



摘要

TCAN1145-Q1 和 TCAN1146-Q1 CAN 收发器配备了选择性唤醒模式，可实现局部联网功能。本应用手册详细介绍了如何在这些器件上设置和实施选择性唤醒模式。

内容

1 简介.....	2
1.1 什么是局部联网？.....	2
1.2 为什么使用局部联网？.....	2
2 唤醒帧.....	2
2.1 唤醒帧结构.....	2
2.2 器件 ID 和 ID 掩码.....	2
2.3 数据掩码字节.....	3
3 重要的寄存器.....	4
4 配置局部联网功能.....	7
5 示例配置.....	8
6 总结.....	9
7 参考文献.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

1.1 什么是局部联网？

局部联网功能通过使用 CAN 器件可降低功耗。在正常的 CAN 系统中，如果总线处于睡眠状态（低功耗模式），唤醒模式将唤醒每个节点。正常的唤醒模式是一个滤波显性脉冲，后跟一个滤波隐性脉冲，然后是另一个滤波显性脉冲。一旦将此唤醒模式发送到 CAN 总线，每个节点都会识别此请求并结束低功耗模式。之后它们都将消耗正常水平的电流。与睡眠状态相比，节点在正常运行期间消耗的电流高很多。

使用局部联网系统，睡眠分为两部分：深度睡眠（CAN 总线 GND 偏置）和常规睡眠（CAN 总线 2.5V 偏置）。所有收发器可配置为在深度睡眠期间局部联网。配置完成后，所有收发器都将等待正常的唤醒模式：一个滤波显性脉冲，后跟一个滤波隐性脉冲，然后是另一个滤波显性脉冲。发送和收到正常唤醒模式后，每个收发器的总线偏置将设置为从 GND 到 2.5V。这种偏置是 WUF 收发器对 CAN 帧进行解码所必需的。然后收发器等待唤醒帧 (WUF)，但在它能够正确接收和解释 WUF 之前，接收器必须与总线数据速率同步。这通常由控制器发送 CAN 帧来完成，并且接收器通过测量位边沿之间的时间长度来分析数据流。CAN 标准允许在 500kbps 下通过不多于 4 个 CAN 帧，或者 1Mbps 下不多于 8 个 CAN 帧来锁定数据速率。在这些帧之后，接收器会在总线上寻找 WUF。

每个器件都有自己唯一的 WUF，可以将其唤醒以进入待机模式。一旦 CAN 总线收到该 WUF，只有编程为监听该特定 WUF 的器件被唤醒，其余器件继续寻找自己的 WUF，在 t_{SILENCE} 计时器过期后，它们都将恢复到深度睡眠状态。请注意，如果收发器刚刚被唤醒（ t_{silence} 计时器还没有过期），CAN 总线会偏置在 2.5V。如果 t_{silence} 过期，CAN 总线则会偏置在 GND。与之前类似，与深度睡眠或常规睡眠相比，节点在正常运行期间消耗的电流要高很多。

1.2 为什么使用局部联网？

局部联网的主要优势是可降低功耗。CAN 器件通常有三种状态：睡眠模式（电流消耗低）、待机模式（电流消耗较高）和正常模式（电流消耗最高）。因为每个节点在睡眠状态下使用的电流明显较少，所以处于睡眠模式的时间越长，可以节省的电力就越多。这在汽车应用中尤其重要。所有内燃机车辆在工作期间都使用交流发电机给蓄电池充电。如果车辆消耗的电力超过交流发电机的供电能力，蓄电池将耗尽。发动机不运转时，更大程度降低电流以保持蓄电池电量同等重要。局部联网实现的功耗降低与降低车辆排放量也直接相关。例如，将汽车电流降低 10A，可使二氧化碳排放量降低 3.5g/km。(2)

2 唤醒帧

2.1 唤醒帧结构

唤醒帧 (WUF) 的结构类似于 ISO11898-1:2015 标准中定义的传统 CAN 帧。它包括 ID 字段和数据字段以及其他需要的位和字段，如起始帧和 CRC。器件 ID 和掩码 ID 的长度可以是 11 位或 29 位（就像传统 CAN 帧一样），数据有效载荷最多达 8 字节。

2.2 器件 ID 和 ID 掩码

在局部联网系统中，每个具有选择性唤醒功能的 CAN 收发器均使用其自己的唯一器件 ID 进行编程。此 ID 始终与 WUF 一起发送。发送 WUF 时，每个选择性唤醒收发器都可以在总线上看到 WUF，并且所有收发器都会将 WUF 与已编程的器件 ID 和掩码 ID 进行比较。如果 WUF 中的 ID 与收发器的 ID 相匹配（并且（可选）DLC 代码和数据掩码具有匹配项，请参阅 [数据掩码字节](#) 中的说明），则收发器进入待机模式。唤醒请求反映在 RXD 引脚上，该引脚指示 MCU 将器件转换为正常模式。当要求多个收发器同时退出睡眠状态时，可以为任意数量的收发器设置掩码 ID。在掩码 ID 寄存器中，1 表示无关位。当为收发器设置掩码 ID 时，它声明 ID 的哪些位对于开启收发器不重要。其 ID 与此掩码匹配的任何器件都可以进入正常模式。包含三个 CAN 节点的示例如下。

表 2-1. CAN 器件示例

CAN 节点	ID
1	00000000000000000000000000000001
2	00000000000000000000000000000010
3	11100000000000000000000000000010

如果 CAN 节点 2 的 ID 掩码为 **000000000000000000000000111**，它会将 WUF 中 ID 字段的后三位处理为无关位。任何前 26 位为 **0000000000000000000000000000** 的 ID 字段都会唤醒节点 2。因此，当在 WUF 中发送 ID **0000000000000000000000000001** 时，节点 1 和节点 2 都进入正常模式。但是，当发送 ID **000000000000000000000000000101** 时，只有节点 2 进入正常模式。在这种情况下，节点 1 和 3 继续处于睡眠状态。请记住，ID 字段的任何部分都可以被屏蔽掉，而不仅仅是最低有效位。如果每个节点的 ID 掩码都设置为 **11100000000000000000000000011**，则当在 WUF 中发送任何节点 ID 时，每个节点都会唤醒。

在汽车环境中，可能有一些节点必须同时唤醒才能执行某项功能。例如，唤醒座椅加热器节点以开始加热座椅时，会要求唤醒仪表板节点，从而同时打开座椅加热器灯。

2.3 数据掩码字节

也可以将 CAN 总线上的任一节点配置为当在 WUF 中发送特定的一段数据时打开。请注意，必须将每个器件配置为唤醒特定的 ID。每个 WUF 必须包含一个 ID 字段，并且每个收发器在退出睡眠模式之前始终首先检查此 ID 字段。如果收发器上没有设置 ID，它将继续睡眠直至 WUF 的“数据”字段结束，而不会进入正常模式。即使“数据”字段与收发器上设置的数据掩码匹配，但如果没有在器件上设置 ID，它也不会退出睡眠模式。当多个节点必须同时打开时，通常使用数据掩码。

在传统 CAN 中，最多可以对 8 个字节的数据编程。每当收发器预计要接收数据而打开时，就必须设置数据长度代码 (DLC)，以提醒收发器预计应接收多少数据字节。要设置数据掩码，必须将 DLC 设置为至少 0001b。

数据掩码的工作原理与 ID 掩码略有不同。对于从 WUF 接收的每个字节，至少有一位必须是 1b，它与相同数据掩码字节中对应的 1b 位匹配。然而，ID 掩码和数据掩码的相似之处在于：数据掩码中的每个 0b 必须与收到的数据中的 0b 相对应。例如：

	字节 1								字节 0							
配置的数据掩码	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
匹配的数据帧	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
不匹配的数据帧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

这个数据掩码的 DLC 是 0010b，它对应于两个字节。看起来不匹配数据帧的字节 1 与掩码匹配，因为掩码中的 1 通常指定一个无关位。但是，如前所述，收到的数据中只有一位必须是 1b，从而与数据掩码中同一位的 1b 对应。如“匹配的数据帧”所示，位 4 是 1b，与数据掩码中位 4 的 1b 匹配。

3 重要的寄存器

- 10h：模式配置
 - 用于启用选择性唤醒并将器件置于不同的工作模式

表 3-1. 10h

位	字段	类型	复位	说明
7	SW_EN	R/W	0b	TCAN1145-Q1 和 TCAN1146-Q1 的选择性唤醒启用，否则保留 0b = 已禁用 1b = 已启用
6	DTO_DIS	R/W 0b	0b	显性超时已禁用 0b = 已启用 1b = 已禁用
5	FD_EN	R/W	0b	TCAN1144-Q1 和 TCAN1146-Q1 的故障检测启用，否则保留 0b = 已禁用 1b = 已启用
4-3	RSVD	R	0b	保留
2-0	MODE_SEL	R/W	100b	工作模式选择 1b = 睡眠 100b = 待机 101b = 侦听 111b = 正常 注意：将读回当前模式，并保留所有其他值

- 30h-33h：器件 ID 选择
 - 用于设置与所需器件 ID 的通信
 - 32h：此寄存器包含 IDE 位，用于将 ID 从标准 ID（11 位）更改为扩展 ID（29 位）。这也会使掩码 ID 发生变化。

表 3-2. 30h

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Ext_ID_17:10	R/W	0b	扩展 ID 位 17:10

表 3-3. 31h

位	字段	类型	复位	说明
7-0	Ext_ID_9:2	R/W	0b	扩展 ID 位 9:2

表 3-4. 32h

位	字段	类型	复位	描述
7-6	Ext_ID_1:0	R/W	0b	扩展 ID 位 1:0
5	IDE	R/W	0b	扩展 ID 字段 0b = 标准 ID（11 位） 1b = 扩展 ID（29 位）
4-0	ID_10:6__EXT_ID_28:24	R/W	0b	ID[10:6] 和扩展 ID[28:24]

表 3-5. 33h

位	字段	类型	复位	描述
7-2	ID_5:0__EXT_ID_23:18	R/W	0b	ID[5:0] 和扩展 ID [23:18]
1-0	保留	R	0b	保留

- 34h-38h : 掩码 ID 选择
 - 用于设置要与之通信的器件的掩码 ID

表 3-6. 34h

位	字段	类型	复位	描述
7-2	保留	R	0b	保留
1-0	EXT_ID_MASK_17:16	R/W	0b	扩展 ID 掩码 17:16

表 3-7. 35h

位	字段	类型	复位	说明
7-0	EXT_ID_MASK_15:8	R/W	0b	扩展 ID 掩码 15:8

表 3-8. 36h

位	字段	类型	复位	说明
7-0	EXT_ID_MASK_7:0	R/W	0b	扩展 ID 掩码 7:0

表 3-9. 37h

位	字段	类型	复位	说明
7-0	ID_MASK_10:3_EXT_ID_MASK_28:21	R/W	0b	ID 掩码 10:3 和扩展 ID 掩码 28:21 (基本 ID)

表 3-10. 38h

位	字段	类型	复位	描述
7-5	SW_ID_Mask_5	R/W	0b	ID 掩码 2:0 和扩展 ID 掩码 20:18 (基本 ID)
4-1	DLC	R/W	0b	DLC [3:0]
0	DATA_MASK_EN	R/W	0b	数据掩码启用 0b = DLC 字段和数据字段不进行比较, 并假定有效。允许远程帧。 1b = DLC 字段必须与 DLC[3:0] 寄存器匹配, 并且数据字段字节与 DATAx 寄存器进行比较以找到匹配的 1。忽略远程帧

- 38h-40h : 数据选择
 - 用于设置要发送的数据的位
 - 38h : 此寄存器包含 DLC 位和数据掩码启用位

表 3-11. 39h + 公式

偏移 = 39h + (y × 1h); 其中 y = 0h 到 7h (对于 TCAN1145-Q1 和 TCAN1146-Q1)

位	字段	类型	复位	说明
7-0	DATAx	R/W	0b	CAN 数据字节 x

- 44h：一般 CAN 数据速率配置
 - 用于设置所有数据速率属性，包括频率和 CAN FD 数据速率比率与 CAN 数据速率
 - CAN FD 允许器件动态切换到不同的数据速率和消息长度

表 3-12. 44h

位	字段	类型	复位	说明
7	SW_FD_PASSIVE	R/W	0b	选择性唤醒 FD 无源：当出现具有灵活数据速率的 CAN 帧时，此位将修改错误计数器的行为。 0b = 具有灵活数据速率的 CAN 帧将被计为错误帧 1b = 忽略具有灵活数据速率的 CAN 帧（无源）
6-4	CAN_DR	R/W	101b	CAN 总线数据速率 0b = 50kbps 1b = 100kbps 10b = 125kbps 11b = 250kbps 100b = 保留 101b = 500kbps 110b = 保留 111b = 1Mbps
3-2	FD_DR	R/W	0b	CAN 总线 FD 数据速率比率与 CAN 数据速率 0b = CAN FD <= 4x CAN 数据速率 1b = CAN FD => 5x 且 <= 10x CAN 数据速率 10b = 被保留 11b = 保留
1-0	保留	R	0b	保留

- 46h-47h：选择性唤醒配置
 - 46h：用于设置帧错误计数器的阈值。一旦超过阈值，将引发 FRAME_OVF 标志，并关闭选择性唤醒功能。
 - 47h：主要是一个只读寄存器，用于确保正确地对 CAN 帧进行解码
 - 可以写入位 7，让器件了解已经配置了所有选择性唤醒寄存器。
 - 此标志称为 SWCFG 位

表 3-13. 46h

位	字段	类型	复位	说明
7-0	FRAM_CNT_THRESHOLD	R/W	00011111b	帧错误计数器阈值：这些位设置错误计数器达到最大值的点，在下一个错误帧上将溢出并设置 FRAME_OVF 标志。默认值为 31，因此第 32 个错误将设置溢出标志

表 3-14. 47h

位	字段	类型	复位	说明
7	SWCFG	RH/W	0b	选择性唤醒配置完成 0b = 未配置 SW 寄存器 1b = 已配置 SW 寄存器（将此作为配置和开启选择性唤醒功能的最后一步） 注意：写入这些唤醒配置寄存器（30h-44h、46h）中的任何一个都会清除 SWCFG 位。
6	CAN_SYNC_FD	RH	0b	如果启用帧检测，则器件正在正确地对 CAN FD 帧进行解码。此标志在接收每个帧后更新。通过轮询该标志，系统可以确定器件是否正在正确地对 CAN-FD 帧进行解码，直到（但不包括）数据字段。该标志会自行清除。
5	CAN_SYNC	RH	0b	同步到 CAN 数据：如果启用帧检测，此标志指示器件正在正确地对 CAN 帧进行解码。此标志在接收每个帧后更新。通过轮询该标志，系统可以确定器件是否正确地对 CAN 帧进行解码。该标志会自行清除。
4-0	保留	R	0b	保留

- 51h : 包含 FRAME_OVF 标志
 - 此寄存器的位 3 是用于确保错误数尚未超过阈值的标志

表 3-15. 51h

位	字段	类型	复位	说明
7	WD	R/W1C	0b	看门狗事件中断。注意：此中断位将针对每个看门狗错误事件进行设置，而不依赖看门狗错误计数器
6	CANINT	R/W1C	0b	CAN 总线唤醒中断
5	LWU	R/W1C	0b	本地唤醒
4	WKERR	R/W1C	0b	当 SWE 计时器已过期且状态机已返回睡眠模式时，将设置唤醒错误位
3	FRAME_OVF	R/W1C	0b	帧错误计数器溢出
2	CANSLNT	R/W1C	0b	CAN 静默
1	CANTO	R/W1C	0b	CAN 超时
0	CANDOM	R/W1C	0b	CAN 总线卡在显性状态

- 53h : 包含 SWERR 标志
 - 此寄存器的位 6 是用于确保设置选择性唤醒模式时没有错误的标志
 - 设置 SWCFG 位后，必须清除该位

表 3-16. 53h

位	字段	类型	复位	说明
7	SPIERR	R/W1C	0b	设置 SPI 状态位时的状态
6	SWERR	RH	0b	(SW_EN=1 和 NOT(SWCFG)) 和 FRAME_OVF 的逻辑或。设置 SWERR 时，可能无法启用选择性唤醒
5	FSM	R/W1C	0b	已进入失效防护模式。可在失效防护模式下清除。
4-1	RSVD	R	0b	保留
0	CRC_EEPROM	R/W1C	0b	EEPROM CRC 错误

4 配置局部联网功能

配置唤醒帧

1. 写入所有用于检测帧的控制寄存器 (选择性唤醒)。
 - 将 (30h - 46h) 的所有位设置为所需的规格
2. 读取刚写入的所有 SW 寄存器 (30h - 46h)，以确认其已正确写入。
3. 将 SWCFG 位设置为 1 (47h[7])
4. 设置了选择性唤醒启用 (SW_EN)，并将器件设置为所需模式
 - 将 SW_EN 位设置为 1 (10h[7])
 - SPI 写入 (10h[2:0]) = 100b (对于待机模式)，或 (10h[2:0]) = 001b (对于睡眠模式)。

NOTE

必须为器件配置唤醒帧 (WUF)，以检测是否正在调用该器件来执行唤醒。必须首先完成上述设置 SWCFG 的过程，才能将 WUF 参数加载到器件中。如果之后从“帧溢出”标志中发生 SWERR 中断，则需要清除“帧溢出”中断，然后必须再次将 SWCFG 位设置为 1。

NOTE

如果设置了 FRAME_OVF 标志，或如果故障状况强制器件进入睡眠模式 (禁用了失效防护模式) 或进入失效防护模式，则将禁用 SW_EN，同时关闭选择性唤醒功能。必须清除 FRAME_OVF 标志，并且必须再次设置 SW_EN 和 SWCFG 位以重新启用选择性唤醒功能。

5 示例配置

表 5-1 提供了在不同条件下发生情况的示例。

表 5-1. 示例配置

注册	位	发生情况
32h	[5]=0b	选择标准 ID 字段 (11 位)
32h	[4:0]=00000b	将器件 ID 的 10-6 位设置为 00000b
33h	[7:2]=000011b	将器件 ID 的 5-0 位设置为 000011b 最终器件 ID = 00000000011b
38h	[4:1]=0010b	将 DLC 设置为 2 字节的数据
38h	[0]=1b	支持数据掩码
39h	[7:0]=00101100b	将数据掩码的字节 0 设置为 00101100b
3Ah	[7:0]=11010000b	将数据掩码的字节 1 设置为 11010000b
44h	[7]=1b	忽略具有灵活数据速率的 CAN 帧 (无源)
44h	[6:4]=101b	CAN 总线数据速率设置为 500Kbps
44h	[3:2]=0b	CAN FD <= 4x CAN 数据速率
45h	[7:0]=0b	重置错误计数器
46h	[7:0]= 00011111b	将错误计数器阈值设回默认值 (31)。在第 32 个误差时，将设置帧溢出 (FRAME_OVF) 标志。
47h	[7]=1b	SWCFG 位确认已配置所有 SW 寄存器
10h	[7]=1b	支持选择性唤醒 (SW)
10h	[2:0]=001b	将器件置于睡眠模式

完成配置后，器件 ID 为 00000000011b，而数据掩码为 11010000b 00101100b。定义器件 ID 和数据有效载荷后，填充位和 CAN 帧的其余部分按照 ISO11898-1:2015 定义，完整的 CAN-WUF 为 000001000001110000011011010000010101100101000110111011101b。

在图 5-1 中，RXD 引脚、INH 引脚和 CANH - CANL 均被捕获。RXD 和 INH 引脚都指示何时接收到正确的 WUF (RXD 低偏置，INH 高偏置)。橙色波形为 CANH - CANL，黄色波形为 RXD，浅蓝色波形为 INH。发送五个 CAN 帧，如绿色矩形中所示。第一个帧是 CAN 总线的唤醒信号，以便偏置从 GND 移到 2.5V，接下来的四个帧是同步波形。之后，WUF 接收器准备好接收 WUF，WUF 位于图 5-1 中的紫色矩形内。紧接着粉红色矩形的最后一位，INH 引脚偏置从低到高，表示状态从睡眠模式变为待机模式和使用 WUF 成功唤醒。INH 上升沿用红色圆圈表示。



图 5-1. WUF 示波器捕获的示例配置

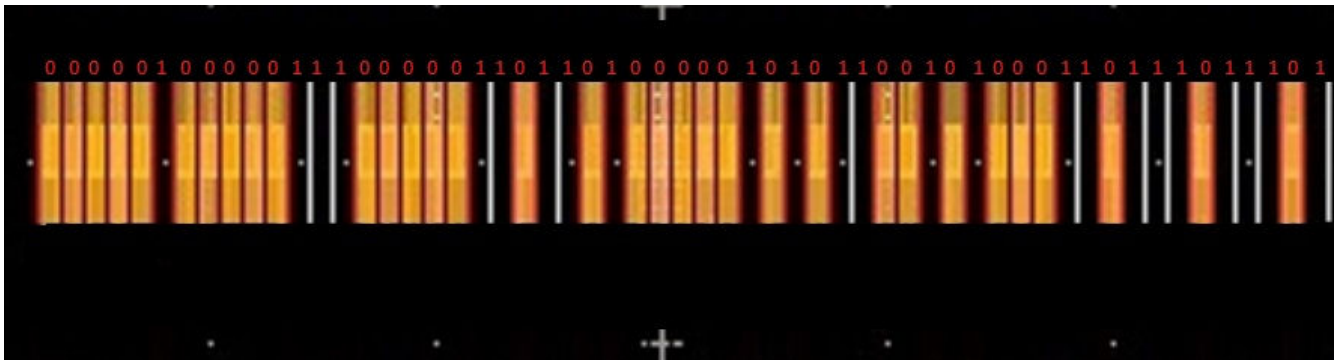


图 5-2. 放大的 WUF 示波器捕获的示例配置

在图 5-2 中，CAN 消息的唤醒帧部分经放大可查看单独的位。为了便于读取，还添加了行来分隔单独的位，每个位都标有 1 或 0，具体取决于逻辑电平，0 表示显性位，1 表示隐性位。这是因为橙色波形为 CANH - CANL，当 CANH 和 CANL 之间的差值大于 0.9V 时，出现显性位（视为 0），而当 CANH 和 CANL 之间的差值小于 0.5V 时，出现隐性位（视为 1）。可以看到，唤醒器件的 WUF 与表 5-1 中示例配置产生的 CAN 帧匹配。

6 总结

局部联网是 CAN 系统中一项极其重要的功能。此功能可以降低功耗，可直接减少车辆排放。由于很多应用需要局部联网功能，因此任何使用 CAN 的工程师都需要了解局部联网功能。本应用报告为工程师学习局部联网功能和使用 TCAN1145-Q1/TCAN1146-Q1 实现此功能提供了很好的指南。

7 参考文献

1. 德州仪器 (TI), [具有局部联网功能的 TCAN114x-Q1 增强型 CAN FD 收发器数据表](#)
2. [CO₂ Emissions From Cars: the facts](#)

重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司