

## 前言

STM32L1xx产品线属于意法半导体的超低功耗EnergyLite™平台，采用基于32位高性能Cortex™-M3的微控制器，完善了8位STM8Lxx系列，并提供了扩展的内存和更大的封装。

两个微控制器系列产品都是基于ST获得专利的130 nm超低泄漏工艺，具有多种模拟和数字外设，简化了从一种结构到另一种结构的过渡，使得用户可以利用同一个平台所需要的知识。

本应用笔记描述了STM32L1xx系列产品关键的低功耗特性，说明了其在主要关注能耗的应用中的优势。

**重要提示：**本文档并不能取代STM32L1xx数据手册。本文中给出的所有数值仅作参考。请参考相关的数据手册来获取有效的最新特性数据。

## 目录

1	STM32L1xx主要特性 .....	3
2	高效处理 .....	4
3	多种低功耗模式 .....	6
4	为低功耗量身定做的一组外设 .....	7
5	强大的时钟管理 .....	8
6	超安全电源监控 .....	10
7	结论 .....	11
8	版本历史 .....	12

# 1 STM32L1xx主要特性

在备受赞誉的STM32F10x系列产品的雄厚基础上，STM32L1xx加入了多种创新，能够使不同配置下的功耗减到最小，同时保留大部分现有外设并保持准引脚兼容。

对于给定的制造工艺和晶片区域，微控制器的功耗主要取决于两个因素（动态可控）：电压和频率。在STM32L1xx器件中，内部低压降调压器为大部分的逻辑电路提供了一个固定电压：确保无论电源电压是多少（可能随着便携式电池供电的产品寿命而降至1.65 V），功耗都能保持最小。

如果我们考虑时钟源，则多个级联的时钟预分频器、门控技术和逐个外设时钟管理允许在适当的频率下只激活必要的逻辑门。这是当前针对降低运行模式下功耗通用的设计原则。STM32L1xx在此方向上做了更多努力，实现了电压调节，可达到更高的处理效率。

但是，要满足所有的超低功耗要求，不能仅仅关注运行时间：对于大部分应用，挑战是在该模式下花费最少的时间和能量，并寻找合适的低功耗模式。

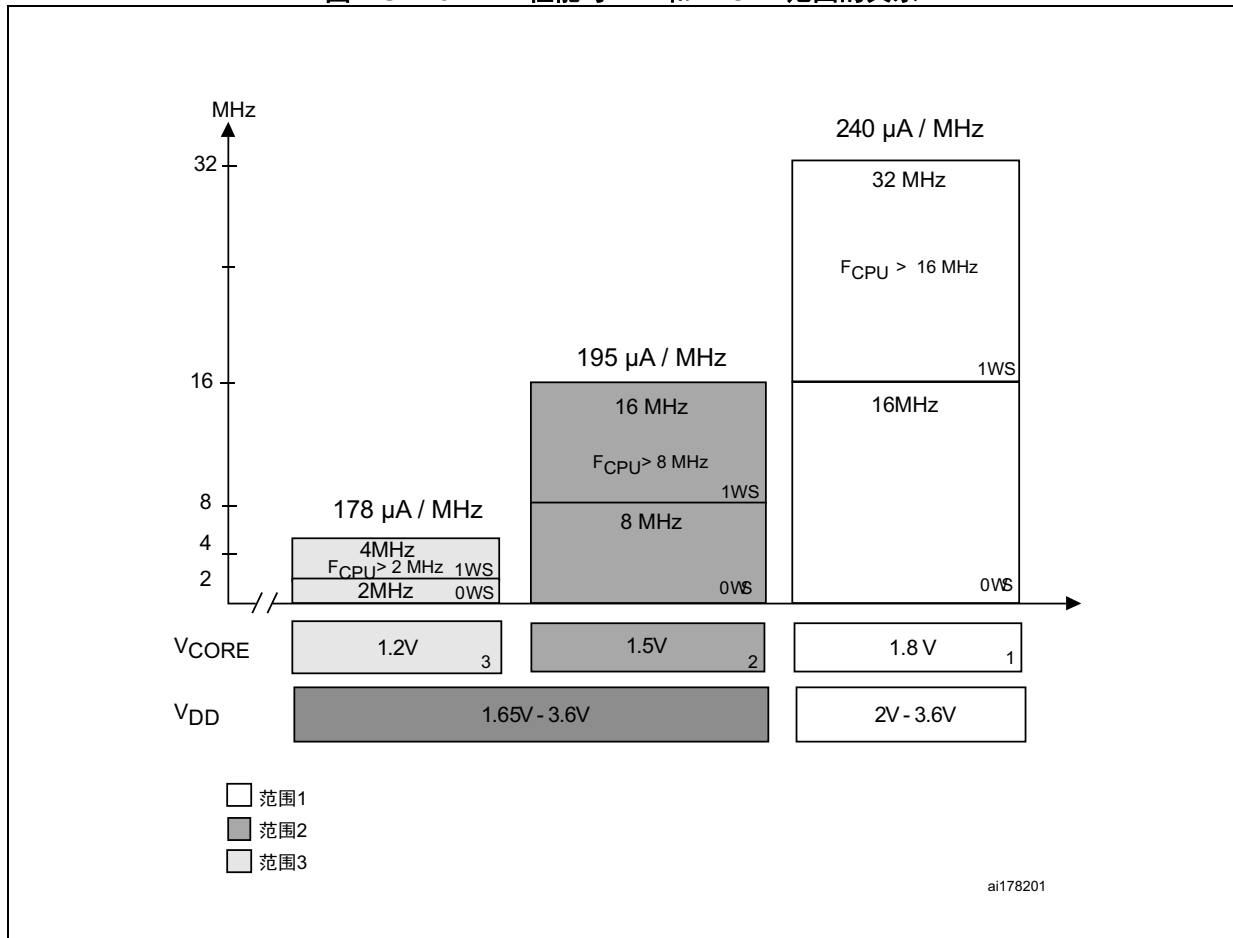
改进措施不仅仅包括优化深度睡眠模式，以消除每个即使是10nA的漏电流。系统也通过具有7个低功耗模式和一组能够调整为低功耗的外设得到了完善（例如日历实时时钟和LCD控制器）。这些内容在后面有详细描述。

## 2 高能效处理

STM32L1围绕工业标准32位内核Cortex-M3构建，在众多其他标准中，它针对低功耗应用而设计。Cortex-M3具有领先的性能和代码密度。虽然性能与低电流消耗无直接关系，但它是大多数低功耗应用（须周期唤醒来执行软件任务）的主要优势。这种情况下，Cortex-M3因其处理性能而在运行模式的时间更少，因此可以使深度睡眠模式的时间达到最长。如果我们仅考虑处理能耗（用mA/DMIPS表示，DMIPS代表DhrystoneMIPS，采用公共基准Rev2.0测量），Cortex M3的性能明显优于其他架构（尤其是16位微控制器）的性能。

由于性能（用DMIPS/MHz表示）由内核及其存储器接口给出，则通过电压调节，可使处理能耗（用mA/DMIPS表示）达到最大。这种方法（也称为欠压）包括动态调节内部逻辑供电电压与工作频率。STM32L1xx提供了3个动态可选电压范围，如下图所示，从1.8 V（范围1）至1.2 V（范围3），可在能耗上提供超过25%的增益。

图1. STM32L1xx性能与VDD和VCORE范围的关系



一个典型例子是具有USB设备功能的便携式医疗设备。

如果它在单机模式下工作，那么4 MHz足够用来获取和处理来自模拟前端的数据。这种情况下，内部逻辑可仅用1.2 V供电。

但是，当系统连接到PC的USB接口时，执行USB软件堆栈需要更多的处理功率：这种情况下，可将设备置于“高性能模式”，此模式下内部电压为1.8 V。然后它能够以32 MHz执行代码，同时USB外设由48-MHz时钟驱动。可利用电压调节来处理这两种工作模式的矛盾，而无需妥协动态电流消耗性能。

### 3 多种低功耗模式

在更高的架构级上来看，可进入低功耗模式（7种低功耗模式的某一种）来调节STM32L1的功耗。通过逐步禁用与频率无关的电流源（时钟源，非易失性存储器和调压器），直至大部分芯片掉电，可以降低功耗。下表概括了每种模式的特点并显示了电流消耗。

**表1. STM32L1xx低功耗模式概览**

低功耗模式	电流消耗	CPU	Flash / EEPROM	RAM	DMA & 外设	时钟	LCD	RTC
睡眠	100 $\mu$ A/MHz（范围1）	无	ON	ON	活跃状态	任意	可提供	
	82 $\mu$ A/MHz（范围2）							
	65 $\mu$ A/MHz（范围3）							
低功耗运行	10.4 $\mu$ A (闪存OFF, 32 kHz)	有	ON或OFF	ON	活跃状态	MSI	可提供	
低功耗睡眠	5.1 $\mu$ A (外设 关闭)	无	关闭	ON	活跃状态	MSI	可提供	
	6.1 $\mu$ A (1 定时器 ON)							
Stop 有RTC	1.3 $\mu$ A (1.8 V)	无	关闭	ON	冻结	LSE、LSI	可提供	
	1.6 $\mu$ A (3 V)							
Stop	500 nA	无	关闭	ON	冻结	LSE、LSI	关闭	关闭
待机 有RTC	1.3 $\mu$ A (3 V)	关闭	关闭	关闭	关闭	LSE、LSI	关闭	ON
	1 $\mu$ A (1.8 V)							
待机	270 nA	关闭	关闭	关闭	关闭	LSE、LSI	关闭	关闭

在STM32F系列低功耗模式的基础上，STM32L1xx上还实现了两种新的模式：低功耗运行和低功耗睡眠模式。它们为应用提供了具有极低电流消耗的运行和睡眠模式功能，这种情形下一些外设不能关闭（例如，通信外设和定时器），或者CPU持续低速工作以使电流变化最小。可使用几种功能模块实现极低电流：

- 调压器处于低功耗（LP）模式以降低其静态电流。
- 可关闭非易失性存储器，在16-KB RAM上工作
- 主时钟源来自于MSI内部RC振荡器，它能够降低至1.5  $\mu$ A。

调压器能够在LP模式下提供的最大电流仅限制了工作频率和它能够激活的外设数量。

## 4 为低功耗量身定做的一组外设

需要特别注意某些外设，因为可能其本身属于高耗能外设，也可能是它们无法掉电。

STM32L1xx内嵌有一个12-bit / 1 MSps的ADC。这个快速而精确的转换器速率具有1.45 mA的典型功耗，如果保持连续上电的话，可能会损坏电池寿命。利用其无校准结构、3.5  $\mu$ s的快速上电时间，以及1  $\mu$ s的转换时间，可在10  $\mu$ s之内实现6次转换，并且随后可立即关闭ADC。如果以1-kHz的速率执行此操作，则表示ADC相关的平均消耗不超过10.5  $\mu$ A。

开启和关闭外设所需的时间在高速下可忽略不计，但是对于低工作频率它可能会变得很重要：1 MHz时，每条指令的持续时间与ADC转换本身一样长。当ADC以这样的低频工作时，转换时间也会显著增加，这对终端应用没有好处。为了降低功耗并有效利用这种快速转换器，ADC数字接口经过了专门设计，能够以完全独立的方式工作，利用内部16 MHz时钟源，它可以其最大速率工作，而无论CPU工作频率（其范围可从“sub-kHz”至32 MHz）是多少。它还包含有自动关断模式，能够降低软件开销并处理极低CPU频率。32 kHz时，每条指令持续30  $\mu$ s：可在两个周期之间进行一连串转换，并且ADC可自动掉电，因此ADC的额外消耗可以仅限于必要时间内（对于单次转换，30  $\mu$ s的CPU周期内，只占用其中的4.5  $\mu$ s）。

以下的3种外设即便在停止模式下（此模式下系统时钟停止，主振荡器和存储器掉电）也能持续工作。

- 可用一对超低功耗比较器来监测，此时比较器电流消耗最低3 $\mu$ A。一旦外部电压达到所选阈值，这两个比较器就能唤醒MCU，并且它们可以一起组成一个窗口比较器。其中一个比较器具有轨到轨输入能力，并且其输出可重新输送到通用的计时器中。
- RTC外设提供了具有两个报警（闹铃）的时钟/日历，包括一个周期性唤醒单元和多个特殊应用功能（时间戳、篡改检测.....）。它能够在最低功耗模式（待机，该模式下大部分芯片是断电的）下保持使能，并能在发生报警或检测到篡改（举例）时唤醒全部MCU电路。它还包含了80字节的备份寄存器，用来存储退出待机模式时的上下文信息。该外设采用异步设计技术来设计，可以最小化其功耗（低于1  $\mu$ A）。
- 由于具有低电流消耗、价格低廉且易于定制，LCD是低功耗应用中最常见的显示设备之一。STM32L1xx包含了一个通用的LCD控制器，能够驱动具有多达8条公用线和40个区段的显示设备，具有单独选择I/O端口（为了最大化利用芯片可选功能而被分配给LCD）的能力。它还控制着可选内部升压转换器，以在大范围的V<sub>DD</sub>值下维持LCD对比度，并且功耗低至5  $\mu$ A（不包括LCD消耗）。

## 5 多功能的时钟管理

复位和时钟控制器（RCC）外设管理STM32L1的5个可用时钟源。

两个外部振荡器使应用能获得高精度：

- HSE时钟（4-24MHz的高速外部时钟），通常用于馈送PLL，并产生32MHz的CPU时钟频率和用于USB控制器的48-MHz频率。
- LSE（典型的32.768 kHz低速外部时钟）通常用于为实时时钟提供低功耗时钟源，不过也能用作LCD时钟。

对于多种不同的任务，有3个内部振荡器可供选择：

- LSI时钟（37 kHz低速内部时钟）是低精度超低功耗源，能够馈送实时时钟（精度有限）、LCD控制器和独立看门狗
- HSI时钟（16 MHz高速内部时钟）是高速电压补偿振荡器。
- MSI时钟（64kHz至4MHz多种速率内部时钟）是中等精度振荡器，具有可调的频率和低电流消耗。它的工作电流与频率成比例，以便最小化内部振荡器在低CPU频率下的功耗开销。下表总结了各种振荡器的特性和用途。

表2. STM32L1xx时钟源特性（初步数据<sup>(1)</sup>）

时钟来源	用途	频率	电流消耗 (典型值)	精度	工厂修调	用户可修调
HSE	主时钟 (+RTC&LCD)	1-24 MHz	0.5至0.7 mA	取决于晶振，低至几十ppm	不适用	
LSE	RTC和LCD	32.768 kHz (典型值)	0.45 μA (1.8 V) 0.6 μA (3 V)	取决于晶振，低至数ppm		
HSI	主时钟	16 MHz	100 μA	典型值1% <sup>(2)</sup>	有 <sup>(2)</sup>	有
MSI	主时钟	64 kHz 128 kHz 256 kHz 512 kHz 1.02 MHz 2.1 MHz 4.1 MHz	0.6 μA 0.9 μA 1.4 μA 2.2 μA 4 μA 7 μA 12 μA	典型值0.5%	有	有
LSI	RTC, LCD & 独立 WDG	38 kHz	0.4 μA (3 V)	-30%至+50% <sup>(3)</sup>	无	无，但是可测量 $f_{LSI}$

1. 根据初步特征分析或设计仿真。有关详细的电气特性，请参考产品数据手册
2. 在Value Line系列（STM32L100xx器件），HSI振荡器未被修调，因此请参考器件数据手册来保证其正确精度。
3. 初始测量后，有-10%至+4%的漂移



在成本敏感的应用中，晶体振荡器的价格可能无法忽略。出于这个原因，STM32L1xx提供了多种选择来测量内部振荡器。

尽管HSI和MSI是工厂修调的（STM32L100 Value Line除外），但它们能在运行时间内进一步修调0.5%个单位，以补偿因温度和电压变化引起的频率偏移。同样地，利用更高精度的时钟参考，能够估计和补偿LSI的制造过程偏差，不管是内部（HSI）还是外部（LSE 或 HSE）。

例如，在RTC使用32.768 kHz晶振的应用中，使用低功耗MSI振荡器，它能为CPU提供高达4 MHz的时钟频率，典型功耗为20  $\mu$ A。利用LSE晶振高精度（通常为几十ppm）的优势，能够确定具有同样精度的MSI频率，并对它进行实时修调。

## 6 超安全电源监控

STM32L1xx含有一个精细的电源监控模块，具有多个可编程选项。该模块在上电/掉电过程和运行时间阶段中都是激活的。

上电是个临界阶段，这种情况下内部电路各部分必须顺序启动，关键参数（如工厂修调值或选项）必须（甚至要在用户复位阶段之前）从非易失性存储器中恢复出来，进行MCU初始化。这期间 $V_{DD}$ 可能被来自电池接入点或因弱电源产生的故障而改变。

超安全上电复位电路能够确保只要 $V_{DD}$ 超过1.8 V就释放复位，而不论 $V_{DD}$ 上升阶段的斜率是多少，因此程序运行开始时该电路处于其正常工作状态中。

当上电过程完成，用户就能够选择激活或不激活欠压复位（BOR）检测器来进行连续电池监测，并从5个阈值中进行选择。此选项存储在非易失性存储器中，使得此电源监管完全独立于软件。可通过一个7级可编程电压检测器（PVD）完成，（该检测器）由软件使能，在发生压降时生成预先中断。

连续供电时BOR和PVD模块的电流消耗都低于3  $\mu$ A，但是处于深度睡眠模式时仍有明显的消耗。如果需要，可对电压监管模块进行编程，使深度睡眠模式中BOR和PVD禁用，并在发生唤醒事件时再次自动使能。这可使应用在空闲模式时电流消耗达到最小（因为存在极轻负载，通常具有一个略高且极稳定的供电）。但是，这无损再次开始执行时的安全性。

STM32L1是市场上几种标准MCU之一，工作范围低至1.65 V，且只有很少的限制（USB、ADC和DAC不可用，但是所有其他功能都可用）。提供了BOR永久禁用的专用STM32L1xx器件，可用于电压容差为1.8 V  $\pm$  8%的应用。

这种情况下，“零电流”上电/掉电复位（POR/PDR）模块仍然是激活的，并在硬件编码持续时间后释放复位。然后用户需要确保获取复位向量时，启动过程中 $V_{DD}$ 斜率足够大，至少达到1.65 V。

## 7 结论

本应用笔记中展示了STM32L1xx器件的主要特点。它们显示了此微控制器系列在嵌入式系统中降低MCU电流消耗方面所具有的优势。

STM32L1系列产品扩展了ST的EnergyLite™平台，可用于要求额外内存空间和更大封装的应用。它完善了STM32产品组合，保持了与其他STM32器件的兼容性。

利用其Cortex-M3内核和其高能效架构系统，此微控制器系列能够支持低功耗模式，而无须降低处理性能。

其丰富的外设组合能够覆盖广泛的应用，同时多种低功耗模式为即时调整任意任务的功耗提供了更大的灵活性。

这为现在和未来一直发展的应用带来了更长的工作寿命。

## 8 版本历史

表3. 文档版本历史

日期	版本	变更
2010年4月16日	1	初始版本。
2013年9月20日	2	更改为适用于所有STM32L1系列产品。

表4. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2017年9月20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