

基于 RISC-V 双核锁步架构国产 MCU 芯片技术

1、 国产 MCU 现状

近年来，国产 MCU 在技术自主性与应用场景覆盖上取得显著进展，逐步打破国际厂商在高端领域的垄断。随着 RISC-V 开源指令集的兴起，国产芯片企业通过自主创新，推出了一系列兼具高性能与安全性的 MCU 产品。然而，在汽车电子、工业控制等高可靠性场景中，国产芯片仍需突破功能安全认证、复杂环境适应性等技术壁垒。

AS32X601 是国科安芯研制的一款 32 位 RISC-V 指令集 MCU，采用双核锁步架构，主频高达 180MHz，支持 ASIL-B 功能安全等级（符合 ISO26262 标准），并通过 AEC-Q100 Grade1 汽车级认证。其核心优势体现在：

- 双核锁步架构：通过双核冗余执行与实时比对，实现单点故障检测与容错，显著提升系统可靠性。
- 高性能处理能力：180MHz 主频配合自研 E7 内核，支持 FPU 与 L1 缓存（16KiB 指令/数据缓存），计算效能达 482 DMIPS，可满足实时控制需求。
- 丰富存储资源：内置 2MiB P-Flash（带 ECC）、512KiB D-Flash 与 512KiB SRAM，支持复杂算法与数据密集型任务。
- 多接口扩展：集成 6 路 SPI、4 路 CAN FD、4 路 USART、2 路 I²C 及以太网 MAC 等接口，适配多样化外设连接。
- 国产化与质量控制：通过广五所（中国赛宝实验室）国产化认证，企军级型号（AS32M601ZIT2）满足军工领域严苛质量要求，涵盖全生命周期可靠性验证。

2、 RISC-V 双核锁步架构

架构原理与实现

双核锁步（Dual-Core Lockstep）是一种硬件冗余容错技术，通过两个相同内核并行执行指令并实时比对输出结果，确保运算一致性。AS32X601 的 E7 内核采用动态分支

预测与 8 级双发射流水线设计，双核以锁步模式运行，通过专用错误控制模块（FCU）检测差异并触发安全响应（如复位或中断），有效防范瞬态故障与永久性硬件失效。

技术意义

- 功能安全强化：符合 ISO26262 ASIL-B 标准，满足汽车电子、工业控制等领域对系统安全完整性的要求。
- 高可靠性保障：在航天等恶劣环境下，双核锁步可降低单粒子翻转（SEU）等辐射效应引发的风险，企业宇航级型号（AS32S601ZIT2）SEU 抗扰度 $\geq 75 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ 。
- 简化系统设计：通过硬件级冗余减少软件容错机制开销，缩短开发周期并降低验证复杂度。

3、高主频与丰富接口设计

180MHz 高主频优势

AS32X601 主频达 180MHz，结合双发射流水线与硬件 FPU，可高效执行浮点运算与实时控制任务。其 AXI 总线矩阵支持多主机并行访问，PLL 支持最高 500MHz 时钟输出，配合 AXI 总线矩阵提升数据吞吐效率。此外，低功耗设计支持四种电源模式（RUN/SRUN/SLEEP/DEEPSLEEP），休眠电流低至 200 μA ，兼顾性能与能效。

接口资源与扩展能力

芯片集成多元化外设模块，覆盖模拟、通信与控制需求：

- 模拟接口：3 个 12 位 ADC（48 通道）、2 个 8 位 DAC 及温度传感器，支持高精度信号采集与输出。
- 通信接口：4 路 CAN FD（支持 64 字节帧）、6 路 SPI（30MHz 速率）、以太网 MAC（10/100Mbps），满足车载网络与工业通信协议需求。
- 安全模块：内置硬件加密模块（DSE），支持 AES、SM2/3/4 算法及真随机数生成（TRNG），保障数据安全。

4、 应用场景分析

汽车电子

AS32X601 汽车级型号 (AS32A601ZIT3) 适用于车身控制模块 (BCM), 实现灯光、车窗、后视镜等系统的集中管理; 其 CAN FD 接口与高抗干扰特性, 可支持电机驱动系统 (如散热风扇、水泵) 的实时控制。

特种工业控制

工业级型号 (AS32I601ZIT6) 凭借多路 PWM 输出与高精度定时器, 可应用于机器人关节控制、自动化产线设备及平台升降机系统, 通过硬件 CRC 校验确保程序完整性。

商业航天

商业航天级型号 (AS32S601ZIT2) 支持运动控制与信号处理任务, 其 SEU/SEL 抗扰度指标符合航天电子器件标准, 适用于卫星姿态控制与载荷管理。

5、 结论

AS32X601 作为国产高端 MCU 的代表, 通过 RISC-V 双核锁步架构与高集成度设计, 在功能安全、处理性能及多场景适应性上达到行业先进水平。其国产化认证与多等级产品线布局, 为汽车、军工、航天等领域提供了可靠的自主可控解决方案, 助力国产芯片生态的持续完善。