

前言

本应用笔记描述了如何优化基于 STM32F3xx 微控制器的应用的功耗。

减少功耗同时执行复杂的实时应用对于当前嵌入式应用提出了重大挑战。

本应用笔记主要分为两部分：

- 第一部分给出了低功耗设计集成特性和降低功耗技术的概述。
- 第二部分描述了一个用例（智能电机控制应用），此用例针对嵌入式系统市场有竞争力的应用，重点突出了 STM32F3xx 微控制器的功率效率。

本应用笔记提供了 STSW-STM32036 软件包，此软件包含有 STM32F3xx 微控制器低功耗应用的示例。本应用笔记基于 USART、DMA、定时器、比较器、RTC 外设，应用 STM32F3xx 微控制器低功耗模式和特性。

表 1. 可用产品和软件

类型	产品料号
微控制器	STM32F301x6/8, STM32F302x6/8/B/C/D/E, STM32F303x6/8/B/C/D/E, STM32F334xx, STM32F373xx, STM32F318xx, STM32F328xx, STM32F358xx, STM32F378xx, STM32F398xx
软件	STSW-STM32036

目录

1	STM32F3xx 微控制器低功耗概览	5
1.1	电源	5
1.1.1	具有内部调压器的 STM32F3xxxx 器件电源	5
1.1.2	STM32F3x8xx 器件电源	6
1.1.3	电源总结	6
1.2	功耗模式特性	7
1.3	低功耗模式唤醒	8
1.4	STM32F3xx 微控制器节能技术	10
1.4.1	通用技术	10
1.4.2	低功耗特性	11
2	STM32F3xx 微控制器低功耗应用示例	12
2.1	应用描述	12
2.1.1	功能概述	12
2.1.2	应用模块	13
2.1.3	状态机	15
2.2	软件说明	17
2.2.1	架构描述	17
2.2.2	外设配置	18
2.3	如何使用此应用：	19
2.3.1	环境设置	19
2.3.2	应用设置	21
2.4	应用电流消耗	21
2.4.1	测量电流消耗	21
3	结论	23
4	版本历史	24

表格索引

表 1. 可用产品和软件 1

表 2. STM32F3xxxx 器件电源注意事项 7

表 3. 低功耗模式唤醒源 9

表 4. 低功耗模式唤醒时间示例 9

表 5. 测量示例的低功耗模式数据 22

表 6. 文档版本历史 24

表 7. 中文文档版本历史 24

图片索引

图 1. 具有内部调压器的 STM32F3xxxx 器件电源概览..... 5

图 2. STM32F3x8xx 器件中的电源概览..... 6

图 3. 应用概要 12

图 4. 应用模块和功能互联 14

图 5. 应用状态机 15

图 6. STM32F3xx 微控制器低功耗工程概览 17

图 7. NUCLEO-F302R8 硬件连接 20

图 8. 测量示例的日志时间显示 22



1 STM32F3xx 微控制器低功耗概览

STM32F3xx 微控制器基于运行速率达 72 MHz 的 ARM® Cortex®-M4 内核，集成了多种高级模拟外设。它们集成了高效的电源结构和多种功耗模式，从而降低了应用级功耗并简化了应用设计。

1.1 电源

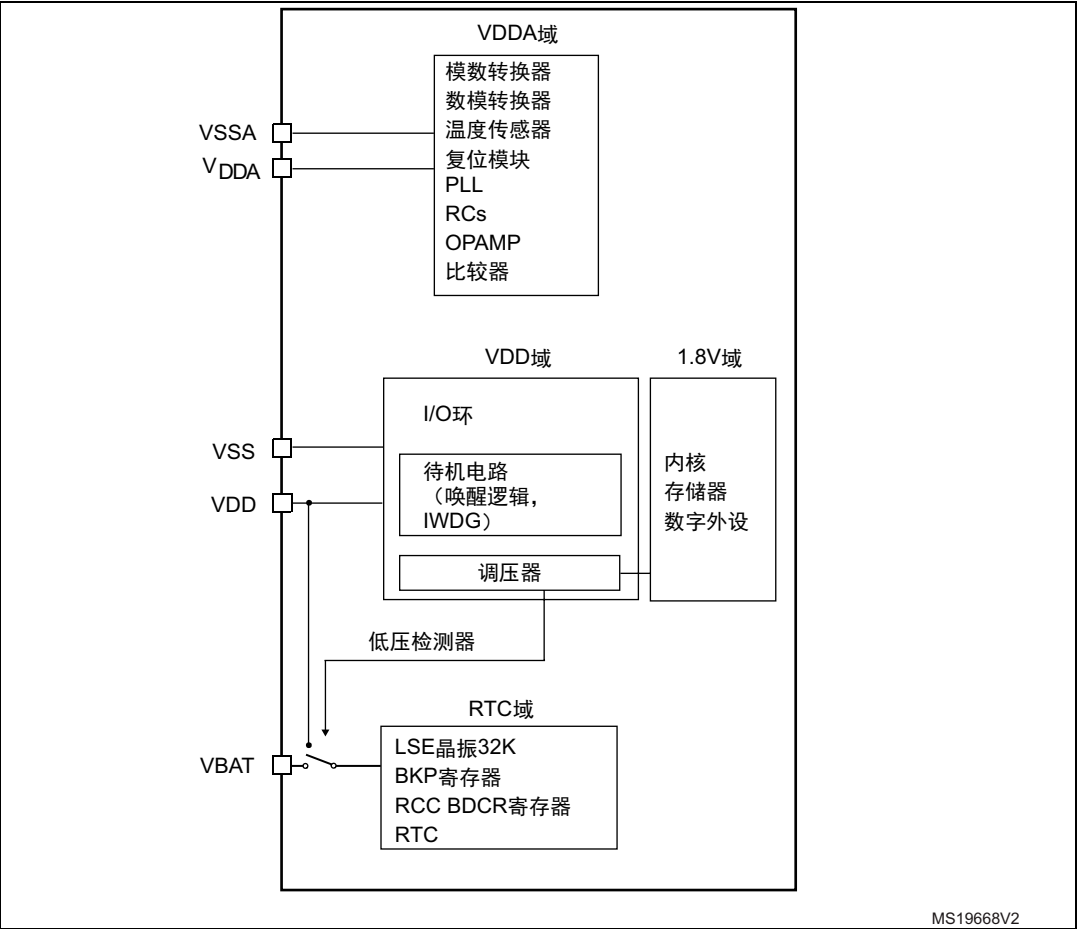
STM32F3xxxx 器件具有优化的电源结构，集实时功能、数字信号处理和低电压操作、高度集成的模拟外设于一身。

根据 STM32F3xx 微控制器中内部调压器的可用性，存在两种不同的电源结构：

1.1.1 具有内部调压器的 STM32F3xxxx 器件电源

嵌入的调压器用来为 1.8 V 数字电源区域供电，该区域包括内核、存储器和数字外设，如 [图 1](#) 所示。

图 1. 具有内部调压器的 STM32F3xxxx 器件电源概览

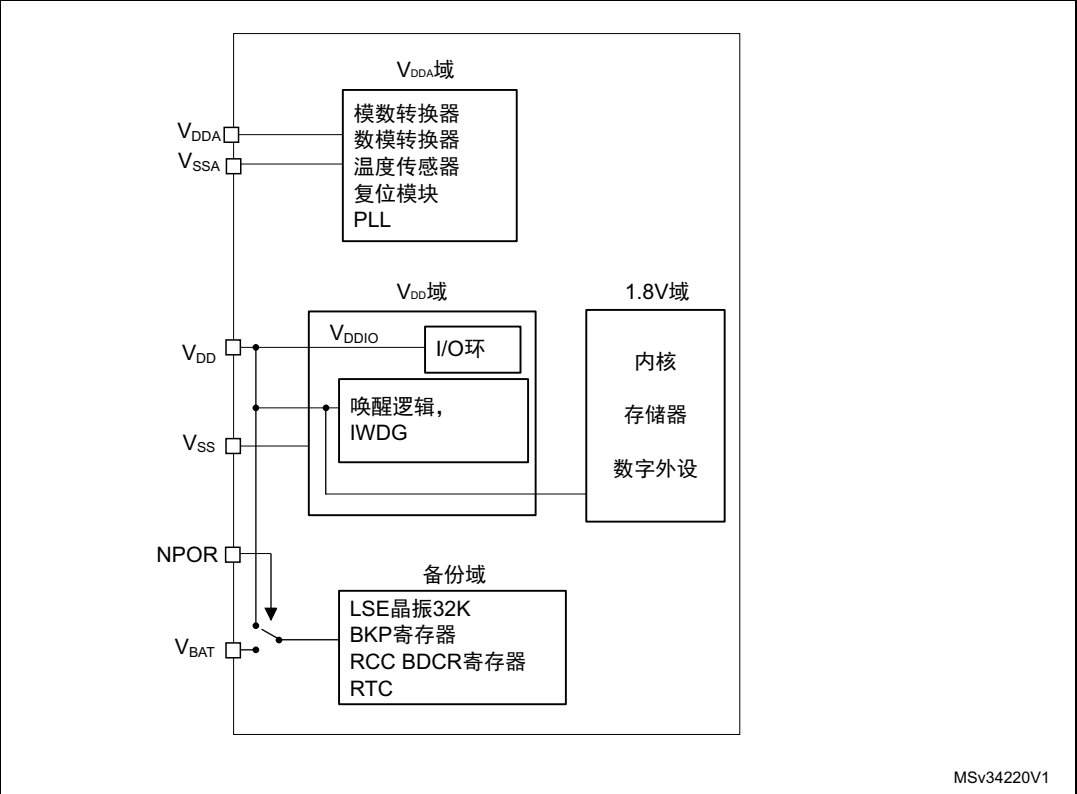


具有内嵌调压器的 STM32F3xx 微控制器要求 2.0 V - 3.6 V 的工作电源电压 (V_{DD}) 和 2.0 V - 3.6 V 的模拟供电电压 (V_{DDA})。

1.1.2 STM32F3x8xx 器件电源

这些器件不具有调压器。 V_{DD} 直接为调压器输出供电，如 [图 2](#) 中所述。

图 2. STM32F3x8xx 器件中的电源概览



STM32F3x8 微控制器需要 1.8 V +/- 8% 工作供电电压 (V_{DD}) 和 1.65 V - 3.6 V 模拟供电电压 (V_{DDA})。不支持待机模式。

1.1.3 电源总结

两种电源结构中，当主电源 V_{DD} 断开时，可通过 V_{BAT} 电压为实时时钟（RTC）和备份寄存器供电。

[表 2](#) 总结了两种结构中的电源供电范围，并给出了需考虑的供电条件。

表 2. STM32F3xxxx 器件电源注意事项

内部调压器状态	V _{DD}	V _{DDA}	电源域注意事项	
调压器开	从 2V 到 3.6V	从 2V 到 3.6V	<ul style="list-style-type: none">• $V_{DDA} \geq V_{DD}$• 当使用 DAC 和 OPAMP 时, $V_{DDA} \geq 2.4V$。• 当使用 ADC 时, $V_{DDA} \geq 1.8V$。	无 注意事项
调压器关	1.8V ± 8%	从 1.65V 到 3.6V		<ul style="list-style-type: none">• POR、PDR 和 PVD 特性不可用。• 待机模式不可用。

注：关于电源的更多信息，您可从意法半导体网站上参考参考手册 RM00313、RM0316、RM0364、RM0365、RM0366 及相关数据手册。

1.2 功耗模式特性

默认情况下，上电或系统复位后，STM32F3xx 微控制器处于运行模式。这是完全激活模式，即便执行微小任务时，也会消耗大量功率。

集成了高度优化的低功耗模式，使 CPU 在不需要保持运行时能够节省功率，因此在应用设计中实现了低功耗、短启动时间与可用唤醒源之间的最佳折中。

本部分描述 STM32F3xxxx 器件支持的不同低功耗模式及相关特性。

STM32F3xxxx 器件具有 4 种主要的低功耗模式：

- **睡眠模式：**
 - 只有 CPU 时钟停止。
 - Cortex®-M4 时钟停止，而外设保持运行。电流消耗随着时钟频率而增加。如在运行模式下，用户需要知道系统时钟配置规则。
- **停止模式**
 - 在保持所有 SRAM 和寄存器内容的情况下的最低功耗。
 - 禁用 PLL，HSI，HSE。
 - 1.8 V 域的所有时钟均断开。
 - 调压器工作于正常模式或低功耗模式。

停止模式在保持 SRAM 和寄存器内容的同时，实现最低功耗。此时，1.8 V 域中的所有时钟都会停止，PLL、HSI 和 HSE 被禁止。还可以将调压器置于正常模式或低功耗模式（当内部调压器断开时不可用）。

- **待机模式**

- 最低功耗。
- 1.8V 域断电（调压器禁用）。
- 除备份域之外，SRAM 和寄存器的内容都将丢失。

Cortex[®]-M4 内核停止，且时钟关闭。内部调压器禁用，1.8 V 域断电。除备份域（RTC 寄存器、RTC 备份寄存器和备份 SRAM）和待机电路中的寄存器外，SRAM 和寄存器内容都将丢失。

注：内部调压器为 OFF 的器件，其待机模式不可用。

- **Vbat 模式：**

- 主数字供电（V_{DD}）关断。
- 电路通过 V_{BAT} 脚供电，该脚应当连接一个外部电源电压（电池或其他任意源）。

该模式仅用于主数字供电（V_{DD}）关断且 V_{BAT} 脚连接到外部供电电压时。V_{BAT} 脚为备份域（RTC 寄存器、RTC 备份寄存器和备份 SRAM）供电。

注：关于 STM32F3xxxx 器件这些低功耗模式特性和低功耗技术的更多描述，您可从意法半导体网站上参考 RM00313、RM0316、RM0364、RM0365、RM0366 参考手册及相关数据手册。

1.3 低功耗模式唤醒

STM32F3xxxx 器件集成了很多唤醒源，为低功耗应用开发提供了灵活的电源管理，并简化了应用设计。大量的 I/O 引脚支持使用这些不同的唤醒源。

表 3 描述了 STM32F3xxxx 器件中可用的不同唤醒源和引脚。

表 3. 低功耗模式唤醒源

模式名称	进入	唤醒源	唤醒引脚
睡眠	WFI	任意中断	所有 I/O
	WFE	唤醒事件 比较器能够唤醒睡眠模式 (STM32F303xB/C/D/E、STM32F358xx 和 STM32F398xx 中有多达 7 条 EXTI 线)	
停止	PDDS, LPDS 位 + SLEEPDEEP 位 + WFI 或 WFE	任意 EXTI 线 (在 EXTI 寄存器中配置, 内部线和外部线) EXTI 线内部连接到: ⁽¹⁾ <ul style="list-style-type: none"> • U(S)ART • 比较器 • I2C • CEC ⁽²⁾ 	
待机	PDDS 位 + SLEEPDEEP 位 + WFI 或 WFE	WKUPx 引脚 (x = 1, 2, 3), RTC 报警, RTC 入侵事件, NRST 脚上的外部复位, IWDG 复位	PA0 PC13 PE6 ⁽³⁾

1. 关于内部连接到这些外设的 EXTI 线, 请参见参考手册中的 EXTI 线映射章节。
2. CEC 仅在 STM32F37xxx 中可用。
3. PE6 仅在 STM32F303/302xB/C/D/E 中作为唤醒引脚使用。

低功耗模式唤醒时间对功率优化和应用灵活性的影响很大。必须在低功耗模式的功耗和相应唤醒时间之间实现平衡。

表 4 给出了 STM32F3xx 微控制器中低功耗模式唤醒时间的示例

表 4. 低功耗模式唤醒时间示例

参数	条件	典型值, $V_{DD}=V_{DDA}=3,3\text{ V}$			单位
		STM32F302x6/8	STM32F303xB/C	STM32F373xx	
从睡眠唤醒		6			CPU 时钟 周期
从停止唤醒	调压器处于运行模式	3.8	3.6	3.6	μs
	调压器处于低功耗模式	5.7	5.4	5.4	
从待机唤醒	LSI 和 IWDG OFF	53.1	51.7	42.7	

1.4 STM32F3xx 微控制器节能技术

1.4.1 通用技术

本章节简要描述了主要的节能特性，它们有助于降低电流消耗，并在处理性能和功率效率之间实现最佳平衡。

- **系统时钟配置**

可通过多个预分频器配置 AHB 频率、高速 APB (APB2) 和低速 APB (APB1)。在运行模式下，可通过将寄存器预分频器编程为最大值来降低系统时钟的速率，以便仅为外设提供其所需时钟，并避免超频引起功耗过大。

当 APBx 和 AHBx 外设不用时，通过对其时钟进行门控，可进一步降低功耗。

- **I/O 配置**

为避免有额外的 I/O 电流，所有闲置引脚都应当配置为模拟输入，这种模式下施密特触发器输入被禁用，可使每个 I/O 引脚均为零消耗。

对于输出，建议将 I/O 速率频率配置为尽可能最低的速率。如不使用上拉和下拉，则用户须避免上拉和下拉激活，并建议不作上拉 / 下拉配置。如不用时钟输出的 MCO 脚，则用户还须将其禁用。

- **使用直接存储器访问 (DMA)**

可通过 DMA 访问 STM32F3xxx 器件外设。此特性不仅有助于提高性能，还能降低功耗。为了避免仅有一个缓冲寄存器的外设上发生溢出，CPU 必须保持运行。但是，利用 DMA，CPU 可进入睡眠模式，直至 DMA 传输完成。

这使得器件在应用寿命内的平均电流消耗更少。

- **采用低功耗模式**

在应用处理中切换功耗模式，使器件尽可能处于低功耗模式，可降低总平均功耗。

最佳功率管理方案包括在不同功耗模式之间进行切换，并同时从功耗、唤醒源 / 时间和外设角度考虑应用的要求。

- **外设时钟门控**

同时激活的外设块越多，功耗越高。通过对不用的外设时钟进行门控，能够实现明显的节能。

- **利用外设的低功耗特性**

STM32F3xxx 器件的外设具有独特的功耗特性，允许设计和开发低功耗应用，同时保持高度的灵活性和与外界简单的交互性。例如，利用 USART、比较器、I2C 和 CEC，器件能够从低功耗模式唤醒。

1.4.2 低功耗特性

一些 STM32F3xxxx 外设具有低功耗特性，能够很容易地使用低功耗模式，同时保持高处理能力。这些特性的可用性对于不同 STM32F3xx 微控制器是不同的。

- **COMP**

STM32F3xxx 比较器独立于 PCLK2 时钟而工作。由于存在该时钟，比较器甚至能够在停止模式下运行。每个比较器具有其各自的 EXTI 线，能够产生中断或事件，可将器件从睡眠和停止模式中唤醒。

睡眠模式下，输出可连接到 I/O 或多个定时器输入，以触发控制和监测模拟信号。

对于给定的应用，可调节比较器功耗与速率以获得最佳平衡（此特性仅在 STM32F303/302xB/C、STM32F358xx、STM32F373xx 和 STM32F378xx 器件中可用。）。

- **U(S)ART**

睡眠模式下，所有 U(S)ART 均可使用 DMA 控制器。USART 支持双时钟域（支持所述功能和停止模式唤醒）。USART 可通过地址匹配、起始位，或在时钟源为 HSI 或 LSE 时通过 RXNE 从停止模式唤醒。

此特性方便了应用设计和开发，同时能够保持功率效率。

注意，用户可将 IrDA SIR ENDEC 置于低功耗模式来节省更多功率。

- **I2C**

DMA 可用来降低 CPU 负荷，并因而降低功耗。I2C 的时钟由独立时钟源提供，这使得 I2C 能够独立于 PCLK 频率工作。当 I2C 时钟源为 HSI 时，I2C 可在地址匹配时从停止模式唤醒。

- **CEC**

消费电子控制（Consumer Electronics Control）协议可在低速下工作，具有极低的处理和存储开销。它有一个独立于 CPU 时钟的时钟域，可在收到数据时从停止模式唤醒 MCU。

HDMI_CEC 控制器仅嵌入 STM32F37xxx 器件中。

- **ADC**

STM32F3xxxx 器件（除了 STM32F373/378xx 器件外）嵌入了一个低功耗 ADC，其功耗与速率成比例。速率最低时，功耗最低。

此 ADC 具有两个时钟源，分别来自 AHB 和 PLLCLK 时钟。因此，可达到最大速率 5MSPS，与低速 AHB 总线频率一致。这种情况下，为避免 ADC 过载，可用 ADC 自动延时特性。

2 STM32F3xx 微控制器低功耗应用示例

本章描述 STM32F3xx 微控制器的实际用例，并重点说明减少应用功耗的节能技术。

2.1 应用描述

应用设计为智能电机监测和控制（集成了不同低功耗模式和特性）。它向用户传达关于不同应用步骤和日志时间配置文件的信息。

2.1.1 功能概述

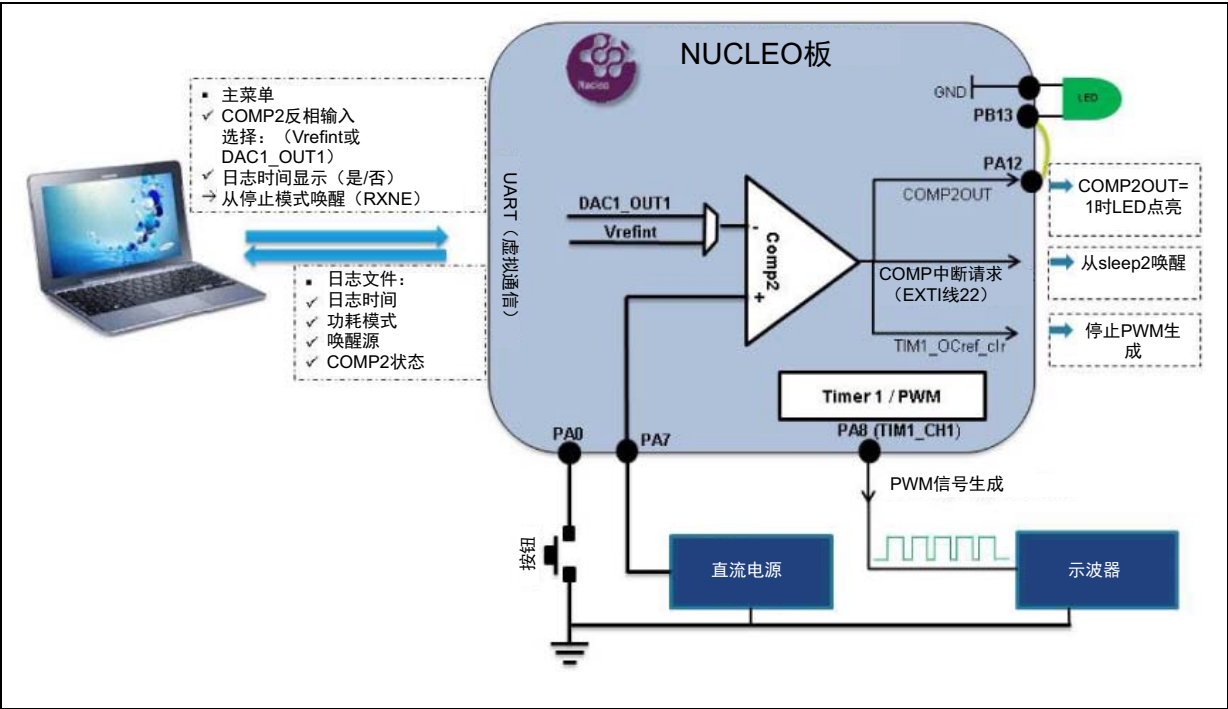
应用被设计为使用基于 STM32F302x8 器件的 NUCLEO-F302R8 板。

此应用的主要特性为：

- 使用多个外设：USART、DMA、定时器、COMP、DAC、RTC
- 使用多种低功耗模式：睡眠，停止，待机
- 实时日志数据：RTC 日历（LSE）

下图给出了应用生态系统的概览。

图 3. 应用概要



NUCLEO-F302R8 上电时应用启动。当用户按下按钮或经过了规定的 RTC 时间，用户就必须选择参考电压，比较器将使用它来控制外部模拟信号（电机电流阈值）。

完成选择后，应用就开始利用由 timer1 产生的 PWM 信号来驱动电机。同时，比较器控制输入模拟信号（电机电流）。当此信号达到选定的参考电压时，停止产生 PWM 信号。

应用嵌入了多种功耗模式，能够优化整个应用的功耗。整个应用中 RTC 定时器均使能，以保存每个状态的时间。应用向用户传递主要的应用转移相关的信息。如果用户使能了此特性，则可显示不同状态的日志时间。这个日志时间配置文件使用户能够很容易地计算应用功率分配。

2.1.2 应用模块

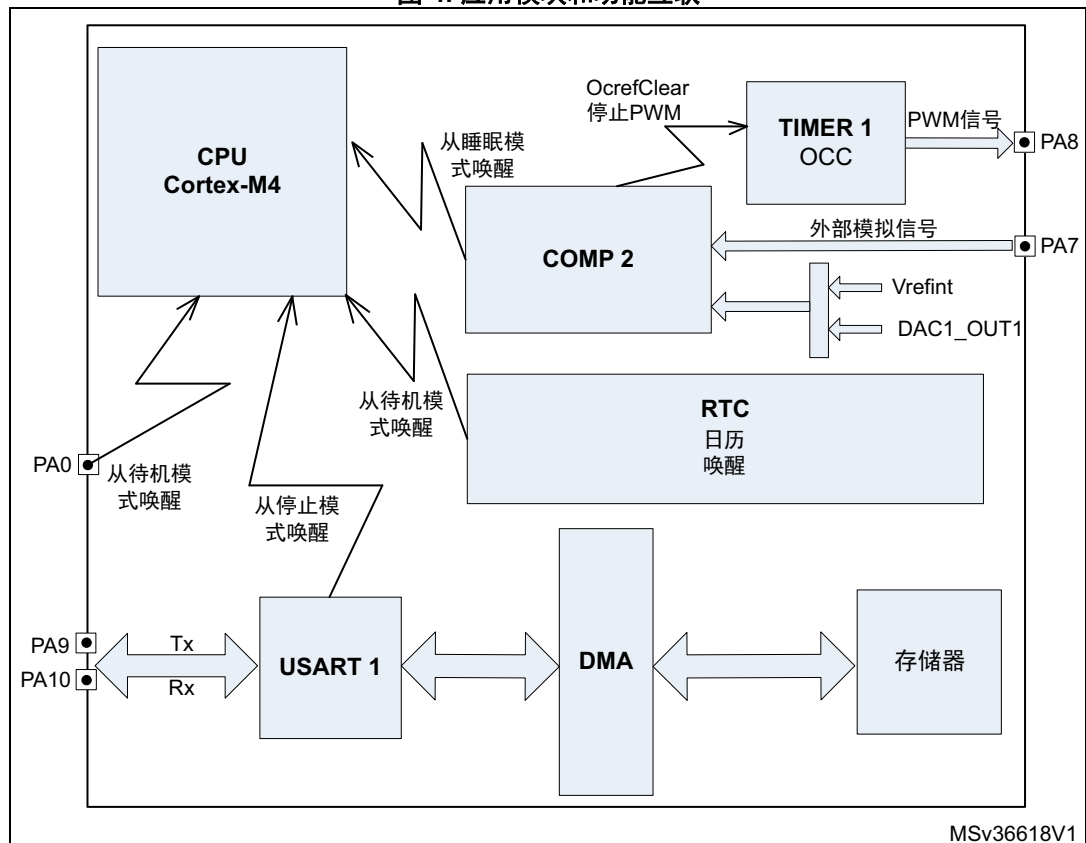
该应用基于 NUCLEO-F302R8，通过 USB 连接线连接到 PC。

此应用所用的主要 STM32F302x8 外设为：

- **USART1**：用来通过虚拟通信端口发送和接收数据，以及将 CPU 从停止模式唤醒。
- **DMA**：与 USART 一起用于实现器件到 PC 的数据传输
- **定时器 1**：用来产生 PWM 信号。
- **比较器 2** 用来停止 PWM 产生，当非反相输入电压超出参考电压时，可将 CPU 从睡眠模式唤醒。
- **RTC**：用来在整个应用中运行日历，并在经过预先规定的时间后将 CPU 从待机模式唤醒。

 4 总结了应用的不同模块和相关功能互连。

图 4. 应用模块和功能互联



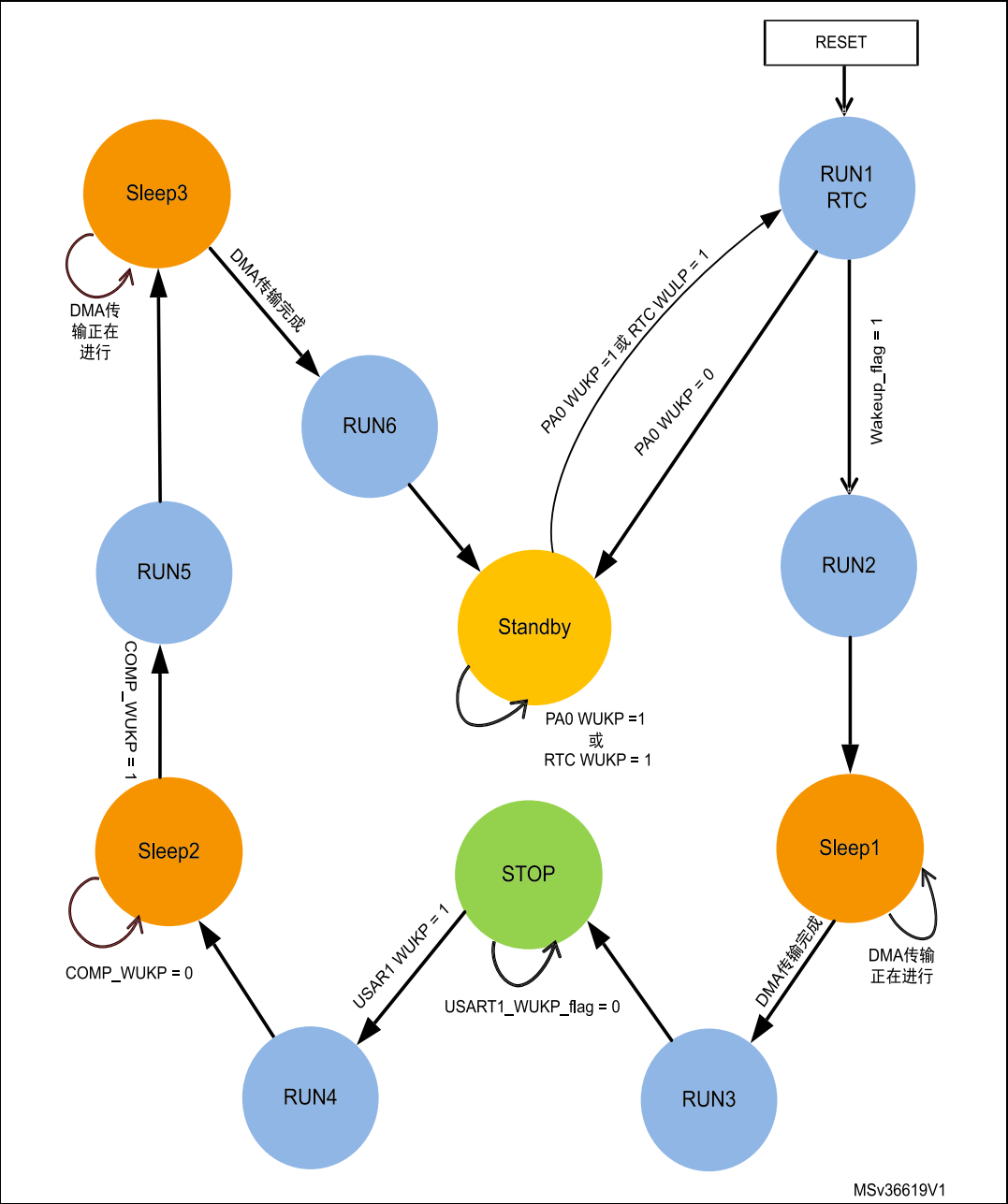
存在 4 种不同的唤醒源：

- PA0：从待机模式唤醒
- USART 唤醒源：从停止模式唤醒
- 比较器：从睡眠模式唤醒。
- RTC：从待机模式唤醒。

2.1.3 状态机

图 5 中所示的状态机描述了应用的状态和转移。

图 5. 应用状态机



- **状态机**

初始时，器件处于待机模式。

首先，用户按下用户按钮将器件从待机中唤醒。如果用户不按此按钮，器件经过预先规定的时间（默认为 20 s）后将由 RTC 唤醒。然后，器件通过虚拟通信端口来发送数据（见 Sleep1 状态描述）。完成传输后，CPU 进入停止模式。

器件停留在停止模式，直至用户按下键盘按钮将数字 1 换成 4。将利用 USART 唤醒器件，同时选择比较器反相输入（Vrefint 或 DAC1_OUT1）和 RTC 显示（是或否）所需的配置。

接着，STM32F302x8 器件进入睡眠模式。这种模式下，定时器 1 产生 PWM 信号，当非反相输入电压超出所选参考电压（反相输入）时，比较器激活，进行实时监测。这种情况下，比较器产生一个中断，将器件从睡眠模式唤醒，通过内部信号 OCref_clr 停止产生 PWM。

之后，再次进入睡眠模式，通过 DMA 发送先前状态和所有状态日志时间的数据（如果已经使能）。

完成 DMA 传输后，器件进入待机模式。

- **状态：**

- **Run1:** 当器件上电，它配置系统时钟和 RTC 日历及唤醒源。
- **Standby:** 上电后，进行 Run1 配置后器件进入待机模式并保持，直至被唤醒（唤醒引脚或 RTC）。
- **Run2:** 从待机模式唤醒后，配置 USART、待传输的 DMA 和读取时间。
- **Sleep1:** 通过 DMA 向用户发送可选配置的信息。完成传输后，器件从 Sleep1 唤醒。
- **Run3:** 配置用于停止模式的 USART 唤醒源，读取时间。
- **Stop:** 保持停止模式，直至接收到 USART 数据来唤醒器件。
- **Run4:** 配置并启动 COMP2、TIM1 和 DAC1（如用到），然后读取时间。
- **Sleep2:** 通过 DMA 向用户发送信息。TIM1 产生一个 PWM 信号。激活比较器，比较注入的模拟信号和 Vrefint 或 DAC1_OUT1。当发生比较器中断时，会将器件从睡眠模式唤醒，并通过 OCref_clr 停止产生 PWM。
- **Run5:** 禁用 TIM1、COMP2 和 DAC（如用到），然后读取时间，准备显示日志时间配置文件（如果已选择）。
- **Sleep3:** 发送包括日志时间配置文件的信息。完成传输后，器件从 Sleep3 模式唤醒。
- **Run6:** 读取时间并将其保存在备份域。再次进入待机模式、新一轮（状态机）开始前，配置 RTC。

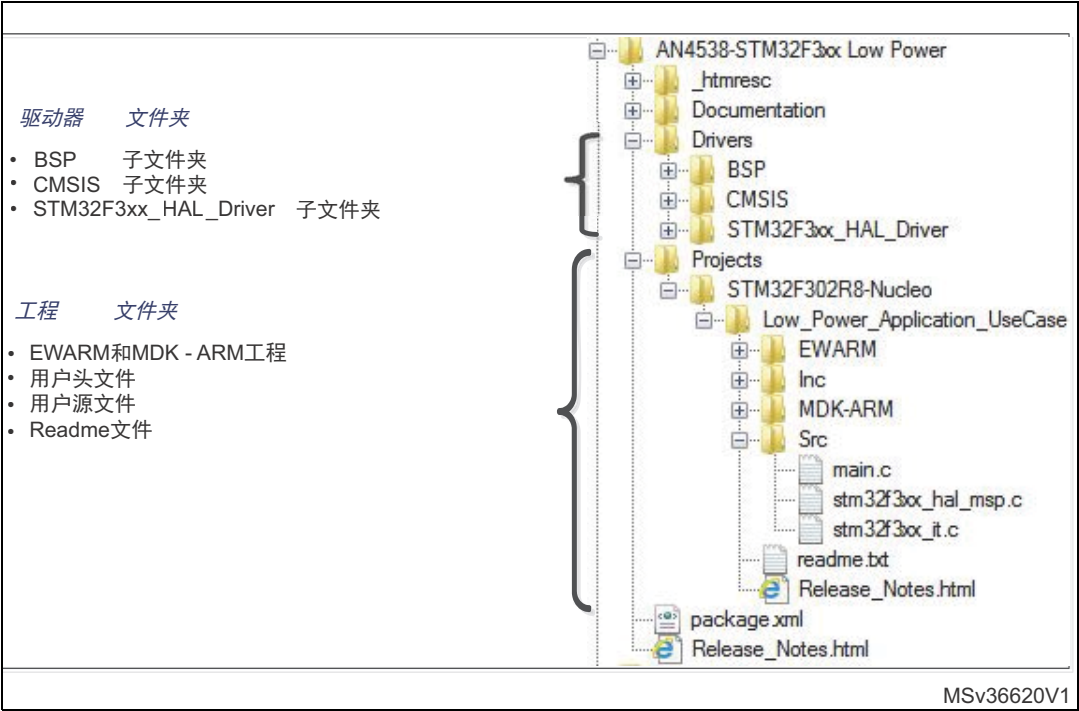
2.2 软件说明

2.2.1 架构描述

此应用使用了 STM32F3xx HAL 库，含有以下源文件：

- Main.c：包含了执行应用状态机所需的函数
- STM32F3xx_it.c：包含了应用的中断处理程序
- STM32F3xx_hal_msp.c：包含了应用所用不同外设所需的硬件配置。

图 6. STM32F3xx 微控制器低功耗工程概览



2.2.2 外设配置

- **Timer1**

- TIM1_output: 引脚 PA8。
- APB2 预分频器 = 1 (8 MHz)
- 周期 = 1/20 KHz
- 脉冲 = 50% 周期
- 检测到高电平时, 使能 OCref_clr 来禁止 PWM 产生。

- **UART1**

- USART1_Tx (PA9), USART1_Rx (PA10)
- 波特率: 115200 bps
- 字长度: 8 比特
- 停止位: 1
- 硬件流控制和奇偶校验: 无
- UART 从停止模式唤醒: EXTI 线 25

注: 在 NUCLEO-F302R8 板上, 虚拟通信端口连接到 USART2。使用软件中的 USART1 来支持 USART 从停止模式唤醒特性 »。USART2 引脚应连接到 USART1 引脚。应下载虚拟通信端口软件。

- **COMP2**

- COMP2 非反相输入 (COMP2_INP): 引脚 PA7
- COMP2 反相输入 (COMP2_INM): VREFINT 或 DAC1_OUT1
- COMP 输出: TIM1_OCref_clr / COMP_OUT: 引脚 PA12
- COMP 从睡眠模式唤醒: EXTI 线 22

- **RTC**

- 时钟源: LSE
- RTC_ASYNCH_PREDIV: 0x7F
- RTC_SYNCH_PREDIV: 0x00FF
- RTC_OUTPUT: 禁用
- 日历: 12 小时制, 时, 分, 秒
- RTC 唤醒: EXTI 线 20 从待机中唤醒。

- **DAC**

- 通道: 1
- 数据对齐: 12 位数据对齐。
- 数据: 2500 (默认), 可由用户修改。

2.3 如何使用此应用：

本章描述了如何准备用于此应用的 NUCLEO-F302R8 板，并说明了正确运行此应用的步骤。

2.3.1 环境设置

首先阅读 NUCLEO-F302R8 板用户手册 UM1724 的《入门指南》，准备正确使用 NUCLEO-F302R8 板。

所用 NUCLEO-F302R8 板的版本为 MB1136-C 02（具有板上 32kHz 振荡器）。

用户需要了解硬件连接和运行应用前必须要做的修改。

- **NUCLEO-F302R8 板修改**

- SB62 和 SB63 焊桥为 ON

注：关于 LSE 的更多详细信息，请参考 STM32 Nucleo 板用户手册《UM1724》。

- **NUCLEO-F302R8 板连接**

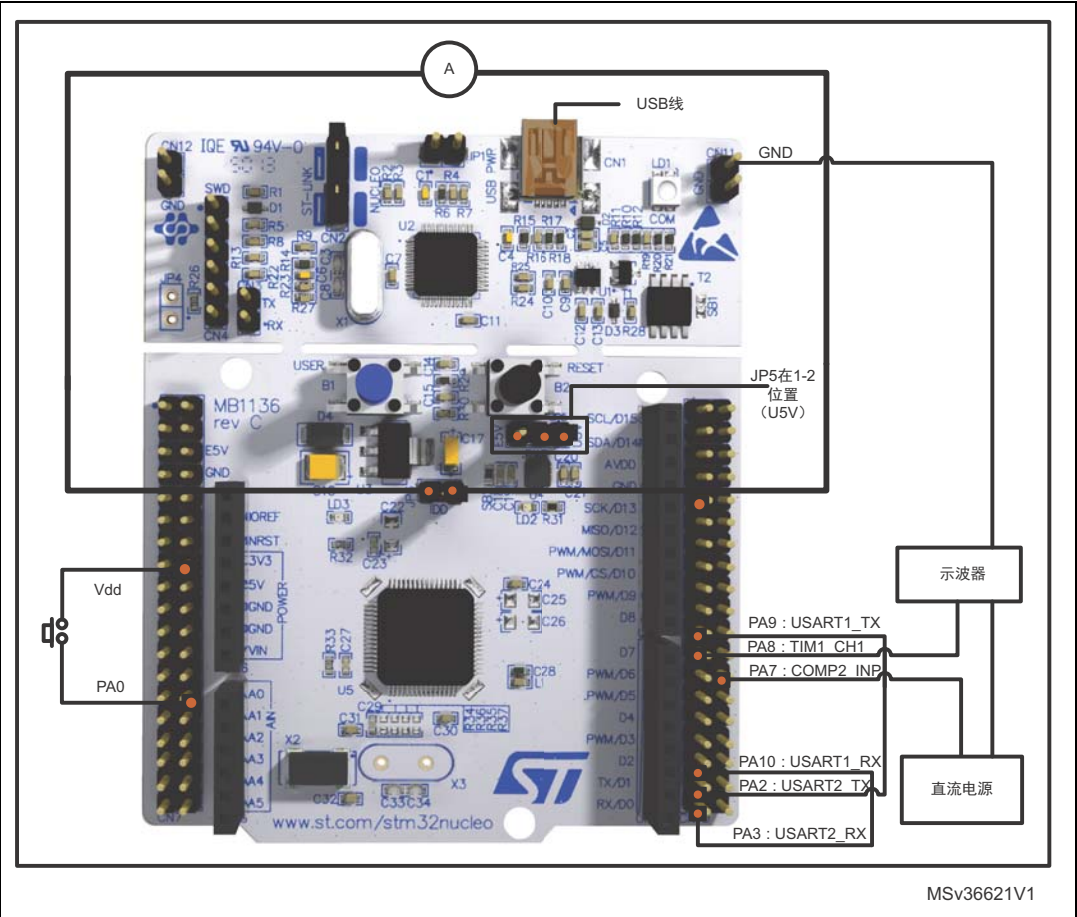
- 在引脚 2 和引脚 3 之间连接 JP5 跳线（U5V），确保 JP1 跳线断开。
- 将 USART2_Tx 连接到 USART1_Tx：PA2 连接到 PA9
- 将 USART2_Rx 连接到 USART1_Rx：PA3 连接到 PA10
- 将 PA0 连接到一个按钮（该按钮连接到 V_{DD} ），通过下拉（按钮可）连接到 GND。
- 连接 Idd 跳线 JP6 到万用表接线柱。

- **NUCLEO-F302R8 板到仪器的连接**

- 连接示波器探头到 PA8 引脚。
- 连接直流电源输出到引脚 PA7，调节其电压使其低于比较器参考电压（如选择 Vrefint 为 1.2 V，或者选择 DAC1_OU1 则为 2 V）。关闭电源。

图 7 描述了启动应用前必须设置的 NUCLEO-F302R8 连接。

图 7. NUCLEO-F302R8 硬件连接



2.3.2 应用设置

已遵循前面的软件和硬件建议，且 NUCLEO-F302R8 准备好可使用后，用户须进行如下（操作）：

- 打开 PC 中的串口终端接口。
- 连接 NUCLEO-F302R8 和 PC 之间的 ST-link 连接线，为板子上电。
- 打开串口终端同时保持器件处于待机模式。
- 按下连接到 PA0 的按钮，启动应用状态机，或等待经过 RTC 时间。
- 菜单信息显示后，通过按下按键从四种配置中选择一种，并发送正确的字符（1-4）。（见注释）
- 确保 PWM 信号产生并在示波器上显示。
- 接通直流电源，通过修改电源输出，使用一个超出参考电压的直流电压（如选择 Vrefint，则 $\geq 1.2\text{ V}$ ；或者选择 DAC1_OUT1 则 $\geq 2\text{ V}$ ）。
- 提示用户器件将返回待机的信息显示后，通过按下按钮或等待经过 RTC 时间，再次执行该序列。

注： 根据用户所做的选择，参考电压可为 1.2V（Vrefint）或 2V（DAC1_OUT1），日志时间可显示在最后的信息中（或否）。

用户必须采用与上面描述相同的步骤顺序，以实现应用的正常功能。

2.4 应用电流消耗

为了估计应用的功率分配，推断这种便携式应用的电池寿命，需要测量应用的平均电流消耗。

2.4.1 测量电流消耗

例如，NUCLEO-F302R8 板上电前，通过激活万用表的“Min Max”模式，可测量出第一个状态机循环过程的平均电流消耗。第一次返回待机模式后，按下保持按钮。

这种测量情况下，选择 Vrefint 作为比较器 2 的反相输入，激活日志时间显示。

平均电流等于 **480 μA** 。

返回待机状态前，应用显示应用状态机中不同低功耗模式的日志时间。图 8 给出了第一次应用过程所显示的日志时间。

请注意，Sleep3 模式的唤醒时间在状态机的第二个循环中显示。

图 8. 测量示例的日志时间显示

```
Low power mode time profile is :
>>
00:00:00:000: Enter standby mode
00:00:20:015: Wake-up from Standby mode
00:00:20:019: Enter to Sleep 1 mode
00:00:20:101: Wake-up from Sleep 1 mode
00:00:20:101: Enter to Stop mode
00:00:33:058: Wake-up from Stop mode
00:00:33:058: Enter to Sleep 2 mode
00:00:42:394: Wake-up from Sleep 2 mode
00:00:42:398: Enter to Sleep 3 mode
>>
00:00:42:488: Wake-up from Sleep 3 mode
```

每个模式中持续的时间和相应的电流消耗能帮助我们计算出整个应用平均电流消耗的估计值。平均电流消耗的公式如下：

$$I_{average} = (I_{RUNx} * Time_{RUNx} + I_{standby} * Time_{standby} + I_{sleep1} * Time_{sleep1} + I_{stop} * Time_{stop} + I_{sleep2} * Time_{sleep2} + I_{sleep3} * Time_{sleep3}) / Total\ Time$$

表 5 给出了测量示例中不同低功耗模式下的时间和电流消耗。对于 Runx 模式（x=1, 2, 3, 4, 5, 6），我们假设，从此低功耗应用的处理时间角度来说，相对于低功耗模式，它们可被忽略。

Total time = 从 Sleep3 模式唤醒时间 = 42488 ms

注：通过在应用的每个测量状态中保持显示万用表，可测量低功耗模式的电流消耗。

表 5. 测量示例的低功耗模式数据

低功耗模式	激活的外设	执行时间（ms）	测量的平均电流消耗（μA）
待机模式	RTC (LSE, 备份域)	20015	4.3
Sleep1 模式	RTC, USART1/DMA1	82	2010
停止模式	RTC, USART1	12957	24.3
Sleep 2 模式	RTC, USART1/DMA1, COMP2, TIM1	9336	2080
Sleep3 模式	RTC, USART1/DMA1	90	2040

应用平均公式，给出：

$$I_{average} = [(4.3 * 20015) + (2010 * 82) + (24.3 * 12957) + (2080 * 9336) + (2040 * 90)] / 42488 = 475\ \mu A$$

这样此计算给出的平均电流消耗相对于测量结果，仅有 1% 的误差。



3 结论

本应用笔记说明了 STM32F3xx 微控制器中的低功耗特性。它们保证了在功率效率和高性能之间有最佳平衡。

本文档提供了关于这些功耗特性的概述，并通过实际用例描述了如何正确地配置不同功耗模式来使功率电流消耗最小。

4 版本历史

表 6. 文档版本历史

日期	版本	变更
2015 年 1 月 6 日	1	初始版本。

表 7. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2015 年 9 月 28 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。

© 2015 STMicroelectronics - 保留所有权利 2015