} 电源的器件。

由于在待机模式中，可以通过 4.3 节提到的三种方法唤醒收发器（和相关的节点）：

- 通过 CAN 总线远程唤醒
- 在引脚“Wake”用跳变沿进行本地唤醒
- 微控制器强迫将模式切换到正常模式或 Pwon/只听模式

唤醒后，引脚“INH”变成高电平，再一次使能外部电压调节器并置位唤醒标志。唤醒标志在引脚“/ERR”和“RXD”输出。由于在待机模式中，总线 CANH 和 CANL 都端接到 GND。表 4.1 总结了 TJA1041 在不同工作模式中的特性。

根据图 4.1 的状态图，使 TJA1041 进入睡眠模式的唯一方法是使用进入睡眠命令模式（Go-to Sleep Command Mode）(/STB=0, EN=1)。如果选中这个模式的时间比“进入睡眠命令的最小持续时间” $t_{h(min)}[1]$ 更长，收发器自动进入睡眠模式并将引脚“INH”切换到悬空的状态。

应当避免一部分总线节点处于正常或 Pwon/只听模式而另一部分节点处于待机或睡眠模式的总线持续状态，因为这些状态中有不同的总线偏置。否则持续的横向电流将从一部分流向另一部分。

4.5 进入睡眠命令模式

将进入睡眠命令模式（Go-to Sleep Command Mode）看成是一个命令比将它看成是一个典型的工作模式更合适。它主要是用于使 TJA1041 进入睡眠模式。选中进入睡眠命令模式的时间必须比“进入睡眠命令的最小持续时间” $t_{h(min)}[1]$ 的最大值要大，才能确保可靠地进入睡眠模式。在选择进入睡眠命令模式后，发送器立即被禁能，总线端接到 GND，唤醒标志在引脚“/ERR”和“RXD”发信。设置/STB=0、EN=1 就选择了进入睡眠命令模式。

表 4.1 不同工作模式的特性

工作模式	/STB	EN	引脚/ERR		引脚 RXD		总线偏置	INH 引脚
			低	高	低	高		
正常	1	1	置位总线故障标志; 注 1	清除总线故障标志; 注 1	总线显性	总线隐性	$V_{cc}/2$	V_{BAT}

			检测到本地总线唤醒请求; 注 2	检测到远程总线唤醒请求; 注 2				
Pwon/ 只听	1	0	置位 PWON 标志; 注 3	清除 PWON 标志; 注 3	总线显性	总线隐性	Vcc/2	V _{BAT}
			置位本地故障标志; 注 4	清除本地故障标志; 注 4				
进入睡眠命令	0	1	置位唤醒标志; 注 5	清除唤醒标志	置位唤醒标志; 注 5	清除唤醒标志	地	V _{BAT}
待机	0	0						V _{BAT}
睡眠; 注 6	0	X						悬空

注

1. 只有 TJA1041 进入正常模式后在 TXD 检测到 4 个显性到隐性的跳变沿后有效
2. 只有 TJA1041 进入正常模式后在 TXD 检测到 4 个显性到隐性的跳变边沿前有效
3. 只有存在 Vcc 和 V_{IO} 而且从睡眠、待机或进入睡眠命令模式切换到 Pwon/只听模式时有效
4. 只有从正常模式切换到 Pwon/只听模式才有效
5. 只有存在 Vcc 和 V_{IO} 时有效
6. 只有当选中进入睡眠命令模式的时间比进入睡眠命令的持续时间 (t_{h(min)}) 长或者在 V_{BAT}、Vcc 或 V_{IO} 检测到欠电压, 收发器会进入睡眠模式。

5. TJA1041 的应用

5.1 应用举例

图 5.1 显示了如何将 TJA0141 集成到应用中。这个应用例子假设使用 3.3V 电源供电的微控制器。TJA1041 收发器有一个专用的 5V 调压器, 微控制器有一个专用的 3.3V 调压器。电压调节器的输出电压通常通过一个电容来稳压。推荐使用的电容值由负载情况和电压调节器的性能决定 (见附录 10.1)。电容 C₁ 和 C₂ 应当位于电压调节器的输出, 电容 C₃ 应连接得尽量接近收发器的 “Vcc” 和 “GND” 引脚。它的功能是保护 Vcc 电源电压, 特别在负载在瞬间从隐性向显性快速转换的时候。典型值大约是 100nF。TJA1041 的应用的特性是: 电压调节器由收发器的 INH 引脚控制。在睡眠模式中, TJA1041 典型地禁能电压调节器。

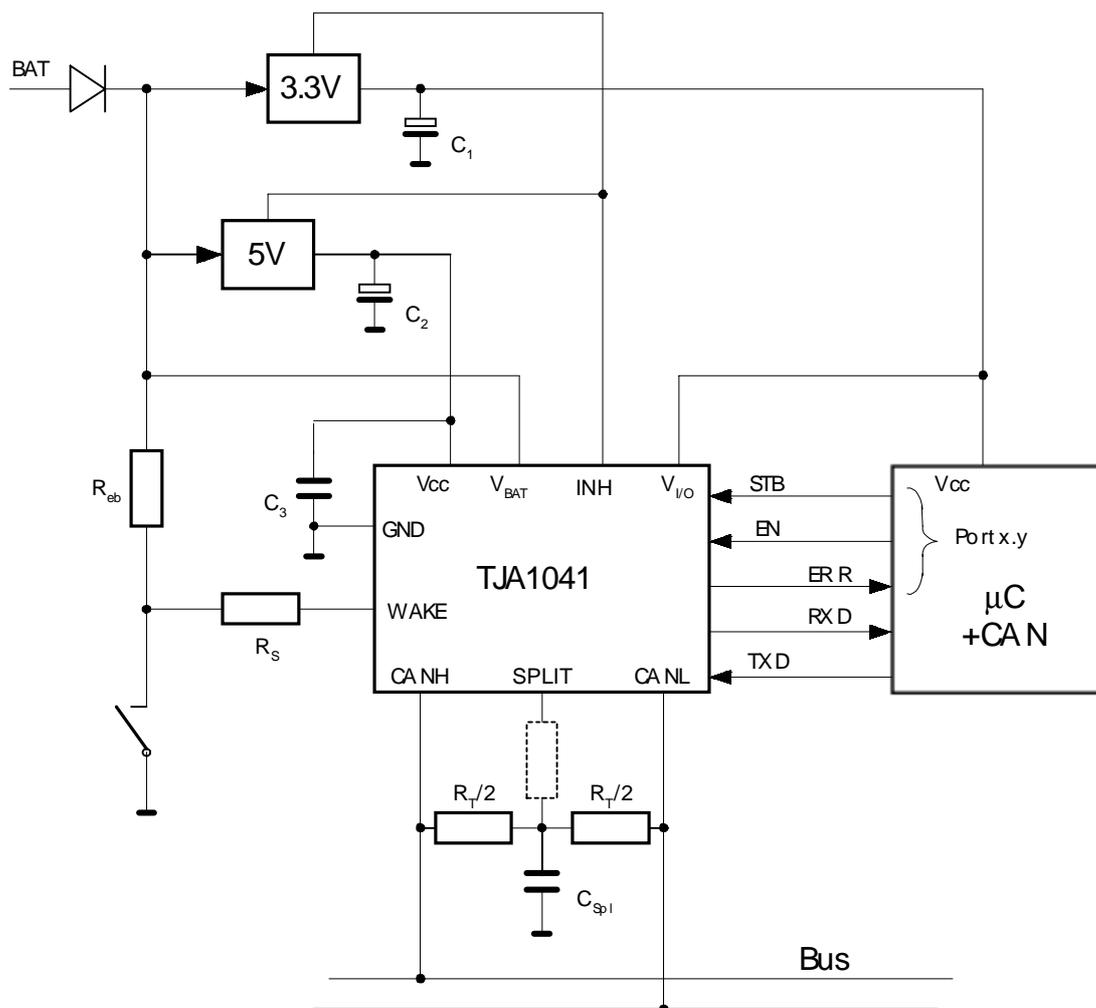


图 5.1 3.3V 微控制器的典型应用

TJA1041 除了连接 Vcc 电源外，还直接连接电池电源，确保在睡眠模式中关断 Vcc 电源后，TJA1041 仍然有本地和远程唤醒能力。

TJA1041 通过 5 条信号线连接到主控制器。微控制器通过信号“/STB”和“EN”控制 TJA1041 的工作模式（见第 4 章）。这两个引脚都提供内部的下拉电流，如果这些引脚没有连接，收发器会进入待机模式。TJA1041 的输出引脚“/ERR”向微控制器提供例如：唤醒标志、本地故障标志或 PWON 标志等状态信息。TxD 和 Rx D 分别代表发送和接收位流。为了改善系统的 EMC 性能，微控制器和 TJA1041 之间的接口线可以选择串连大约 1k 的电阻。注意，这些串连电阻会轻微地增加传播延迟。

TJA1041 相关的总线引脚是两个总线终端 CANH 和 CANL 以及引脚“Split”。引脚“Split”可被连接到分裂终端的中心抽头为共模电压提供直流稳定性，或者直接让引脚开路。

在图 5.1 的应用例子中，引脚“Wake”是由一个“低端开关”控制。这个开关默认是打开的。在某段时间内关闭这个开关会导致在引脚“Wake”上产生一个负脉冲。如果脉冲的持续时间比 $t_{WAKE}[1]$ 长，TJA1041 认为是一个本地唤醒事件并开始唤醒（将 INH 切换到“高电平”）。由于引脚“Wake”有灵活的内部偏置（概念），因此它也可以使用“高端开关”（见 5.4）。

5.2 如何使用引脚“V_{IO}”

引脚“V_{IO}”连接到 μC 的电源电压，为数字输入引脚的输入阈值和数字输出的“高电平”提供正确的

电压参考。TJA1041 不象市场上的其他产品，它提供了从 2.5V 到 5V 的连续电平匹配（变化）。电平匹配应用到微控制器和收发器之间所有的接口引脚上，即 Tx D、EN、/STB（输入引脚）和 Rx D、/ERR（输出引脚）。在正常模式中，电池（电源）流出一个可以忽略不计的微弱电流 $I_{VO}[1]$ 。在睡眠模式中，没有电流流过这个引脚。如果引脚“V_{IO}”断开连接，收发器将检测到“V_{IO}”有欠电压的情况，此时收发器进入睡眠模式，提供定义的自动防故障低功耗系统性能。

5.3 如何使用引脚“INH”

引脚“INH”的目的是控制 ECU 中的一个或多个电压调节器。图 5.1 是通过收发器的 INH 输出控制两个电压调节器的例子，收发器使用 5V 的调压器而微控制器使用 3.3V 的调压器。

引脚“INH”提供了连接电池的开漏输出。在睡眠模式中它是悬空的。由于共模电压调节器有典型的下拉特性，导致在电压调节器的抑制输入产生“低电平”信号，禁能电压调节器的输出。在所有其他工作模式中，引脚“INH”被拉到电池电压，使能外部电压调节器。

5.4 如何使用引脚“Wake”

引脚“Wake”用于向收发器发信本地唤醒信号。它和容错的 CAN 收发器 TJA1054[5]很相似，引脚“Wake”上足够长度的信号变化会产生本地唤醒。TJA1054 有向电池电压的内部上拉，允许使用“低端开关”，而 TJA0141 的“Wake”引脚有可变的偏置。由于有外部偏置，内部偏置从 GND 切换到电池电压或相反。图 5.2 显示了 TJA1041 的偏置概念以及不同的外部开关电路。

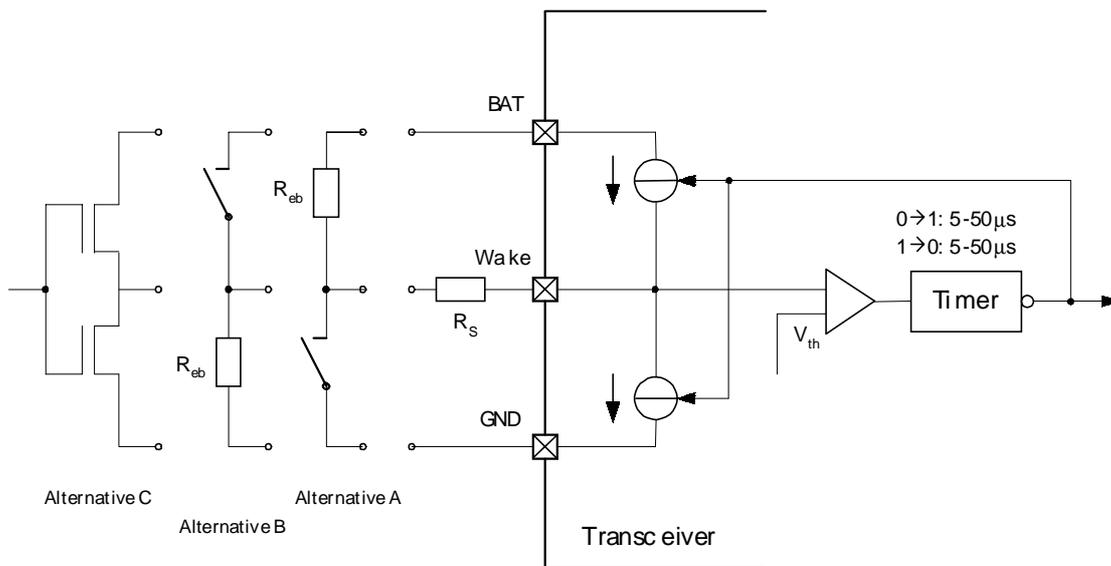


图 5.2 引脚“Wake”的开关电路

如果引脚“Wake”的电压比“唤醒阈值电压” $V_{th(WAKE)}[1]$ 高并持续超过 $t_{WAKE}[1]$ 的最大值而且引脚之前是“低电平”，则内部偏置（电流源）将可靠地切换到电池电平。同样地，如果电压低于这个值并持续超过 t_{WAKE} 的最大值而且之前引脚是“高电平”，则内部偏置（电流源）将可靠地切换到 GND。实际上内部偏置会自动适应外部偏置的条件。这个概念允许使用低端开关以及高端开关或者基于 V_{BAT} 的推挽级，在没有唤醒事件时不会产生不期望的偏置电流。

使用低端开关时，电阻 R_{eb} 和内部电流源都提供向 V_{BAT} 的上拉。为了启动本地唤醒，外部开关闭合，在引脚“Wake”上产生一个负脉冲。如果负脉冲的长度比 $t_{WAKE}[1]$ 的最大值大，它将会终止内部定时器并发出可靠的唤醒信号。在终止定时器的同时，偏置切换到 GND。释放低端开关后，外部上拉电阻将内部偏

置切换回 V_{BAT} 。电阻 R_{eb} 决定了外部开关闭合时流过的电流，而且需要保证开关正确接触。

5.4.1 R_s 和 R_{eb} 的计算

串联电阻 R_s 用于在 ECU 丢失了地而唤醒开关仍连接在正确的 GND 的情况下保护收发器。串联电阻要求的最小值由预计的最大电池电压 $V_{BAT,max}$ 和引脚“Wake”允许的最大电流（15mA）决定。这个电阻要确保电流永远不会超过这个级别。串联电阻 R_s 要求的最小值可以用下面的式子计算：

$$R_{S,min} = \frac{V_{BAT,max}}{I_{Wake,max}}$$

假设 V_{BAT} 不超过 40V DC，串联电阻的是应当是 2.7k Ω 。

电阻 R_{eb} 的作用是在使用外部开关后，将偏置带回默认的状态。这就规定了这个电阻值的上限。例如，使用低端开关时，电阻 R_{eb} 和串联电阻 R_s 必须将引脚“Wake”的电平拉得高于引脚“Wake”的开关阈值。决定 R_{eb} 上限的方程是：

$$(R_{eb} + R_s) \cdot I_{Pull,max} < V_{BAT} - V_{th(Wake),max}$$

用最大的下拉（上拉）电流 10 μ A 以及 $V_{th(WAKE)}$ 的最大阈值，可以算出 R_{eb} 的上限是大约 180k Ω 。

5.5 分裂终端和共模稳压

5.5.1 分裂终端的概念

TJA1041 的总线驱动器向 CANH 和 CANL 提供了优良的信号对称性，使电磁辐射非常低。测量显示，使用改良的总线终端概念——分裂终端（split termination）可以获得更小的辐射。没有共模扼流的分裂终端使特别是 AM 频段的辐射达到最小。除此之外，这个概念还能使总线系统的电磁抗干扰性更强。

分裂终端的概念请看图 5.3。两个终端电阻被分别分裂成两个等值的电阻，即用两个 60 Ω 的电阻代替一个 120 Ω 的电阻。这个方法的功能是：可以从终端的中心抽头取得共模信号。这个共模信号通过电容 C_{spl} （例如：4.7nF）端接到地。

由于 TJA1041 本身能达到很高的对称级别，所以两条总线的对称问题变得更重要了。因此为了使 TJA1041 有优良的辐射性能，要考虑每个总线末端的两个端电阻的匹配容差。

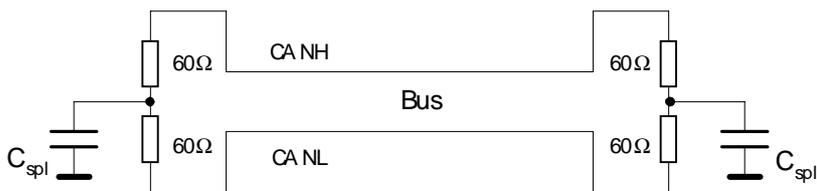


图 5.3 分裂终端的概念

5.5.2 传统收发器产品的共模稳压

在前面的 3.4 节已经提到，由于网络中存在不上电的 ECU 而产生稳定的漏电流，共模电压必须进行 DC 稳压。由于从分裂终端的中心抽头可以取得共模电压，DC 共模稳压就可以通过一个分压器来实现。典型的收发器产品要求如图 5.4 左边所示的外部分压器来实现共模稳压。分裂终端的中心抽头简单地连接到分压器的输出。如果分压器的阻抗低，即分压器电流高，稳定性就更好。分压器的 5V 电源通常连接到收发器的 V_{cc} 电源。在 ECU 不上电的时候，分压器禁能。否则，从不上电分压器流出的相当大的漏电流会使隐性总线状态时的共模电压变得更差。要禁能分压器要求至少附加两个开关晶体管。

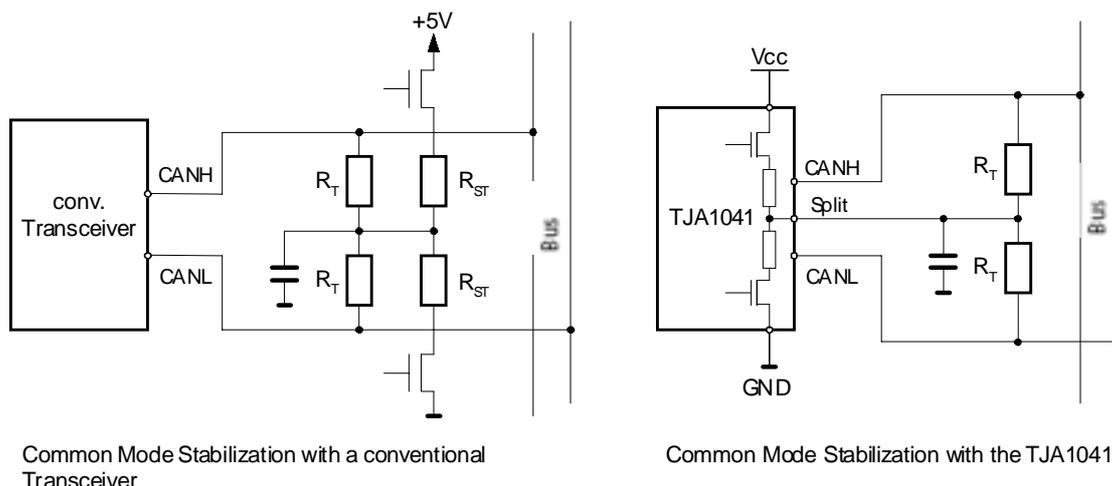


图 5.4 DC 共模稳压

5.5.3 TJA1041 的共模稳压

从图 5.4 可以看出，传统收发器产品的共模稳压要求添加硬件，即至少两个电阻和两个开关晶体管。相反，TJA1041 的共模稳压不需要添加硬件，因此节省了系统成本。

TJA1041 有集成的分压器特性。引脚“Split”是内部分压器的输出。要进行共模稳压，引脚“Split”只要简单地连接到分裂终端的中心抽头就可以了，见图 5.4。

引脚“Split”的输出电压有大约 $2k\Omega$ 的内部阻抗。在“Split”输出和中心抽头之间可选择串联一个电阻，调节输出阻抗，稳定强度。

内部分压器只在正常模式开启。在所有其他模式中，引脚“Split”在宽广的共模范围中是悬空的。引脚“Split”像总线终端引脚 CANH 和 CANL 一样可以承受 $-27V\sim+40V$ 的 DC 电压。

我们推荐使用分裂输出的功能，特别是系统存在不上电节点而其他的节点需要工作时。可以，我们也不强制您使用引脚“Split”的功能。如果不使用引脚“Split”，只要简单地让它开路就可以了。

5.5.4 短截线节点的分裂终端

ISO 11898 标准建议端接总线末端的节点以抑制反射。短截线(stub)节点一般没有额外的终端。但是，我们发现正在发送的短截线节点如果也端接了分裂终端，它的辐射会大大降低。终端必须是高阻抗，否则会大大影响总线负载。图 5.5 显示了相应的范例配置。

这里的短截线节点都安装了分裂终端。然而，为了要保持总线负载在 ISO 11898 规定的范围内，匹配电阻 $R_{f,Stub}$ 的阻值必须很高，典型值大约是 $1.5k\Omega$ 。注意，所选择的短截线节点的电阻值必须使总线负载在 $50\Omega\sim60\Omega$ 这个指定的范围内[2]。

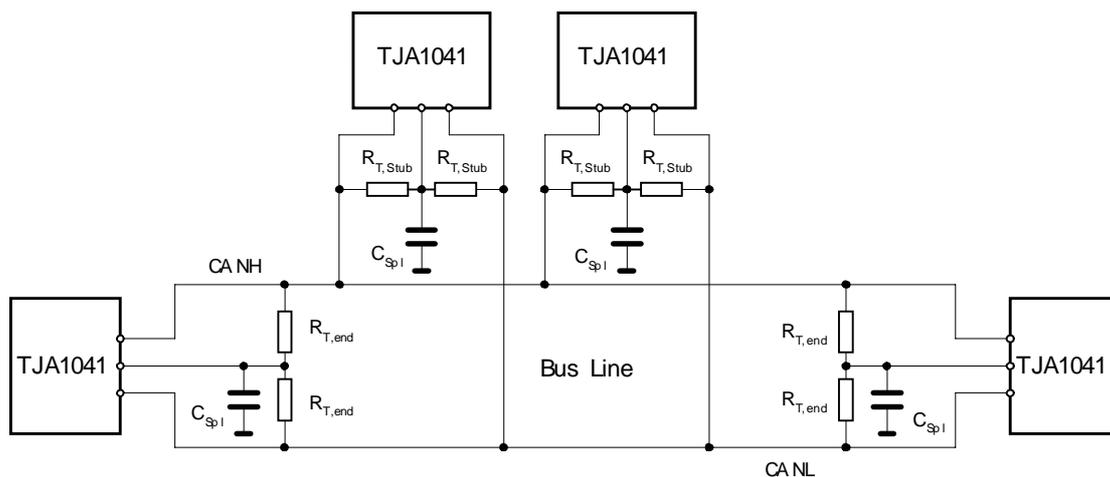


图 5.5 有分裂终端的总线配置

6. 诊断

6.1 标志

TJA1041 向诊断功能提供了 5 个不同的标志。微控制器可以通过引脚“/ERR”读出这些标志的状态。引脚“/ERR”当前显示的标志由当前的工作模式以及历史记录决定。引脚“/ERR”的标志发信请看图 6.1 的显示。

- 唤醒标志

在待机模式和进入睡眠命令模式中引脚“/ERR”发信的是唤醒标志。“低电平”表示向微控制器发出唤醒请求。无论何时进入正常模式，这个标志都被清除（复位）。只要唤醒标志置位，进入睡眠模式命令就会被忽略，因此不可能切换到睡眠模式。唤醒标志也显示在引脚“RXD”。

- PWON 标志

从待机模式、睡眠模式或进入睡眠命令模式进入 Pwon/只听模式后，引脚“/ERR”表示的是 PWON 标志。当有电池欠电压的情况时 PWON 标志被置为“低电平”。因此，当电池首次连接到引脚“VBAT”或者电池电源有暂时的中断，这个标志都会被置位。一旦进入正常模式 PWON 标志就被复位（清除）。设置了 PWON 标志后，不可能进入睡眠模式。

- 唤醒源标志

进入正常模式后，引脚“/ERR”首先反映的是唤醒源标志。“低电平”表示是通过引脚“Wake”本地唤醒，而“高电平”则表示通过总线唤醒。当节点在正常模式中发送了至少 4 个显性位后，唤醒源标志将被总线故障标志覆盖。由于应用控制自己的传输，它可以在任意时间读这个唤醒源标志。无论何时退出正常模式，唤醒源标志都被清除并置为默认状态的“高电平”。

- 总线故障标志

收发器在正常模式发送了至少 4 个显性位后，唤醒源标志会被总线故障标志覆盖。“低电平”表示总线出现短路的情况。可被检测到的总线线路故障将在 6.2 节详细解释。无论何时退出正常模式总线故障标志都被复位成默认的“高电平”。如果在离开正常模式和重新进入正常模式的期间没有唤醒信号，则引脚“/ERR”进入默认的“高电平”状态。要发信总线故障标志要求再次发送至少 4 个显性位。检测到总线故障并不会改变收发器的工作。但它不支持 CAN 低速收发器 TJA1054 提供的容错功能。

- 本地故障标志

从正常模式进入 Pwon/只听模式，引脚“/ERR”发信本地故障标志。“低电平”表示以下的本地节点故障：

- TxD 显性箝位

- TxD/RxD 短路
- RxD 隐性箝位
- 总线显性箝位
- 过热

所检测的本地故障详细描述请参考 6.3 节。如果存在任何一个这些本地故障，引脚“/ERR”会通过一个低电平信号向应用表明。它不支持差分的诊断。除了设置本地故障标志外，发送器由于有自动防故障的功能还会被禁能，除了 RxD 显性箝位的情况。通过强制切换到正常模式或当 TxD 是隐性时接收显性位，本地故障标志被复位，发送器再一次使能。

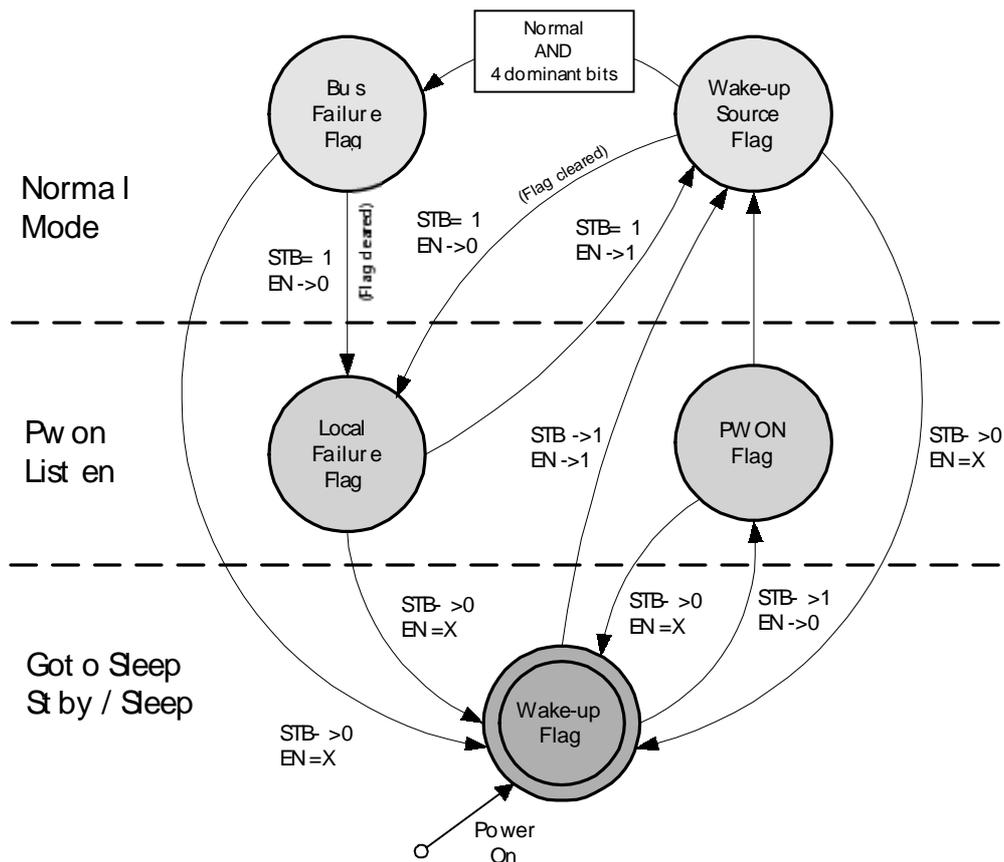


图 6.1 引脚“ERR”的标志发信

6.2 检测和发信总线故障

6.2.1 哪些总线故障可被检测？

在 3.2 节已经提到，总线系统的 EMC 方面性能受到“隐藏”的总线故障影响。图 6.2 列出了一些可能的总线故障。

“隐藏”的总线故障是 CANH 对 Bat/Vcc 等高电平的短路或者 CANL 对 GND 电势的短路。CAN 高速物理层通常都容忍这些故障，但它们不会同时出现。此时，节点之间仍然可能通讯。如果物理层没有额外的诊断，微控制器就没有机会知道这些总线故障。总线故障诊断的目的是检测这些故障，并向应用（微控制器）发信故障的情况。

CAN 高速物理层不允许 CANH 对 Bat/Vcc 等高电平的短路或者 CANL 对 GND 电势的短路。这类的短路导致总线被箝位到隐性状态。整个通讯都会停止。CAN 协议（Tx 和 Rx 错误计数器）的错误定界功能最后会使所有节点进入总线关闭状态。通讯故障会通过 CAN 控制器的相应状态标志报告。TJA1041 可以将这两类的短路在收发器级检测出来，尽可能快地通知应用。

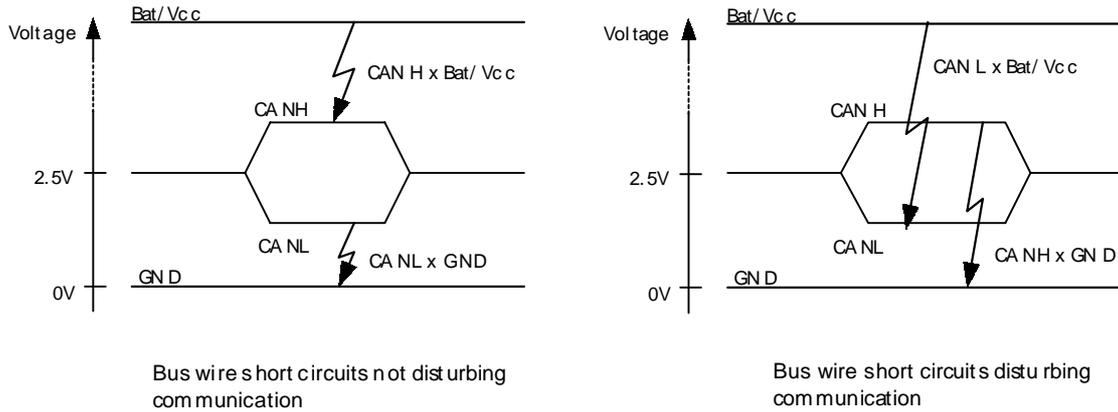


图 6.2 TJA1041 检测出的总线线路短路

短路的特征通过短路阻抗来表示。如果短路阻抗比收发器总线输出级的内部阻抗高，只会在显性状态时对总线有很小的影响。因此，它只能检测到明显的短路。

收发器级不能检测出总线线路的中断。但它们在网络管理级能被简单地检测到。同样，它也检测不到 CANH 和 CANL 之间的短路。这个短路会造成总线被箝位在隐性状态。通过 CAN 的错误定界概念，错误检测可以在数据链路层获得。

图 6.3 显示了 TJA1041 可以检测到的短路以及相应的阻值范围。

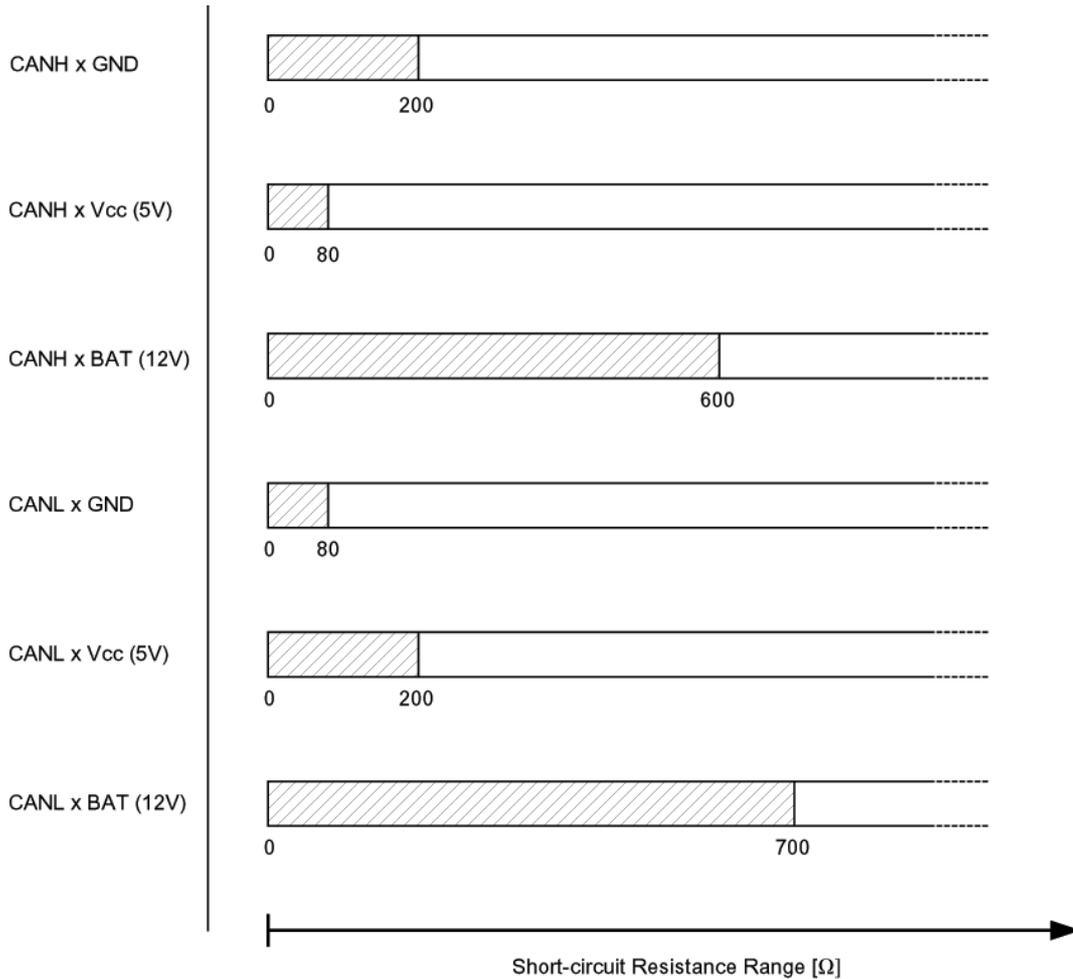


图 6.3 TJA1041 可以检测到的典型短路电阻范围

6.2.2 如何读总线故障标志

总线故障标志实际上是由引脚“/ERR”发信。当进入正常模式后，引脚“/ERR”首先反映的是唤醒源标志。在传输了头4个显性位后，引脚“/ERR”反映总线故障标志。

为了确保总线故障诊断有高的可靠性，从微控制器读总线故障标志必须在相应的节点传输了至少4个单个显性位后才能进行。因此，总线故障标志应在CAN帧的末尾读出，例如：在发送中断服务程序中。这个读的过程要在收发器发送下一个CAN报文前完成。

可能的发送中断服务程序流程图如图6.4所示。如果在“/ERR”读出“低电平”信号，表示存在“隐藏”的总线故障，因为导致通讯完全停止的总线故障会阻止CAN控制器启动发送中断。

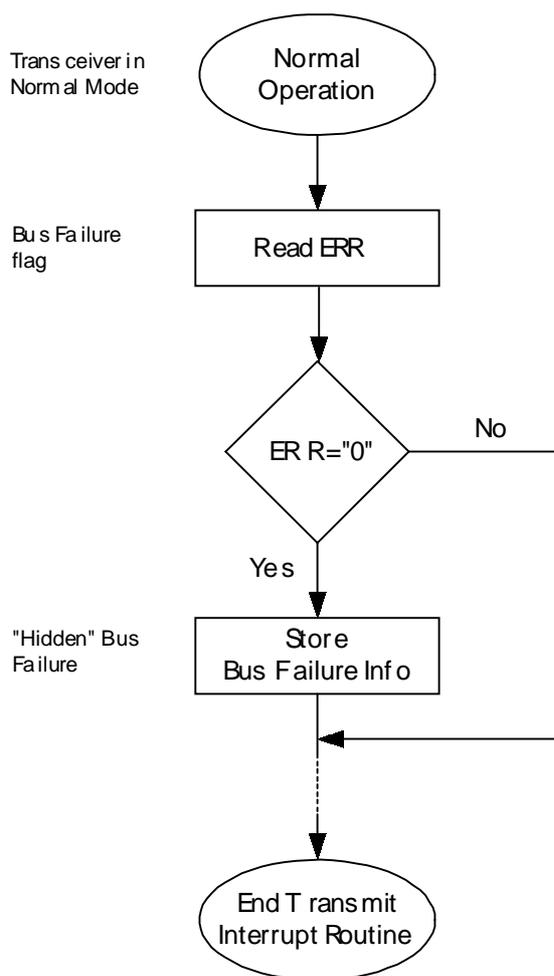


图 6.4 发送中断服务程序流程图

6.3 检测和发信本地故障

可被TJA1041检测和发信的本地故障包括：

- TxD 显性箝位
- TxD/RxD 短路
- 引脚“RxD”隐性箝位
- 总线显性箝位
- 过热

检测到其中一个本地故障后，本地故障标志置位，发送器禁能。除了在总线显性箝位时，发送器仍保

持使能。

6.3.1 从本地故障恢复

当引脚“RXD”变成显性而 TxD 是隐性，本地故障标志被复位，发送器再次使能。这表示像 TxD 显性箝位、TxD/RxD 短路或 RxD 隐性箝位这些本地故障不再存在。Pwon/只听模式的故障恢复会立即在引脚“/ERR”用“高电平”显示。

复位本地故障标志、使能发送器的另一种方法是强制使收发器从其他任何模式切换到正常模式。这种复位的方法在没有总线通讯时使用，即引脚“RXD”不是显性。这种情况下，应用(μC)在 Pwon/只听模式中读取错误状态后强制将模式切换到正常模式。如果故障仍然存在，在发送器禁能后进行再次进行检测。另一方面，如果故障恢复，则继续进行正常的工作。图 6.7 是一个假设的处理通讯故障流程图。

6.3.2 TxD 显性箝位

TJA1050 的自动防故障功能在应用指南 AN00020[10]作了描述。它防止故障的 CAN 控制器用持续的显性 TxD 信号将总线箝位在显性电平。

超过最大的 TxD 显性时间 t_{DOM} [1]后，收发器禁能。根据 CAN 协议[2]，TxD 允许最多有连续 11 个显性位（最差的情况下：在出错帧后面有连续 5 个显性位）。根据允许的最小 TxD 显性时间，它将最小的位速率限制在 60kbit/s。

6.3.3 TxD/RxD 短路

如果 TJA1041 没有保护功能，TxD/RxD 短路会产生死锁情况将总线箝位到显性。例如如果收发器接收到一个显性信号，RxD 将输出显性电平。由于短路，TxD 也会反映一个显性信号，因此使总线保持显性状态。结果，TxD 和总线被持续地箝位到显性状态。结果，造成的影响和持续的 TxD 显性箝位一样。因此，TxD 显性超时会禁能收发器，中断死锁的状态。总线和 TxD 再一次变成隐性状态。但是，故障现象可能仍然存在，总线的下一个显性信号出现就会再次触发这个故障。显然，一个 TxD 显性超时还不足以保护总线，不受 TxD/RxD 短路的影响。

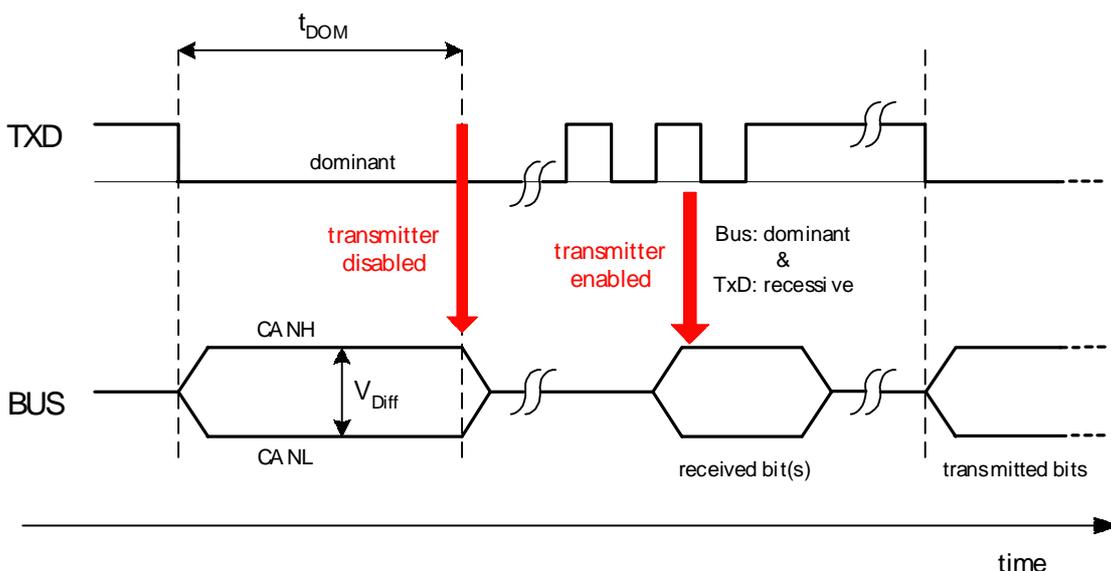


图 6.5 TxD 显性超时和恢复机制

TJA1041 在检测到 TXD 显性箝位甚至 TxD 再次释放后仍使收发器停止工作。如果收发器检测到一个显性总线信号而此时 TxD 是隐性，首先执行故障恢复。它会清楚地显示 TxD/RxD 短路已经消除。TxD/RxD

短路禁能和使能收发器的情况请参考图 6.5。这种方法保证了本地的 TxD/RxD 短路不会影响总线系统其他部分的通讯。

6.3.4 引脚“RXD”隐性箝位

如果引脚“RXD”对 Vcc 或 V_{IO} 短路，引脚“RXD”会被箝位在隐性电平。如果节点使用传统的收发器，总线会持续处于空闲状态。因此，总线可以在任何时候启动发送报文，而不考虑其他的总线通讯。结果，总线通讯被严重扰乱。

当 TJA1041 收到一个显性总线信号，它就能检测到引脚“RXD”的隐性箝位状态。检测到这种情况后，发送器被立即禁能，所以可防止被破坏的、不同步的节点扰乱剩余总线的通讯。当然，被破坏的节点被拒绝通讯。它既不能发送报文也不能接收报文，所以剩下的总线不受影响。

6.3.5 总线显性箝位

在 CANH 对 BAT/Vcc 短路，甚至没有显性发送节点的情况下，共模稳压电路会在 CANH 和 CANL 之间产生差动电压。这显示在图 6.6。差动电压足够高，可以表示显性信号 ($V_{diff} > 0.9V$)。在 CANH 对 BAT 短路时，结果总线被持续地箝位在显性电平。

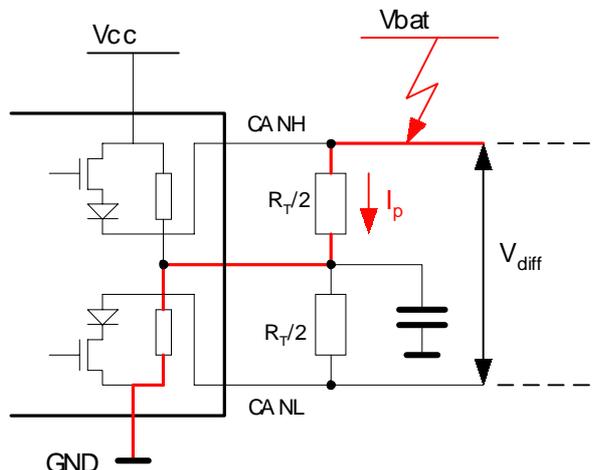


图 6.6 CANH 对 BAT 短路情况下的总线显性箝位

TJA1041 可以检测和报告总线显性箝位的状态，如果接收器检测到总线的显性相位超过“总线显性超时” t_{DOM(bus)[1]}，它会在 Pwon/只听模式的“/ERR”引脚指示出来。

6.3.6 过热保护

如果收发器工作在环境温度很高或者总线有对地短路的情况下收发器都会有过热的情况。为了防止收发器的自毁，它会在连接点温度超过允许的限制值后自动禁能。另外，本地故障标志置位，在 Pwon/只听模式的引脚“/ERR”可以读出。

在过热情况出现后，如果连接点温度低于限制值而且切换到正常模式或者在 TxD 隐性的时候接收到一个显性的总线信号，TJA1041 的发送器会被释放。

6.4 处理通讯故障的软件流程图

图 6.7 是一个处理通讯故障的流程图。从正常模式启动 TJA0141 进行正常的操作后，当出现 CAN 控制器错误中断或者丢失发送中断报告的通讯故障，主微控制器可以从引脚“/ERR”读出总线故障标志。

如果总线故障标志置位，通讯故障很可能就是由总线故障引起的。新的传输尝试在定义的超时周期后

进行。在传输尝试的失败超过最大数目后，应用必须能运行适当的低效过程。另一方面，如果总线故障标志复位，通讯故障很可能是由本地故障引起的。

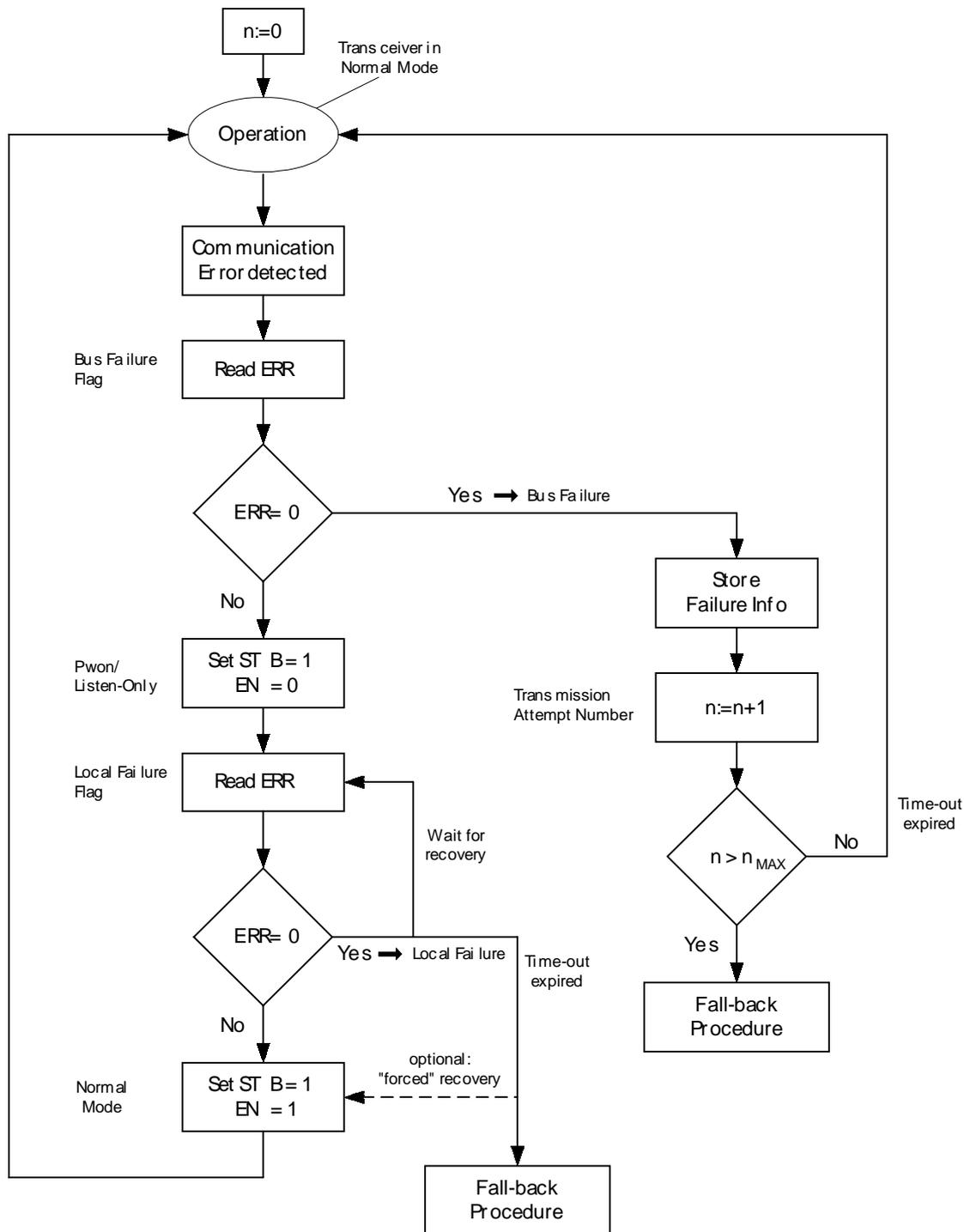


图 6.7 处理通讯故障的流程图

为了检查本地故障，收发器被强制进入 Pwon/只听模式。如果出现本地故障（见 6.3 节），应用会周期性地读本地故障标志等待恢复。如果在定义的超时周期内没有恢复，可以选择强迫将收发器切换到正常模式并释放发送器。如果故障仍然存在，由于有自动防故障性能，可以再次检测到这个故障并禁能发送器。

另一个选择是使用低效过程。如果读出的本地故障标志表示故障已经恢复，收发器会进入正常模式继续正常工作。

6.5 Vcc/V_{IO} 欠电压检测

TJA1041 可以检测到 Vcc 或 V_{IO} 的欠电压情况。检测到欠电压时，收发器自动进入睡眠模式，而不理会当前引脚“/STB”和“EN”的信号组合。这就意味着引脚“INH”悬空，禁能电压调节器。这种模式转换保证了 TJA1041 甚至在 Vcc 或 V_{IO} 欠电压的情况下仍然有确定的行为。

当引脚“Vcc”和/或“V_{IO}”没有连接或 Vcc 或 V_{IO} 对 GND 短路时会出现欠电压的情况。在短路的时候，禁能电压调节器可以防止流过高的短路电流。

Vcc/V_{IO} 的欠电压检测只有在存在电池电压的时候才能激活。欠电压的情况至少持续 5ms 后，收发器才进入睡眠模式。这个超时防止在 Vcc/V_{IO} 斜坡上升的过程中检测欠电压，例如从睡眠模式唤醒。唤醒事件会唤醒收发器以及尝试再次启动电压调节器。如果 Vcc 和 / 或 V_{IO} 仍有欠电压的情况，收发器会再次进入睡眠模式。

6.6 V_{BAT} 欠电压检测

TJA1041 也监控引脚“V_{BAT}”的电池电压。如果电池电压降低至低于 BAT 欠电压阈值[1]，收发器自动进入睡眠模式，而不理会当前引脚“/STB”和“EN”的信号组合。像在 Vcc/V_{IO} 检测到欠电压的情况一样，引脚“INH”悬空，禁能电压调节器。这就意味着节点停止运转。它不再可能通过总线以及引脚“Wake”唤醒。节点只有在恢复电池电压后才能苏醒。收发器经历的这个过程和系统启动的过程一样。例如引脚“V_{BAT}”没有连接，就会产生“V_{BAT}”欠电压的情况。V_{BAT} 欠电压检测要求 Vcc 存在。

一个暂时的本地电池欠电压会在新初始化相应的节点时产生并置位 PWON 标志。当从睡眠模式、待机模式或进入睡眠命令模式（见图 6.1）进入 Pwon/只听模式，微控制器可以通过引脚“/ERR”访问 PWON 标志。切换到正常模式会删除 PWON 标志。这样，应用（ μ C）就可以知道暂时的本地电池欠电压情况。

7. TJA1041 的低功耗管理

7.1 ECU 冷起动的软件流程图

TJA1041 的 PWON 标志向微控制器指出：微控制器的冷启动是由从睡眠模式唤醒产生还是由应用的首次电池上电产生。应用在首次电池上电后，初始化一些可能的校准过程经常需要用到这个信息。当从待机模式、睡眠模式或进入睡眠命令模式进入 Pwon/只听模式，引脚“/ERR”反映 PWON 标志。而且，TJA1041 从睡眠模式唤醒后还能提供唤醒源的信息。进入正常模式后，引脚“/ERR”反映唤醒源标志。“低电平”表示通过引脚“Wake”本地唤醒，而“高电平”表示通过总线远程唤醒。

电池首次上电时，收发器得到一个内部硬件复位信号进行初始化。接着，PWON 标志置位，引脚“INH”被拉到 V_{BAT}，激活电压调节器并斜坡上升至 Vcc。因此，引脚“RXD”和“/ERR”变成“高电平”。电压斜坡上升到 Vcc 后，微控制器启动。由于几乎所有的微控制器在它们的端口引脚上有弱下拉或悬空的特性，TJA1041 在首次电池上电应用后启动，进入待机模式。这就是应用程序进行控制的起始点。如果微控制器在端口引脚用“高电平”启动，TJA1041 立即进入正常模式而且 PWON 标志信息丢失，不可恢复。

图 7.1 是 ECU 冷启动建议使用的软件流程图。这里主要显示了 TJA1041 的相关问题而没有列出一个完整的流程图。收发器和微控制器执行初始化后，收发器进入 Pwon/只听模式读 PWON 标志。如果在引脚“/ERR”读出的是“低电平”，表示 ECU 的冷启动是由首次电池上电应用造成的，而且微控制器执行了相应的系统启动过程。如果读出的是“高电平”，冷启动就是从睡眠模式唤醒造成的。要得到唤醒源的有关信息就要进入正常模式。如果在引脚“/ERR”读出“低电平”，表示是通过引脚“Wake”的本地唤醒。如果读出的是“高电平”，则表示通过总线唤醒。之后，冷启动过程结束，继续进行正常操作。

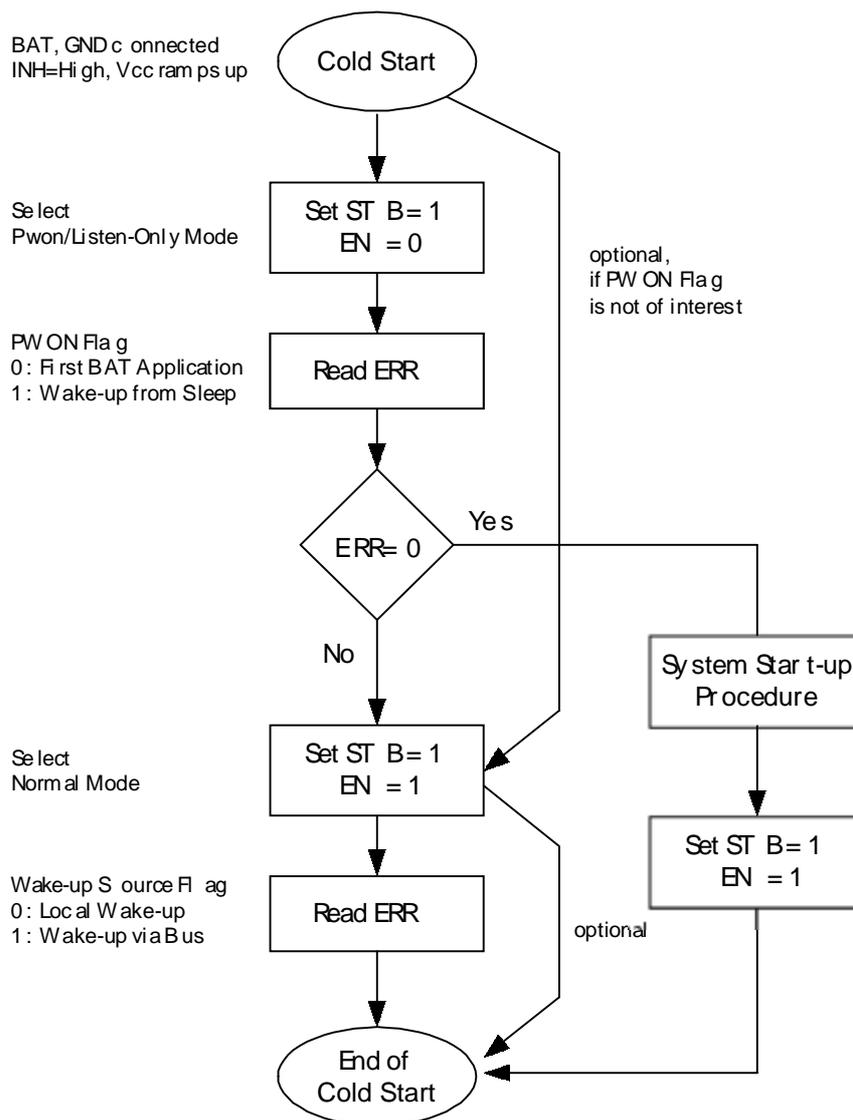


图 7.1 ECU 冷启动的软件流程图

7.2 ECU 热启动的软件流程图

ECU 从待机模式唤醒（第一级低功耗）执行的是热启动。图 7.2 是建议使用的 ECU 热启动软件流程图。起点是假设 TJA1041 收发器处于待机模式，主控制器处于专用的低功耗模式（如果提供的话）。如果收发器从总线或引脚“Wake”接收到唤醒信号，内部唤醒标志置位并在引脚“/ERR”和“RXD”发信。这些信号可以将微控制器从低功耗模式中唤醒。启动应用程序就可以接管控制收发器。如果 PWON 标志很重要，微控制器可以使收发器进入 Pwon/只听模式读 PWON 标志。另外，微控制器也可以使收发器直接进入正常模式读引脚“/ERR”的唤醒源标志。

由于微控制器仍然由 Vcc 电源上电，它能监控其端口引脚，发现可能的唤醒事件。检测到唤醒事件后，微控制器能初始化唤醒事件使收发器直接进入正常模式。此时没有必要读 PWON 标志或唤醒源标志。

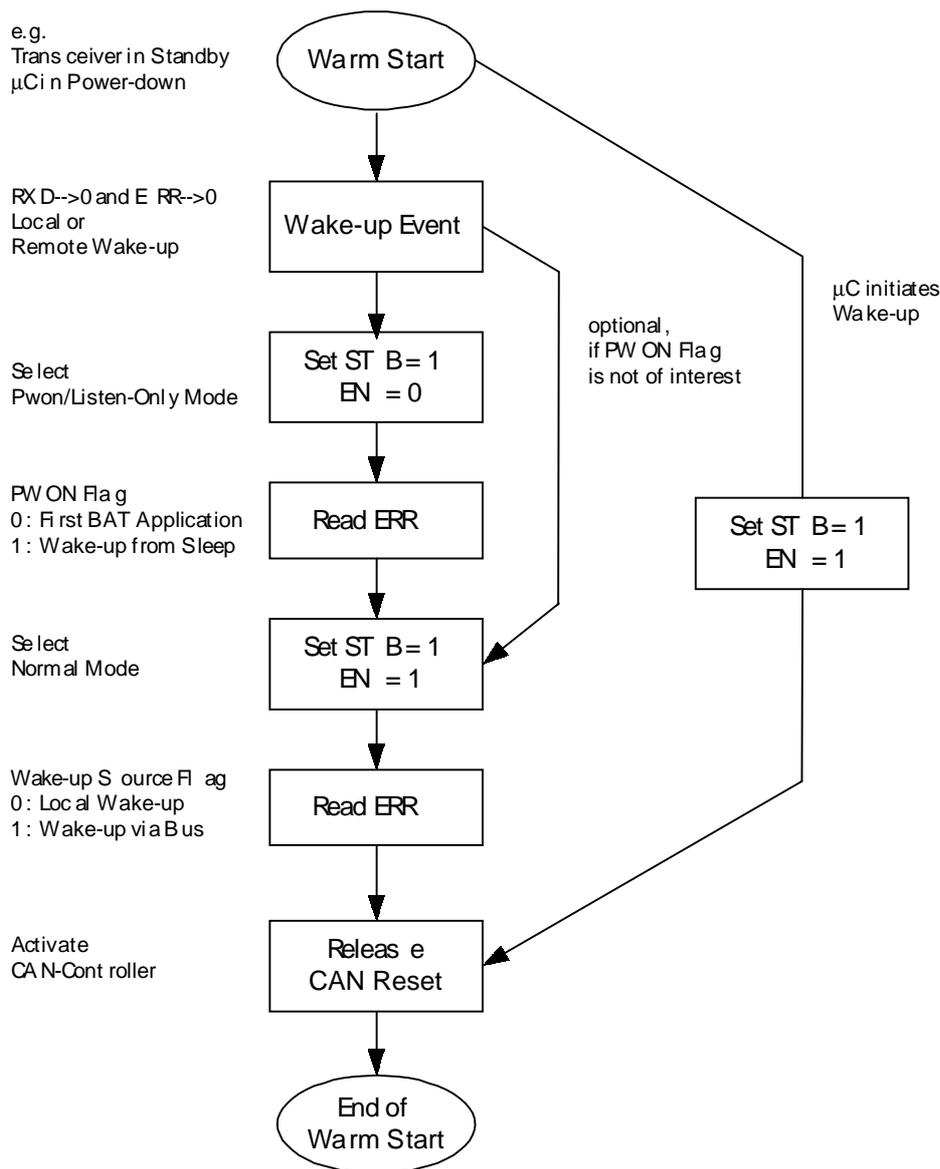


图 7.2 ECU 热启动的软件流程图

7.3 如何进入待机模式（第一级低功耗）

当网络管理员决定使总线系统进入待机模式，每个 ECU 必须接收到一个相应的待机命令。图 7.3 的流程图显示了使 TJA1041 进入待机模式的不同步骤。

在接收到待机命令（例如某个 CAN 报文）后，微控制器不得不停止所有的 CAN 传输。为了确保总线上不再有由其他节点的 CAN 通讯，在 TJA1041 设置 STB=0 和 EN=0 前，总线必须在一段适当的时间内保持隐性。如果系统没有“等待周期”，就可能会发生一个节点发出最后的报文而其他节点已经进入待机模式的情况。这可能产生一个唤醒事件，使整个系统不可能进入低功耗状态。

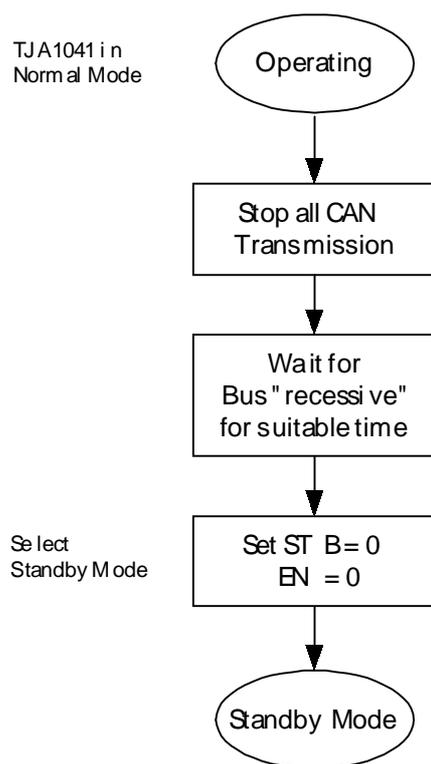


图 7.3 进入待机模式的软件流程图

7.4 如何进入睡眠模式（第二级低功耗）

图 7.4 使 ECU 进入睡眠模式的过程和前面的进入待机模式过程很相似。接收到睡眠命令后，微控制器要停止所有 CAN 传输。为了确保总线上不再有 CAN 通讯，在 TJA1041 设置/STB=0 和 EN=1 进入睡眠模式前，总线必须在一段适当的时间内保持隐性。这里的不同之处是：只要 Vcc 不断电，微控制器会周期性地检查唤醒事件。由于唤醒事件很可能在处理进入睡眠命令时产生，因此这个周期检查非常必要。在这种情况下，TJA1041 的 INH 将保持“高电平”而且 VCC 不会下降。而唤醒请求通过 RxD 和/ERR 发送给应用。没有这个检查，微控制器会假设睡眠阶段时禁能 VCC，因此永远不会发生由上电复位产生的唤醒。

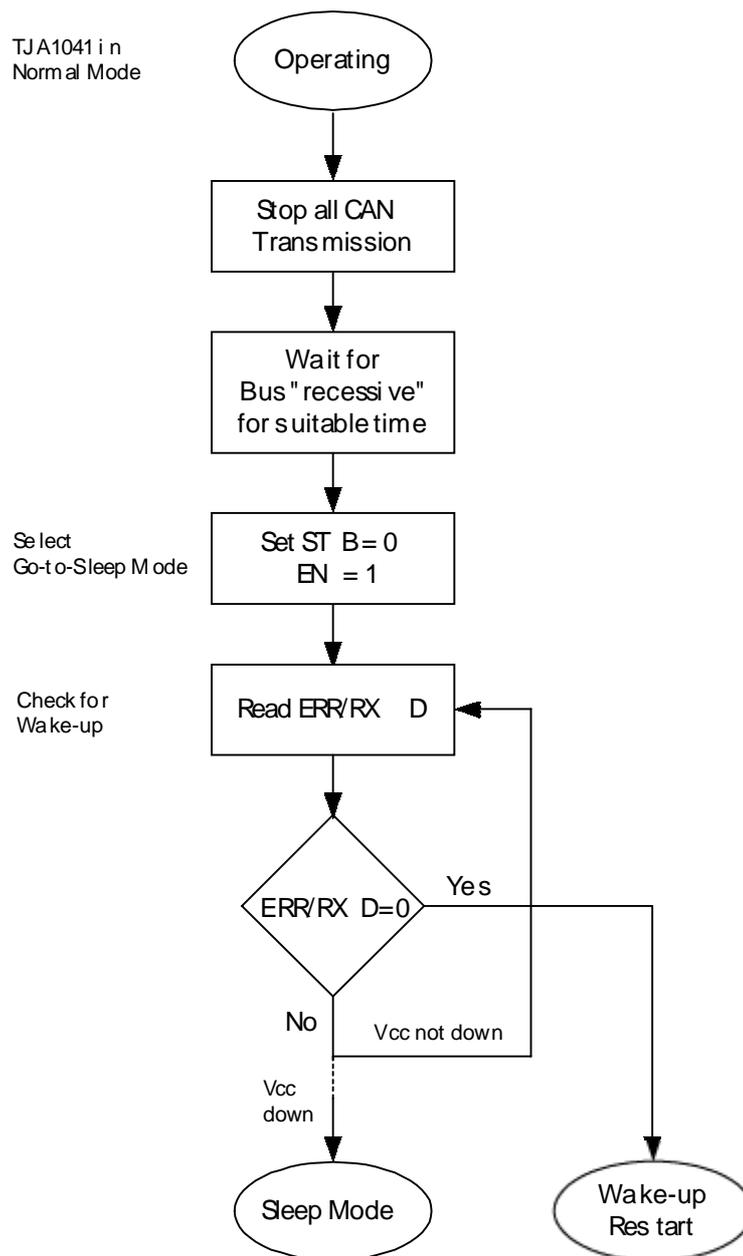


图 7.4 进入睡眠模式流程图

8. 和其他高速收发器的互操作性

除了 TJA1041 外, Philips Semiconductors 还提供 PCA82C250、PCA82C251、TJA1051 和 TJA1040 等 CAN 高速收发器产品。由于所有产品都符合 ISO 11898 标准, 保证了它们之间的互操作性。它们能在同一总线网络中工作。但在低功耗操作中还有一些总线偏置性能不同的相关问题, 将在本章作一些讨论。

8.1 TJA1041 和 C520/251 在待机模式结合使用

假设一直上电的 TJA1041 和 C250/251 节点在相同的总线网络中工作。熄火后, CAN 节点都典型地进入低功耗模式以减少电流。由于 TJA1041 在低功耗模式时弱端接到地, 而 C250/251 节点在待机模式仍维持 $V_{cc}/2$ 的总线偏置, 横向电流就会在总线系统的 C250/251 部分和 TJA1041 部分之间流动。尽管这些横向电流不会使 CAN 通讯恶化, 但它们会增加总体的电流消耗。

下面是计算最大横向电流的算式，忽略可能的地电平偏移。

$$I_{\text{trans.max}} = \frac{V_{CC} / 2}{2 \cdot n_{C250} \cdot R_{CM}(C250) + 2 \cdot n_{TJA1041} \cdot R_{CM}(TJA1041)}$$

其中

n_{C250} :	上电的 C250 节点数量
$n_{TJA1041}$:	处于待机 / 睡眠模式的 TJA1041 节点数量
$R_{CM.min}(C250)=5k$:	C250 在引脚 CANH/CANL 的最小共模输入阻抗[5]
$R_{CM.min}(1041)=15k$:	TJA1041 在引脚 CANH/CANL 的最小共模输入阻抗[1]

例如，总线系统由 4 个 C250 和 4 个 TJA1041 节点组成。算出可能流过的最大横向电流是 500 μ A。在这个横向电流下，整个系统的电流仍低于纯 C250 网络的电流。这是由于 TJA1041 处于睡眠模式比 C250 的待机电流和 C250 应用使用的电压调节器减少了功率的消耗。所以，甚至在混合的系统也能节省电源电流。

8.2 TJA1041 和不上电的 TJA1050/C250/C251 在熄火后结合使用

假设总线系统中 TJA1041 节点一直上电，而 TJA1050/C250/C251 节点在熄火后不上电。点火时，总线系统激活，TJA1041 和 TJA1050/C250/C251 工作在正常模式。由于所有节点都有相同的总线偏置 $V_{CC}/2$ ，所以不会产生横向电流。在点火后，总线系统在大多数的时间内处于不激活的状态。而 TJA1050/C250/C251 节点在这种情况下不上电，TJA1041 节点典型地进入待机或睡眠模式。由于 TJA1041 处于待机 / 睡眠模式，不上电的 TJA1050/C250/C251 弱端接到地。所以不会产生横向电流。

8.3 TJA1041 和 TJA1040 在待机模式结合使用

假设总线系统的 TJA1041 和 TJA1040 节点一直上电。在点火时，总线激活，所有节点工作在正常模式。熄火后，TJA1041 和 TJA1041 典型地进入低功耗模式以节省电流。由于收发器在低功耗模式弱端接到地，所以不会产生横向电流。

9. 参考文献

- [1] Preliminary Device Specification TJA1041, High-Speed CAN transceiver, Philips Semiconductors, 2000 Oct 13
- [2] Road Vehicles . Interchange of Digital Information-Controller Area Network (CAN) for high-speed communication, ISO11898, International Standardization Organisation, 1993 (Under review at ISO TC22/SC3/WG1)
- [3] High Speed CAN (HSC) for Vehicle Applications at 500kbps, SAE J2284, 1999
- [4] Data Sheet TJA1054, Fault-tolerant CAN transceiver, Philips Semiconductors, 1999 Febr 11
- [5] Data Sheet PCA82C250, CAN controller interface, Philips Semiconductors, 2000 Jan 13
- [6] Data Sheet PCA82C251, CAN controller interface, Philips Semiconductors, 2000 Jan 13
- [7] Data Sheet TJA1050, High speed CAN transceiver, Philips Semiconductors, 2000 May 18
- [8] Preliminary Device Specification TJA1040, High speed CAN transceiver, Philips Semiconductors, 2000 Oct 13
- [9] SAE Conference Paper 950298, EMC Measures for Class C Communication Systems using Unshielded Cable, Lütjens/Eisele, Detroit 1995
- [10] Application Note AN00020, TJA1050 CAN High-Speed Transceiver, Philips Semiconductors, 2000 Apr 25

10. 附录

10.1 Vcc 电源

TJA1041 需要一个电池电压和一个+5V 的 Vcc 电源。驱动总线的电流由 Vcc 提供。BAT 电压使收发器在睡眠模式 Vcc 电源可能断电的时候保持激活。它维持低功耗的接收器有远程唤醒的能力。

通常，建议在接近收发器 Vcc 和 GND 的地方连接一个 100nF 的电容。在总线从隐性切换到显性产生尖峰上升电流时，这个电容保护电源电压不受损坏。另外，一个旁路电容通常连接在电压调节器的输出上。它的目的是保护电池线路不受干扰并在总线故障时保护额外的电源电流需求。计算 Vcc 电压调节器的热负载时要考虑平均电源电流。这在没有和存在总线短路情况时都要考虑。

10.1.1 没有总线故障的 Vcc 平均电源电流

平均电源电流由发送的占空比决定。假设引脚“TXD”的发送占空比 50%是一个合理的值。那么，最大的平均电源电流是：

$$I_{CC_norm_avg} = 0.5 \cdot (I_{CC_rec_max} + I_{CC_dom_max})$$

例如：

如果 $I_{CC_rec_max}=13mA$ 而且 $I_{CC_dom_max}=80mA$ [1]，结果平均电源电流是 47mA。

10.1.2 存在总线故障时的 Vcc 平均电源电流

如果存在总线故障，收发器的 Vcc 电源电流会显著上升。建议计算电压调节器在最差的总线故障情况下的电压。隐性的 Vcc 电源电流 I_{CC_rec} 不象显性的 Vcc 电源电流 I_{CC_dom} ，它不会受到总线故障的影响。在 CANH 对 GND 短路时流过最高的显性 Vcc 电源电流 I_{CC_dom} 。用 CANH 的短路输出电流 $I_{SC(CANH)}$ 可以算出显性 Vcc 电源电流 I_{CC_dom} 大约是 123mA。结果在 CANH 向 GND 短路的最差情况下平均电源电流是 68mA。

10.1.3 计算电压调节器的旁路电容

由于 Vcc 电压向接收器输入阈值和总线输出电压提供内部参考，用旁路电容稳定电压调节器的输出电压就变得非常重要。这个旁路电容通常和靠近收发器的 100nF 电容结合使用。

电压调节器向收发器提供的静态电流由隐性 Vcc 电源电流 I_{CC_rec} 决定。

在显性发送周期中，需要额外的电源电流。它的计算如下：

$$\Delta I_{CC_ex} = I_{CC_dom} - I_{CC_rec}$$

没有总线故障时，最大的额外电源电流计算如下：

$$\Delta I_{CC_max} = I_{CC_dom_max} - I_{CC_rec_min}$$

例如：

$I_{CC_dom_max}=80mA$ ， $I_{CC_rec_min}=7mA$ ，算出的最大的额外电源电流是 73mA。通常，电压调节器足够发送这个额外的电源电流，而且 Vcc 没有明显的电压降。

有总线故障的时候，最大额外电源电流可能很高。考虑到 CANH 对 GND 短路的最差情况，最大额外电源电流计算如下：

$$\Delta I_{CC_max_sc} = I_{CC_dom_sc_max} - I_{CC_rec_sc_min}$$

例如：

$I_{CC_dom_sc_max}=123mA$ ， $I_{CC_rec_sc_min}=7mA$ ，计算的最大额外电源电流是 116mA。

这个额外的电源电流在 CANH 对 GND 短路的情况下可能要传输高达 17 个位定时。原因是 CANH 对 GND 短路会将总线箝位在隐性的状态。CAN 控制器启动传输的时候，显性的帧的起始 (Start Of Frame)

位不会反馈到 RXD，因此位故障条件会产生一个出错帧。出错帧的第一位也不会反映到 RXD，从而产生下一个出错帧（TX 错误计数器+8）。在 17 个位定时后，启动传输前要看 TX 错误计数器的级别，如果 CAN 控制器达到错误认可的极限值（128）就停止发送显性位。接着是 25 个隐性位（8 位错误界定符+3 位间断+8 位停止传输），Vcc 电源电流变成隐性状态。

如果收发器和微控制器共同使用一个电压调节器，有额外电源电流要求的 Vcc 电压必须在 17 个位定时内维持不变。否则，不能保证微控制器能进行正确的操作。最差的情况是要假设在 17 个位定时中整个额外的电源电流要受到旁路电容的保护。在最差情况下计算得到的旁路电容是：

$$C_{\text{Buff}} = \frac{\Delta I_{\text{CC_max_sc}} \cdot t_{\text{dom_max}}}{\Delta V_{\text{max}}} = \frac{116\text{mA} \cdot 34\mu\text{s}}{0.2\text{V}} \approx 20\mu\text{F}$$

其中

$I_{\text{CC_max_sc}}=116\text{mA}$: CANH 对 GND 短路时最大的额外电源电流

$t_{\text{dom_max}}=34\mu\text{s}$: 在 500kbit/s 下 17 个位定时的显性时间

$\Delta V_{\text{max}}=0.2\text{V}$: 允许的最大 Vcc 电压降

当然，基于所使用的电压调节器的调节能力，旁路电容可能更小。如果收发器有自己的电压调节器，在 CANH 对 GND 短路的时候 Vcc 电压必须断开，因为此时的物理层已经被完全扰乱，通讯停止。