

MCX A 系列： 面向嵌入式创新的通用 MCU

Eli Hughes

MCX微控制器组合的设计理念是将恩智浦热门器件的精华与新创功能相结合，推动下一代智能边缘设备的发展。MCX A系列在这个产品组合中扮演着重要角色，是通用芯片的首选。

MCX A系列简化了供电电路，适用于需要强大输入输出（IO）能力、有业界领先低功耗、多样化连接选项以及更小器件封装的应用。简而言之，MCX A系列让设计人员能够在保持简单PCB设计和系统BOM低成本的同时，获得丰富的功能。

它的应用范围广泛，包括：

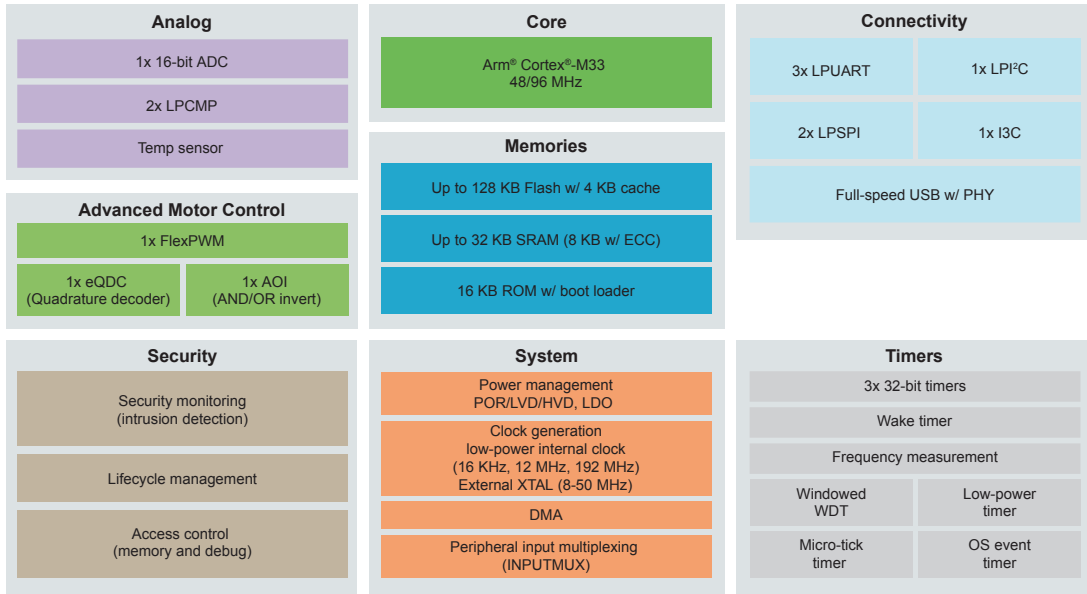
- 工业通信
- 智能计量
- 电机控制/电力电子
- 自动化与控制
- 传感器
- 低功耗/电池供电设备

MCX A核平台

A133/143/153系列是MCX A系列的入门级产品，有相同的架构和外设，运行频率为48MHz和96MHz。

A133/143/153系列芯片针对那些需要高性价比32位架构，同时又要保留高阶性能相关特性，比如DMA，加速执行的代码/数据缓存和受ECC保护的内存。

MCX A133/143/153系统框图



A133/143/153系列芯片采用Arm® Cortex®-M33基准配置，提供多种封装选项，包括10x10mm的LQFP64、7x7mm的HVQFN48和5x5mm的HVQFN32。A133/143/153系列的最高配置版本配备128KB闪存，而A142/A152版则提供64KB闪存选项，以满足更具成本效益的应用需求。所有型号还有相同的外设，这大大简化了软件开发工作。

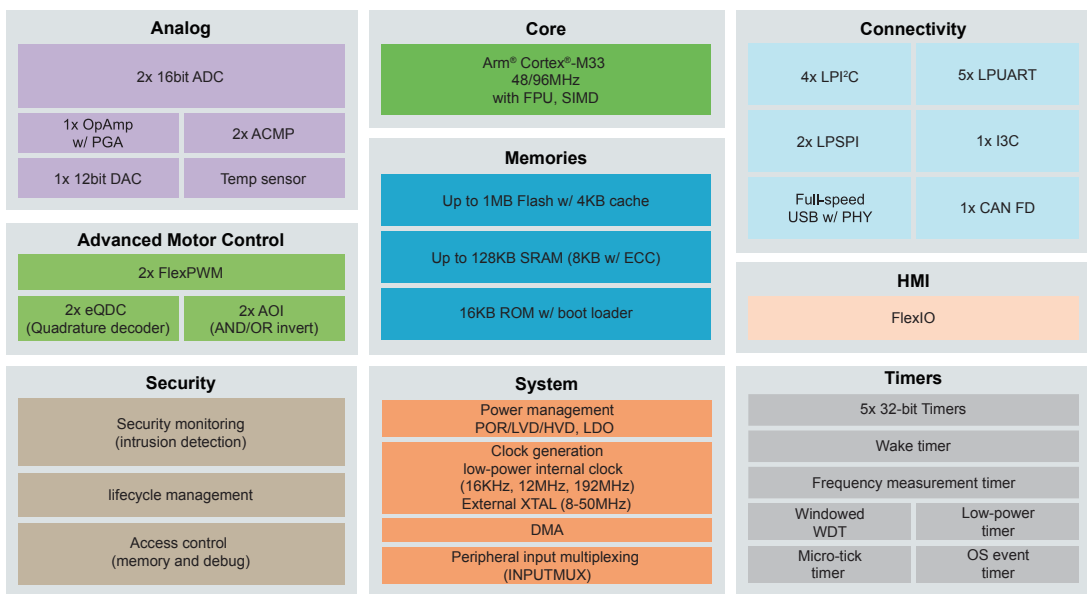
不同封装类型芯片的IO和引脚完全兼容，这种设计便于产品升级和迁移，使设计人员能够在成本、闪存空间和时钟速度之间灵活权衡。多达8个引脚能够提供20mA的大电流驱动能力，还有额外两个引脚可以耐受5V的电压输入。

MCX A系列采用无电容LDO电源架构，工作电压范围为1.71V至3.6V。MCX A133/143/153电源架构的一大亮点是其卓越的能效：

- 在内部闪存执行While(1)的运行工作模式下为53μA/MHz(3V@25°C)。
- 深度睡眠模式下为20.28μA，唤醒时间为7.4μs。
- 掉电模式下为6.5μA，唤醒时间为17.1μs，且保留所有SRAM内容。
- 深度掉电模式下仅为394nA，唤醒时间为2.36ms。

对于需要更大指令存储器、RAM、更多IO数量以及CAN FD功能的应用，MCX A146/156系列是更进一步的选择。A146/156系列保留了A133/143/153的许多核心特性，同时显著增加了闪存容量、内部RAM以及CAN FD功能。

MCX A146/156框图



A146/156系列基于Cortex-M33核进行了一些其他显著升级，包括添加了全精度浮点运算单元（FPU）和SIMD/DSP指令。SIMD/DSP指令的引入能为需要实时控制和数字滤波的应用带来重大性能提升。例如，具备DSP/SIMD功能的Cortex-M33核拥有强大的SMLAL指令，能够执行32位x32位有符号乘法并进行64位累加。这个高效指令可以成为高精度滤波器和控制算法的核心。

A146/156系列的内存子系统扩展至最高1MB闪存和128KB RAM。它还增强了模拟功能，新增了一个ADC、12位DAC和内置运算放大器。电机控制子系统也得到了扩展，增加了一个额外的PWM单元、正交解码和与/或非逻辑操作模块。

A146/156系列提供更高引脚数的封装选项，在保持小巧外形的同时提供更多物理IO：

- LQFP100: 14 x 14 x 1.4mm, 0.5mm间距
- LFBGA64: 5 x 5 x 1.2mm, 0.5mm间距
- VFBGA112: 7 x 7 x 0.86mm, 0.5mm间距

功能更加丰富，A146/156系列仍保持卓越的低功耗性能：

- 运行模式下功耗为64μA/MHz（从闪存执行while(1), 3.3V@25°C）
- 深度睡眠模式功耗为32.26μA，唤醒时间为7.1μs（3.3V@25°C）
- 掉电模式功耗为8.2μA，唤醒时间为16.6μs（保留RAM X0/X1和RAM A0, 3.3V@25°C）
- 深度掉电模式功耗为412nA，唤醒时间为1.44ms（禁用唤醒定时器，启用复位引脚，所有SRAM关闭, 3.3V@25°C）

面向工业传感和控制的高性能、坚固耐用的内存子系统

MCX A系列的内存架构专为要求严苛的工业边缘应用场景设计，具有两个值得关注的特性，特别适合成本敏感的设备。

第一个特性是低功耗缓存控制器（LPCAC）。LPCAC是一个小巧但高效的4KB缓存控制器，连接到Cortex-M33的代码总线。使用LPCAC，存储在闪存中的数据和指令可以以更延迟提供给CPU。这样一来，其他外设（如DMA）的总线

可用性得到了提升，因为处理器性能不再与系统内存性能挂钩。如果不需要缓存，则4KB的LPCAC存储器可重新用作指令存储器。关键代码和中断矢量可以放置在该区域中，用于时间关键的算法和控制循环。

8KB的SRAM扇区具有错误校正（SRAM ECC）能力是MCX A内存架构的第二个值得关注特性。错误报告模块（ERM）和错误注入模块（EIM）是与SRAM ECC相关的两个外设。这些工具可用于测试和诊断运行时内存错误。ERM通过专用寄存器和中断标记与ECC和奇偶校验相关的错误事件。EIM可以通过编程方式触发ECC/奇偶校验系统中的错误，从而实现强大的自我诊断能力。

标准外设配备精密互连和DMA加速

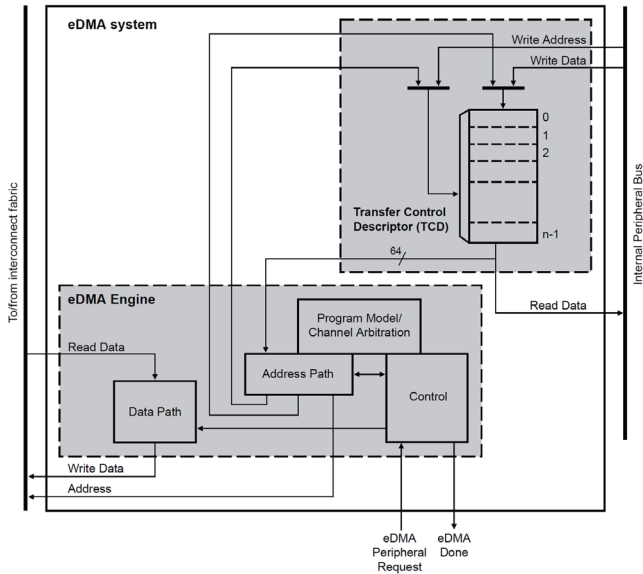
MCX A系列包含了嵌入式工程师在通用芯片中所期望的标准外设阵列。MCX A系列中每个芯片都配备了标准UART、SPI、I²C和定时器子系统，为传统IO应用场景奠定了基础。

MCX A外设的一个重要特点是它们可以通过输入多路复用模块（INPUTMUX）在芯片内部实现信号互连。INPUTMUX机制提供了极大的灵活性，允许在芯片内部外设之间自由地互联触发信号和标志。

MCX A的大部分外设都有触发信号和输入标志，这些都可以由INPUTMUX提供源信号。同样，INPUTMUX的输入可以来自外部引脚、外设输出/事件标志或其他内部信号。这种互联灵活性极大地扩展了用户在外设之间的创意组合能力，可以以最小的CPU干预实现自动化操作。

与/或非逻辑操作模块（AOI）是与INPUTMUX密切相关的另一个“系统内联”外设。AOI模块是一个简单的多通道可编程逻辑单元。每个AOI通道都有A、B、C和D四个输入，以及一个相关的事件输出。事件输出的操作可以根据这四个输入通过软件配置。AOI通道的输入和输出分布在内部MCX A外设以及INPUTMUX中。有了这两个外设，可以使用组合逻辑在不同外设之间合成复杂的系统内联操作。

所有MCX A系列都配备了功能强大的增强型直接内存访问（eDMA）控制器。eDMA能够处理所有典型的DMA应用场景，包括内存到内存、内存到外设以及外设到内存的数据传输。



eDMA系统

eDMA系统拥有8个通道，其触发源分布在整个内部系统中，使几乎所有内部外设之间的数据传输都可以自动化。

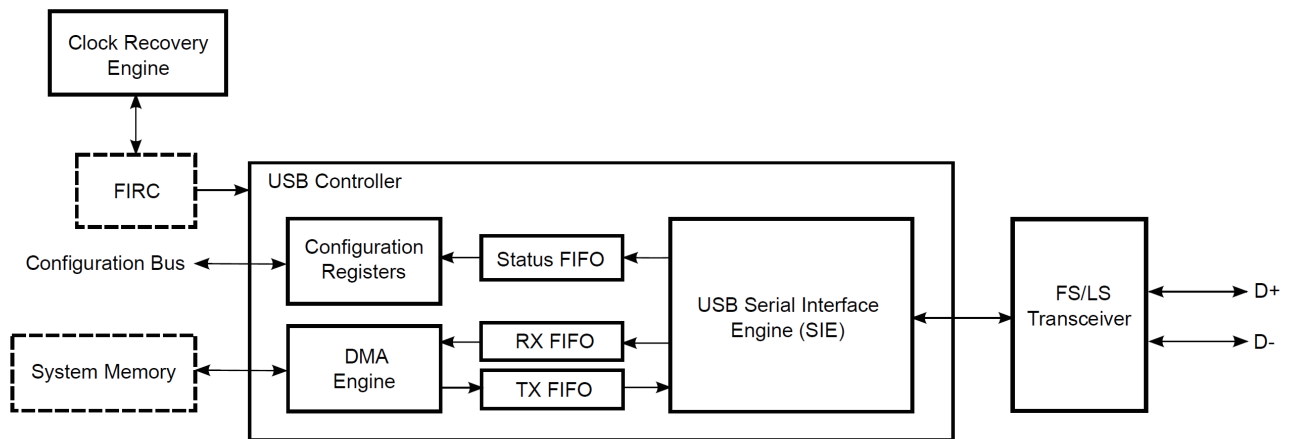
全速USB设备控制器

MCX A系列集成了带有内置PHY的全速USB设备（USBFS）控制器。添加USB功能进一步确立了MCX A作为多用途芯片的地位，实现了与PC和其他智能设备的低成本、通用连接。

MCX A中USB设备控制器的一个重要特性是它可以在无外部晶振的情况下运行。USBFS子系统可以配置为使用快速内部参考时钟（FIRC）生成48MHz时钟。这个时钟可以利用传入的USB主机SOF信号动态调整。

USB时钟恢复功能不仅有助于降低BOM成本，还适用于空间受限的应用场景。USBFS还有一些其他有助于整体系统设计的显著特性，包括：

- 最多16个双向端点，支持复杂的复合设备应用场景。
- 采用DMA传输，减少CPU开销。
- 通过USBCTRL寄存器中的DPDM_LANE_REVERSE位实现USB通道/信号反转，使PCB设计人员能够翻转D+/D-连接，简化PCB布线。
- 具备将内部LPUART Tx/Rx信号转到USB D+/D-线的的能力，在UART引脚不可用时为调试场景提供便利。



全速USB设备控制器

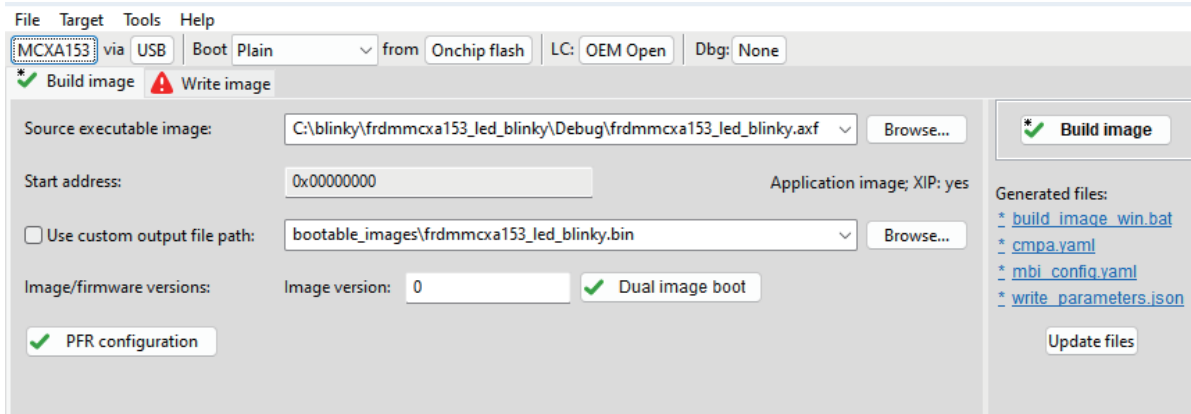
灵活的启动ROM与USB支持

MCX A系列在其启动ROM中集成了系统内编程 (ISP) 功能。ROM中的ISP功能意味着设备“开箱即用”就具备现场升级选项, 无需额外开发定制固件。利用MCX A的USB接口是使用ROM引导加载程序和ISP功能的一种方式。当启动ROM被激活时, 它会枚举一个通用HID设备, 这样就不需要在主机PC上安装任何特定的操作系统驱动。除了USB接口外, 启动ROM和ISP功能还可以通过UART接口访问。

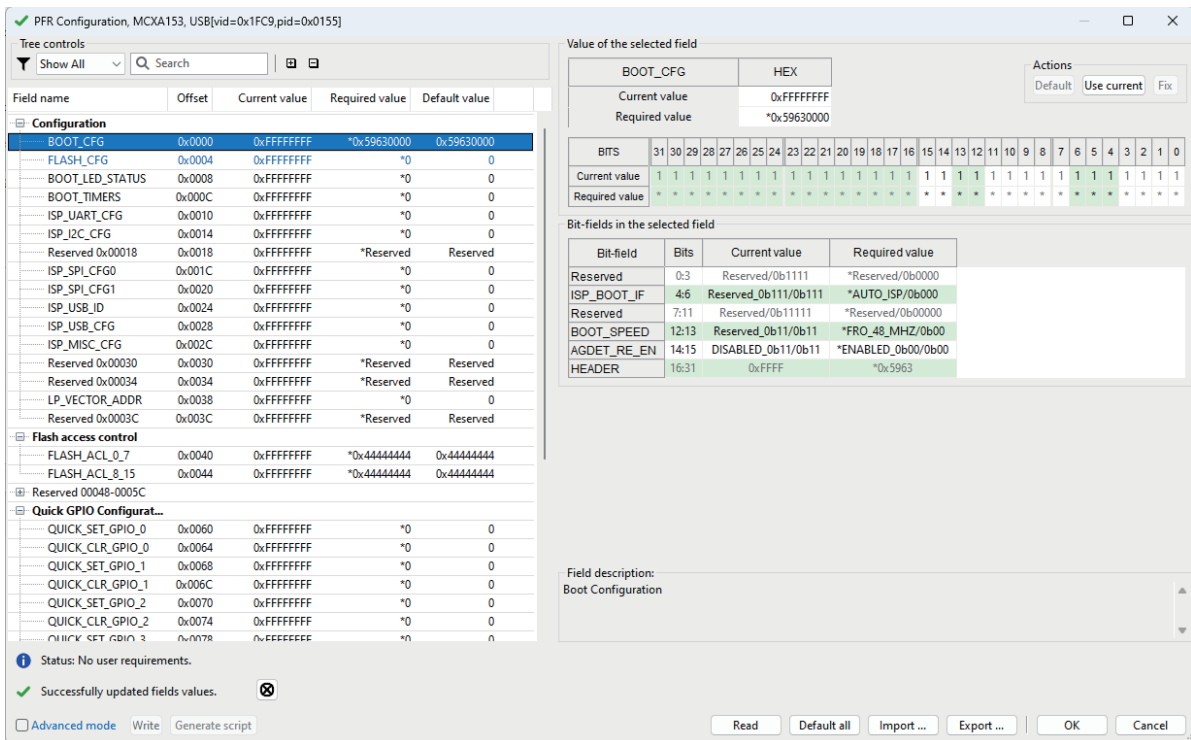
与启动ROM交互的主要方法是使用MCUXpresso安全配置 (SEC) 工具。SEC是一个图形化工具, 使用直观的图形界面, 使用户能够开发自己的生产编程和现场更新工作流程。

使用SEC工具的一个显著优势是, 它提供了一个集中的图形界面, 使理解所有可编程的CMPA (芯片多用途阵列) 设置变得简单直观。

SEC工具大大简化了生产场景下的编程和配置过程。

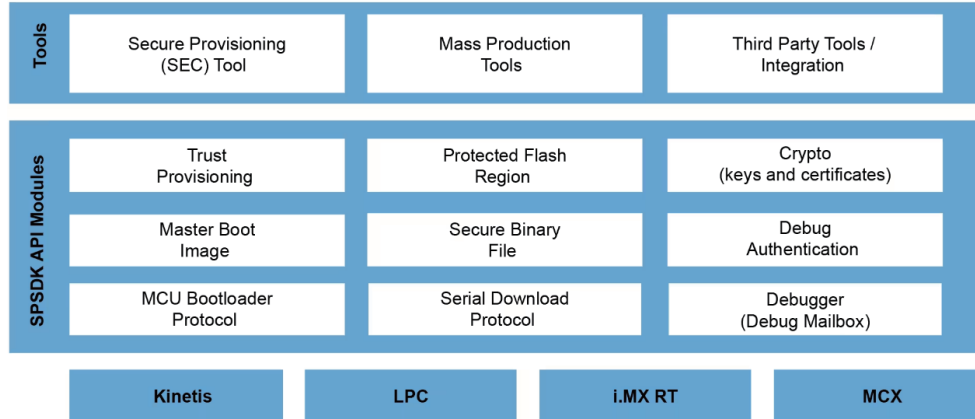


MCUXpresso安全配置工具



PFR配置

安全配置SDK框图



SPSDK工具可用于更复杂的场景，比如需要自动化执行额外的产品特定配置操作。

为了简单展示SPSDK如何与MCX A上的启动ROM通过USB交互，我们将介绍SPSDK中包含的两个工具。首先是"nxpdevscan"工具，用于查询已连接的设备。

```
C:\blinky\frdmmcxa153_led_blinky> nxpdevscan
----- Connected NXP SDIO Devices -----

----- Connected NXP USB Devices -----

USB COMPOSITE DEVICE - NXP SEMICONDUCTOR INC.
Vendor ID: 0x1fc9
Product ID: 0x0155
Path: HID\VID_1FC9&PID_0155\B&14A1760A&1&0000
Path Hash: ff92e396
Name: MCXA1xx
Serial number:

----- Connected NXP UART Devices -----

----- Connected NXP SIO Devices -----
```

一旦成功识别到MCX A，就可以使用"blhost"工具快速编程二进制镜像。

由于SPSDK作为开源Python工具提供，用户可以开发自己的自定义工作流程，以自动化现场更新和工厂配置流程。启动ROM还提供了额外的命令，用于编程客户制造/工厂编程区域（CMPA）、禁用调试访问、启用代码读取保护以及管理生命周期状态。

nxpdevscan

```
PS C:\blinky\frdmmcxa153_led_blinky> blhost --usb 0x1fc9:0x0155 flash-image
'.\Debug\frdmmcxa153_led_blinky.hex'
Writing segment #1 [#####] 100%
Response status = 0 (0x0) Success.
PS C:\blinky\frdmmcxa153_led_blinky> |
```

blhost

MCX A的USB应用场景和软件示例

MCX A凭借其低成本和小巧的物理特性，适用于多种有趣的USB产品应用场景。它拥有丰富标准外设选项（如SPI、UART和I²C），是USB协议桥接的理想解决方案。例如，MCXA142VFM采用5mm²的HVQFN32封装，批量生产价格不到1美元。这种封装版本非常适合用作LIN、RS485及新I3C协议之间的USB桥接方案，而升级到MCXA156则可实现低成本的USB至CAN-FD协议桥接。

为支持这些USB应用场景，MCX A的MCUXpresso SDK封装包含CDC、HID和MSC等最常见用例的示例。

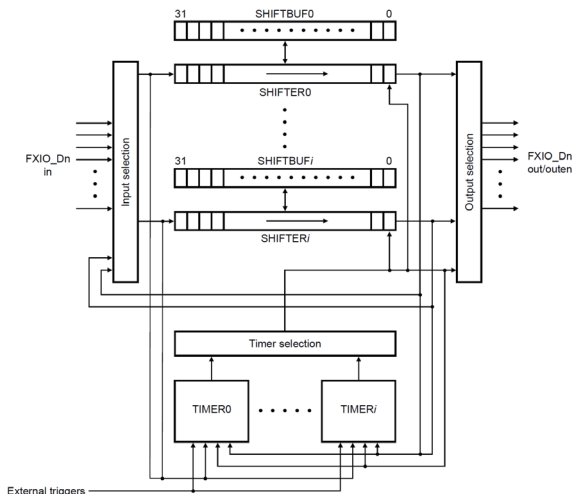
MCUXpresso配置工具还包括一个用于生成自定义USB设备代码的外设工具。这些工具使开发人员能够快速构建USB设备，同时管理所有样板初始化代码和描述符。

开源USB协议栈替代方案

除了恩智浦免费提供的USB协议栈外，MCX A还兼容流行的开源TinyUSB协议栈。TinyUSB是一个小巧灵活的USB协议栈，得到了Adafruit的支持，为MCX A（以及许多其他恩智浦器件）提供实现USB功能的替代方法。TinyUSB的GitHub库中已经有针对FRDM-MCXA153开发板的MCX A示例。

FlexIO

MCX A146/156系列包含恩智浦器件独有的外设——灵活I/O控制器（FlexIO）。FlexIO结合了定时器、高速移位寄存器、可编程状态机和互连逻辑。



灵活的I/O控制器

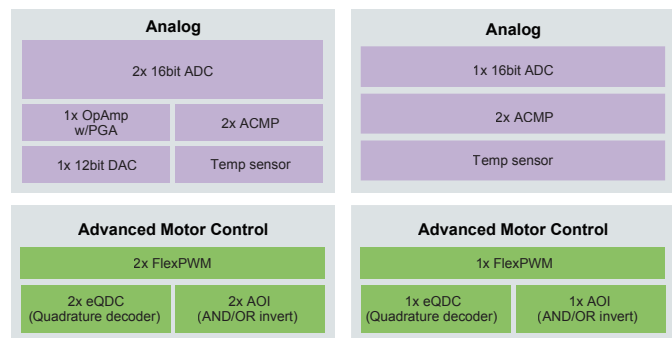
FlexIO对于模拟/合成无法通过其他标准MCU外设实现的特定IO协议非常有用。它还可以用于创建额外的标准MCU外设通道，如SPI、I²C或UART，以应对现有通道已被占用的情况。FlexIO甚至可以模拟该系列中没有的标准外设，比如I2S音频接口。

其他应用场景包括摩托罗拉68K/英特尔8080总线模拟（用于LCD接口）、并行转串行转换、FPGA配置或QuadSPI接口。FlexIO可以通过INPUTMUX与AOI模块互连，进一步扩展其创建自定义接口逻辑的能力。

模拟、模拟电机控制和工业连接

MCX A的一个显著特点是对电机控制和电源管理应用提供广泛支持。MCX A电机控制能力的基础是FlexPWM外设。FlexPWM是一个精密的脉宽调制（PWM）单元，支持最常见的电机控制和电力电子拓扑结构。无论是控制永磁同步电机（PMSM）、无刷直流电机（BLDC）、交流感应电机，还是简单的有刷直流电机，FlexPWM都有配置选项来支持几乎所有应用。

FlexPWM模块与AOI模块以及INPUTMUX互连，能够实现复杂的触发和同步逻辑。与电机控制逻辑紧密相连的是一个模拟子系统。



A146 / A156

A143 / A153

MCX A模拟子系统

模拟子系统的核心是一个16位逐次逼近模数转换器（ADC）。这个ADC模块在16位模式下可以达到3.2MSPS的采样速率，而在12位模式下则可以达到4MSPS。ADC前端的多路复用器可以支持多达32个输入通道，具体数量取决于所使用的芯片封装。

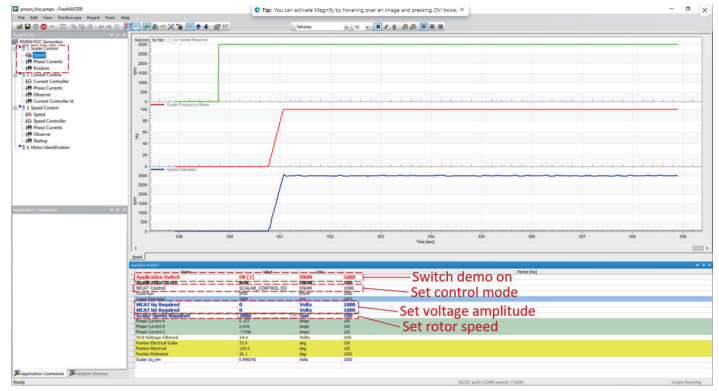
模拟子系统还包括一个模拟比较器（ACMP），即使在深度睡眠模式下也能正常工作。最多有8个IO引脚可以连接到比较器，并且比较器配备了一个8位参考DAC，用于设置比较阈值。ADC和ACMP模块都设计为可以与FlexPWM/电机控制子系统互连。

ADC的采样可以与PWM切换方案精确同步。ACMP可用于在FlexPWM中触发故障逻辑，以实现电力电子安全机制，如过流检测/保护。与MCX A中的许多其他外设一样，ADC和ACMP的触发/事件信号都被转到INPUTMUX。

通过将ADC控制信号与FlexPWM模块和AOI单元的事件和触发器结合，可以为各种电力电子应用创建精密的控制和保护方案，而需要的CPU干预/开销最小。

A146/156在模拟功能方面有所扩展，新增了一个可配置的运算放大器、一个12位1MSPS的数模转换器（DAC）以及一个额外的模数转换器（ADC）和模拟比较器（ACMP）。这个DAC采用R2R梯形拓扑结构，配备专用缓冲器和可编程增益设置。DAC还具有16字深的FIFO缓冲区，支持合成无干扰波形。DAC的触发信号通过INPUTMUX路由，使它不仅可以与各种定时器或外设事件同步输出，还可以与eDMA协同使用。

为了补充MCX A系列硬件的强大功能，MCUXpresso Developer Experience提供了一套电机控制示例和工具。例如，应用代码中心包含一个永磁同步电机（PMSM）的磁场定向控制（FOC）示例，该示例采用集成了电机控制应用调试（MCAT）工具的FreeMASTER调试工具。



AN14099应用代码中心：使用MCX A153实现PMSM无传感器FOC

工业物联网边缘赋能——CAN FD

MCX A系列通过集成CAN Flex Data（CAN FD）接口，进一步拓展了其在工业物联网领域的应用。尽管CAN总线起源于汽车业，但它已广泛应用于需要容错通信的场合。许多工业和机器人应用都采用了这种无处不在的汽车CAN数据总线。

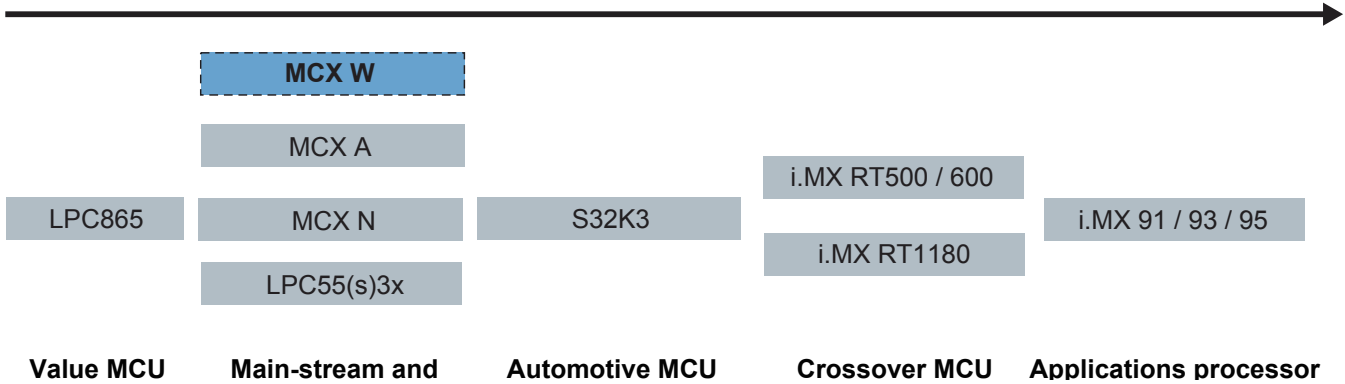
CAN FD是CAN协议的扩展，能够实现更快的数据传输和更大的消息量。它采用一种创新技术，在传统CAN帧的数据阶段切换到更高的比特率。这样可以在数据阶段将比特率提高最多8倍，将消息大小从8字节扩展到64字节，信号速率从1MB/s提高到8MB/s。

MCX A系列结合了电机控制子系统、模拟子系统和CAN FD，因此非常适合应用于运动控制、机械臂和机器人末端执行器等领域。

MCX A的其他串行接口在工业应用领域也具有重要价值。MCX A可以很好地服务于带各种命令接口的应用，例如：

- 用户通过按钮进行手动控制/人机界面。
- 通过I3C/I²C实现电机控制/IO桥接协处理器。
- 作为分布式工业级RS485网络的节点，支持Profibus、Modbus或BACNET等标准化协议。
- 通过简单的UART连接（如RS-232）实现点对点连接。

总之，模拟子系统不仅限于电机控制。MCX同样适用于与传统工业传感器和4-20mA的控制环路对接。



采用I3C实现的恩智浦器件

MCX A系列与MIPI I3C®: I²C的全新进化

恩智浦是采用MIPI I3C总线的先驱。I3C是经典I²C双线总线的超集，由MIPI联盟开发，为高速双线应用提供I²C的升级版。I3C是I²C和SPI的替代方案，同时在PCB上设备之间保持简单的双线接口。

恩智浦一直在实现I3C方面处于领先地位，从传统的通用MCU到i.MX RT跨界MCU，再到高性能i.MX应用处理器。

I3C有一些显著特点，包括：

- 向前兼容I²C（支持7位地址，无时钟延展）。
- 时钟频率高达12.5MHz。SDA从开漏模式切换到推挽模式以实现更高的数据传输速率。SCL现在始终为推挽模式。
- 带内中断功能。外设可以通过总线中断控制器，无需额外的引脚。可以在中断信号中添加额外的上下文字节。
- 通过寻址/仲裁实现优先级机制。
- 同一总线上可以有多个控制器。
- 双倍数据速率模式，每个时钟周期可传输多个比特。
- 热插拔和动态寻址。目标节点可以随时加入总线，当新设备加入时，其他节点会收到通知。
- 标准化操作的通用命令代码。

低引脚数MCX A芯片中的I3C外设为新应用带来了可能，如I3C协议桥接和具有高速双线接口的智能外设等。将CAN FD和USB外设与I3C结合，意味着MCX A可以成为非常实用的低成本I3C桥接解决方案。

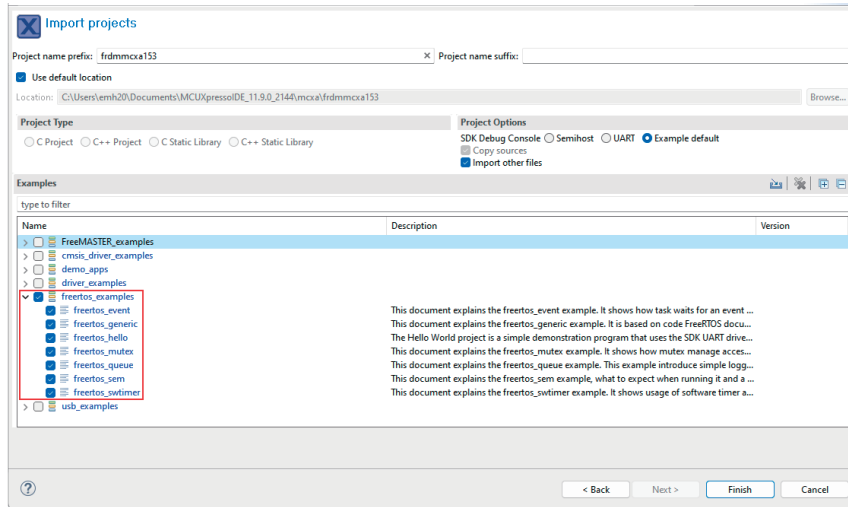
MCUXpresso Developer Experience 带来的软件开发工具与便利性

我们致力于为开发人员提供选择软件开发方式的自由。MCX A的核心是MCUXpresso Developer Experience。MCUXpresso软件和工具套件提供核心软件开发套件（SDK）、集成开发环境（IDE）以及配置工具。

MCX A的SDK包含产品级外设驱动程序和一系列中间件，如USB设备协议栈。这个SDK非常灵活，可以开箱即用，支持多种IDE，包括：

- [MCUXpresso for Visual Studio Code \(VS Code\)](#) ——VS Code扩展，可以实现快速、灵活的开发。
- [MCUXpresso IDE](#) ——基于Eclipse的自定义IDE，简单易用。
- [IAR Embedded Workbench](#) ——安全认证、高度优化的C/C++编译器和开发环境。
- [Arm Keil MDK](#) ——具有广泛中间件的高性能Arm编译器。

MCX A非常适合裸机应用，但同样支持RTOS。MCX A的SDK中提供FreeRTOS的示例。



MCUXpresso SDK中的FreeRTOS示例

MCX A芯片的Zephyr RTOS支持正在开发，预计将于2024年第三季度开始上线。

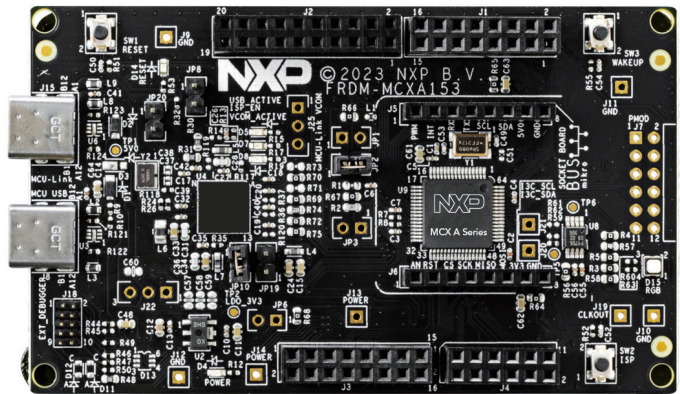
SDK可以通过在线MCUXpresso SDK构建器进行自定义和下载，也可以直接从MCUXpresso IDE或MCUXpresso for VS Code访问。除了使用这些独立的SDK进行特定设备的开发外，开发人员还可以直接从恩智浦的GitHub库中获取发布版本。

应用代码中心 (ACH) 是另一个与SDK完美配合的开发资源。ACH提供一个强大且易于使用的界面，连接到一个基于GitHub的库，该库中包含丰富的应用代码。这些代码涵盖了从完整的应用实现到演示、应用笔记软件和实用的代码片段，都与SDK或Zephyr兼容。用户可以使用ACH的网页界面轻松克隆GitHub上的代码，只需几次点击。使用MCUXpresso IDE和MCUXpresso for VS Code的用户还可以直接在这些工具中访问ACH，简化导入过程。

越来越多的嵌入式项目依赖持续集成和持续部署 (CI/CD) 工作流程。基于IDE的项目在微控制器开发中很常见，但MCX A工具也支持命令行构建，可以“开箱即用”地用于CI/CD流水线。SDK中包含的CMake脚本可以与您喜欢的构建工具（如Make或快速的Ninja构建系统）配合使用。

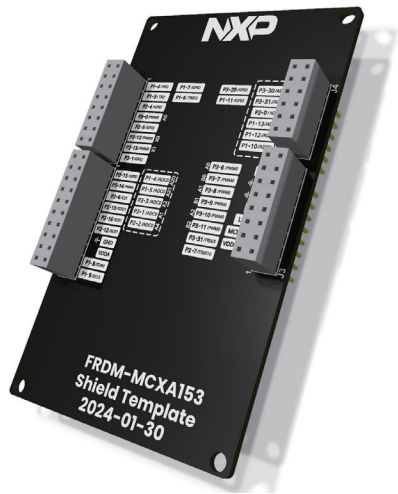
使用FRDM开发板进行快速原型设计

FRDM开发平台通过兼容Arduino®的接口，提供便捷的I/O访问。额外的引脚接口确保了对MCX A外设的全面访问。此外，还包括mikroBUS™以及Pmod™插座。**扩展板中心 (EBH) 有兼容的扩展板和“子卡”**可供选择，EBH还直接链接到应用代码中心 (ACH) 的示例。



FRDM-MCXA153开发板

如果您找不到满足需求的扩展板，我们可以帮助您自行构建。恩智浦MCX社区提供一个MCX A FRDM shield模板。该模板允许工程师快速构建自己的子卡，以实现他们的自定义用例原型验证。

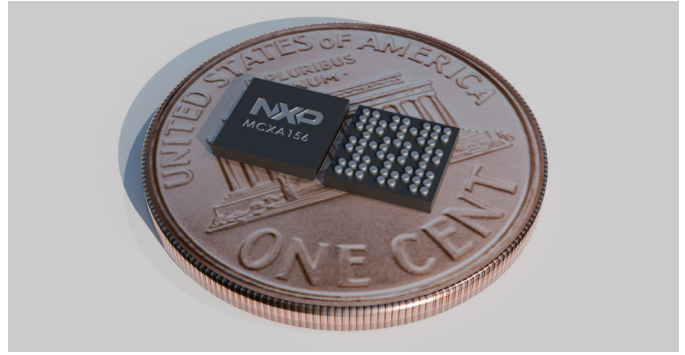


FRDM-MCXA153自定义shield模板

子卡模板配有简单的原理图、引脚头和网络标签，方便快速识别MCX A153所需的I/O。PCB具有与FRDM-MCXA153匹配的机械结构，并配有易读的I/O标签，便于上手。基础部分已经完成，您可以迅速为设计添加自己的“秘密配方”进行原型设计。设计文件提供流行的开源KiCad格式以及Altium Designer格式。MCUXpresso配置工具包含定义连接的能力，当您自定义扩展板与任一FRDM开发板结合使用时，可以轻松进行引脚配置。

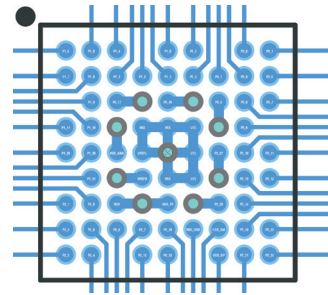
好东西，小封装

MCX A的另一个独特价值在于，它既提供更小、低引脚数的封装，也有高密度BGA选项，同时保持使用简单低成本PCB工艺的能力。产品系列的一端是5 x 5mm的HVQFN32封装，适用于超低成本、低引脚数的应用。另一端是MCX A156，提供0.5mm间距的5 x 5mm LFBGA64封装。



MCX A156的5x5mm LFBGA64 0.5mm间距封装

球栅阵列的设计巧妙，可在未布置焊球的区域放置过孔，便于布线。VDD和VSS信号被便捷分组，提供了多种芯片布线选项，无需使用焊盘内通孔技术。



LFBGA64封装的MCX A可以轻松用于低成本的双层PCB技术。

结语

MCX A是MCX产品组合的重要组成部分，面向电机控制、传感和相关工业应用，同时具有USB、MIPI I3C、FlexIO和精密电机控制子系统独特的外设。MCX A系列将在2024年及以后进行扩展，包括包含更多闪存、RAM和在封装中保留引脚兼容性的新系列和型号。



Eli Hughes 恩智浦专业支持工程师

Eli Hughes是恩智浦专业支持工程师，为客户提供恩智浦微控制器和应用处理器系列硬件设计和固件方面的支持。除了支持工作，他还创作了一些技术内容，展示了恩智浦产品在实际真实场景中的应用。他借鉴了自己在宾夕法尼亚州立大学应用研究实验室的过往经验，在那里他参与了嵌入式系统、传感器、机器人、水下航行器和空间科学等领域的研究和开发。他也曾在宾夕法尼亚州立大学的电气工程系教授过微控制器、FPGA和电路理论等课程。在业余时间，Eli喜欢弹吉他和玩木工。

nxp.com.cn/MCXA

NXP、NXP标识和恩智浦“智慧生活，安全连接”是NXP B.V.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。© 2024 NXP B.V.

文档编号：MCXAWP REV 0