
**如何使用USART或LPUART将STM32F0/F3/L0/L4
微控制器从低功耗模式唤醒**

前言

通用同步/异步收发器（USART）和低功耗通用异步收发器（LPUART）以先进的低功耗模式功能为特色，即使在MCU处于低功耗模式且APB时钟被禁用时也可以正常接收数据。

在本文档中，STM32仅指 [表 1](#) 中列出的产品系列。

表1. 适用产品

类型	产品系列
微控制器系列	STM32F0、STM32F3、STM32L0和STM32L4

目录

1	可通过USART/LPUART唤醒MCU的低功耗模式	5
2	USART/LPUART唤醒功能	6
2.1	双时钟域	6
2.2	USART/LPUART唤醒源	6
3	当HSI时钟关闭时USART/LPUART如何从低功耗模式唤醒STM32	7
4	如何确定允许从低功耗模式正确唤醒的USART/LPUART波特率	9
4.1	低功耗模式下USART/LPUART内核时钟开启	9
4.1.1	HSI 时钟用作 USART/LPUART 时钟源	9
4.1.2	LSE 时钟用作 LPUART 时钟源	9
4.1.3	LSE 时钟用作 USART 时钟源	9
4.2	低功耗模式下USART/LPUART HSI内核时钟关闭	10
5	结论	13
6	版本历史	14

表格索引

表1.	适用产品	1
表2.	STM32低功耗模式比较	5
表3.	BRR [3:0] = 0000 时的 USART 接收器容差	10
表4.	BRR[3:0] # 0000 时的 USART 接收器容差	10
表5.	LPUART接收器的容差	11
表6.	文档版本历史	14
表7.	中文文档版本历史	14

图片索引

图1.	唤醒事件得到验证（唤醒事件 = 地址匹配）.....	7
图2.	唤醒事件未得到验证（唤醒事件 = 地址匹配）.....	8

1 可通过USART/LPUART唤醒MCU的低功耗模式

USART和LPUART可将STM32 MCU从低功耗模式唤醒。表 2给出了不同MCU系列的低功耗模式的总结。

表2. STM32低功耗模式比较

产品系列	USART可从以下模式唤醒MCU	LPUART可从以下模式唤醒MCU
STM32F0/F3	停止模式（主调压器处于运行模式或低功耗模式）	N.A
STM32L0	停止模式（主调压器处于运行模式或低功耗模式，范围1/2/3）	停止模式（主调压器处于运行模式或低功耗模式，范围1/2/3）
STM32L4	停止模式0 停止模式1	停止模式0 停止模式1 停止模式2

关于以上低功耗模式的详细描述，请参见相应参考手册的 *功率控制* 部分。

2 USART/LPUART唤醒功能

2.1 双时钟域

仅当外设支持双时钟域时，USART/LPUART才能将MCU从低功耗模式唤醒。这意味着可通过独立于APB时钟的时钟为USART/LPUART提供时钟。此时钟可以是HSI或LSE时钟。因此，即使USART/LPUART时钟被禁用且MCU处于低功耗模式，USART/LPUART也能够接收数据。

2.2 USART/LPUART唤醒源

有不同的USART/LPUART唤醒源可用于将MCU从低功耗模式唤醒：

- 通过USART/LPUART_CR3寄存器的WUS位字段选择的特定事件。
 - 00：在地址匹配时唤醒（按照USART/LPUART_CR2寄存器的ADD[7:0]和ADDM7的定义）
 - 01：保留
 - 10：检测到Start位时唤醒
 - 11：在每次接收到数据时唤醒（即USART/LPUART_ISR寄存器中RXNE置位）当唤醒事件得到验证时，通过硬件将USART/LPUART_ISR寄存器中的WUF标志置位，无论MCU处于低功耗模式还是运行模式。如果USART/LPUART_CR3寄存器中的相应中断使能位（WUFIE）置位，它将生成唤醒中断。
- RXNE中断
 - 在进入低功耗模式前，必须通过USART/LPUART_CR1寄存器中的RXNEIE位置位来使能RXNE中断。

为使USART/LPUART能够将MCU从低功耗模式唤醒，在进入低功耗模式前，USART/LPUART_CR1控制寄存器中的UESM位必须置位。

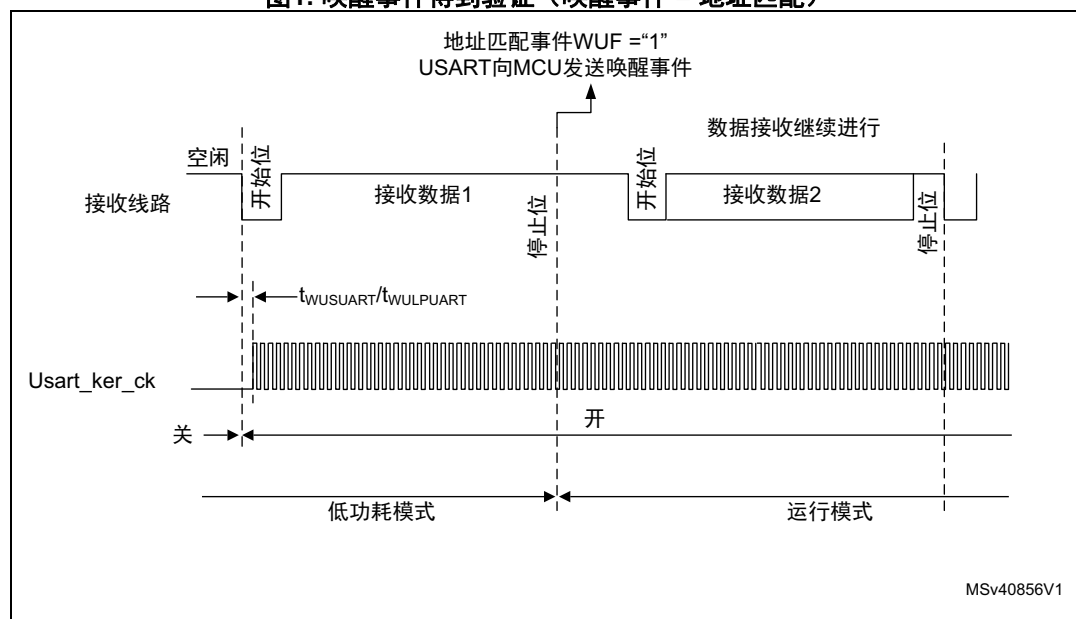
3 当HSI时钟关闭时USART/LPUART如何从低功耗模式唤醒STM32

如果STM32 MCU处于低功耗模式且用作USART/LPUART内核时钟的HSI时钟关闭，当在USART/LPUART接收线路上检测到下降沿时，USART/LPUART接口请求重新开启HSI时钟。然后，将使用HSI时钟进行帧接收。

如果唤醒事件得到验证，将从低功耗模式唤醒MCU并进行正常的接收。

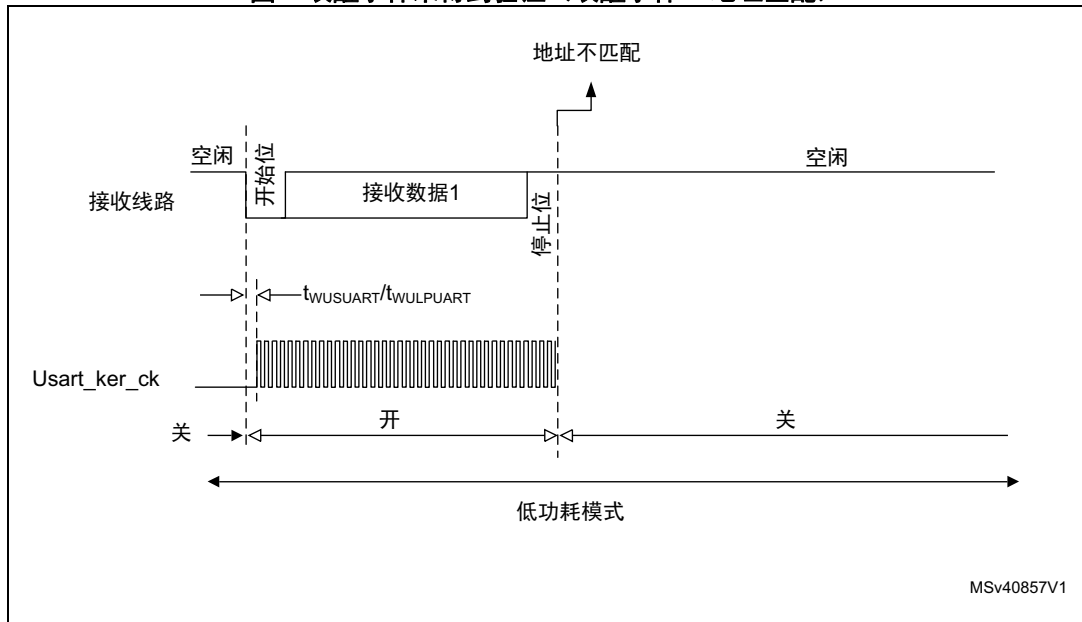
如果唤醒事件未得到验证，HSI时钟将重新关闭，MCU不唤醒并维持低功耗模式，内核时钟请求被释放。图 1和图 2显示了编程为“地址匹配检测”的唤醒事件的示例。

图1. 唤醒事件得到验证（唤醒事件 = 地址匹配）



1. 请参见第 4.2 节获取关于 $t_{WUSUART}$ 和 $t_{WULPUART}$ 的详细信息。

图2. 唤醒事件未得到验证（唤醒事件 = 地址匹配）



1. 请参见第 4.2 节获取关于 $t_{WUSUART}$ 和 $t_{WULPUART}$ 的详细信息。

4 如何确定允许从低功耗模式正确唤醒的USART/LPUART波特率

允许从低功耗模式正确唤醒的最大波特率取决于当STM32 MCU处于低功耗模式时内核时钟开启还是关闭。

4.1 低功耗模式下USART/LPUART内核时钟开启

如果处于低功耗模式时USART/LPUART内核时钟开启，则对允许从低功耗模式唤醒的最大波特率无限制。处于运行模式时同样如此。

4.1.1 HSI 时钟用作 USART/LPUART 时钟源

在STM32L0/L4系列中，在低功耗模式下有两种保持HSI时钟开启的方式：

- 将RCC_CR寄存器中的HSIKERON位置位。
- 或者，将USART/LPUART_CR3寄存器中的UCESM位置位。此位允许USART/LPUART在任何时间（而不只是在开始位下降沿）请求时钟。

注：本节不适用于在停止模式下HSI时钟始终关闭且仅当在USART/LPUART接收线路上检测到下降沿时开启的STM32F0/F3系列。

4.1.2 LSE 时钟用作 LPUART 时钟源

当将LSE时钟用作LPUART时钟源时，可以达到的最大波特率为9600波特。

LSE时钟在低功耗模式下保持开启，但在LPUART未请求此内核时钟时不为LPUART提供时钟源。为了在低功耗模式下以9600波特正确接收数据，必须将LPUART_CR3寄存器中的UCESM位置位。此位允许LPUART在任何时间（而不只是在开始位下降沿）请求时钟。

4.1.3 LSE 时钟用作 USART 时钟源

当将LSE时钟用作LPUART时钟源时，在8倍过采样时可达到的最大波特率为4096波特，在16倍过采样时为2048波特。

4.2 低功耗模式下USART/LPUART HSI内核时钟关闭

如果低功耗模式下HSI时钟关闭，则允许将MCU从低功耗模式正确唤醒的最大波特率取决于下列条件：

- 唤醒时间参数 ($t_{WUUSART}$ 或 $t_{WULPUART}$)
 - 对于STM32F0/F3/L0MCU, $t_{WUUSART}$ (或 $t_{WULPUART}$) 等于 t_{WUSTOP} ，如器件数据手册所指定。
 - 对于STM32L4 MCU, 器件数据手册中指定了 $t_{WUUSART}$ (或 $t_{WULPUART}$)。
- USART接收器容差则取决于下列参数：
 - 通过USART_CR1寄存器中的M位配置的9、10或11位字符长度
 - 通过USART_CR1寄存器中的OVER8位配置的8倍或16倍过采样
 - USART_BRR寄存器的BRR[3:0]位等于或不等于0000。
 - 根据USART_CR3寄存器中的ONEBIT位，使用一个或三个采样位进行数据采样

表 3和表 4基于上述参数的值总结了USART接收器容差。

表3. BRR [3:0] = 0000 时的 USART 接收器容差

M 位	OVER8 位 = 0		OVER8 位 = 1	
	ONEBIT = 0	ONEBIT = 1	ONEBIT = 0	ONEBIT = 1
00	3.75 %	4.375 %	2.50 %	3.75 %
01	3.41 %	3.97 %	2.27 %	3.41 %
10	4.16 %	4.86 %	2.77 %	4.16 %

表 4. BRR[3:0] # 0000 时的 USART 接收器容差

M 位	OVER8 位 = 0		OVER8 位 = 1	
	ONEBIT = 0	ONEBIT = 1	ONEBIT = 0	ONEBIT = 1
00	3.33 %	3.88 %	2 %	3 %
01	3.03 %	3.53 %	1.82 %	2.73 %
10	3.7 %	4.31 %	2.22 %	3.33 %

- LPUART接收器容差则取决于下列参数：
 - 通过LPUART_CR2寄存器中的STOP[1:0]位配置的停止位数。
 - LPUART_BRR寄存器值

表 5基于上述参数的值总结了USART接收器容差。

表5. LPUART接收器的容差

M 位	OVER8 位 = 0		OVER8 位 = 1	
	ONEBIT = 0	ONEBIT = 1	ONEBIT = 0	ONEBIT = 1
8 位 (M=00), 1 个停止位	1.82 %	2.56 %	3.90 %	4.42 %
9 位 (M=01), 1 个停止位	1.69 %	2.33 %	2.53 %	4.14 %
7 位 (M=10), 1 个停止位	2.08 %	2.86 %	4.35 %	4.42 %
8 位 (M=00), 2 个停止位	2.08 %	2.86 %	4.35 %	4.42 %
9 位 (M=01), 2 个停止位	1.82 %	2.56 %	3.90 %	4.42 %
7 位 (M=10), 2 个停止位	2.34 %	3.23 %	4.92 %	4.42 %

仅当总时钟系统偏差小于USART/LPUART接收器的容差时，USART/LPUART异步接收器才能正常工作。影响总偏差的因素包括：

- DTRA: 发送器误差引起的偏差（其中还包括发送器本地振荡器的偏差）
- DQUANT: 接收器的波特率量化引起的误差
- DREC: 接收器本地振荡器的偏差
- DTCL: 传输线路引起的偏差（通常是由于收发器所引起，它可能会在低电平到高电平转换时序与高电平到低电平转换时序之间引入不对称）

$$DTRA + DQUANT + DREC + DTCL + DWU < \text{USART/LPUART receiver tolerance}$$

其中，DWU为使用从低功耗模式唤醒时采样点偏差导致的误差。

可按以下方式计算允许从低功耗模式正确唤醒的最大波特率：

- 以具有9位数据长度、M位 = 01的USART/LPUART接收器为例

$$DWU_{\max} = t_{WU\text{USART}/WUL\text{PUART}} / (11 \times T_{\text{bit min}})$$

$$\text{波特率最大值} = (11 \times DWU_{\max}) / t_{WU\text{USART}/WUL\text{PUART}}$$
 其中， $T_{\text{bit Min}}$ 是最小位持续时间
- 以具有8位数据长度、M位 = 00的USART/LPUART接收器为例

$$DWU_{\max} = t_{WU\text{USART}/WUL\text{PUART}} / (10 \times T_{\text{bit min}})$$

$$\text{波特率最大值} = (10 \times DWU_{\max}) / t_{WU\text{USART}/WUL\text{PUART}}$$
- 以具有7位数据长度、M位 = 10的USART/LPUART接收器为例

$$DWU_{\max} = t_{WU\text{USART}/WUL\text{PUART}} / (9 \times T_{\text{bit min}})$$

$$\text{波特率最大值} = (9 \times DWU_{\max}) / t_{WU\text{USART}/WUL\text{PUART}}$$

以OVER8=0、M位=10、ONEBIT=1且BRR[3:0]=0000的的STM32L4USART接收器为例。

在这些条件下，根据表 3: BRR[3:0]=0000时的USART接收器容差，USART接收器的容差为4.86 %。

考虑一种理想情况：参数 DTRA、DQUANT、DREC和DTCL为 0%，则DWU最大值为4.86%。

实际上，我们至少需要考虑HSI不准确性。

假设 HSI 不准确性为 1%， $t_{WUUSART} = 8.5 \mu s$ （对于停止模式 1/2）

$$DWU \max = 4.86 \% - 1 \% = 3.86 \%$$

$$T_{bit \min} = 8.5 \mu s / (9 \times 3.86 \%) = 24.4 \mu s。$$

在这些情况下，允许从低功耗模式正确唤醒的最大波特率为

$$1/23.31 \mu s = \sim 40 \text{ Kbaud}。$$

5 结论

此应用笔记解释了USART/LPUART如何将MCU从停止模式唤醒。它还提供了大致确定允许从低功耗模式正确唤醒的USART/LPUART最大波特率的指南。

6 版本历史

表6. 文档版本历史

日期	版本	变更
2017年3月8日	1	初始版本。

表7. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2017年10月13日	1	中文初始版本。

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。本文档的中文版本为英文版本的翻译件，仅供参考之用；若中文版本与英文版本有任何冲突或不一致，则以英文版本为准。

© 2017 STMicroelectronics - 保留所有权利