

白皮书

飞思卡尔高能效 解决方案： Kinetis L 系列 MCU

全球能效最高的入门级 MCU，
为低功耗标准重新定义

摘要

Kinetis MCU 产品具有卓越的低功耗性能，智能特性集成、广泛的外设及可扩展性高等优点。Kinetis L 系列 MCU 是 Kinetis 产品组合中新上市的产品，与同类入门级 MCU 相比，大大改进了功能和效率，可显著提高能效。Kinetis L 系列 MCU 产品组合主要应用于消费电子设备、智能电网和智能计量、楼宇控制和医疗保健。



多个 Kinetis MCU 家族，包括 Kinetis L 系列在内是飞思卡尔高能效解决方案的最佳典范。这高能效解决方案标志彰显飞思卡尔那些在实现高能效技术方面表现出色的产品，而且能够在所面向的应用领域提供市场领先性能的产品。飞思卡尔高能效产品解决方案包括 MCU、处理器、传感器、数字信号控制器及系统基础芯片，这些产品针对目标应用进行了优化，能够在有限的能耗预算内实现高性能。我们的解决方案适用于汽车、工业、消费电子及网络应用，使其设计真正实现节能高效。

如需了解更多信息，请访问 Freescale.com/energyefficiency

目录

- 2 引言
- 2 高能效的整体趋向
- 3 Kinetis L 系列：全球能效最高的 32 位 MCU
- 4 突破性设计：10 种灵活的电源模式
- 5 通过系统架构创新提高能效
- 6 智能电源外设
- 7 节能外设应用示例
- 7 简易的软件和工具
- 7 Kinetis L 系列在正面比拼的竞争中胜出
- 8 结语



引言

在经常提及物联网(IoT)的新时代——数十亿的“智能终端”，预计在未来十年内会把各种应用与设备都连接起来——嵌入式技术不再仅仅限于以机械方式生产基本商品。物联网是数据和控制自动化的时代，互连设备和节点收集信息并与智能系统进行通信，实时解决问题(例如当系统检测到无人在家时会自动调整恒温器)。嵌入式技术的本质便是将传感、处理和连接结合起来使IoT变成现实。

人们对功能性、连接性及便携性的需要呈指数级增加，而大众市场电池技术尚未能同步前进，无法满足市场需求。终端节点通常采用电池供电，需要具有极长电池寿命才能保证稳定可靠且保持较低成本。一方面能耗预算决定了新产品的最终设计，而市场方面又不允许制造商降低性能。设计人员面临的挑战是，必须以相同甚至更低的能耗预算实现更高的性能目标。

高能高效的整体趋向

越来越多的“智能技术”产品需要满足用户的更多功能要求，而仅仅通过查看原始数据表上的数字来判断能效的方法已经无法提供充分有力的参考。能耗预算需要考虑“低功耗”，或者在提供特定功能时消耗了多少电流，此外，还需要考虑更多的要素“能源效率”或者说一段时间内的能耗。换句话说，我们必须查清楚在单位时间内完成指定任务的耗电量是多少。

在嵌入式系统中，低功耗才是王道，目标是更高能效的通过多任务的管理去完成一个应用程序。这些任务通常可以概括为三个阶段：初始化阶段、控制阶段(其中可能包括数据采集、通信和控制)及计算阶段。在这三个阶段降低能耗的公式非常简单，用更少的能源和时间完成更多操作(能耗=功率×时间)。要真正实现目标不只优化其中一个阶段，而是需要优化所有阶段。

在所有阶段实现节能有三个要素。首先，必须少激活和低待机功耗。其次，必须具有节能外设，这些外设要智能的、在不一直唤醒CPU的前提下采集、处理并存储数据。第三，必须减少计算阶段的处理时间，以返回深度睡眠模式，然后再重新开始整个过程。

飞思卡尔深入研究了MCU的所有阶段和各个方面，目的是解决更大的问题：你怎样用更少的能耗去做更多操作？结合用整体观念来考虑能效问题对目前市场来说还比较新颖。飞思卡尔致力于帮助客户从这种新方法中获益。

Kinetis L 系列：全球能效最高的32位MCU

飞思卡尔几十年来持续关注新兴应用趋势并为客户开发解决方案，并充分利用这些经验，致力于为更广泛的应用提供高能效的产品解决方案。Kinetis MCU 产品组合提供卓越的低功耗性能，并具有智能功能集成、广泛的外设及高扩展能力等优势。多个 Kinetis MCU 家族，其中 Kinetis L 系列在内是飞思卡尔高效解决方案的最佳典范。

Kinetis L 系列 MCU 是 Kinetis 产品组合内新上市的产品，与同类入门级 MCU 相比，大大改进了功能和效率，能够在初始化、控制和计算阶段显著提高能效。请注意查看图 1 所示的能效，该图用橙色表示 Kinetis L 系列的能耗曲线对比用褐色曲线的其他同类产品。

能效：能耗 = 功率 × 时间

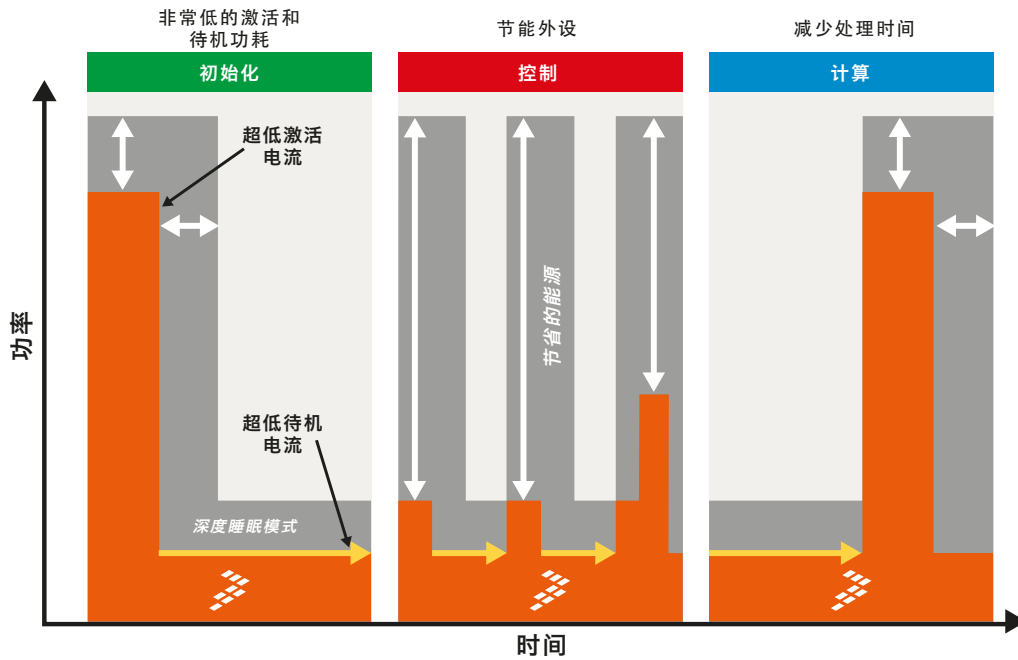


图 1：Kinetis L 系列 MCU 可在应用的所有阶段，即初始化、控制和计算阶段，大大提高能效。

Kinetis L 系列 MCU 基于当前能效最高的 ARM 架构 ARM® Cortex®-M0+ 处理器，使 32 位 MCU 的能效达到了前所未有的高度。L 系列能够达到这个目标是通过精细的设计、完整系列的解决方案将 ARM Cortex-M0+ 处理器的低功耗特性提高到新水平，提供了卓越的灵活性与扩展性的同时比同类 MCU 提供更低的低功耗。

在开发Kinetis L系列的过程中，重点围绕一个看似简单的概念：如何在没有CPU干预的情况下采集数据，然后快速唤醒MCU，尽可能快速、高效地执行相关功能，然后返回睡眠模式？最后实现的结果是大大降低了曲线下整个板卡的能耗(参见图1)，为达到这个结果，我们采用了ARM Cortex-M0+处理器，为多个用例使用了超低功耗模式，还有节能型架构技术以及一系列智能功耗管理的自主外设。

突破性设计：10种灵活的功率模式

传统的MCU过去只采用三种电源模式：运行、睡眠和深度睡眠。然而，这种“以一概全”的思路对于嵌入式产品并不适用，因为嵌入式产品有多种不同的电源配置。飞思卡尔设计团队充分利用飞思卡尔在MCU方面的丰富经验，并基于常见示例考察了多种潜在应用和情景，进行了全面、深入的分析。

分析结果表明，Kinetis L系列MCU将传统的3种电源模式扩展为10种灵活的模式，能够支持多种应用用例，从而减少了能源曲线下方的面积，大大提高了能效。当逐步进入深度睡眠模式时，MCU开始在功能上为更多逻辑和内存控制功耗，同时还减少节能外设。

Kinetis L系列MCU：10种灵活的电源模式

| Kinetis电源模式 | 恢复时间 | KL02在3V和25C时的I _{dd} 测量 |
|------------------|-------|---------------------------------|
| 运行 | - | 75 uA/MHz* |
| VLPR | - | 36 uA/MHz** |
| 等待 | - | 3.2 mA @ 48 MHz |
| VLPW | - | 93.4 uA @ 4 MHz |
| 停止 | 4 us | 255 uA |
| VLPS | 4 us | 1.9 uA |
| LLS ^a | N/A | N/A |
| VLLS3 | 42 us | 1.2 uA |
| VLLS1 | 93 us | 600 nA |
| VLLS0 | 95 us | 161 nA/346 nA |

* 计算操作启用：3.6 mA @ 48 MHz内核/24 MHz总线)

** 计算操作启用：144 uA @ 4 MHz内核/1 MHz总线)

^a 部分Kinetis L系列设备上提供

表1：Kinetis L系列MCU将传统的电源模式扩展至10种灵活的模式，支持各种应用用例

超低功耗模式

除了传统的运行、睡眠和深度睡眠模式，还提供多种功率选项，可最大限度地提高各种应用下的电池使用寿命。

| | 模式 | 定义 |
|------|----------------|---|
| 运行 | 运行 | MCU可全速运行。支持总线和系统时钟被禁用时的计算操作时钟选项，以实现最低功耗，内核处理与带有备用异步时钟源的节能外设可正常工作。 |
| | VLP运行 (VLPR) | MCU最大频率限制为4 MHz内核/平台和1 MHz总线/闪存时钟。支持计算操作时钟选项。LVD保护关闭，闪存编程功能被禁用。 |
| 睡眠 | 等待 | 允许所有外设工作，而CPU进入睡眠模式，以降低功耗。无计算操作时钟选项。 |
| | VLP等待 (VLPW) | 与VLP运行相似，CPU进入睡眠模式，以进一步降低功耗。无计算操作时钟选项。 |
| 深度睡眠 | 停止 | MCU处于静止状态，LVD保护开启。节能型外设可与异步DMA (ADMA) 功能一起运行，可唤醒DMA进行传输，并在传输完成后返回当前模式。AWIC检测CPU的唤醒源。最低功耗模式提供保持PLL活跃的选项。提供部分停止时钟选项，支持更多外设功能。 |
| | VLP停止 (VLPS) | MCU处于静止状态，LVD保护关闭。节能型外设可与ADMA功能一起运行。AWIC检测CPU的唤醒源。 |
| | LL停止 (LLS) | MCU处于低漏状态并保留电源模式。LLWU检测CPU的唤醒源，包括LPTMR、RTC、TSI、CMP，并选择引脚中断。少于4.3 us的快速唤醒时间。某些产品不支持LLS模式。 |
| | VLL停止3 (VLLS3) | MCU处于低漏模式并关闭大多数内部逻辑。所有系统RAM内容都保留，并保持I/O状态。与LLS相似，LLWU控制CPU的唤醒源。 |
| | VLL停止1 (VLLS1) | 与VLLS3相似，但RAM无保留。某些产品支持寄存器文件保留。 |
| | VLL停止0 (VLLS0) | 支持引脚唤醒功能。外部时钟支持LPTMR、RTC、TSI和CMP唤醒。无RAM保留。某些产品支持寄存器文件保留。无1 kHz低功耗振荡器(LPO)。上电复位欠压检测电路可选。 |

表2：初级电源模式术语

通过系统架构创新提高能效

Kinetis L系列MCU之所以能效高，在很大程度上要归功于一个创新的架构，该架构结合并改进了ARM Cortex-M0+处理器的多个低功耗特性，而其它MCU通常未完全将它优化。例如，要简化应用的初始化阶段，可以使用位操作引擎(BME)，当该引擎在外设上执行以位为导向的数学运算时可使循环时间与代码大小平均减少40%。BME对OR、AND、XOR等函数进行位字段插入和位字段提取进行编码。相反，传统的32位处理器则需要多个指令才能执行等效的读取-修改-写操作。

另一个创新特性是低功耗启动选项，借助该选项可在启动顺序或深度睡眠唤醒时减少峰值功率。这在因电池化学限制允许峰值电流的系统(例如，使用锂离子电池的系统)中尤为有用。此外，通过零漏电I/O和可避免过多电耗的外设时钟门控配置，避免超过漏电电流。

Kinetis L系列MCU采用飞思卡尔创新、屡获殊荣的闪存技术，提供业界功耗最低的闪存部署。这改进了传统的基于芯片的电荷存储方法，创建了纳米级硅岛来存储电荷，而不使用连续膜，进一步使闪存不被典型的数据丢失因素所影响。

智能电源外设

Kinetis L系列MCU在外设内实现了低功耗智能，允许外设深度睡眠模式下通过备用时钟源自主运行。L系列外设犹如微型内核，能够在不唤醒主内核或系统的前提下执行任务，从而大大降低功耗，提高电池使用寿命。例如，Kinetis L系列MCU包含异步DMA (ADMA)唤醒功能，允许某些外设停止和VLPS模式下请求DMA传输。ADMA模块将在外设和存储器之间进行数据传输，而无需返回运行模式，也无需请求处理器进行干预。支持外设深度睡眠状态下继续运行，可向SRAM中的数据阵列来回传输数据，直至收集到足够数据进行处理。其它竞争产品则需要唤醒到全运行模式去激活外设并完成数据收集阶段，然后返回深度睡眠模式。

例如，回到图1。采用Kinetis L系列MCU，数据收集阶段在深度睡眠模式下开始并显示了低功耗定时器触发的三个周期性事件。该定时器触发低功耗ADC转换启动，并通过ADC内置的比较特性将结果与预编程的阈值进行对比。该特性可避免一旦得出的值不在理想参数范围内时需要存储结果。请注意，前两个事件不触发去存储结果。然而，最后一个事件则会触发，而不用唤醒CPU来存储数据，相当微小的能量溢出。这是可以实现的，因为L系列的节能型外设支持异步DMA唤醒功能，可以将ADC结果存储到SRAM供以后处理，在这个过程中CPU依然处于睡眠状态。在DMA传输完成后，MCU会自动返回深度睡眠模式。在通过低功耗UART收集或传输完足够的的数据后，CPU便可以‘唤醒’，并开始计算阶段。这只是Kinetis L系列MCU提供节能外设的其中一个例子。

为了最大限度地利用深度睡眠电源模式的高能效，外设的智能集成是至关重要的。在传统的MCU中，必须激活主时钟和处理器内核才能执行任务，即使是执行发送或接收数据、捕捉或生成波形或采样模拟信号等小任务也是如此。

节能外设应用示例

| | |
|---------|--------------------------|
| ADC | 定期采样模拟信号，执行比较功能和硬件平均 |
| UART | 向无线IC或其它MCU连续发送数据或接收数据 |
| 定时器/PWM | 动态地控电机或检测外部脉冲 |
| 实时时钟 | 执行时间记录和识别告警事件 |
| 触摸传感接口 | 检测用户与电容式按钮、滑块等进行交互的触摸 |
| 段式LCD | 向带有备用屏幕和闪烁模式的段式显示屏显示用户信息 |

简化的软件和工具

Kinetis MCU由飞思卡尔及ARM第三方生态合作伙伴提供市场领先的支持。这些软件和工具旨在简化和加快开发，增加了代码优化、功率调试等功能进一步提高能效。工程师可借助这些业界标准的开发工具缩短设计周期，其中许多工具都提供评估版本。

- CodeWarrior Suite for MCUs V10.x(Eclipse)集成开发环境(IDE)
- Processor Expert 软件
- IAR Embedded Workbench®、ARM Keil® MDK、Atollic和GCC开发工具
- 附赠飞思卡尔MQX™ Lite RTOS

开始开发，对于Kinetis MCU家族产品的快速应用原型设计和演示，飞思卡尔Freedom开发平台是一个小型、低功耗、高性价比的评估和开发系统，该平台提供简单易用的大容量存储设备模式闪存编程器、虚拟串口和传统的编程和运行控制功能。

Kinetis L系列MCU在正面比拼的竞争中胜出

在与竞争对手相应的16位低功耗MCU展开正面能效基准挑战赛中，L系列证明它是全球能效最高的入门级MCU。每个MCU都由完全相同的充电电路供电，并都对低功耗运行进行了优化。这些MCU执行重复周期的EEMBC CoreMark®迭代，然后进入五秒钟的深度睡眠期，连续重复上述操作直到最后一个MCU依然能够激活。在与同级别超高效竞争对手对比中，Kinetis L系列MCU是坚持到最后的那款。

Kinetis L系列MCU将一流的处理能力与卓越的低功耗运行相结合，测量得出的结果为15.9 CoreMark/mA，远高于最具竞争产品的参数(参见下图2)。

能效演示：结果

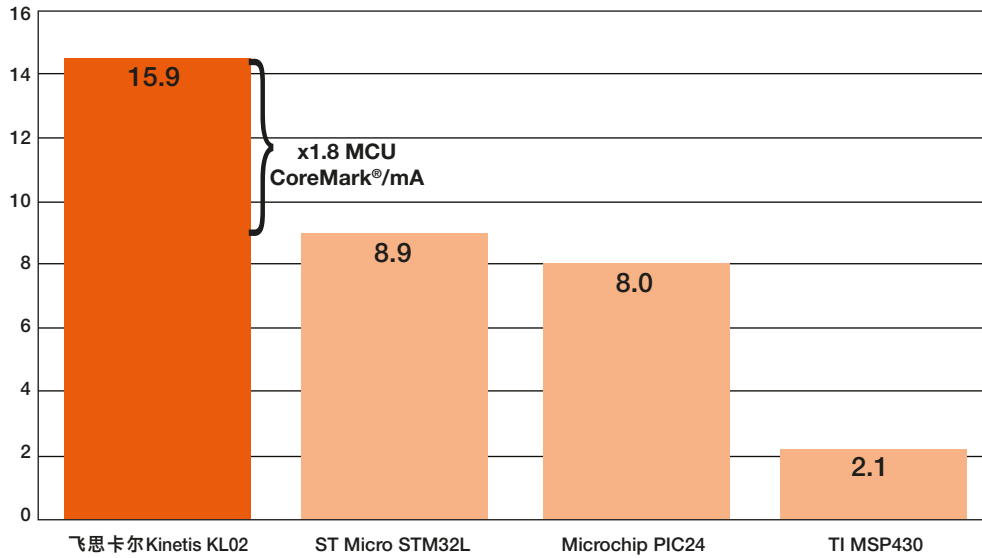


图2：Kinetis KL02 MCU集一流的处理能力与卓越的低功耗运行于一身，以测量结果为15.9 CoreMark/mA，的优异成绩胜出。

图脚注：

2013年7月29日 正面挑战赛

飞思卡尔KL02

部件编号：MKL02Z32CAF4R

*CoreMark 1.0：106.38 /IAR for ARM V6.50.2 --debug --endian=little --cpu=Cortex-M0 -e --fpu=None -Ohs --use_c++_inline/Code in internal FLASH，Data in internal RAM，Stack/ Processor工作频率=48MHz，工作电压=3.3V

ST MicroelectronicsSTM32L

部件编号：STM32L151RBT6

*CoreMark 1.0：93.45/IAR for ARM V6.50 --debug --endian=little --cpu=Cortex-M3 -e --fpu=None -Ohs --use_c++_inline/Code in internal FLASH，Data in internal RAM，Stack，64bit access enabled/Processor工作频率=32MHz，工作电压=3.3V

Microchip PIC24

部件编号：PIC24FJ128GA310

*CoreMark 1.0：29.41/MPLAB IDE v8.31 -g -Wall -O3 -funroll-loops/Code in internal FLASH，Data in internal RAM/ Processor工作频率=32MHz，工作电压=3.3V

TI MSP430

部件编号：MSP430F5529

*CoreMark 1.0：16.23/Code Composer Studio 5.1.1 -O3--opt_for_speed=5/Code in internal FLASH，Data in internal RAM/Processor工作频率=25 MHz，工作电压=3.3 V

结语

飞思卡尔的创新思维，通过Kinetis L系列MCU卓越的能效领导地位，为嵌入式系统打开了一扇新的大门，为物联网带来的希望。无论是需要延长电池寿命、提高便携式性能、降低能源成本还是遵从能源标准，飞思卡尔广泛的嵌入式高效产品解决方案都能够使新一代应用实现功耗与性能的完美平衡。



如需了解更多信息，敬请访问freescale.com/Kinetis/Lseries

Freescale、Freescale 标识、CodeWarrior、Energy-Efficient Solutions 标识、Kinetis 和 Processor Expert 是飞思卡尔半导体公司在美国和其他国家的商标或注册商标。所有其他产品或服务名称之所有权均归其相应所有人。ARM、Cortex 和 Keil 是 ARM 公司(或他的附属公司)在欧盟和/或其他地方的注册商标。©飞思卡尔半导体公司2014年版权所有。

文档编号：ENEFFSOLKINLSWP REV 1

2013年8月