

容错的 CAN 收发器应用指南

PCA82C252 / TJA1053 / TJA1054 / TJA1054A

目录

1. 比较 PCA82C252/TJA1053/TJA1054/TJA1054A	4
1.1 系统参数	4
1.2 器件参数	4
2. 用 TJA1054 升级一个 TJA1053 应用	4
2.1 概述	4
2.2 硬件问题	5
2.2.1 外部元件	5
2.2.2 引脚 Wake 的唤醒敏感度	5
2.2.3 电流消耗	6
2.2.4 工作电压范围	6
2.3 软件问题	6
2.3.1 通过引脚 ERR 的错误发信	6
2.3.1.1 软件查询引脚 ERR	6
2.3.1.2 只在 CAN 中断服务程序时用软件读引脚 ERR	6
2.3.2 VCC 待机 / PWON 待机	6
2.3.3 首次电池连接时引脚 INH 的行为	6
2.3.4 进入睡眠 / 唤醒的优先级	7
2.3.5 其他问题	7
2.4 互操作性：TJA1053 和 TJA1054 的混合系统	7
2.4.1 概述	7
2.4.2 硬件互操作性的研究	7
2.4.3 硬件互操作性研究的结果	7
2.5 结论	8
2.6 移植核对表	8
3. TJA1054 的模式控制	9
3.1 概述	9
3.2 工作模式	9
3.2.1 正常模式	10
3.2.2 进入睡眠	10
3.2.3 Stby 睡眠	10
3.2.4 PWON Stby	10
3.3 系统的唤醒	11
3.3.1 本地唤醒	11
3.3.2 远程唤醒	11
3.3.3 模式切换	11
3.4 状态图	11
3.4.1 PWON 标志	11
3.4.2 引脚 INH	11

3.4.3	唤醒标志.....	11
3.4.4	引脚 RXD.....	12
3.4.5	引脚 ERR.....	12
4.	Vcc 电源和推荐的旁路电容	13
4.1	使用的缩写列表.....	13
4.2	概述.....	13
4.3	没有总线短路情况时的平均电源电流.....	14
4.3.1	最大的显性电源电流（没有总线线路故障）.....	14
4.3.1.1	示范计算.....	14
4.3.2	温度的考虑（没有总线线路故障）.....	14
4.3.2.1	示范计算.....	14
4.4	一条总线线路出现短路时的平均电源电流.....	15
4.4.1	最大的显性电源电流（其中 CANH 对 GND 短路）.....	15
4.4.1.1	示范计算.....	15
4.4.2	温度的考虑（其中 CANH 对 GND 短路）.....	15
4.4.2.1	示范计算.....	15
4.4.3	单总线故障下 Vcc 的额外电源电流	15
4.4.3.1	示范计算.....	15
4.5	最差的双总线短路时的最大 Vcc 电源	16
4.5.1	在最差的双线故障情况下最大的 Vcc 电源电流	16
4.5.1.1	示范计算.....	16
4.5.2	在双总线故障情况下的 Vcc 额外电源电流	16
4.5.2.1	示范计算.....	16
4.6	最差情况的旁路电容计算.....	17
4.6.1	示范计算，独立供电的收发器@83,33kBit/s	17
4.6.2	示范计算，共享电源.....	17
5.	总线终端和 EMC 问题.....	17
5.1	如何确定总线终端的电阻值的一些基本规则.....	17
5.1.1	可变大小的系统，可选择的节点.....	18
5.1.1.1	示范计算可变大小的系统.....	18
5.2	从 EMC 的考虑总线端电阻的容差.....	18
5.3	总线终端电阻 R _T 的输出电流和功率消耗.....	19
5.3.1	概述.....	19
5.3.2	无总线故障的平均功率消耗.....	19
5.3.2.1	示范计算平均功率消耗.....	19
5.3.3	最大的持续功率消耗（单总线故障）.....	19
5.3.3.1	示范计算最大的持续功率消耗.....	19
5.3.4	最大的峰值功率消耗（单总线故障）.....	19
5.3.4.1	示范计算最大的峰值功率消耗.....	19
6.	ESD 保护	20
6.1	TJA1054A 的改良 ESD 性能.....	20
6.2	可选的外部 ESD 改良	20
7.	引脚 BAT 的串联电阻.....	21
8.	引脚 WAKE 的串联电阻.....	21

8.1	定义 R_s 范围的参数	22
8.2	计算 R_s 的极值	22
8.3	示范计算	23
9	引脚 TXD 的串联电阻	23
9.1	定义 R_{TXD} 范围的参数	23
9.2	计算 R_{TXD} 的极限值	23
9.3	示范计算	23
10	硬件设计的检查核对表	24
11	软件设计指南	24
11.1	系统的睡眠过程	24
11.2	用 ERR 输出作故障诊断	25
11.2.1	总线线路开路时的 ERR 信号	25
11.2.1.1	PCA82C252/TJA1053 的性能	26
11.2.1.2	TJA1054 的性能	26
11.2.2	CANH 对 GND 短路或 CANL 对 VCC 短路时的 ERR 信号	26
11.2.3	其他短路情况的 ERR 发信	27
11.3	用 ERR 读出 PWON 标志	27
12	经常询问的问题 (FAQ)	27
12.1	收发器不进入睡眠模式	27
12.2	系统总在单线模式工作	28
12.3	甚至在总线激活的时候也不能唤醒系统	28
12.4	连接外部工具时收发器被损坏	28
12.5	CAN 工具不能和某些应用通讯	28
12.6	在 CANH 对 VCC 短路时不能通讯	28

1. 比较 PCA82C252/TJA1053/TJA1054/TJA1054A

1.1 系统参数

关键参数	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
系统大小	10~15 个节点 ^{1) 2)}	10~15 个节点 ²⁾	>32 个节点
速度	20~<125kbps ³⁾	20~125kbps	40~125kbps
辐射	+	+	++
抗干扰	+	+	++
TxD 显性监控	无	有	有
扩展的总线故障管理 (CANH 到 Vcc)	无	无	有
识别仲裁和开路故障	无	有	有

- 1) 限制由 CANH 对地短路故障时的性能给出，很大程度上由所使用的电缆大小和类型决定。
- 2) 限制由 CANH 对地短路故障时的唤醒能力给出，很大程度上由网络分布的端电阻的值决定。因此，不能给出系统大小的精确数字。
- 3) 存在 CANH 对 VBAT 短路故障时，显性边沿的延迟增加。最大速度很大程度上由所使用电缆的自感系数决定。

1.2 器件参数

关键参数	PCA82C252	TJA1053	TJA1054	TJA1054A
正常模式的电流消耗 (Icc)	6mA (隐性) 29mA (显性)	6mA (隐性) 29mA (显性)	7mA (隐性) 17mA (显性)	7mA (隐性) 17mA (显性)
待机模式的电流消耗 (IBAT+Icc)	70μA	70μA	30μA	30μA
最小工作电压	6V	6V	5V	5V
防止 VBAT 的反向电流 ¹⁾	无	无	有	有
唤醒的灵敏度	负跳变沿	负跳变沿	任一跳变沿	任一跳变沿
Vcc 待机模式	有	有	无	无
ERR 报告开路故障	只在帧中	只在帧中	帧以及帧间空间	帧以及帧间空间
引脚 RTH/RTL/CANH/CANL 的 ESD 保护	2kV 人体模型 200V 机械模型	2kV 人体模型 200V 机械模型	2kV 人体模型 200V 机械模型	4kV 人体模型 300V 机械模型

- 1) 在模块丢失电池连接时可以防止从 CAN 总线向模块流过反向电流。PCA82C252 和 TJA1053 要求在收发器的电池引脚上连接一个外部二极管。**附加的控制单元极性保护二极管通常安装在电池与整个模块的连接处。**

2. 用 TJA1054 升级一个 TJA1053 应用

2.1 概述

TJA1054 是一个容错的 CAN 收发器，适合在最多有 32 个节点的网络中使用，是与著名的 TJA1053 兼容的后续产品。和 TJA1053 比较，TJA1054 提供了几种增强的性能：

- 非常低的电磁辐射 (EME)
- 非常好的电磁抗干扰性 (EMI)
- 增强的总线故障管理 (允许对 5V 短路)
- 改良的错误发信
- 在“丢失电源”的情况下性能有所改良

TJA1054 的设计向下兼容 TJA1053，而且可以不修改硬件和软件，在很多已有的 TJA1053 应用中直接

使用。然而，由于具有增强的功能，用 TJA1054 代替 TJA1053 时要注意几点。

下面的章节将详细讨论如何将应用平稳地从 TJA1053 移植到 TJA1054 的所有硬件和软件问题。

特别注意：互操作性向在一个网络中同时使用这两个器件提供了信心。我们确保将 TJA1054 一步一步地引入已有的 TJA1053 系统中而不用冒任何风险。

2.2 硬件问题

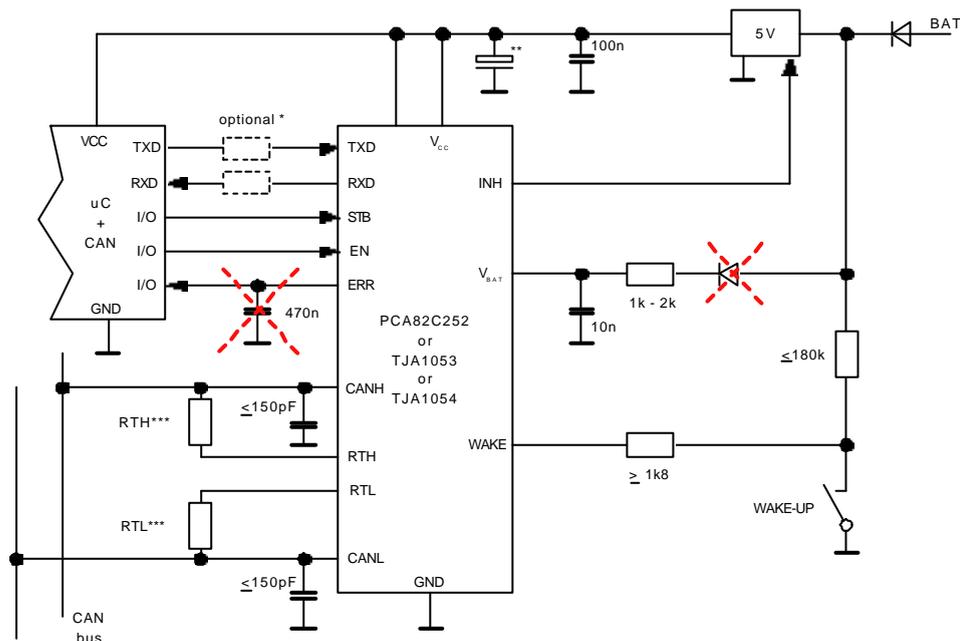
2.2.1 外部元件

用 TJA1054 代替 TJA1053 时，原来的两个外部元件可以被移走（见图 1）：

- 引脚 BAT 的反向电流保护二极管
- 引脚 ERR 的脉冲加宽电容

TJA1053 的外部二极管需要在整个单元的电池连接丢失时抑制产生的反向电源电流。对于不上电的 TJA1053，可能产生由 CANL 总线流向引脚 BAT 的灌入电流。在一些应用中，这个反向电流很大，足够使微控制器不受控制。TJA1054 有内建的防止反向电流功能，这些二极管就变得多余了。

在总线线路出现“开路故障”时，将不可能在普通的 CAN 中断服务程序中正确读出 TJA1053 的 ERR 引脚值。这里，任何有效的 CAN 报文“确认位”都能清除已经在引脚 ERR 上检测到的“开路故障”。因此，TJA1053 需要一个外部脉冲加宽电容，使检测到的故障信号保持，在主 μC 执行中断服务程序时仍然有效。TJA1054 的 ERR 内部可以保持故障信号有效（见 11.2.1），所以不需要这个外部脉冲加宽电容。



* For further EMC optimization a series resistor could be applied in case the bus timing parameters allow this additional delay caused by the additional R/C time constant.
 ** Size of capacitor depends on regulator.
 *** Size of termination resistors depends on system size. The overall system termination should be about 100 Ohms per CAN line.

图 1 使用 TJA1053 和 TJA1054 的典型应用电路

2.2.2 引脚 Wake 的唤醒敏感度

TJA1054 的唤醒输入对两个跳变沿都敏感，而 TJA1053 只对下跳沿敏感。由于应用的外部唤醒事件通常是有两个跳变沿的脉冲，所以这两个器件对应用没有影响。

TJA1054 另一个改善的地方是：唤醒事件比进入睡眠命令有更高的优先权。而使用 TJA1053 的系统可能会丢失这样一个唤醒事件。尽管唤醒请求已经发送到引脚 WAKE，但 TJA1053 在没有启动电压调节器前

会保持睡眠状态。TJA1054 可以从当前主 CPU 的命令设置独立地识别任何唤醒事件。

2.2.3 电流消耗

TJA1054 的整体电流消耗比 TJA1053 大大减少，特别是在低功耗模式里。TJA1054 CANH 总线驱动器轻微上升的短路电流由正常模式的显性总线状态电源电流减少来补偿。因此，对应用的电源概念没有影响。但引入的 TJA1054 比 TJA1053 向每个控制单元提供的睡眠电流更低。

条件	TJA1053	TJA1054
正常模式的电流消耗， I_{cc}	6mA 隐性	7mA 隐性
	29mA 显性	17mA 显性
低功耗模式中的电流消耗， $I_{BAT}+I_{cc}$	70 μ A	30 μ A

2.2.4 工作电压范围

为了增强在低电池电压情况下系统的性能，TJA1054 允许引脚 BAT 的工作电压可低至 5V，而 TJA1053 要求至少 6V。

2.3 软件问题

2.3.1 通过引脚 ERR 的错误发信

在前面已经提到过，TJA1054 引脚 ERR 的错误发信性能有所增强。它可以移走 TJA1053 需要的外部加宽电容（见 2.1）。如果 TJA1053 不使用外部加宽电容，TJA1054 这个新的特性可能对应用软件有影响。可能出现两种情况：

2.3.1.1 软件查询引脚 ERR

如果用 TJA1054 代替 TJA1053，应用程序查询引脚 ERR 只看得很小的变化。特别是在总线有“开路故障”时，如果使用 TJA1054，ERR 事件引起的软件负载会减少。

2.3.1.2 只在 CAN 中断服务程序时用软件读引脚 ERR

这里，像所期望的一样，TJA1054 检测到并发信“开路故障”，而 TJA1053 发信说没有问题。因此，简单地迁移到 TJA1054 会自动提升软件的诊断功能。

2.3.2 VCC 待机/PWON 待机

TJA1053 的 VCC 待机模式被 TJA1054 的 PWON 待机模式（STB=1；EN=0）代替。此时除了 CANL 偏置电平外，这两个收发器的功能没有任何改变。TJA1053 通过引脚 RTL 和终端电阻向 CANL 提供 5V 的电平，而 TJA1054 使用相同的途径向 CANL 提供 12V 的电平。如果两种收发器在同一个网络中使用，它们对整个系统的性能没有影响。软件同样也不受影响，因为它们都通过引脚 ERR 和 RXD 向微控制器提供相同的状态信息。

2.3.3 首次电池连接时引脚 INH 的行为

通过发送进入睡眠模式命令到控制引脚 STB 和 EN（“01”），TJA1053 可以在首次连接电池后直接进入睡眠模式（INH 悬空）。TJA1054 在首次连接电池电源后需要先进入正常模式，才能接收第一个进入睡眠命令。在已经设置了正常模式后，两个器件对这个事件的响应都一样。

TJA1054 的内部上电复位信号确保收发器在上电和 INH 输出安全设置到电池电平时成功复位。只要一进入正常模式，这个内部复位信号就被清除。清除内部复位信号不需要特殊的时序要求，因此只要在其他控制代码后设置 STB 和 EN 使进入正常模式即可。在大多数已有的应用中，这已经在系统冷启动程序内部执行了。

2.3.4 进入睡眠/唤醒的优先级

如果唤醒事件在向收发器的引脚 STB 和 EN (STB=0/EN=1) 持续发送进入睡眠命令时出现, TJA1053 的引脚 INH 会忽略这个唤醒事件。在进入睡眠的滤波时间后(见 TJA1054/TJA1054A 的数据表:“进入睡眠模式的反应时间”), INH 触发器被持续地清除, 因此将引脚 INH 设置成悬空的状态。第一次的唤醒事件和进入睡眠命令同时发送到 INH 引脚。甚至在有挂起的唤醒事件时, 连接在 INH 引脚的系统电压调节器也会被禁能。但 RXD 和 ERR 会用和挂起的睡眠命令不同的低输出电平发信唤醒事件。

对于 TJA1054, 这个性能得到了改善, 引脚 INH 上的任何唤醒事件都不会丢失。在 TJA1054 中, 唤醒事件比进入睡眠命令有更高的优先级。因此, 任何唤醒事件都会将 INH 复位到和进入睡眠命令不同的高输出电平。RXD 和 ERR 像 TJA1053 一样用低输出电平反映唤醒的情况。从软件上看, 当执行进入睡眠命令时要检测唤醒事件, 我们极力推荐两个收发器都监控引脚 RXD 和/或 ERR。在 μ C 的电源成功禁能前, 唤醒事件会使 INH 保持高电平或再次变成高电平。

2.3.5 其他问题

不同的软件驱动方式显示了在软件中实现一种 CAN 通讯监控, 在某个时间帧中期待 CAN 总线事件的优点。为了得到 CAN 总线仍然在正常工作的信心, 至少应当出现接收报文或成功发送报文。这在从双总线故障恢复到单总线故障的情况下非常重要。

由于 CAN 协议引擎有自动重复发送报文的机制, 可能会发生节点在没有从总线上接收到确认(响应)信息时, 持续重新发送一个报文的情况。持续发送的节点可能会锁死总线系统, 防止其他节点从双线总线故障向单线总线故障恢复。

因此, 在某一段时间内没有从 CAN 总线上接收到响应, 软件的等待发送请求应当被中止。在某些要求单线工作的总线故障下, 这个功能可以增加系统的可用性。

2.4 互操作性: TJA1053 和 TJA1054 的混合系统

2.4.1 概述

开发 TJA1054 的时候, 为了可以通过简单地替代 TJA1053, 将 TJA1054 平滑地迁移到已有应用上, 特别需要注意互操作性的问题。特别是, 当两个收发器在一个系统中混合使用时, 增强的总线故障管理(5V 短路)要小心地包含到已有的电路中, 避免系统停止。

TJA1054 被设计在没有互操作性风险的跑车系列中代替 TJA1053。

这两个器件的互操作性在系统的模拟以及硬件研究中得到证明。

这些研究的关键结果是:

- 纯 TJA1054 网络解决了 TJA1053 系统已知的弱点(在大网络中对故障 HxGND、5V 短路等等的唤醒)
- TJA1053 和 TJA1054 的混合系统至少有和纯 TJA1053 系统相同的性能; 在某些方面, 网络中 TJA1054 节点的增长甚至提高了整个系统的性能。
- 考虑在前面的章节中描述的问题, 两个收发器的混合系统对各种收发器的比例没有任何限制。

2.4.2 硬件互操作性的研究

为了研究收发器的互操作性问题, 我们建立了一个有 25 个节点的网络进行详细的研究。**典型的拓扑结构是星形, 是根据实际的汽车应用选择。**这个拓扑结构包括大于 5m 的电缆短截线, 总的电缆长度超过 55m。

要分析的最差情况包括微弱的总线故障条件、双线故障、地偏移和电源掉电。特别是在工作模式(正常模式/待机模式/睡眠模式)改变时同时出现这些总线故障情况。

2.4.3 硬件互操作性研究的结果

下面的表给出了使用比例不同的 TJA1053 和 TJA1054 的混合系统研究的概况。同时还给出了用相同拓扑的纯 TJA1053 系统的评估比较。

总线故障	标准通讯 (包括电阻故障)	有地偏移的通讯 (+/-1.5V)	在低电池电压下通讯	模式切换/唤醒的同时有总线故障情况	带本地丢失终端故障的通讯
0	无	✓	✓	✓	✓
1	H//	✓	✓	☺	☺
2	L//	✓	✓	✓	✓
3	HxBAT	☺	✓	✓	✓
3a	HxVCC	☺	☺	☺	☺
4	LxGND	✓	☺	✓	✓
5	HxGND	✓	✓	☺	✓
6	LxBAT	✓	☺	✓	✓
6a	LxVCC	✓	✓	☺	✓
7	HxL	✓	✓	✓	✓

符号

- (☺) 表示混合系统的性能比纯 TJA1053 系统性能好
- (✓) 表示混合系统的性能和纯 TJA1053 系统的性能一样
- (☹) 表示混合系统比纯 TJA1053 系统的性能差

2.5 结论

TJA1053 和 TJA1054 这两个收发器可以共同操作，同时在相同的网络中使用。这就允许在大量生产的跑车中逐渐从应用 TJA1053 转移到应用 TJA1054。

由于 TJA1054 引入了很多新的特性，在替代已有的 TJA1053 应用的收发器之前，请先浏览这个文档中的说明。

2.6 移植核对表

项目	TJA1053	TJA1054	说明
引脚 BAT 上的二极管	需要	可以移走	TJA1054 不会出现反向电流
引脚 ERR 上的电容	由软件决定	可以移走	功能集成到 TJA1054 中
引脚 WAKE 的敏感度	只在下跳沿	两个跳变沿	检查系统通过引脚 WAKE 唤醒的动作
在首次电池连接后的进入睡眠命令	一直都可以	只在进入正常模式后才可能	在首次电池连接后，设置 TJA1054 进入正常模式可以清除内部上电信号。
进入睡眠命令，唤醒事件的优先级	发出进入睡眠命令后，甚至在有唤醒事件时 INH 也会变成悬空	INH 保持高电平，在发出进入睡眠命令后出现唤醒事件也能响应	在切换到睡眠模式的时候，我们推荐在进入睡眠命令后监控引脚 RXD 和/或引脚 ERR，以检测唤醒事件。

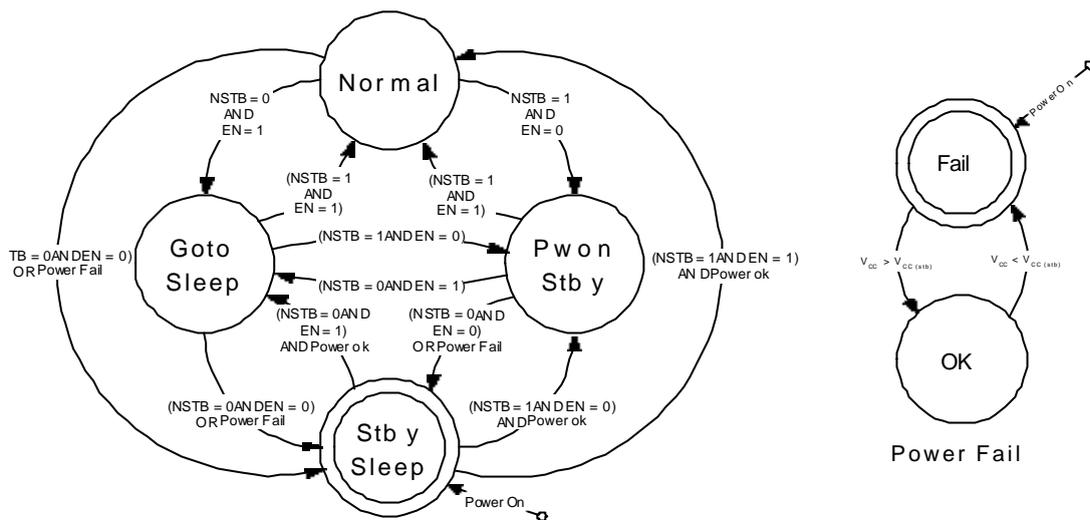


图 3 TJA1054 的工作模式

注意：只有在存在 VCC 电源，才可能从上电的状态（STB 和 EN=0）切换到其他状态。当 VCC 降到低于某个电平（见 TJA1054 的数据表：“强迫进入待机模式的电源电压”），它会自动进入自动防故障的待机模式（电源失效）。

基于所选择的工作模式，I/O 引脚为应用提供了不同的信息，这在下面的章节中详细描述。

3.2.1 正常模式

正常模式时，收发器用于向总线发送数据和从 CAN 总线接收数据。这里，引脚 RXD 反映了总线的信号，引脚 ERR 用低电平有效的信号发信总线故障情况。

3.2.2 进入睡眠

进入睡眠模式后，收发器立即进入低功耗操作，但引脚 INH 仍保持高电平。如果存在 VCC，内部唤醒触发器通过引脚 RXD 和 ERR 输出。这两个引脚的信号可以用一个低有效的信号唤醒应用。如果进入睡眠状态保持了一段时间（见 TJA1054 的数据表：“进入睡眠命令的反映时间”），TJA1054 的 INH 输出变“悬空”，禁用连接的外部电压调节器。应用可以保持在进入睡眠状态或切换到 Stby 睡眠模式，收发器在这两种模式中的性能没有任何差别。

通常，应用会自动切换到 Stby 睡眠模式，因为主控制器的电源在进入睡眠模式后禁用，因此在微控制器电源电压下降的同时控制引脚 STB 和 EN，使这两个引脚也下降为低电平。

3.2.3 Stby 睡眠

如果系统由于某些原因要在低功耗模式中保持外部电压调节器是激活的，就可以直接从正常模式进入这个 Stby 睡眠模式。引脚 INH 一直保持高电平，外部电压调节器激活。在这个模式中，RXD 和 ERR 像描述的进入睡眠状态一样可以发信唤醒的情况。

内部“子模式”待机和睡眠模式只由引脚 INH 的状态来区别。如果在前面已经成功地进入睡眠模式，INH 在 Stby 睡眠时是悬空的。

3.2.4 PWON Stby

这个模式的功能和 Stby 睡眠模式很相似，不同点是允许在引脚 ERR 读内部的 PWON 标志。这个标志

在收发器首次电池上电后设置。所以，系统可以区别冷启动是由系统睡眠引起的还是由器件首次连接电池引起的。

3.3 系统的唤醒

一旦收发器不在正常模式中，下面的事件可以唤醒系统：

- 本地唤醒 使用本地引脚 WAKE
- 远程唤醒 由 CAN 的总线通讯产生
- 模式切换 通过 STB 和 EN 进入正常模式

3.3.1 本地唤醒

收发器引脚 WAKE 的一个边沿可以引起本地唤醒。如果信号在一段时间内保持常值（见 TJA1054 的数据表：“引脚 WAKE 进行本地唤醒要求的时间”），一个正跳变沿以及一个负跳变沿都可以唤醒系统。因此，毛刺可被过滤掉，不会在不希望的情况下出现系统唤醒。

引脚 WAKE 出现跳变沿的结果是**内部唤醒触发器置位**，并在 ERR 和 RXD 输出。除此之外，引脚 WAKE 再次变成高电平，启动外部电压调节器。

注意，引脚 WAKE 向电池提供了一个内部的弱上拉电流，以便在开路时保持一个设定的状态。

3.3.2 远程唤醒

另一个可能唤醒系统的事件是 CAN 总线上的系统通讯。当总线由于一个 CAN 报文变成显性并且保持一段时间（见 TJA1054 的数据表：“在引脚 CANH 或 CANL 的远程唤醒显性时间”，内部唤醒**触发器置位**，引脚 INH 激活外部电压调节器。

3.3.3 模式切换

在收发器的 VCC 电源存在时，连接的主控制器可以通过将 STB 和 EN 设置成高电平而直接将收发器切换到正常模式。

3.4 状态图

在这一节中，我们收集了一些状态图，更详细地显示 TJA1054 的性能。

3.4.1 PWON 标志

当收发器首次上电或电池电压降低到低于某个限制值时（见 TJA1054 的数据表：“引脚 BAT 的电压上电标志”），PWON 标志置位。这个标志会在进入正常模式后清除。

3.4.2 引脚 INH

引脚 INH 由进入睡眠状态和唤醒事件控制。唤醒有一个优先级，它确保任何唤醒事件可以不管进入睡眠模式命令，保持外部电压调节器激活。

注意：只有在上电后进入正常模式一次才可能成功的进入睡眠。在首次进入睡眠模式前，确保系统已经成功启动，PWON 标志被清除。

3.4.3 唤醒标志

发生本地或远程唤醒事件后，内部的唤醒标志置位。这个标志在通过 STB 和 EN 进入正常模式后清除。这个标志的内容会根据相应的状态图通过 RXD 和 ERR 发信。

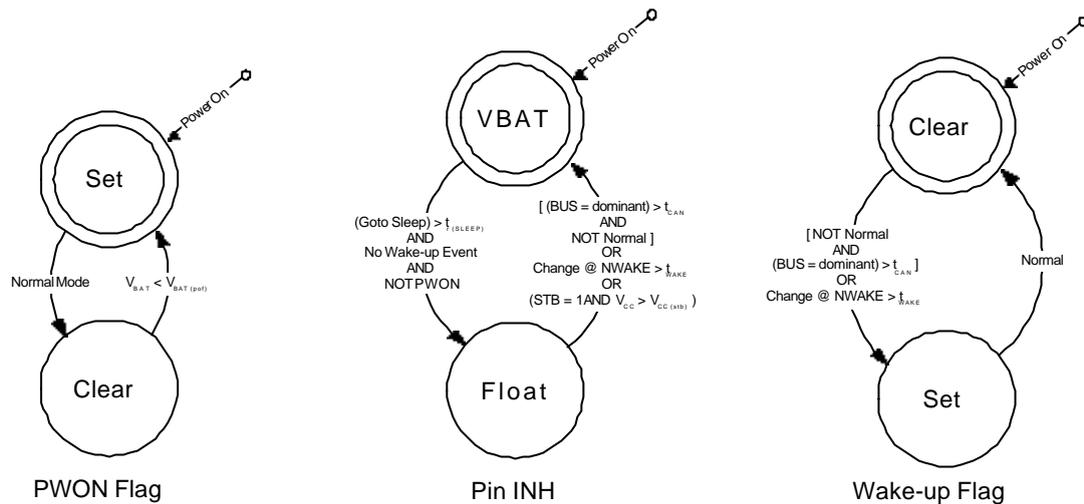


图4 状态图，PWON 标志、引脚 INH 和唤醒标志

3.4.4 引脚 RXD

在正常模式中，引脚 RXD 反映实际的总线信号。但当收发器的 VCC 电源存在，收发器切换到其中一种低功耗模式时，内部唤醒标志的内容会立即在引脚 RXD 反映出来。低电平表示唤醒。

3.4.5 引脚 ERR

引脚 ERR 用低电平在正常模式中发信总线故障的情况。当收发器切换到进入睡眠或 Stby 睡眠模式，内部唤醒标志通过 ERR 反映出来（和引脚 RXD 相似）。如果模式转换到 PWON Stby，ERR 立即切换为反映内部 PWON 标志。上电的情况用低电平来发信。请注意：引脚 ERR 的外部负载可能会产生一个延迟，将低电平改成高电平。典型的 μC 端口引脚对引脚 ERR 有大约 10pF 的负载。由于 ERR 有相应的弱上拉性能，对于快速工作的软件来说，这条线路需要一定的时间来充电。

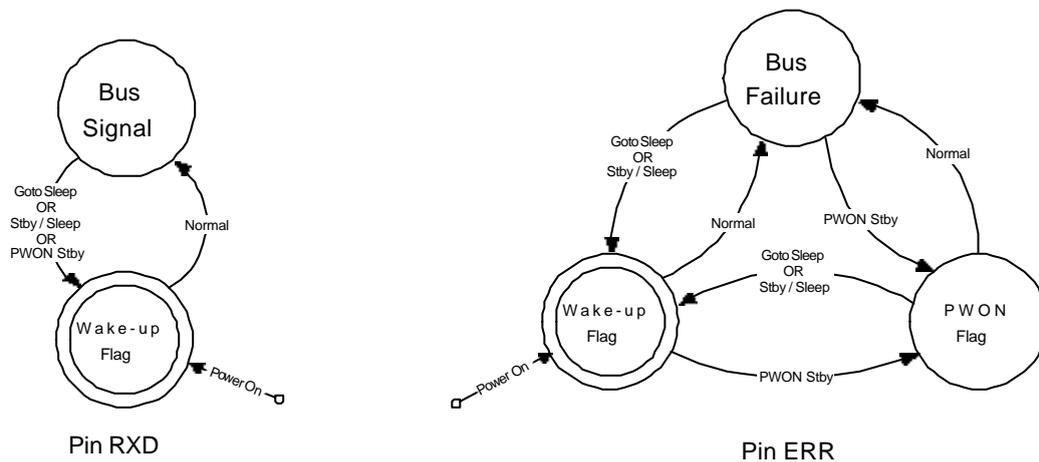


图5 状态图，引脚 RXD 和 ERR

4. Vcc 电源和推荐的旁路电容

4.1 使用的缩写列表

表 4.1 使用的缩写

符号	描述
I_{cc_dom}	当发送一个显性位而且引脚带有某种负载时引脚 VCC 的电源电流
I_{cc0_dom}	当发送一个显性位而且引脚没有负载时引脚 VCC 的电源电流
I_{CANH_dom}	当发送一个显性位而且总体的总线负载是额定的 100Ω 时引脚 CANH 的输出电流
I_{RTL_dom}	当发送一个显性位而且引脚带有某种负载时引脚 RTL 的输出电流
I_{cc_rec}	当发送一个隐性位时引脚 VCC 的电源电流
$I_{cc_norm_avg}$	假设没有总线故障和持续发送时引脚 VCC 的平均电源电流
$I_{cc_sc1_dom}$	当 CANH 对 GND 短路而且发送一个显性位时引脚 VCC 的电源电流
$I_{CANH_sc1_dom}$	当 CANH 对 GND 短路而且发送一个显性位时引脚 CANH 的输出电流
$I_{cc_sc1_avg}$	假设 CANH 对 GND 短路而且持续发送时引脚 VCC 的平均电源电流
ΔI_{cc_sc1}	当 CANH 对 GND 短路而且发送一个显性位时引脚 VCC 的电源电流的改变
$I_{cc_sc2_dom}$	引脚 CANH 和 CANL 都对 GND 短路而且发送一个显性位时引脚 VCC 的电源电流
$I_{RTL_sc_dom}$	当 CANL 对 GND 短路而且发送一个显性位时引脚 RTL 的输出电流
ΔI_{cc_sc2}	当 CANH 和 CANL 对 GND 短路而且发送一个显性位时引脚 VCC 电源电流的改变
V_{CC}	引脚 VCC 的电源电压
V_{CANL_dom}	当发送显性位时 CANL 上的电压电平
R_T	连接到引脚 RTL 和 RTH 的终端电阻
t_{dom_max}	可能的最大显性持续时间
ΔV_{max}	引脚 VCC 允许的最大电压改变
C_{BUFF}	电压调节器在 t_{dom_max} 内不发送额外电流的情况下所要求的保护电容

4.2 概述

要正确地使用容错的 CAN 收发器的 Vcc 电源，需要考虑两个参数：

- 1) 平均电源电流
- 2) 峰值电源电流

平均电源电流是用来计算要求的 Vcc 电压调节器的温度负载。峰值电源电流可能会在某段时间的某个总线故障条件下出现，因此对电源的保护有影响。

收发器的 Vcc 电源建议支持下面的特性：

表 4.2 电源电流的概述

项目	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
没有总线故障时的平均 Vcc 电源电流	44.5mA	44.5mA	41mA
在存在单总线故障时平均的 Vcc 电源电流	74.5mA	74.5mA	76mA
存在单总线故障最差情况下的峰值 Vcc 电源电流 (最大 6 个位定时)	139mA	139mA	141mA
存在双总线故障最差情况下的峰值 Vcc 电源电流 (最大 17 个位定时)	140mA	140mA	142mA

根据系统的电源概念和所使用的电压调节器芯片的调压性能，收发器需要有电容的保护。

当收发器使用一个独立的(不同于微控制器的电源电压) Vcc 电源电压时，单总线故障时的峰值电源电流和这个电源电压有关，因为在这里，通讯媒介需要保持不受故障影响。在最差的双总线故障情况中，它和电源电压是无关的，因为这里的通讯媒体已经完全不正常工作，收发器也不再需要上电。这样，系统

建议使用一个 47μF 的旁路电容，支持单总线故障。基于调压器的性能，如果调压器的时间常数足够快，这个电容可以更小。

当收发器和主控制器使用同一个 V_{CC} 电源时，要考虑在最差的双总线故障条件下的峰值电源电流。因为 μC 甚至要在完全可能没有 CAN 通讯的情况下保持正确地上电。建议这种系统使用一个 150μF 的旁路电容。基于调压器的性能，如果调压器的时间常数足够快，这个电容可以更小。

在增加 V_{CC} 电压调节器相应的旁路电容容量时，这个电容可以作为一个分离元件或是可选的元件。

下面将更详细地讨论相关的情况。

4.3 没有总线短路情况时的平均电源电流

在隐性状态时，不同收发器所消耗的 V_{CC} 电源电流都列在相应的数据表上。在显性状态，V_{CC} 电源电流是 IC 内部电源电流（见 TJA1054 的数据表：“无负载”情况）和引脚 CANH 和 RTL 的输出电流的和。

4.3.1 最大的显性电源电流（没有总线线路故障）

$$I_{cc_dom} = I_{cc0_dom} + I_{CANH_dom} + I_{RTL_dom} \quad (1)$$

$$I_{RTL_dom} = (V_{CC} - V_{CANL_dom}) / R_T \quad (2)$$

4.3.1.1 示范计算

没有总线线路故障的最大显性电源电流：

数据表/ 假设的项目	符号	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最大的显性 V _{CC} 电源电流，无负载	I _{cc0_dom}	35mA	35mA	27mA
CANH 显性电流	I _{CANH_dom}	40mA	40mA	40mA
假设的终端电阻	R _T	1k	1k	1k
假设的 CANL 显性电压	V _{CANL_dom}	1V	1V	1V

PCA82C252 : $I_{cc_dom\ 252} = 35mA + 40mA + (5V - 1V) / 1k = 79mA\ max.$ (Ex 1.1)

TJA1053 : $I_{cc_dom\ 1053} = 35mA + 40mA + (5V - 1V) / 1k = 79mA\ max.$ (Ex 1.2)

TJA1054 : $I_{cc_dom\ 1054} = 27mA + 40mA + (5V - 1V) / 1k = 71mA\ max.$ (Ex 1.3)

4.3.2 温度的考虑（没有总线线路故障）

考虑到温度的情况，引脚 V_{CC} 的平均电源电流和发送的占空比有关。在下面的例子中，假设有一个持续发送的节点。这种情况可能在例如一个节点开始发送，而网络的其他部分由于某些原因没有发出确认响应时发生。基于应用的网络管理，由于节点只在某个时间隙里发送报文相应的占空比就很低。假设引脚 TxD 的发送占空比是 50%，那么最大的平均电源电流是：

$$I_{cc_norm_avg} = 0.5 \cdot (I_{cc_rec} + I_{cc_dom}) \quad (3)$$

4.3.2.1 示范计算

没有总线线路故障的温度考虑：

项目	符号	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最大的隐性 V _{CC} 电源电流	I _{cc_rec}	10mA	10mA	11mA

PCA82C252 : $I_{cc_norm_avg\ 252} = 0.5 \cdot (10mA + 79mA) = 44.5mA\ max.$ (Ex 3.1)

TJA1053 : $I_{cc_norm_avg\ 1053} = 0.5 \cdot (10mA + 79mA) = 44.5mA\ max.$ (Ex 3.2)

TJA1054 : $I_{cc_norm_avg\ 1054} = 0.5 \cdot (11mA + 71mA) = 41mA\ max.$ (Ex 3.3)

4.4 一条总线线路出现短路时的平均电源电流

当一条总线线路在 CANH 和 GND 之间短路时将产生最大的 V_{cc} 电源电流。在这种情况下 CANH 在显性状态输出一个最大的短路电流（见数据表）。平均电源电流和温度的考虑有关。最大的显性电源电流和保护考虑有关。

4.4.1 最大的显性电源电流（其中 CANH 对 GND 短路）

$$I_{cc_sc1_dom} = I_{cc0_dom} + I_{CANH_sc1_dom} + I_{RTL_dom} \quad (t \leq 6 \text{ 个位定时}) \quad (4)$$

6 个位定时的限制是假设错误帧由 CAN 控制器的发送而产生。

4.4.1.1 示范计算

CANH 对 GND 短路时最大的显性电源电流：

项目	符号	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
CANH 显性电流，短路	$I_{CANH_sc1_dom}$	100mA	100mA	110mA

PCA82C252 : $I_{cc_sc1_dom\ 252} = 35\text{mA} + 100\text{mA} + (5\text{V} - 1\text{V}) / 1\text{k} = 139\text{mA max.}$ (Ex 4.1)

TJA1053 : $I_{cc_sc1_dom\ 1053} = 35\text{mA} + 100\text{mA} + (5\text{V} - 1\text{V}) / 1\text{k} = 139\text{mA max.}$ (Ex 4.2)

TJA1054 : $I_{cc_sc1_dom\ 1054} = 27\text{mA} + 110\text{mA} + (5\text{V} - 1\text{V}) / 1\text{k} = 141\text{mA max.}$ (Ex 4.3)

4.4.2 温度的考虑（其中 CANH 对 GND 短路）

考虑到温度的情况，引脚 V_{cc} 的平均电源电流和发送的占空比有关。假设引脚 TxD 的发送占空比是 50%，那么最大的平均电源电流是：

$$I_{cc_sc1_avg} = 0.5 \cdot (I_{cc_rec} + I_{cc_sc1_dom}) \quad (5)$$

4.4.2.1 示范计算

考虑到温度的 CANH 对 GND 短路：

PCA82C252 : $I_{cc_sc1_avg\ 252} = 0.5 * (10\text{mA} + 139\text{mA}) = 74.5\text{mA max.}$ (Ex 5.1)

TJA1053 : $I_{cc_sc1_avg\ 1053} = 0.5 * (10\text{mA} + 139\text{mA}) = 74.5\text{mA max.}$ (Ex 5.2)

TJA1054 : $I_{cc_sc1_avg\ 1054} = 0.5 * (11\text{mA} + 141\text{mA}) = 76\text{mA max.}$ (Ex 5.3)

4.4.3 单总线故障下 V_{cc} 的额外电源电流

和隐性状态的最大电流相比，最大的额外电源电流（在 CANH 驱动器的 CANH 对 GND 短路时产生）需要用来计算在最差情况下要求的 V_{cc} 保护电容。基于应用所使用的电压调节器必须在 6 个位定时内为这个额外的电源电流提供缓冲。

$$\Delta I_{cc_sc1} = I_{cc_sc1_dom} - I_{cc_rec} \quad (6)$$

4.4.3.1 示范计算

在单总线故障情况下的 V_{cc} 额外电源电流：

项目	符号	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最小的 V_{cc} 电源电流，隐性	I_{cc_rec}	3.5mA ¹⁾	3.5mA ¹⁾	4mA

1) 估计的最小的静止电流，这个值没有指定到 PCA82C252 和 TJA1053。

$$\text{PCA82C252: } \Delta I_{\text{cc_sc1 252}} = 139 \text{ mA} - 3.5 \text{ mA} = 135.5 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 6.1})$$

$$\text{TJA1053: } \Delta I_{\text{cc_sc1 1053}} = 139 \text{ mA} - 3.5 \text{ mA} = 135.5 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 6.2})$$

$$\text{TJA1054: } \Delta I_{\text{cc_sc1 1054}} = 141 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 137 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 6.3})$$

4.5 最差的双总线短路时的最大 Vcc 电源

在总线线路 CAN_H 和 CAN_L 对地双总线短路下，最差情况会流过最大的 Vcc 电源电流。这种情况下不可能进行通讯。不过，应用的电源应当向微控制器的 Vcc 提供正确的 Vcc，防止错误的操作。

如果收发器使用独立的电压调节器供电，不需要忧虑这个双短路的情况，因为一旦出现欠电压的情况，收发器就在自动防故障的情况下工作，而且 μC 仍然由自己的电源上电。

如果收发器和微控制器共享一个电源电压，要求的保护电容大小就和这个双线故障的情况有关。

4.5.1 在最差的双线故障情况下最大的 Vcc 电源电流

$$I_{\text{cc_sc2_dom}} = I_{\text{cc0_dom}} + I_{\text{CANH_sc1_dom}} + I_{\text{RTL_sc_dom}} \quad (t \leq 17 \text{ 个位时间}) \quad (7)$$

$$I_{\text{RTL_sc_dom}} = V_{\text{cc}} / R_T \quad (8)$$

17 个位时间的限制由 CAN 协议产生。由于出现 CANH 和 CANL 对 GND 短路的双总线故障情况，收发器的 RxD 引脚被持续地钳位在隐性状态（CANL 到 GND 将强制 CANH 工作；CANH 钳位在隐性）。

CAN 控制器启动传输的时候，显性的帧起始位不会通过 RxD 反馈，因此由于位故障情况产生了一个错误帧（TX 错误计数器加 8）。错误标志的首位也不会再在 RxD 反馈，因此产生下一个错误标志（TX 错误计数器加 8）。

延续了 17 个位时间后，由启动传输前的 TX 错误计数器级别决定，CAN 控制器是否达到错误认可的限制（128）并停止发送显性位。在 25 个显性的位序列后（8 位错误界定符+3 位间断+8 位等待传输），Vcc 电流变成隐性。

此时，只输出单个显性位（帧的起始）加上 25 个隐性位（认可错误标志+间断+等待传输），直到 CAN 控制器进入离线状态。

所以，在最差的双总线故障情况下计算 Vcc 电压源，基于所使用的电压调节器性能，旁路电容要在高达 17 个位时间内保护电源。

4.5.1.1 示范计算

在最差的双总线故障情况下，最大的 Vcc 电源电流：

$$\text{PCA82C252: } I_{\text{cc_sc2_dom 252}} = 35 \text{ mA} + 100 \text{ mA} + 5V / 1k = 140 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 7.1})$$

$$\text{TJA1053: } I_{\text{cc_sc2_dom 1053}} = 35 \text{ mA} + 100 \text{ mA} + 5V / 1k = 140 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 7.2})$$

$$\text{TJA1054: } I_{\text{cc_sc2_dom 1054}} = 27 \text{ mA} + 110 \text{ mA} + 5V / 1k = 142 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 7.3})$$

4.5.2 在双总线故障情况下的 Vcc 额外电源电流

和隐性状态的静态电流相比，最大的额外电源电流（在 CANH 驱动器在双短路情况下打开时产生）需要用来计算在最差情况下要求的 Vcc 保护电容。这个额外的电源电流要在应用的电压调节器作出反应动作前受到保护。

$$\Delta I_{\text{cc_sc2}} = I_{\text{cc_sc2_dom}} - I_{\text{cc_rec}} \quad (9)$$

4.5.2.1 示范计算

在双总线故障情况下 Vcc 额外电源电流：

项目	符号	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最小的 Vcc 电源电流，隐性	I _{cc_rec}	3.5mA ¹⁾	3.5mA ¹⁾	4mA

1) 估计的最小的静止电流，这个值没有指定到 PCA82C252 和 TJA1053。

$$\text{PCA82C252: } \Delta I_{cc_sc2\ 252} = 140 \text{ mA} - 3.5 \text{ mA} = 136.5 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 9.1})$$

$$\text{TJA1053: } \Delta I_{cc_sc2\ 1053} = 140 \text{ mA} - 3.5 \text{ mA} = 136.5 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 9.2})$$

$$\text{TJA1054: } \Delta I_{cc_sc2\ 1054} = 142 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 138 \text{ mA max.} \quad (\text{Ex 9.3})$$

4.6 最差情况的旁路电容计算

要求最差情况的旁路电容可以在电源的概念下计算出来。如果收发器使用独立的 Vcc 电源，在单总线故障的情况下，额外的电源电流 ΔI_{cc_sc} 要在最大 6 个位时间内受到保护。

如果收发器和主控制器用相同的调压器供电（共享 Vcc 电源），在双总线故障的情况下，额外的电源电流 ΔI_{cc_sc} 要在最大 17 个位时间内受到保护。

$$C_{\text{BUFF}} = \Delta I_{cc_sc} \cdot t_{\text{dom_max}} / \Delta V_{\text{max}} \quad (10)$$

在双总线故障情况中，如果电压调节器在最大的显性输出驱动 $t_{\text{dom_max}}$ 的时间内不能发送任何额外的电流，就需要这个电容 C_{BUFF} 。

4.6.1 示范计算，独立供电的收发器@83,33kBit/s

在独立供电的收发器中，旁路电容要在 CANH 对 GND 短路的单线故障情况下计算。这个和双线故障无关。

$$\text{假设位速率是 } 83,33\text{kBit/s: } t_{\text{dom_max}} = 6 * 12\mu\text{s} = 72\mu\text{s}$$

$$\text{允许的最大 Vcc 电压降: } \Delta V_{\text{max}} = 0.25\text{V}$$

$$\text{PCA82C252: } C_{\text{BUFF } 252} = 135.5 \text{ mA} * 72 \mu\text{s} / 0.25 \text{ V} = 39 \mu\text{F} \quad (\text{Ex 10.1})$$

$$\text{TJA1053: } C_{\text{BUFF } 1053} = 135.5 \text{ mA} * 72 \mu\text{s} / 0.25 \text{ V} = 39 \mu\text{F} \quad (\text{Ex 10.2})$$

$$\text{TJA1054: } C_{\text{BUFF } 1054} = 137 \text{ mA} * 72 \mu\text{s} / 0.25 \text{ V} = 39,5 \mu\text{F} \quad (\text{Ex 10.3})$$

在收发器的位速率是 83,33kBit/s 的例子中，为收发器的 Vcc 电源保留的最小旁路电容建议是 39.5 μ F。如果使用的电压调节器可以在 $t_{\text{dom_max}}$ 中发送一个额外的电流，这个电容可以更小。

4.6.2 示范计算，共享电源

在共享电源的概念下，为了保持 μ C 电源的稳定，旁路电容要在双总线故障的情况下计算。

$$\text{假设位速率是 } 83,33\text{kBit/s: } t_{\text{dom_max}} = 17 * 12\mu\text{s} = 204\mu\text{s}$$

$$\text{允许的最大 Vcc 电压降: } \Delta V_{\text{max}} = 0.25\text{V}$$

$$\text{PCA82C252: } C_{\text{BUFF } 252} = 136.5 \text{ mA} * 204 \mu\text{s} / 0.25 \text{ V} = 111.4 \mu\text{F} \quad (\text{Ex 10.1})$$

$$\text{TJA1053: } C_{\text{BUFF } 1053} = 136.5 \text{ mA} * 204 \mu\text{s} / 0.25 \text{ V} = 111.4 \mu\text{F} \quad (\text{Ex 10.2})$$

$$\text{TJA1054: } C_{\text{BUFF } 1054} = 138 \text{ mA} * 204 \mu\text{s} / 0.25 \text{ V} = 113 \mu\text{F} \quad (\text{Ex 10.3})$$

在收发器位速率是 83,33kBit/s 的例子中，为收发器的 Vcc 电源保留的最小旁路电容建议是 113 μ F。如果使用的电压调节器可以在 $t_{\text{dom_max}}$ 中发送一个额外的电流，这个电容可以更小。

5. 总线终端和 EMC 问题

5.1 如何确定总线终端的电阻值的一些基本规则

容错的 CAN 收发器在总的终端电阻是 100 Ω 的应用下使用有最优的系统性能。这就是说，CANH 线和 CANL 线都要端接 100 Ω 的电阻。由于容错系统的终端分布在整个网络中，每个收发器都提供 100 Ω 终端的一部分。所以，基于整个系统的大小，可以计算出单个节点的本地终端电阻。

终端电阻在每个控制单元内连接收发器相应的 RTH 和 RTL 引脚。

5 node system : 500 Ohms termination at each transceiver,

10 node system : 1000 Ohms termination at each transceiver

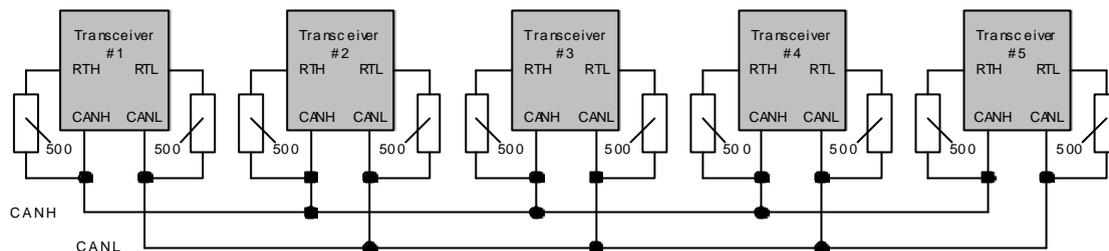


图 6 有 5 个节点的示范网络，每个节点有 500Ω 终端

不要求系统中每个收发器都要有相同的终端电阻值。但总的终端应当是 100Ω。我们不推荐整个系统的终端低于 100Ω，因为 CAN 输出驱动器的负载限制在 100Ω。

基于引脚 RTL 和 RTH 的驱动能力，每个收发器允许的最小终端电阻值是 500Ω。所以少于 5 个收发器的系统不可能得到最优的 100Ω 终端。实际上这通常不是一个问题，因为这样的“小”系统比大网络的总线电缆长度会短很多，因此总的终端电阻高一点没有什么问题。

我们建议单个收发器的终端电阻不要超过大约 6kΩ，以保证系统在总线线路中断时可以提供优良的 EMI（电磁抗干扰）性能。收发器最高可以使用 16kΩ 的终端电阻。

5.1.1 可变大小的系统，可选择的节点

在系统大小可被的情况下，我们建议使用可选的节点，使总体的端电阻接近一直存在的标准节点所提供的 100Ω。可选节点的终端电阻应该比标准节点的高很多，但考虑到 EMI 方面的问题，我们建议可选节点的电阻不超过大约 6kΩ。

5.1.1.1 示范计算可变大小的系统

整个示范系统共有 15 个节点，其中 5 个是可选的节点，只在需要时工作：

10 个标准节点的终端： 1.2kΩ 每节点

5 个可选节点的终端： 3kΩ 每节点

总的系统终端，只有标准节点： 1.2kΩ/10 节点=120Ω（接近 100Ω）

总的系统终端，15 节点： （3kΩ/5 节点）并（联）上 120Ω=100Ω

如何在网络中分配终端没有一个通用的规则。一个经验是：“电缆连接线越长，本地终端选值越低”。

5.2 从 EMC 的考虑总线端电阻的容差

在单个节点中终端电阻的对称性对系统的 EME（电磁辐射）性能起主要影响。因此，每个控制单元的终端电阻良好地匹配非常重要。这就是说，在一个控制单元中，RTH 电阻和 RTL 电阻的值应正好相等，使在信号转换时在每条总线线路上都能得到相同的时间常数。两个不同的控制单元可以有完全不同的终端电阻值（见 5.1.1 “可变大小的系统，可选的节点”）。

获得良好的 EME 性能的原理是如果两条 CAN 线路传输正好大小相同但极性相反的信号，这样的总线差动信号由于补偿作用消除了线路上任何的辐射。

这个收发器在设计中只能为显性的转换提供理想的对称性。隐性的转换主要由终端电阻和网络电缆本身驱动。所以不仅是收发器的输出驱动对 EME 性能有影响，终端以及电缆的对称性也对它有影响。

我们建议相同节点的终端电阻的精确度（RTH 比 RTL）要达到 1% 或更小。而且总线电缆至少是双绞线电缆，使两条总线线路的电容性负载相同，使 EMC 性能更优良。

如果印刷电路板布线的 CAN 线路由于线路长度不同而有不同的电容性负载，很明显这对系统的 EMC 性能有显著的影响。

5.3 总线终端电阻 R_T 的输出电流和功率消耗

5.3.1 概述

我们建议连接在容错的收发器上的总线终端电阻 R_T 应可以经受住下面的功率消耗（@ $R_T \geq 1000 \Omega$ ）：

PCA82C252： 64 mW

TJA1053： 64 mW

TJA1054： 31.7 mW

我们将在下面的章节中更详细地讨论这个问题。

5.3.2 无总线故障的平均功率消耗

为了计算连接到引脚 RTH 和 RTL 的终端电阻的功率消耗的大小，要考虑显性位和隐性位之间的平均功率消耗。而且还要考虑某个模块的地偏移对系统有影响的最差情况。

假设，CAN 帧在最差情况下（由于填充和固定的隐性帧段）的显性位比率是 0.75。那么平均功率消耗的计算如下：

$$P_{avg} = 0.75 \cdot (V_{CC} + V_{GND})^2 / R_T \quad (11)$$

5.3.2.1 示范计算平均功率消耗

假设： $R_T = 1000 \Omega$

$$P_{avg} = 0.75 \cdot (5V + 1.5V)^2 / 1000 \Omega = 31.7mW \quad (Ex 11.1)$$

5.3.3 最大的持续功率消耗（单总线故障）

由于 PCA82C252 和 TJA1053 不为 CANH 对 V_{CC} 短路提供一个故障检测器，所以在 CANH 对 8V 短路时会流过最大的持续电流。这就是最大的 CANH 对电池短路检测阈值。

当出现对 V_{CC} 短路的情况时，TJA1054 收发器检测出的阈值是 1.85V。

$$P_{cont} = (V_{det max})^2 / R_T \quad (12)$$

5.3.3.1 示范计算最大的持续功率消耗

假设： $R_T = 1000 \Omega$ ，连接到 RTH

$$PCA82C252： P_{cont} = (8 V)^2 / 1000 \text{ Ohms} = 64 \text{ mW} \quad (Ex 12.1)$$

$$TJA1053： P_{cont} = (8 V)^2 / 1000 \text{ Ohms} = 64 \text{ mW} \quad (Ex 12.2)$$

$$TJA1054： P_{cont} = (1.85 V)^2 / 1000 \text{ Ohms} = 3.4 \text{ mW} \quad (Ex 12.3)$$

5.3.4 最大的峰值功率消耗（单总线故障）

CANH 对 V_{BAT} 短路时会出现峰值电流。在器件指定的检测时间后，总线故障检测器会切断 RTH 的偏置。因此，这个峰值电流只在一个很短的时间内流过。

$$P_{peak} = V_{BAT}^2 / R_T \quad (t < t_{det_HBAT}) \quad (12)$$

5.3.4.1 示范计算最大的峰值功率消耗

项目	符号	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最大的故障检测时间，CANH 对 VBAT 短路	t_{det_HBAT}	60 μ s	60 μ s	8ms

假设： $R_T=1000\Omega$ ， $V_{BAT}=27V$

PCA82C252： $P_{peak} = (27V)^2 / 1000\text{ Ohms} = 730\text{ mW}$ 小于 60 μ s (Ex 13.1)

TJA1053： $P_{peak} = (27V)^2 / 1000\text{ Ohms} = 730\text{ mW}$ 小于 60 μ s (Ex 13.2)

TJA1054： $P_{peak} = (27V)^2 / 1000\text{ Ohms} = 730\text{ mW}$ 小于 8 ms (Ex 13.3)

由于峰值电流只在很短的时间内流过，它典型地与终端电阻无关。最重要的是 TJA1054 的平均功率消耗 (23.7mW) 和 TJA1053/PCA82C252 的最大持续功率消耗 (64mW)，因为这是相应器件的最差情况。

6. ESD 保护

容错的收发器 PCA82C252、TJA1053 和 TJA1054 都提供了一个集成的 ESD 保护电路。根据这些产品的数据表，它们允许 2kV 的人体模型以及 200V 的机器模型。这些限制是为标准的独立产品定义，并没有在一个实际的应用中定义。如果收发器安装在一个印刷线路板上，其额外的线路和连接器的电容性负载，会使 ESD 的限制进一步提高。

6.1 TJA1054A 的改良 ESD 性能

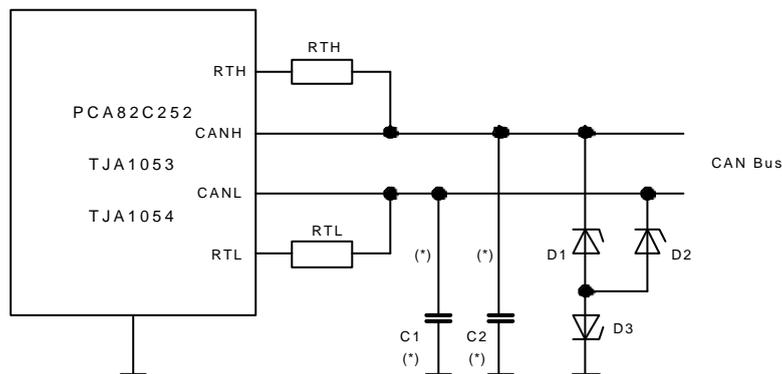
由于要求进一步提高收发器集成的 ESD 性能，TJA1054 的后继产品 TJA1054A 在 ESD 方面作了改良。TJA1054A 允许高达 4kV 的人体模型和 300V 的机器模型 (不带外部元件)。TJA1054A 和以前的收发器产品完全兼容而且可以互操作。

ESD 项目		PCA82C252/TJA1053/TJA1054	TJA1054A
人体模型	引脚 RTH, RTL, CANH, CANL	2kV	4kV
	其他引脚	2kV	2kV
机器模型	所有引脚	200V	300V

6.2 可选的外部 ESD 改良

如果收发器不能直接达到某些应用所规定的 ESD 要求，可以选择外部钳位二极管和变阻器连接到所应用的 CAN 总线接口。

在下面所显示的电路中，当 CAN 总线线路受到 ESD 脉冲的影响时，将限制出现在容错的 CAN 收发器 IC 引脚 CANH 和 CANL 上的峰值电压。



D1 = D2 = D3 : stand-off voltage > max. bus line DC voltage, e.g. BZG04-27 or equiv. for bus line voltages $\leq +27V$

C1 = C2 = 100 pF to 330 pF

(*) Note: minimize inductance & length of C1 and C2 leads

图 7 可选的 ESD 保护举例

7. 引脚 BAT 的串联电阻

在确定连接到 TJA1053/TJA1054 收发器的电源输入 BAT (引脚 14) 的串联电阻 (R_{BAT}) 时, 我们建议考虑下面的因素。推荐使用的最小串联电阻是大约 $1k\Omega$, 它可以保护电源不受汽车瞬态的影响。另一方面, 串联电阻对电池电压有一个电压降, 因此可以使工作电压减少到最小。 R_{BAT} 串联电阻上的电压降可以用下面的因素计算:

符号	参数	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
V_{BAT}	最小的工作电压	6V	6V	5V
I_{BAT}	基本的 BAT 电源电压 ($V_{BAT}=12V$)	75 μ A	90 μ A	50 μ A (12V) 125 μ A (5~27V)
I_{IL}	WAKE 的输入电流	250 μ A	70 μ A	10 μ A
I_{INH}	最大的 INH 负载 (当使用的时候)	180 μ A	180 μ A	180 μ A
R_{RTL}	低功耗模式中 RTL 对 V_{BAT} 的开关串联电阻	$R_{RTL}=10\sim 28k$	$R_{RTL}=8k\sim 23K$	-
I_{RTL}	低功耗模式中的 RTL 电流	-	-	$I_{RTL}=0.3mA\sim 1.25mA$
R_T	连接到 RTL 的总线终端电阻	0.5k~16k	0.5k~16k	0.5k~16k
I_{BATN}	正常模式下总的 BAT 电流	75 μ A+250 μ A+ 180 μ A=505 μ A	90 μ A+70 μ A+ 180 μ A=340 μ A	125 μ A+10 μ A+ 180 μ A=315 μ A
	正常模式下 $R_{BAT}=1k$ 时最大的 R_{BAT} 电压降	0.51V	0.34V	0.32V
I_{RTL}	最大的 RTL 负载 (只应用到低功耗模式)	$V_{BAT}/(R_{RTL}+R_T)$ =12V/(8k+0.5k) =1.41mA	$V_{BAT}/(R_{RTL}+R_T)$ =12V/(8k+0.5k) =1.41mA	1.25mA
I_{BATL}	低功耗模式中的 BAT 总电流 ($V_{BAT}=12V$)	0.51mA+1.41mA =1.92mA	0.34mA+1.41mA =1.75mA	0.32mA+1.25mA =1.57mA
	低功耗模式下 $R_{BAT}=1k$ 时最大的 R_{BAT} 电压降 ($V_{BAT}=12V$)	1.92V	1.75V	1.57V

我们建议连接到电源引脚 BAT 的串联电阻是 $1k\Omega\sim 2k\Omega$ 。

8. 引脚 WAKE 的串联电阻

如容错的收发器的应用结构图所示, 在 GND 上应用了一个外部开关的情况下, 我们建议在引脚 WAKE 的前面连接一个串联电阻。这个电阻的目的是在控制单元丢失了 GND 连接时限制流过的电流。这个电阻只在 ECU 可能丢失了自己的 GND 连接 (由于接触故障) 时有用, 而连接到引脚 WAKE 的外部唤醒源仍然连接到 GND。

如果 ECU 级丢失了 GND, 很可能整个控制单元变成通过外部唤醒开关连接到一个独立的 GND 源 (见图 8)。为了限制这个特殊故障情况的电流, 就要求一个串联电阻来保护这个收发器。

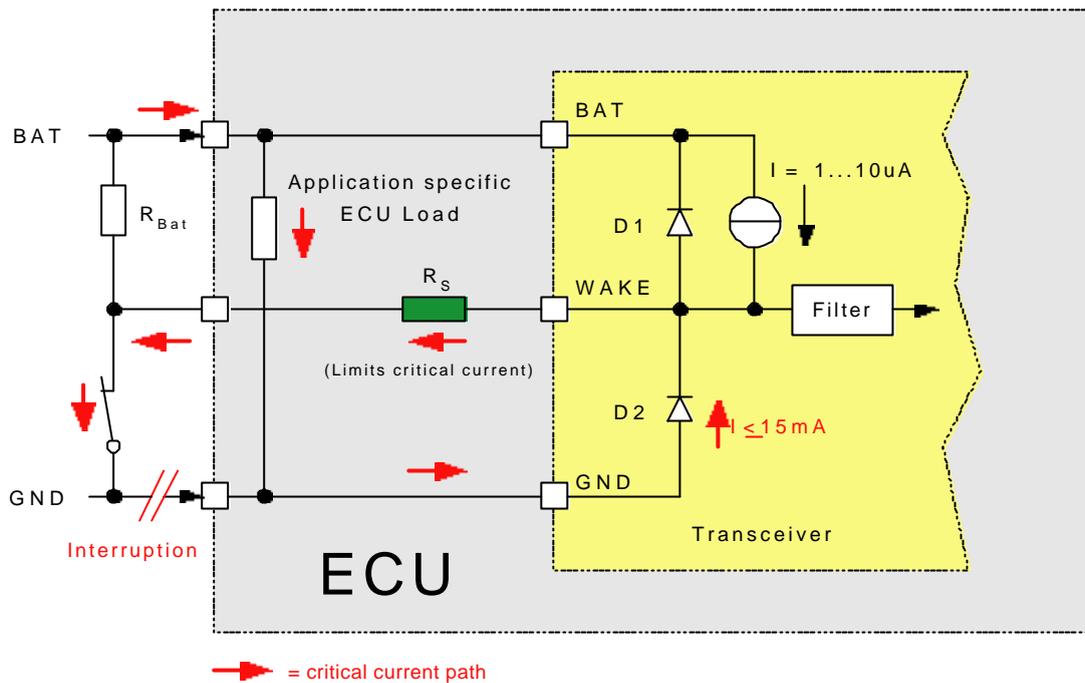


图 8 “丢失 GND”时的故障电流通路

图 8 中的上拉电阻 R_{BAT} 是用来保证在外部唤醒开关闭合时流过一个规定的电流。机械开关的内部（接触腐蚀...）必须为这个电流提供一个良好的通路。收发器到引脚 BAT 的集成上拉电流源不适合向应用提供电流，它只在出现开路故障的情况时在引脚 WAKE 得到一个规定的（电流）级。

8.1 定义 R_s 范围的参数

连接到引脚 WAKE 的串联电阻 R_s 的值由下面的参数限制：

- 引脚 WAKE 的允许最大电流
- 引脚 WAKE 的输入唤醒阈值电压
- 引脚 WAKE 的内部上拉电流源
- ECU 和外部唤醒开关之间的容许的最大系统 GND 偏移
- 最大的电池电压

引脚 WAKE 允许的最大电流可以在相应收发器数据表的“限制值”里面找到。引脚 WAKE 的输入阈值电压和上拉电流也可以在相应收发器数据表的“DC 特性”部分中找到。我们将相关的值收集在下面的表中：

参数	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最大输入电流 I_{WAKE}	-15mA	-15mA	-15mA
最小的输入阈值 $V_{th(WAKE)}$	1.2V	1.7V	2.5V
最大的上拉电流 I_{IL}	250 μ A	70 μ A	10 μ A

8.2 计算 R_s 的极值

可能的最大串联电阻 R_s 由引脚 WAKE 的唤醒阈值、ECU 和收发器之间的 GND 偏移和引脚 WAKE 集成的上拉电流源定义。用下面的公式可以算出允许的最大串联电阻：

$$V_{RSMAX} = V_{th(WAKE)MIN} - V_{GNDMAX}$$

$$R_{S\text{MAX}} = \frac{V_{R\text{SMAX}}}{I_{\text{IL}}} = \frac{(V_{\text{th(WAKE)MIN}} - V_{\text{GNDMAX}})}{I_{\text{IL}}}$$

其中 V_{GND} = 收发器和唤醒开关之间的 GND 偏移

允许的最小串联电阻 R_s 由引脚 WAKE 允许的最大输入电流决定。甚至是 VBAT 到达它的最大电压时，也不能超过这个最大电流。因此，最小的串联电阻 R_s 的计算如下：

$$R_{S\text{MIN}} = \frac{V_{\text{BatMAX}}}{I_{\text{WAKE}}}$$

8.3 示范计算

假设在唤醒开关和收发器芯片之间有 0.5V 的 GND 偏移，可能的最大串联电阻计算如下（TJA1054）：

$$R_{S\text{MAX}} = \frac{(V_{\text{th(WAKE)MIN}} - V_{\text{GNDMAX}})}{I_{\text{IL}}} = \frac{(2.5\text{V} - 0.5\text{V})}{10\text{A}} = 200\text{k}\Omega$$

$$R_{S\text{MIN}} = \frac{V_{\text{BatMAX}}}{I_{\text{WAKE}}} = \frac{27\text{V}}{15\text{mA}} = 1.8\text{k}\Omega$$

参数	条件	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最大的串联电阻 $R_{S\text{MAX}}$	0.5V GND 偏移	2.8k	17.1k	200k
最小的串联电阻 $R_{S\text{MIN}}$	27V 电池电源	1.8k	1.8k	1.8k

9. 引脚 TXD 的串联电阻

通常，CAN 协议控制器在 TXD 输出提供相对强的输出电平和快速的信号转换斜率。这些急剧上升的跳变沿可能在 CAN 总线线路上产生额外的电磁辐射（EME）。为了减少系统的 EME，通常在 CAN 控制器的 TXD 引脚和收发器的 TXD 引脚之间连接一个串联电阻 R_{TXD} 。

由于收发器在引脚 TXD 提供内部的上拉特性，所以外部串联电阻的范围就受到限制。

9.1 定义 R_{TXD} 范围的参数

下面的参数限制了连接在引脚 TXD 的外部串联电阻的值：

- 引脚 TXD 的最大内部上拉电流（ $I_{\text{IL TXD MAX}}$ ）
- 收发器引脚 TXD 的最大显性输入阈值（ $V_{\text{IL TXD MAX}}$ ）
- CAN 控制器引脚 TXD 的显性驱动能力（ $V_{\text{DOM TXD MAX}}$ ）

参数	PCA82C252	TJA1053	TJA1054
最大的 TXD 输入电流 $I_{\text{IL TXD MAX}}$	800 μA	800 μA	800 μA
最大的显性输入阈值 $V_{\text{IL TXD MAX}}$	0.3Vcc	0.3Vcc	0.3Vcc

9.2 计算 R_{TXD} 的极限值

TXD 线路上可能的最大串联电阻的计算如下：

$$V_{R\text{TXD MAX}} = V_{\text{IL TXD MIN}} - V_{\text{DOM TXD MAX}}$$

$$V_{\text{IL TXD MIN}} = V_{\text{CC MIN}} \times 0.3$$

$$R_{\text{TXD MAX}} = \frac{V_{R\text{TXD MAX}}}{I_{\text{IL TXD MAX}}} = \frac{V_{\text{CC MIN}} \times 0.3 - V_{\text{DOM TXD MAX}}}{I_{\text{IL TXD MAX}}}$$

9.3 示范计算

假设最小的收发器电源电压 $V_{\text{CC MIN}} = 4.75\text{V}$ ，CAN 控制器的驱动能力 $V_{\text{DOM TXD MAX}} = 0.4\text{V}$ ，那么收发器和 CAN 控制器 TXD 之间允许连接的最大的串联电阻计算如下：

$$R_{TXD_{MAX}} = \frac{V_{CC_{MIN}} \times 0.3 - V_{DOM_{TXD_{MAX}}}}{I_{LT_{TXD_{MAX}}}} = \frac{4.75V \times 0.3 - 0.4V}{800 A} = 1.28k\Omega$$

这里要注意，TXD 连接上的任何串联电阻都会增加系统的传输延迟，因此对**定时**情况会有影响。**请逐个地检查，看目标应用是否可以容忍这个额外的延迟**，特别是在收发器的 TXD 连接了额外电容的时候。收发器的引脚在添加了一个高达 1.28kΩ 的串联电阻后，其电容不会引起明显的延迟。

10. 硬件设计的检查核对表

下表列出了进行正确系统设计时需要检查的硬件问题。

编号	引脚	说明
1	VBAT	建议连接一个 1k~2K 的串联电阻，在 VBAT 的瞬态时增加其健壮性（见第 7 章）
2	VCC	根据第 4 章检查是否正确保护
3	RTH RTL	检查系统的终端，总的终端大约是 100Ω，单个节点的终端建议不超过大约 6kΩ（见前面）
4	INH	INH 是一个和 VBAT 相连的引脚（向 VBAT 开漏输出），因此不适合直接连接到微控制器的输入端口，可以先连接外部钳位电路或电平调节电路再连接微控制器的输入
5	WAKE	INH 是一个和 VBAT 相连的引脚（内部上拉到 VBAT），因此不适合直接连接到微控制器的输入端口，可以先连接外部钳位电路或电平调节电路再连接微控制器的输入
6	WAKE	集成上拉到 VBAT 的输出驱动能力的目的是在由于 PCB 的故障造成开路故障时这个引脚能保持在规定的电平上。一些 μA 的内部上拉不适合由像开集电极的双极性晶体管的外部电路直接触发。这种晶体管的漏电流足够可以在 WAKE 上产生一个持续的低电平，因此任何跳变沿都不能唤醒。如果引脚是给本地唤醒源使用，我们推荐使用一个外部默认负载或一个推挽驱动器。（例如：到 BAT 的上拉电阻..）
7	WAKE	如果不使用引脚 WAKE，考虑到抗干扰的问题我们建议不要让它开路。特别在一些可选的线路连接到这个引脚时，这个线路就象潜在的天线一样发出环境噪声。由于有向 VBAT 的集成上拉和模拟滤波器，不期望的唤醒信号永远不会出现在开路的 WAKE 引脚上，甚至在有 EMC 负载时也不会出现。不过基于收发器某些安全的原因，我们建议将不使用的 WAKE 引脚连接到 BAT 引脚。这个引脚不适合连接到 VCC 或 GND，因为它会产生一个持续从内部上拉流向 BAT 的电流。
8	WAKE	如果引脚 WAKE 直接连接到有独立 GND 的唤醒源（就象 PCB 外部连接到 GND 的外部开关），我们建议像上面的应用结构图一样使用一个串联保护电阻。这个串联电阻用于在整个控制单元丢失了 GND 连接时，限制流过的最大电流。此时，所有的应用电流都会经过外部唤醒开关流到 GND。这会损坏收发器。见第 8 章，引脚 WAKE 的串联电阻。

11. 软件设计指南

11.1 系统的睡眠过程

要系统进行安全的睡眠模式转换，我们建议要注意可能在相同的瞬间产生的唤醒事件。

如果微控制器向收发器发出进入睡眠命令，引脚 INH 会在超过“进入睡眠命令的作用时间”后变成悬空。之后，应用的电压调节器禁能，VCC 斜坡下降，主控制器不上电。

从系统看来，上面所描述的睡眠过程会被向 CAN 报文或者引脚 WAKE 的一个跳变沿唤醒。唤醒事件的结果是，INH 立即再次变成高电平，VCC 由于使用了保护电容一直保持稳定。所以，在没有任何上电硬件的情况下，主控制器将保持继续供电，即使是已经执行睡眠进程，而且在 VCC 马上就要关断的情况下。

从软件上看，我们建议应用通过监控引脚 RXD 或 ERR 来检查进入睡眠过程是否成功完成。当按 STB 和 EN 编码进入睡眠和睡眠期间，RXD 和 ERR 将提供唤醒信息。所以，如果在进入睡眠命令时 ERR 或 RXD 信号是低电平，就表示有唤醒事件，VCC 将保持激活。因此，软件应按照应用的要求对这个事件作出反应，例如：重新启动软件（冷启动）。

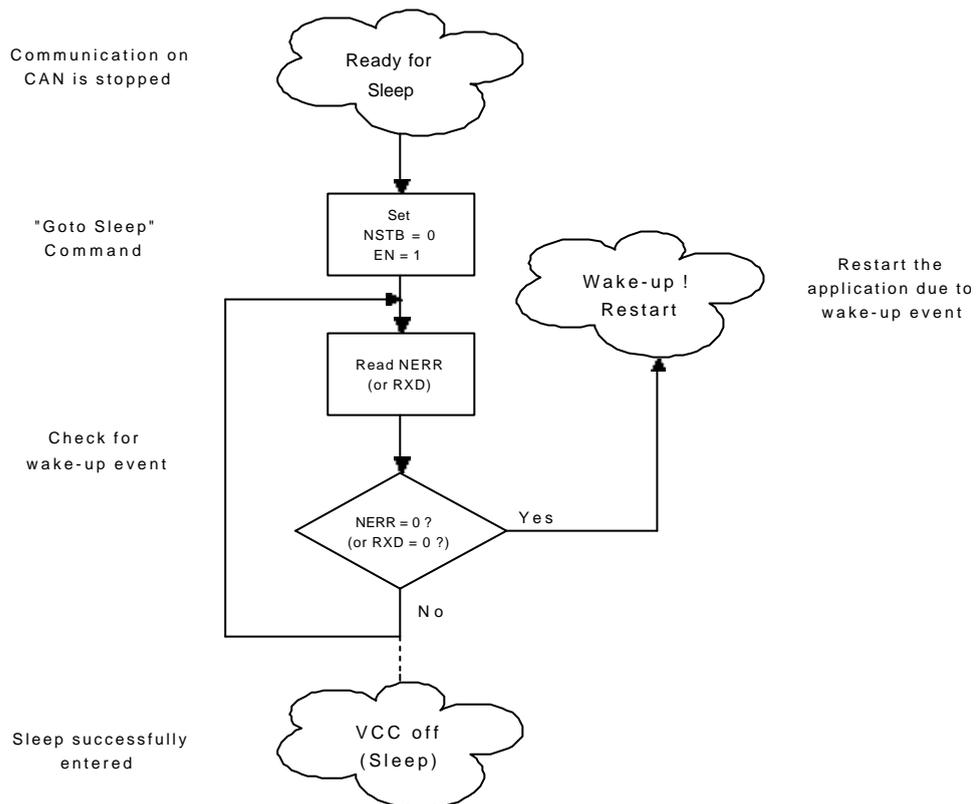


图 9 睡眠模式的软件流程图

11.2 用 ERR 输出作故障诊断

在容错收发器的正常模式中，检测到总线故障情况后引脚 ERR 提供一个低电平信号。在物理媒体没有故障时，引脚 ERR 被置为高电平，检测到任何线路故障时，它就变成低电平。不同的物理故障情况 ERR 输出的情况也稍微地有点不同。此外，在第 2 章已经提到，器件的开路故障也有稍微不同。

在应用中，我们不推荐向主控制器的中断输入发送 ERR 信号。基于总线故障的情况，引脚 ERR 可能会被经常触发，增加控制器的中断负载。有时在 CAN 中断服务程序里读引脚 ERR 提供的错误信息的做法会更普遍。

11.2.1 总线线路开路时的 ERR 信号

由于总线系统的接触故障造成总线线路开路，乍一看这个故障现象任何收发器都看不到。由于容错系统分布式的终端使总线线路保持处于隐性状态，没有收发器会发信这个故障。

直到系统的一个节点首先开始发送一个报文时，在中断总线的另一方的所有节点会发现在一条总线线路上丢失了总线信号。在某种滤波的机制下，这个丢失的总线信号被捕捉到错误标志（引脚 ERR），和中

断的总线相同一方的所有节点（像发送节点）不会发现信号丢失，因此不会发信错误。所以，基于线路断开的位置，一些节点发信出现故障的情况而其他的节点不发信故障的情况。由于系统的节点会不时发送报文，和发送者处于相同的断开部分的接收者不会发现这个故障，只要发送到另外一个部分 ERR 输出就会被触发。

为了使 ERR 的输出信号更可靠，收发器有一个很小的故障计数器，确保在总线线路上丢失单个边沿不会立即触发 ERR 信号。轻微的不同之处就显示在下面的表上：

收发器	检测 ERR->低电平	检测 ERR->高电平
PCA82C252 TJA1053	在一条总线线路上丢失了 3 个显性边沿	在两条线路上都检测到 1 个显性边沿
TJA1054	在一条总线线路上丢失了 4 个显性边沿	在两条线路上都检测到 4 个显性边沿

11.2.1.1 PCA82C252/TJA1053 的性能

使用 PCA82C252 和 TJA1053 的系统在总线线路中断后发送报文时不能提供稳定的 ERR 输出信号。这是由上面显示的这些产品的故障恢复性能造成的。假设一个节点发送一个报文，在中断总线另一方的会在丢失了 3 个显性边沿后发信故障的情况。在这个报文的末端，所有接收节点都会在上面写一个确认位，使在两段总线上都出现显性边沿。所以 ERR 信号会被所有节点的确认位清除。其间，报文的发送节点可能会在发送者段的确认周期看到丢失了单个边沿。但是这单个边沿不足以通过 3 个丢失边沿的计数器。在报文传输的最后，甚至在总线线路中断时，没有一个节点会发信总线故障的情况。因此，使用 PCA82C252 和 TJA1053 收发器时，没有 CAN 中断服务程序能够检测到这个故障的情况。

硬件的办法是在 ERR 和 GND 之间连接一个大约 470nF 的电容。这个电容会延长 ERR 输出的低电平相位，使它在 CAN 中断服务程序中可以被读出。ERR 相应的弱上拉性能允许在合适的范围内保留这个电容。

11.2.1.2 TJA1054 的性能

如果使用 TJA1054，这个系统问题可以用新引入的故障恢复计数器解决。TJA1054 在丢失了 4 个边沿后检测到开路故障，在两条总线上都检测到 4 个连续的跳变沿后恢复。因此，接收节点的单个确认位不足以复位检测到的故障状况，ERR 输出在整个报文帧和下一个报文帧内保持低电平。使用了这个优化后，在 PCA82C252 和 TJA1053 的设计中很有用的电容在这里就变得多余了。

11.2.2 CANH 对 GND 短路或 CANL 对 VCC 短路时的 ERR 信号

由于出现这两种故障情况时总线的电平没有改变，乍一看时不能在系统的任何节点看出。当 CANL 将 VCC 规定为隐性总线电平时，CANH 的隐性总线电平已经在 GND。因此这两个短路不会影响总线上的隐性电平。

当一个节点启动传输后，会发现其中一条总线线路出现丢失总线信号的情况。这和总线线路中断的情况相似，不同之处是系统的所有节点包括发送节点都能检测到丢失单个总线信号的情况。因此，可以在任何时候检测和发行这个问题。

如果总线线路的这些故障已经被修复，但由于“丢失边沿计数器”仍然溢出，ERR 信号保持存在。如果此时发出修复后的第一个报文，基于恢复计数器这个报文的边沿清除引脚 ERR 的错误信号。TJA1053 和 PCA82C252 会在第一个显性边沿恢复，而 TJA1054 将在检测到第 4 个显性边沿时恢复。

注意，容错系统中使用的共模扼流器可能会中断正确的故障发信，这由短路和发送节点的位置决定。扼流器尝试在物理媒体上发送对称的信号，但这在出现短路时不可能实现。不过，由于扼流器的电感，在不受影响的总线线路特别是在远离短路的总线段和短路的总线线路产生明显的交叉耦合。当短路的总线线路传输的信号足够旁路“丢失边沿计数器”时，这个交叉耦合会变得很高。所以可能会出现整个网络不能十分稳定地发信短路的情况。从网络中移走共模扼流器后这个现象就会消除。

11.2.3 其他短路情况的 ERR 发信

所有其他总线短路都会直接影响隐性的总线电平，因此收发器在没有总线通讯时也可以检测到。如果总线电平在某个时间帧内偏离了额定的电平，引脚 ERR 可以直接检测并用低电平发信这个故障的情况。从这些故障恢复后，ERR 将再次变成高电平。

要注意，“丢失边沿计数器”仍然在后台工作，如果在通讯中丢失了边沿可能会使它溢出。实际上故障的情况一般要进行两次检测。因此，只有**在成功检测到下一个边沿后，才可能从直接检测的短路中恢复。**因此总线消除短路后引脚 ERR 不会立即变成高电平。ERR 还需要两条总线线路上再有正确的总线通讯边沿才能变成高电平。

11.3 用 ERR 读出 PWON 标志

在所谓的上电待机模式中读出容错的 CAN 收发器的内部 PWON 标志。设置控制引脚 STB 和 EN 相应地将引脚 ERR 切换到内部 PWON 标志。但要经过一些门切换时间才能在引脚 ERR 看到 PWON 标志。这个切换时间主要受到 ERR 的外部负载情况影响。由于这个引脚的高端（High-side）输出能力受到限制，因此应用控制器在读期望值前要等待一段时间。

例如：

假设由 PCB 和连接的微控制器产生的典型引脚负载是大约 20pF，引脚 ERR 由低电平向高电平转换的时间常数计算如下：

$$t_{\text{LOW} \rightarrow \text{HIGH}} = \frac{0.9\text{V}}{100\ \mu\text{A}} \times 20\text{pF} = 180\text{ns}$$

其中 0.9V = 在 100μA 时 ERR 驱动器的压降

这个切换的时间太长，在用 STB 和 EN 设置了相应的模式后应用软件可能会太早读出引脚 ERR 的信息。所以，软件设计者应当注意上面提到的 ERR 充电时间，在选择模式和读出 ERR 信号之间设置合适的等待时间。

信号由高电平转换到低电平则由于引脚 ERR 有低端（low-side）驱动的能力而非常快。因此不存在时序的问题。

$$t_{\text{HIGH} \rightarrow \text{LOW}} = \frac{0.4\text{V}}{1.6\text{mA}} \times 20\text{pF} = 5\text{ns}$$

其中 0.4V = 在 1.6mA 时 ERR 驱动器的压降

12. 经常询问的问题（FAQ）

12.1 收发器不进入睡眠模式

- TJA1054 在首次连接电池后要设置进入正常模式，TJA1053 则不需要。为了使系统有兼容性，当检测到上电的情况时（例如：在 PWON 待机模式读 PWON 位），软件应当将收发器设置进入睡眠模式。
- μC 发送的“进入睡眠命令”太短。这个命令要在至少 50μs 内保持有效（STB=0，EN=1），才能保证收发器可以接收到。这个值可以在数据表的时序特性：“进入睡眠命令的最小持续时间”（PCA82C252 和 TJA1053）/“进入睡眠命令的作用时间”（TJA1054）中找到。
- 在“进入睡眠”的过程中出现唤醒事件。（见 11.1）
- 引脚 WAKE 连接到由收发器的引脚 INH 控制的本地 5V 电源上。在这种情况下，睡眠模式可以成功进入，引脚 INH 变悬空。结果，5V 的电源关断，VCC 下降。这就在 WAKE 产生一个边沿，器件再次被唤醒。如果应用不使用 WAKE 引脚，应当把它直接连接到收发器的 BAT 引脚。
- 网络连接了一个外部 CAN 工具，而且 PC 和应用的 GND 丢失。悬空的总线向应用产生唤醒事件。
- 个别上电节点丢失了 GND 连接。结果就如上面讨论的一样。

12.2 系统总在单线模式工作

- 高速的物理层在总线线路之间有一个终端电阻。例如：使用**高速收发器并连接终端的 CAN 工具**。容错的物理层在总线线路之间没有终端电阻，但所有节点在引脚 CANH 和 RTH、CANL 和 RTL 之间都连接了分布式的终端。见第 5 章。

12.3 甚至在总线激活的时候也不能唤醒系统

- 要唤醒总线，CAN 报文要求有 5 个连续的显性位。这就保证了唤醒收发器所需要的 38 μ s 最小显性时间。基于收发器的位速率，甚至少于 5 个连续的显性位的 CAN 报文也足够能达到要求的 38 μ s 显性时间。
- 使用待机模式保持 VCC 电源激活的系统通常分别用 RXD 或 ERR 的显性边沿唤醒。基于 μ C 的硬件和软件， μ C 可能会丢失这个边沿，结果使 μ C 进入低功耗模式（停机模式）而 RXD 和 ERR 被持续地设置成低电平（唤醒）。因此，没有其他边沿， μ C 不能被唤醒。对于这些应用，我们建议支持电平敏感的唤醒或确保软件可以独立地识别所有的边沿。

12.4 连接外部工具时收发器被损坏

- **通常情况下，当汽车被隔离并由电池供电时，PC 和其他外部器件由 AC 电源上电，此时的 CAN 网络之间可能有很高的电压差。强烈建议确保外部器件和汽车之间连接 GND 信号线，使它们有相同的参考电平。**

12.5 CAN 工具不能和某些应用通讯

- CAN 工具通常用于模拟整个汽车环境，对单个应用进行功能性的验证。问题是：CAN 工具不提供和汽车环境相同的终端电阻。为了使这个设置可以运行，CAN 工具要连接一个很低（小）的内部终端。我们建议用例如 500 Ω 的电阻（每个收发器允许的最小终端）代替 CAN 工具内部已有的电阻来进行测试。这样使所有节点总的终端保持大约或等于 100 Ω 。

12.6 在 CANH 对 VCC 短路时不能通讯

- 网络中有一个 TJA1053 或 PCA82C252 收发器。这些产品不支持“CANH 对 VCC 短路”。TJA1054 是第一个可以容忍这些短路情况的收发器。请仔细检查这些收发器连接的所有硬件，特别是连接的 CAN PC 工具。