



life.augmented

Industrial
Summit 2021
Shenzhen, China
POWERING YOUR INNOVATION



STM32G4/H7数字电源 应用分享

廖科盛

MDG 产品部

意法半导体 亚太区



STM32针对数字电源应用的产品方阵

数字电源成功应用案例简介

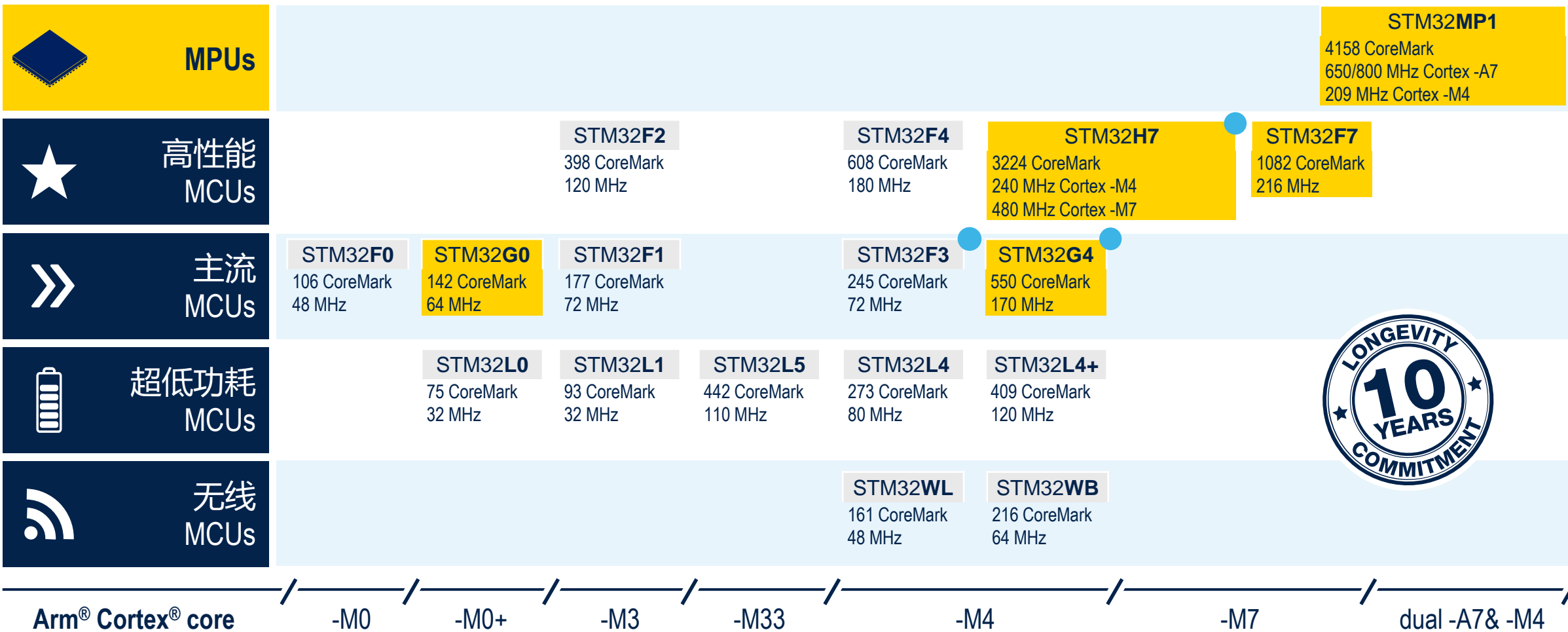
STM32G4/H7应用中优势特性

STM32针对数字电源的产品方阵



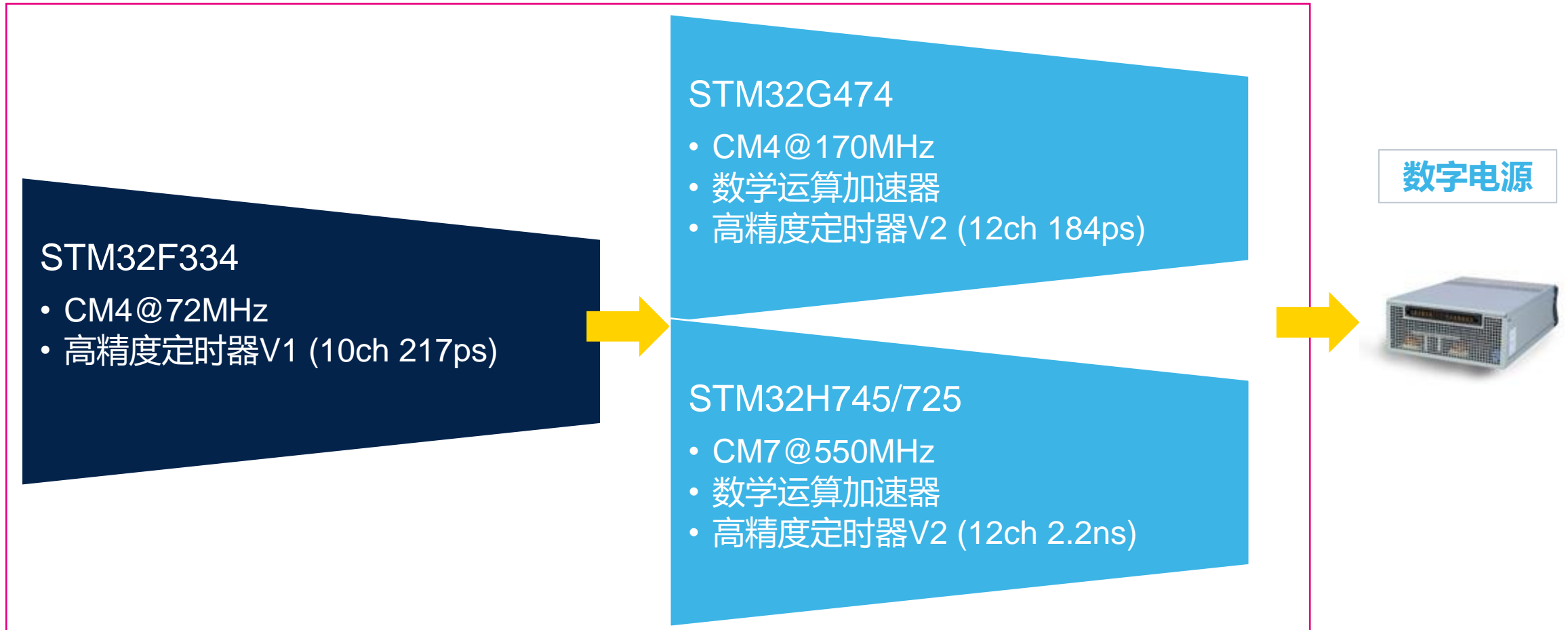


STM32 针对能源与工业应用的产品阵容



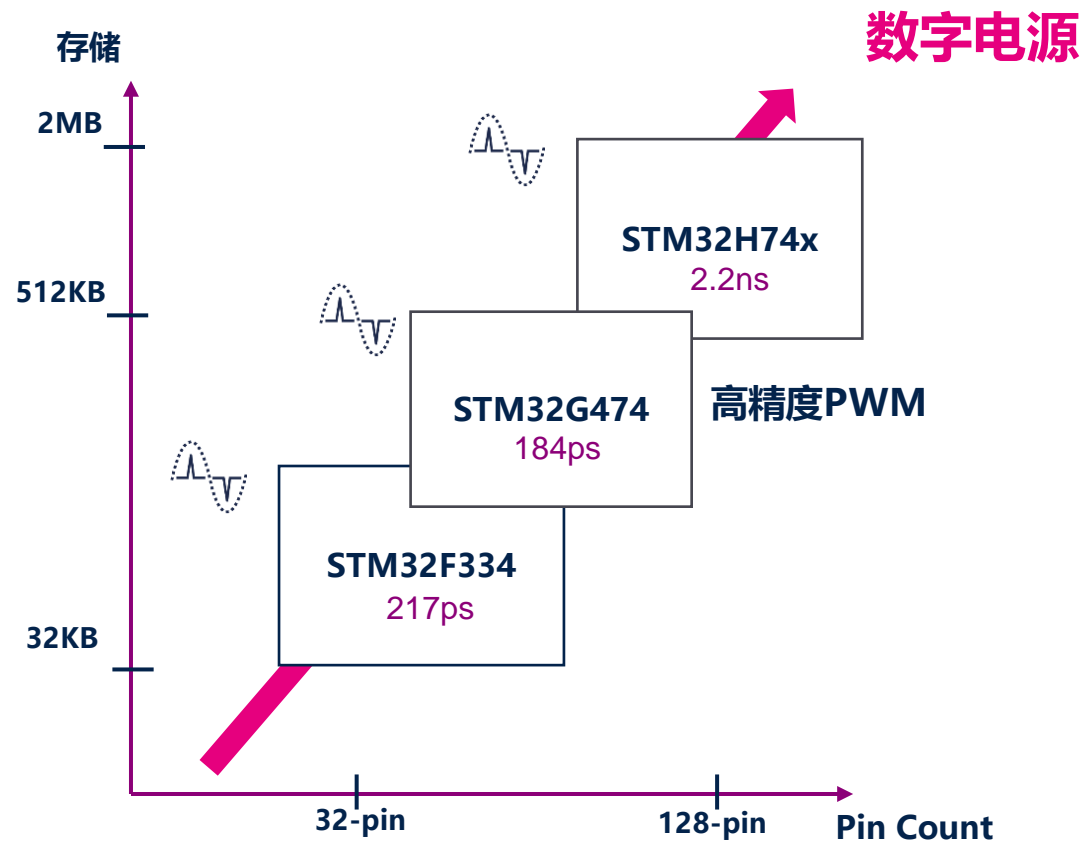
● HRTIMER专业针对数字电源应用

STM32 主流型：数字电源控制MCU演变



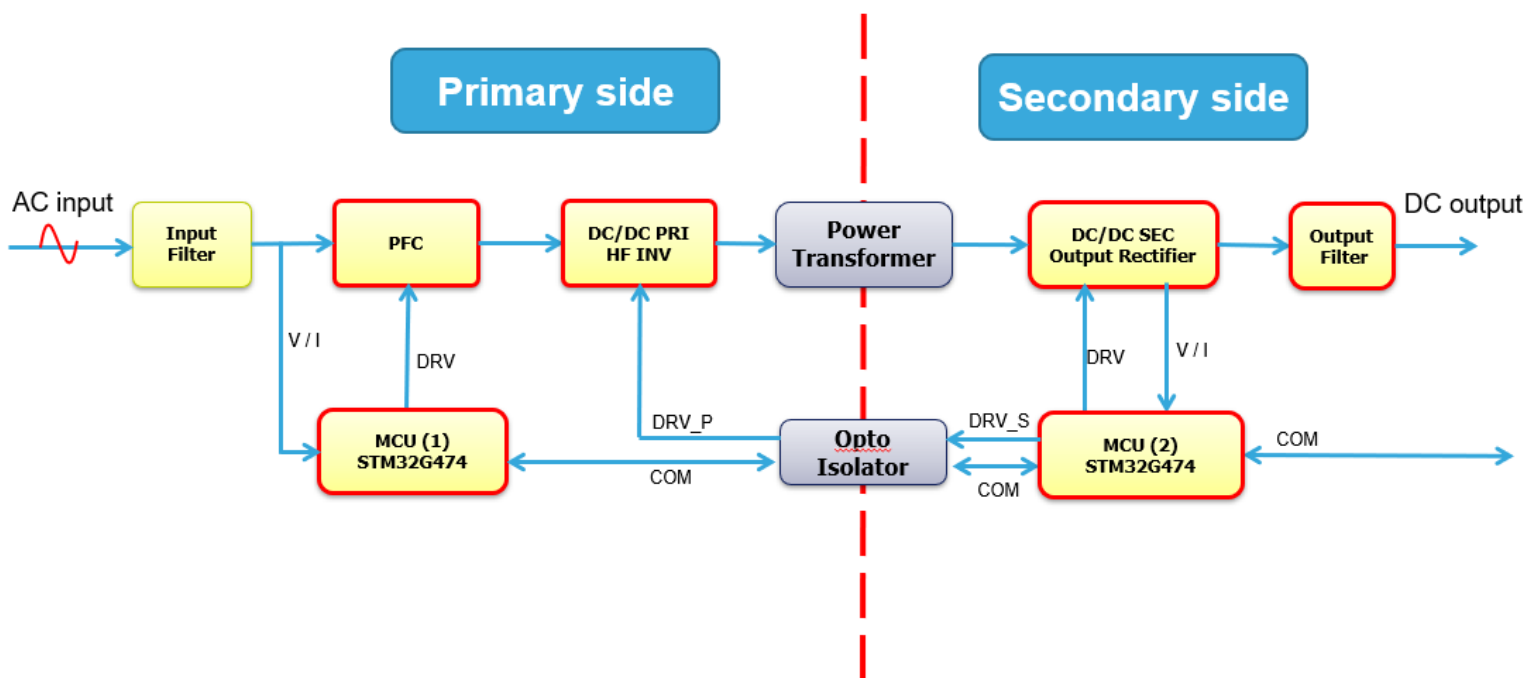
STM32G4/H7数字电源应用推荐

数字电源应用



数字电源成功应用案例简介

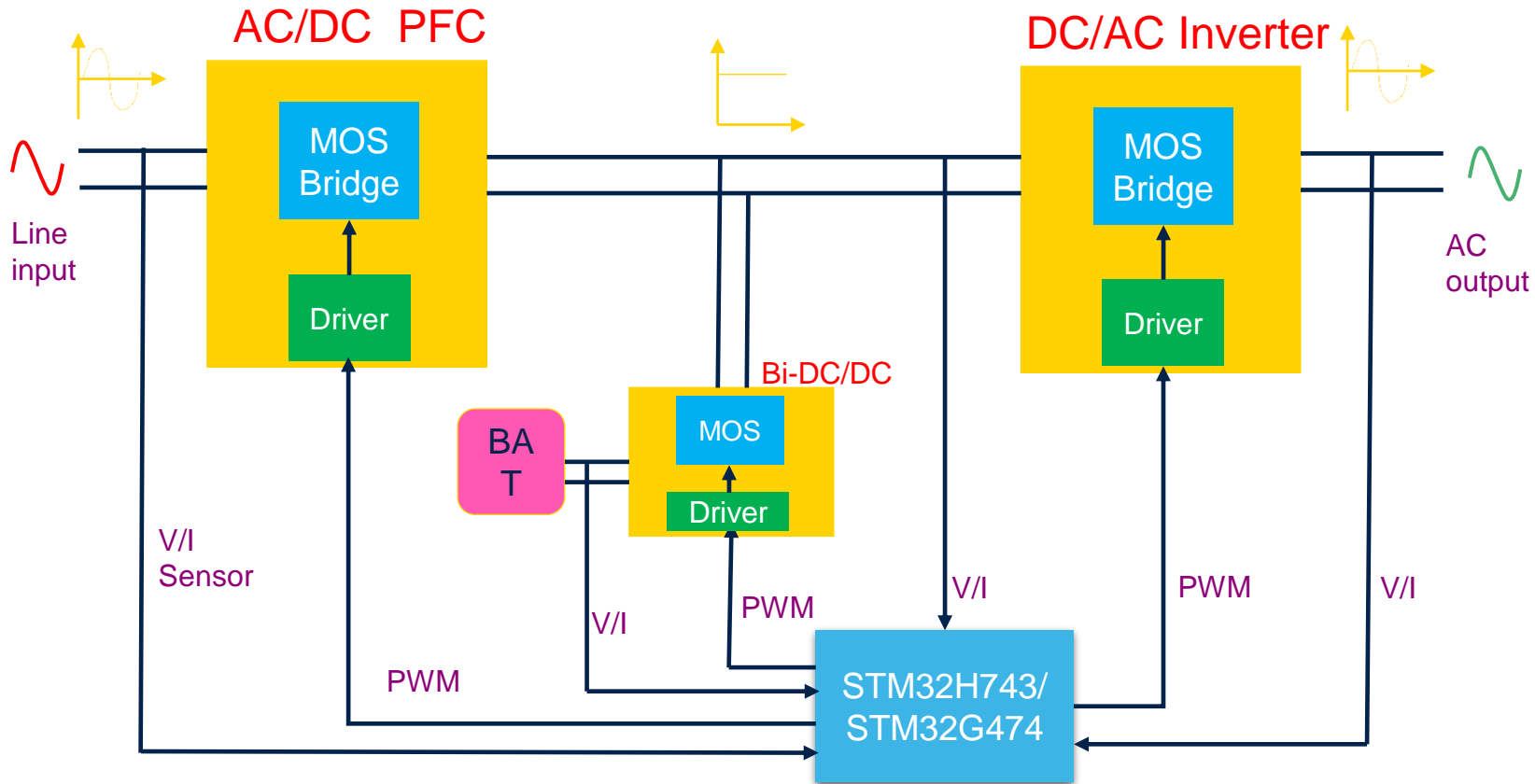
通信/服务器电源



- ✓ 高精度定时器
- ✓ 丰富的模拟外设(ADC/COMP/DAC)
- ✓ 快速计算要求
- ✓ 通讯接口(CAN)
- ✓ 环境温度125度



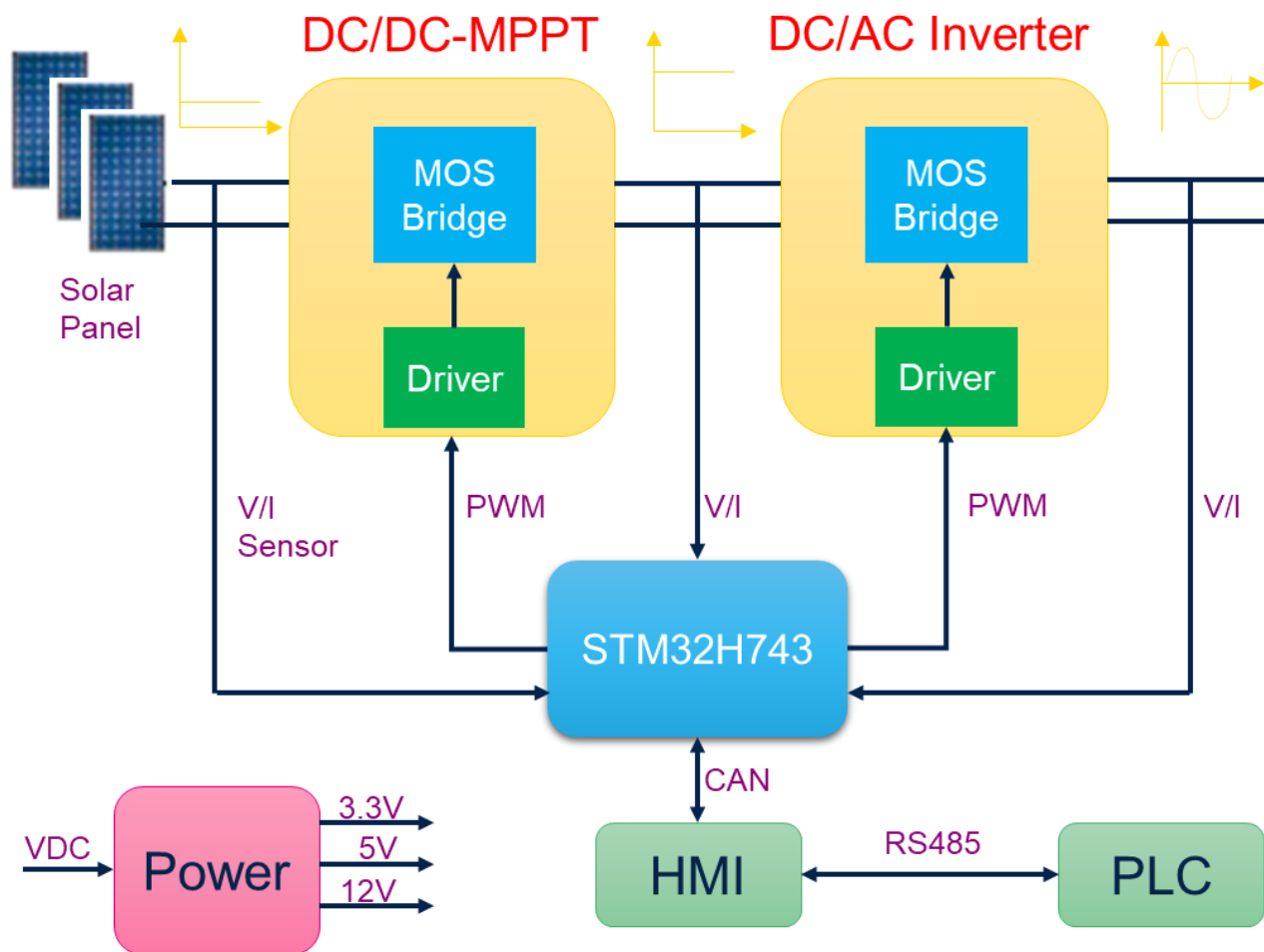
不间断电源(UPS)



- ✓ 高精度定时器
- ✓ 多通道PWM
- ✓ 丰富模拟外设(ADC/COMP/DAC)
- ✓ 快速计算要求(Cordic)
- ✓ 多种通讯接口
- ✓ 环境温度125度

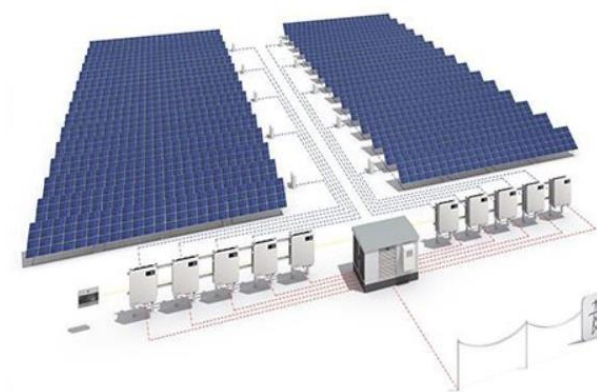


太阳能逆变器



- ✓ 复杂PWM产生机制
- ✓ 快速计算要求
- ✓ 丰富外设需求
- ✓ 双bank, 大容量Flash RAM

大型光伏电站

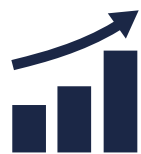


STM32G4/H7在应用中优势特性



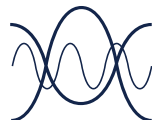


STM32G4 系列 – 关键词



性能

- Arm® Cortex®-M4 at 170 MHz
- 213 DMIPS and 550 CoreMark® results
- 优化动态功耗(163µA/MHz)
- ART Accelerator™ (动态缓存)
- 数学运算加速器 (三角函数+数字滤波)
- CCM-SRAM Routine Booster (静态缓存)



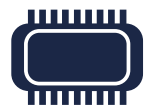
丰富的内置数模外设

- 运放 (内置增益), DACs, 比较器
- 12-bit ADCs 4Msps (硬件过采样 16bit)
- CAN-FD (up to 8Msps bit rate)
- 高精度定时器 V2 (184皮秒)
- USB type-C Power Delivery3.0
- 1%精度内置RC (-5~90dC), 2%(全温度范围)



功能安全与信息安全

- 双Bank Flash支持ECC (error code correction)
 - 安全存储区域
 - 硬件加密 AES-256
 - SIL, Class-B
 - SRAM支持奇偶校验
- } 安全在线升级
- } 功能安全设计包

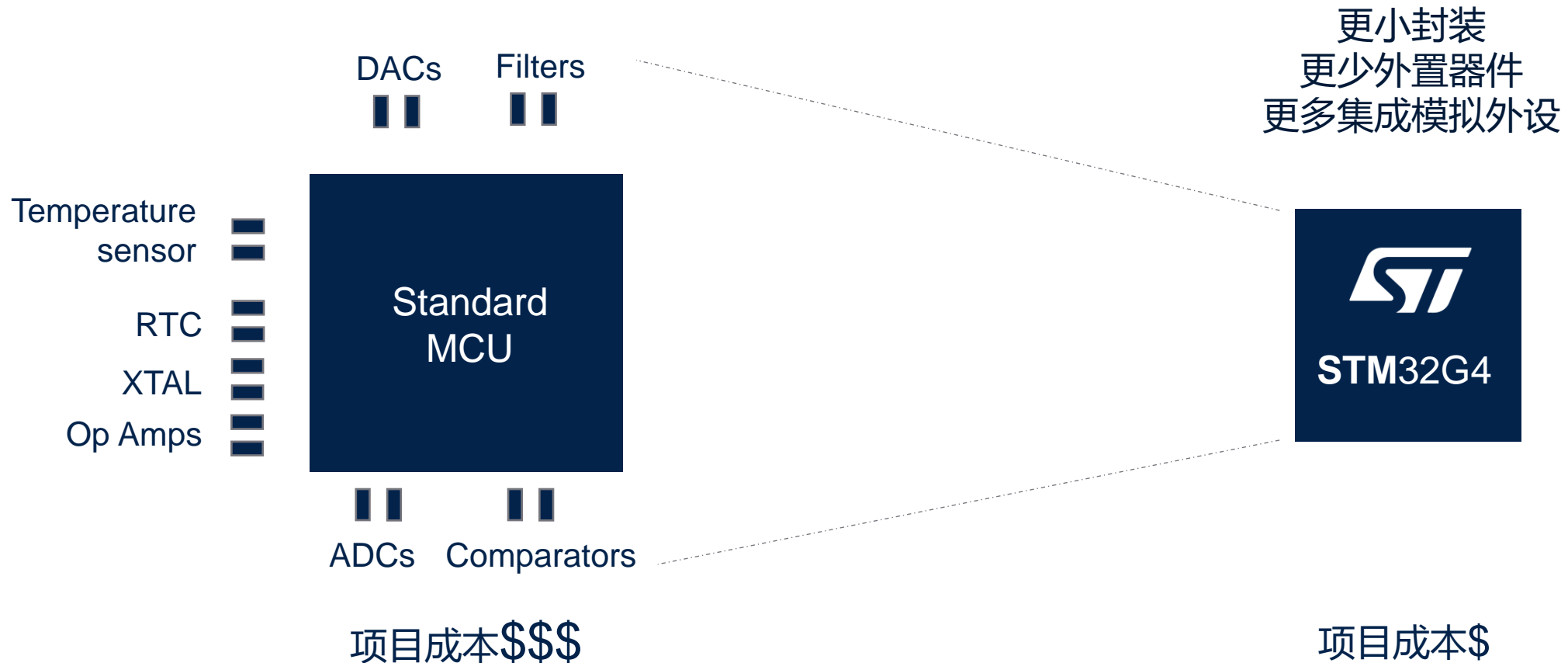


完整的产品目录

- 补充已有STM32F3系列产品目录
- 环境温度范围-40dC 至 85 or 125dC
- 从 32 至 128-pin
- 从 32KB 至 512KB Flash

降低 PCB 尺寸 和 BOM 成本

片上系统一体化方案



丰富和先进模拟外设

为广泛多样的应用场景提供数模混合信号SoC

| ADC (up to 5) | Values |
|---------------|--|
| 拓扑 | SAR 12-bit + 硬件过采样 → 16-bit |
| 采样率 | Up to 4 Msps |
| 输入 | 单端输入与差分输入 |
| 偏移与降噪补偿 | 自动校准以降低噪音与偏移 |

| DAC (up to 7) | Values |
|---------------|--|
| 采样率 | 15 Msps (内部输出) 1Msps (带缓冲输出) |
| 稳定时间 | 16ns |

| 运放 (up to 6) | Values |
|--------------|--|
| 带宽 | 13 MHz |
| 斜率 | 45 V/μs |
| 偏置 | 3mV 全温度范围 1.5mV @ 25°C |
| 可编程放大倍数(精度) | 2, 4, 8, 16, -1, -3, -7, -15 (1%) 32, 64, -31, -63 (2%) |

| 比较器 (up to 7) | Values |
|---------------|---|
| 电压范围 | 1.62 .. 3.6V |
| 传播延迟 | 16.7ns |
| 偏置 | -6 .. +2 mV |
| 滞回补偿 | 8 steps: 0, 9, 18, 27, 36, 45, 54, 63 mV |

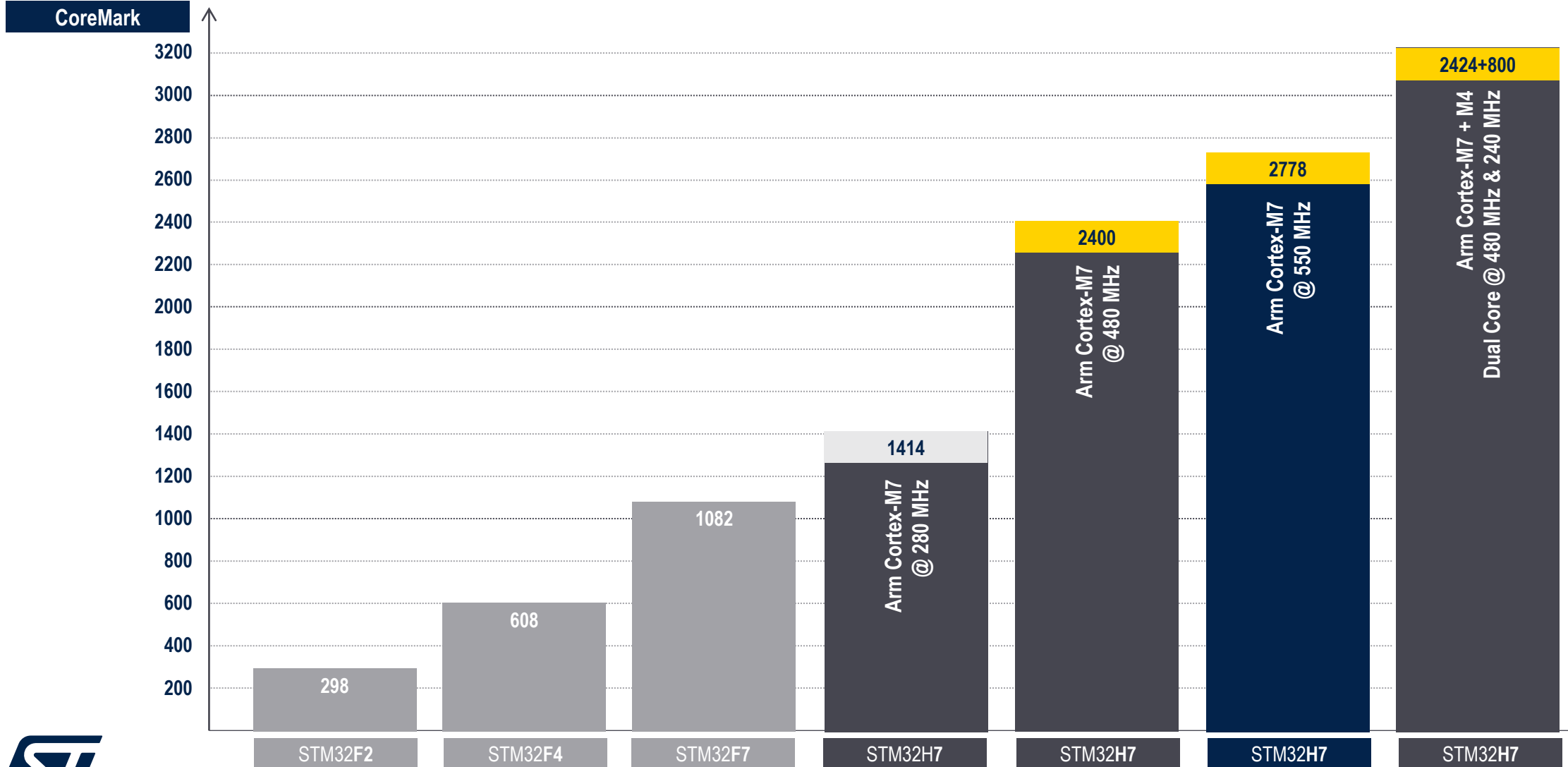
STM32G4: 性能更高, 外设更丰富

G4 产品线

| 参数 | STM32G474 高精度PWM型 | STM32G473 性能型 | STM32G431 入门型 | STM32G491 入门型 |
|---------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 内核, 主频 | Arm Cortex-M4, 170 MHz | | | |
| Flash (max) | 512 Kbytes (2x256KB dual bank) | | 128 Kbytes single bank | 512 Kbytes single bank |
| RAM (up to) | 96 Kbytes | | 22 Kbytes | 96 Kbytes |
| CCM-SRAM(code-SRAM) | 32 Kbytes | | 10 Kbytes | 16 Kbytes |
| 12-bit ADC SAR | 5x 12-bit 4 MSPS | | 2x 12-bit 4 MSPS | 3x 12-bit 4 MSPS |
| 比较器 | 7 | | 4 | 4 |
| 运放 1% 精度 | 6 | | 3 | 4 |
| 12-bit DAC | 7 | | 4 | 4 |
| 高级电机控制定时器 | 3x (170 MHz) | | 2x (170 MHz) | 3x (170 MHz) |
| CAN-FD | 3x | | 1x | 2x |
| 高精度定时器 | 1x | - | - | - |
| 供电范围 | 1.72 to 3.6 V | | | |



高性能产品组合



STM32H7各产品应用定位

STM32H743

单核480MHz及丰富的资源，适用于工业、医疗及消费类应用

STM32H745

双核架构、125度耐温以及强大的运算能力，适应于工业应用的苛刻环境

STM32H747

内置MIPI DSI, 满足同时需要高性能及显示要求的应用

STM32H7A3

内置大容量1.4MB SRAM及低功耗，适用于家电及工控显示应用

STM32H723

单核性能最强，高性价比，适用于工业、医疗及消费类成本敏感型应用

最新推出





STM32H7主性能

STM32H74x

➤ Cortex-M7 480MHz主频

- 双核Cortex-M4 240MHz (仅STM32H7x5/H7x7系列)
- 2400 Coremark, 1027DMIPS
- 16KB I-Cache+16KB D-Cache
- 64KB ITCM 和 128KB DTCM 快速访问内存
- 64位AXI总线, 最高总线速率达到240MHz
- 双精度浮点运算单元

➤ 2MB 内部 Flash

- 双区设计、可不停机升级
- 每页128KB, 带ECC校验

➤ 1MB SRAM

- ITCM: 64KB
- DTCM: 128KB
- AXI RAM: 512KB
- AHB RAM1+2+3: 288KB
- 低功耗域SRAM4: 64KB
- 备份SRAM: 4KB
- 全部SRAM都带有ECC校验

STM32H72x

➤ Cortex-M7 @550MHz

- 2777 Coremark, 1177 DMIPS
- 16KB I-Cache+16KB D-Cache
- 128KB DTCM
- 共享型ITCM, 可配置为64KB~256KB
- 64位AXI总线, 最高运行速度275MHz
- 双精度浮点运算单元

➤ 1MB Flash

- 全部Flash空间带ECC校验
- 每页128KB

➤ 564KB SRAM

- DTCM: 128KB
- ITCM: 64KB~256KB 共享式SRAM
- AXI RAM: 128KB + 多达192KB
- AHB SRAM1+2: 16KB
- 低功耗域SRAM4: 16KB
- 备份RAM: 4KB
- 全部SRAM都带有ECC校验

STM32H7系列外设

H7系列

| | STM32H74x | STM32H72x |
|---------------------------------|--------------------------|---|
| ADC | 3x 16-bit @3.6MSPS(36ch) | 2x 16-bit@3.6MSPS (24ch) 1x 12-bit@5MSPS |
| COMP/DAC/OPAMP | 2/1/2 | 2/1/2 |
| HRtimer | YES | NO |
| FMAC/Cordic | NO | YES |
| Timers Basic/General/Advance | 2/10/2 | 2/10/2 |
| IIC/SPI | 4/6 | 5/6 |
| CAN | 2x FDCAN | 3x FDCAN |
| Ethernet | Yes | Yes |
| USB OTG | 2(1HS/FS,1FS) | 1HS/FS |
| Chrome-ART(DMA2D) | Yes | Yes |
| TFT-LCD | Yes | Yes |
| DFSDM | 1x(8ch/filters) | 1x(8ch/8filter) and 1x(2ch/1filter) |
| MDMA/BDAM/DMA | 1/1/2 | 1/1/2 |

Hrtimer – 不仅仅是高精度而已...

高精度PWM

- 12 通道PWM信号输出，频率和占空比精度可高达184ps
- 184ps 相当于 5.4GHz 定时器时钟
- 自带电压与温度补偿，保证精度不漂移

高灵活度PWM

- 7个独立时钟计数器（1主+6从），可相互配合生成灵活多样的PWM波形
- 可灵活配置成 6 组互补输出的 PWM 对
- 内置信号枢纽 Crossbar，单个 PWM 周期内最多可达 32个 set/reset 转换
- 灵活角色可配Master/Slave，更适合多项控制

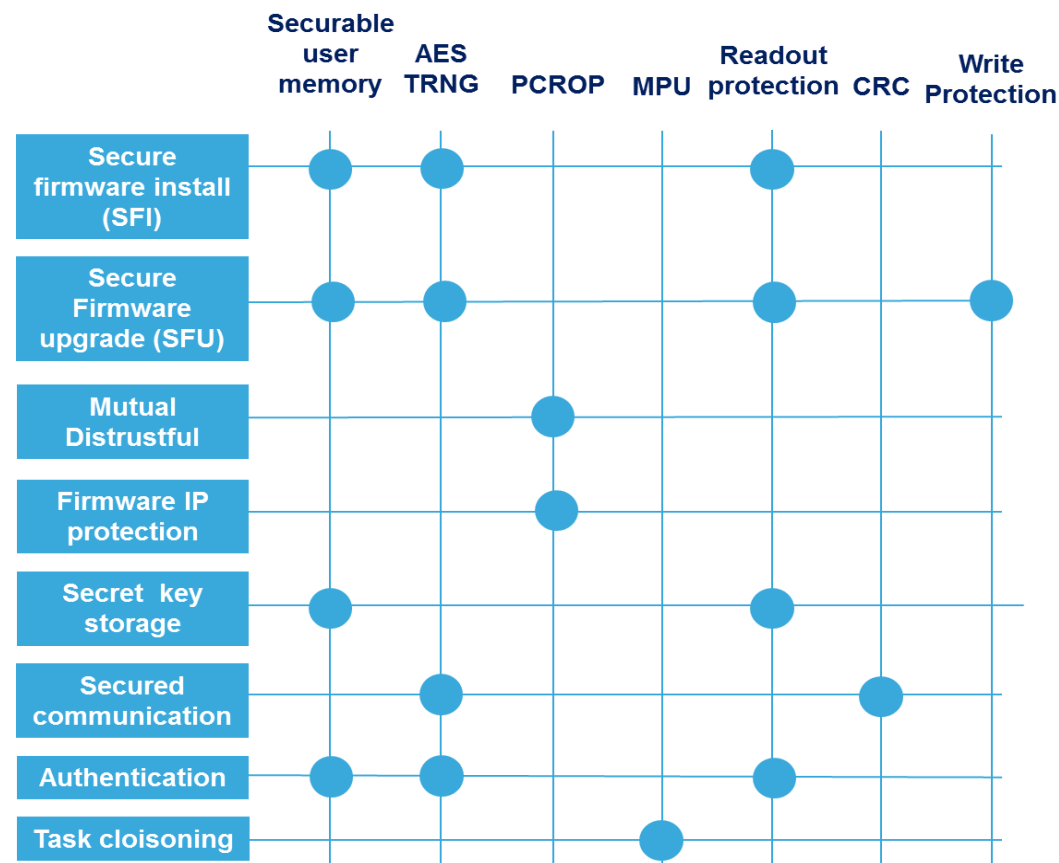
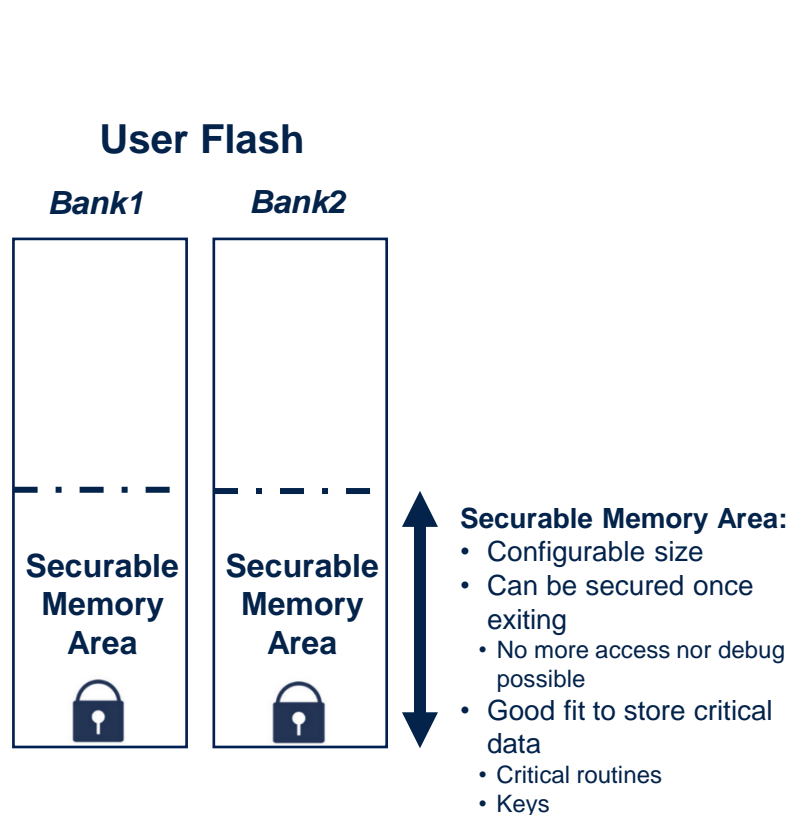
多事件响应

- 6个模拟与数字的错误输入源
- 10个事件输入源
- 事件响应可配置：计数响应，窗口内连续事件响应等

12个独立输出通道

- 可支持任意一种常见拓扑：
1x 12 PWM (三相交错LLC)
12x 1 PWM (多相独立 buck 调光控制器)
- 每一路定时器均有可配置参数的DMA，整个HRTIM单元亦有高级DMA功能，可部分或整体更新参数设置

Integrated security features, ready for tomorrow's needs





让数字电源设计更简单

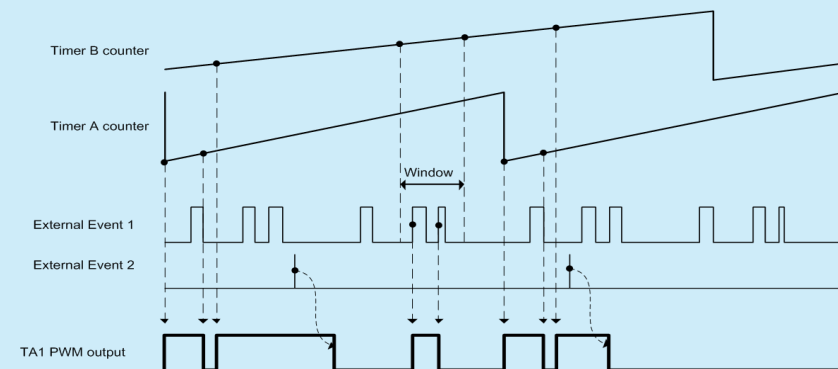


增强您的数字电源方案，使用

- STM32G474
- STM32F334
- STM32H74x/ STM32H75x

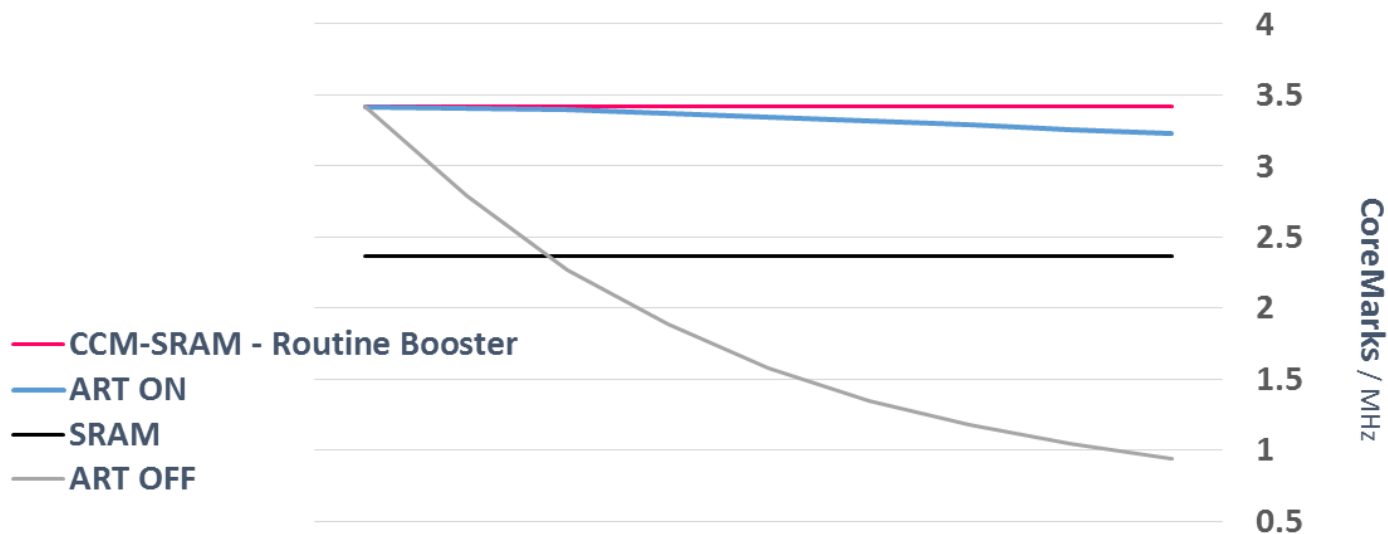
全功能高精度定时器 (HRTIM)

- 184ps 精度
- 高灵活度 PWM 波形配置
- 丰富的事件管理
- 极快的故障保护



纯170 MHz CPU性能 (Arm®Cortex®-M4) 配备三个加速器

Code execution performance



| Number of Wait States | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|----|----|-----|-----|-----|
| CPU Clock (MHz) | 34 | 68 | 102 | 136 | 170 |

Arm Cortex-M4 with FPU

高达 170 MHz CPU 频率

高达 213 DMIPS & 550 CoreMark®

结果

3个不同 硬件加速器:

- ART 加速器 (~动态缓存) → 全代码加速 (平均)
- 常规增压器 CCM-SRAM (~静态 缓存) → 保留决定论
- 数学 (Cordic + FMAC)



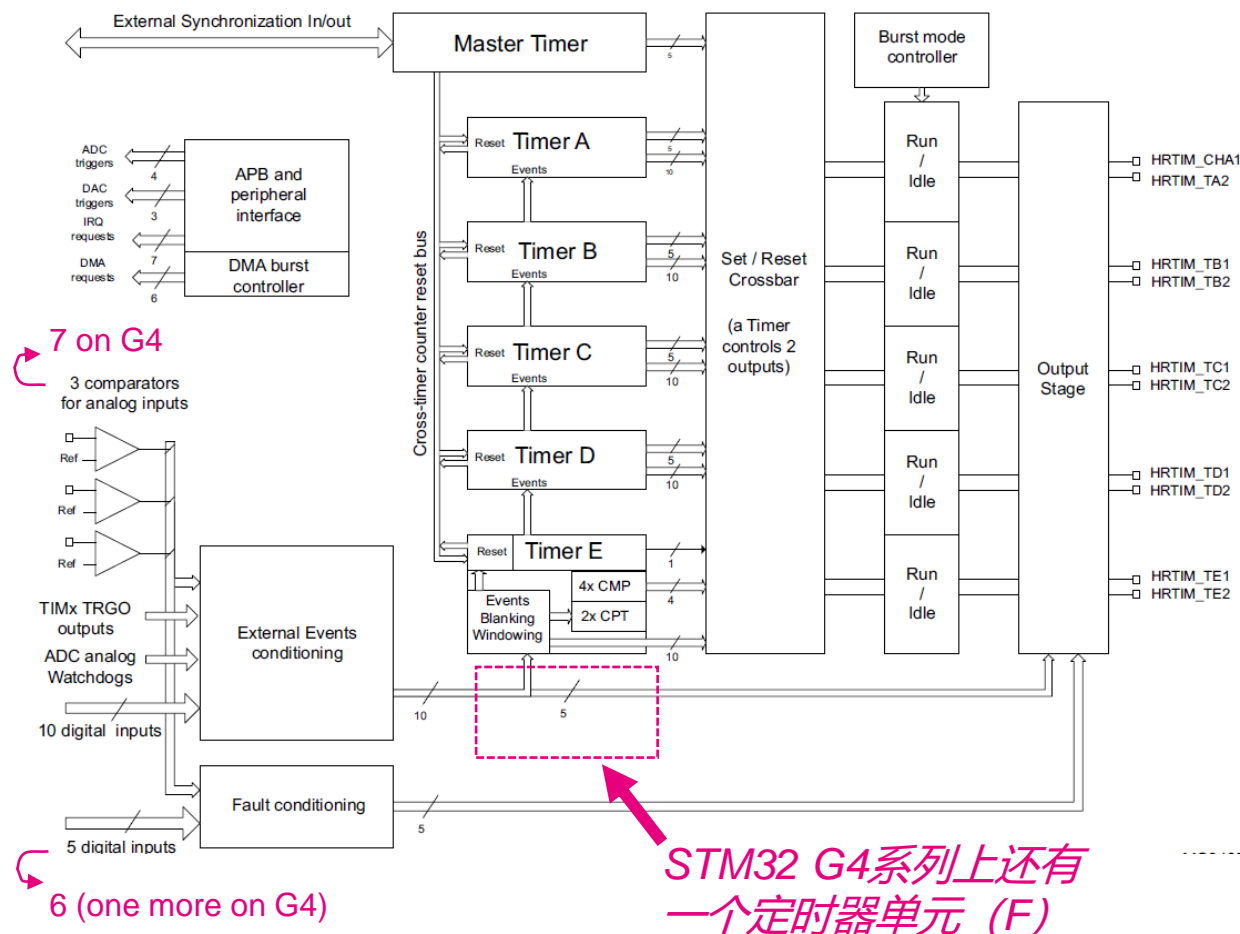


与STM32 F3系列相同的体系结构

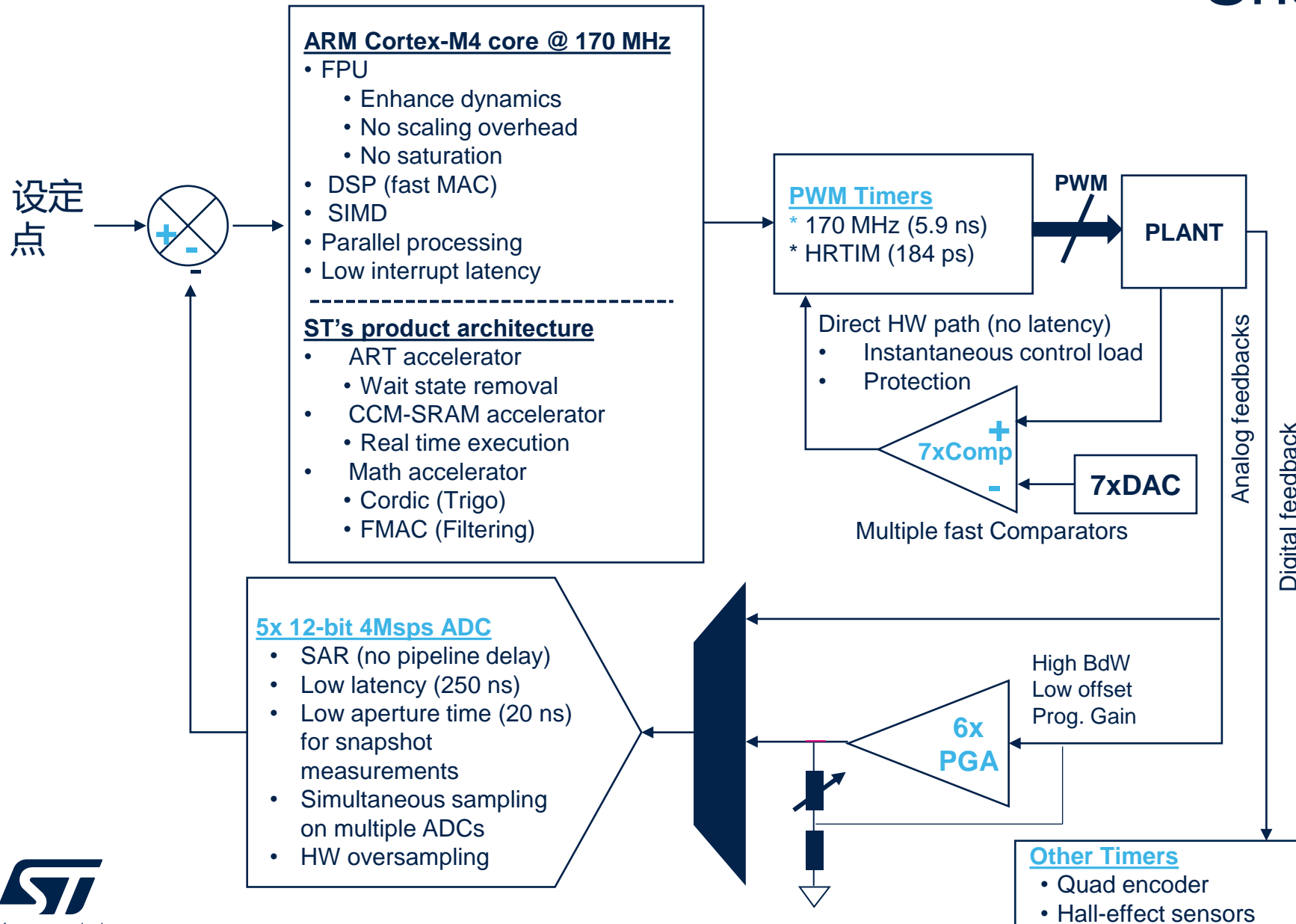
HRTIM 概述

F3 & G4 系列

- 模块化架构：一个主控单元和**6**个可交叉同步的定时器子单元
- 数字@**170MHz** 其次是模拟DLL
- 高分辨率
 - 所有输出为**184 ps**
- 自我补偿
 - 无温度/V_{dd} 漂移
- 高达**12 PWMs** 输出
- 存在多个故障/事件
- 软件最小化
- 复杂事件处理
 - 空白 / 窗口 / 超时



Shaped for control



由于高外设互连和灵活的总线矩阵，模拟和数字资源易于使用



功能加速和CPU卸载

1. Cordic (Trigo)

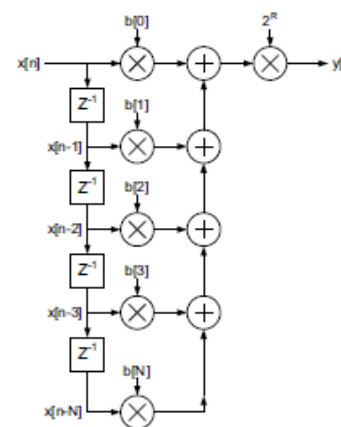
- 对磁场定向电机的控制方法很有帮助 (FOC)

- 矢量旋转 (极坐标到矩形): Sin, Cos
- 矢量平移 (矩形到极坐标): Atan2, Modulus
- Sinh, Cosh, Exp
- Atan, Atanh
- 平方根
- Ln

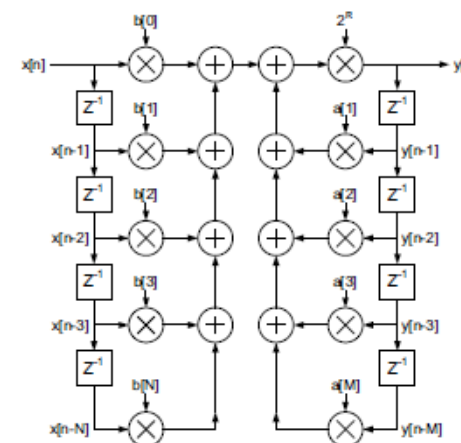
2. Filter Math ACcelerator (FMAC)

- 可用于创建
 - 3p3z 补偿器 (→ 数字电源)
 - Σ - Δ 调制器
 - 噪声整形器

FIR 滤波器



IIR 滤波器



| Function | Number of clock cycles for (at least) 16-bit precision | Maximum precision |
|----------------------------|--|-------------------|
| Sin, Cos, Phase, Mod, Atan | 4 | 20-bit (6 cycles) |
| Sinh, Cosh, Atanh, Ln | 5 | 19-bit (6 cycles) |
| Sqrt | 3 | 20-bit (3 cycles) |

Table 4. CORDIC functions

| Function | Primary argument (ARG1) | Secondary argument (ARG2) | Primary result (RES1) | Secondary result (RES2) |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Cosine | angle θ | modulus m | $m \cdot \cos \theta$ | $m \cdot \sin \theta$ |
| Sine | angle θ | modulus m | $m \cdot \sin \theta$ | $m \cdot \cos \theta$ |
| Phase | x | y | $\text{atan2}(y,x)$ | $\sqrt{x^2 + y^2}$ |
| Modulus | x | y | $\sqrt{x^2 + y^2}$ | $\text{atan2}(y,x)$ |
| Arctangent | x | none | $\tan^{-1} x$ | none |
| Hyperbolic cosine | x | none | $\cosh x$ | $\sinh x$ |
| Hyperbolic sine | x | none | $\sinh x$ | $\cosh x$ |
| Hyperbolic arctangent | x | none | $\tanh^{-1} x$ | none |
| Natural logarithm | x | none | $\ln x$ | none |
| Square root | x | none | \sqrt{x} | none |

Table 19. Precision vs number of iterations

| Function | Number of iterations | Number of cycles | Max residual error | |
|---|----------------------|------------------|--------------------|--------------|
| | | | q1.31 format | q1.15 format |
| Sin, Cos, Phase ⁽¹⁾ , Mod, Atan ⁽²⁾ | 4 | 1 | 2^{-3} | 2^{-3} |
| | 8 | 2 | 2^{-7} | 2^{-7} |
| | 12 | 3 | 2^{-11} | 2^{-11} |
| | 16 | 4 | 2^{-15} | 2^{-14} |
| | 20 | 5 | 2^{-18} | 2^{-15} |
| Sinh, Cosh, Atanh, Ln ⁽²⁾ | 4 | 1 | 2^{-2} | 2^{-2} |
| | 8 | 2 | 2^{-6} | 2^{-6} |
| | 12 | 3 | 2^{-10} | 2^{-10} |
| | 16 | 4 | 2^{-13} | 2^{-13} |
| | 20 | 5 | 2^{-17} | 2^{-15} |
| Sqrt ⁽³⁾ | 4 | 1 | 2^{-7} | 2^{-7} |
| | 8 | 2 | 2^{-14} | 2^{-14} |
| | 12 | 3 | 2^{-19} | 2^{-15} |

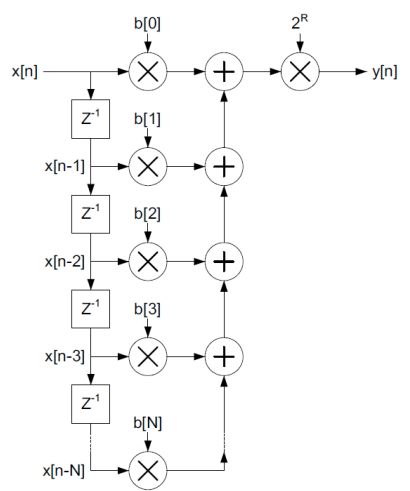
功能加速与减轻CPU负担

数字滤波加速器(FMAC)

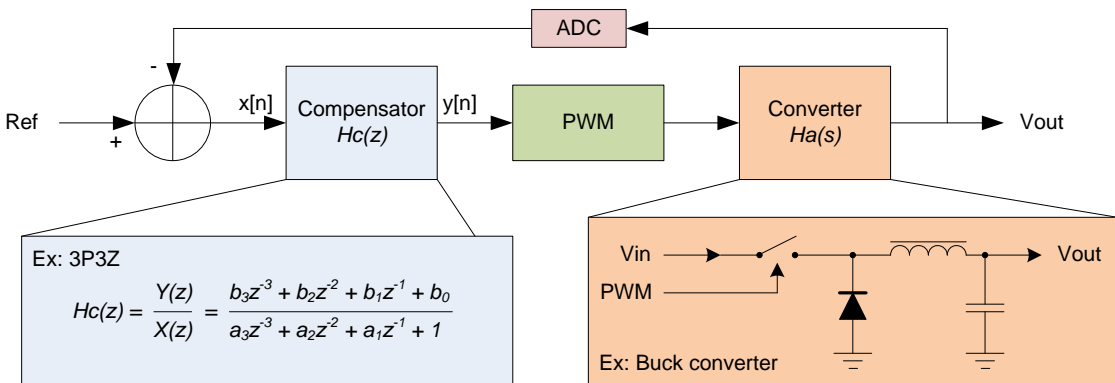
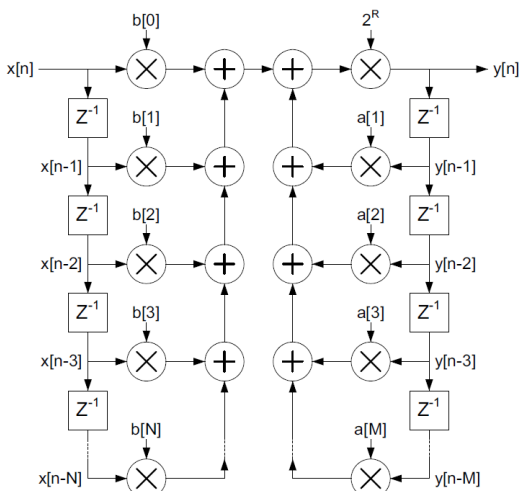
可被用于生成

- FIR, IIR
- 补偿器 (数字电源三极点三零点3p3z)

FIR 滤波器



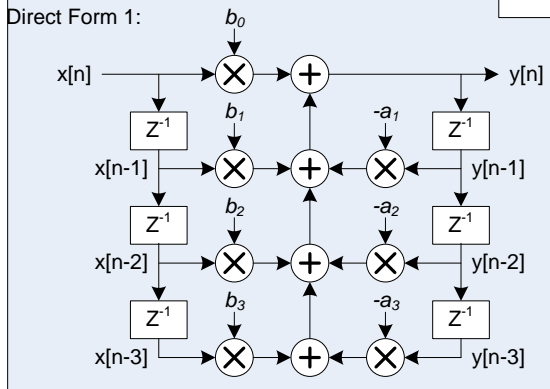
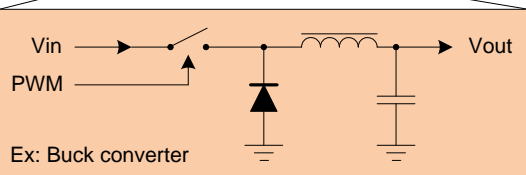
IIR滤波器



Ex: 3P3Z

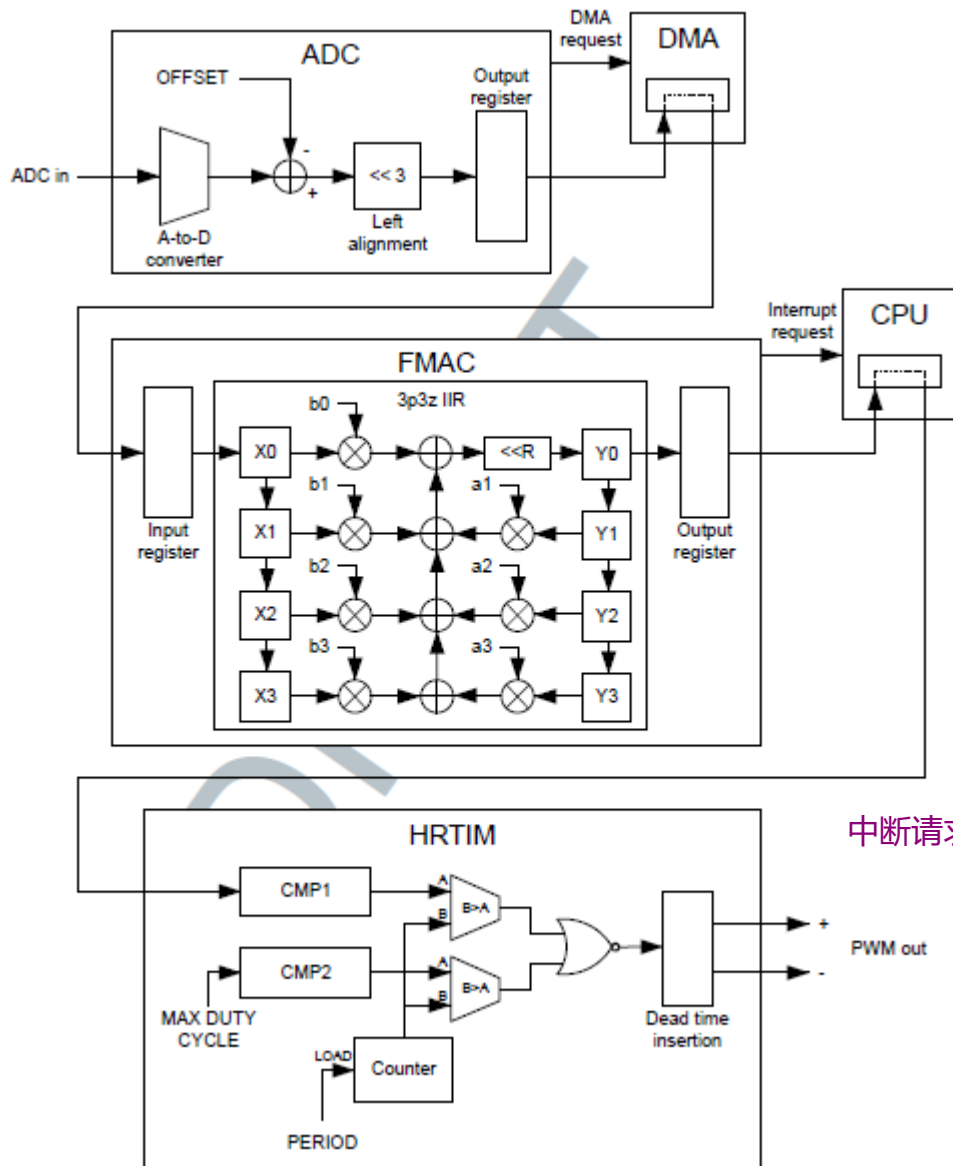
$$H_c(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_3z^3 + b_2z^2 + b_1z^1 + b_0}{a_3z^3 + a_2z^2 + a_1z^1 + 1}$$

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] + b_2x[n-2] + b_3x[n-3] - a_1y[n-1] - a_2y[n-2] - a_3y[n-3]$$



FMAC configuration:
 X1_BUF_SIZE ≥ 5, X2_BUF_SIZE = 7, Y_BUF_SIZE ≥ 4
 Preload X2_BUF : [b0,b1,b2,b3,a1,a2,a3]
 Run IIR filter with parameters: P = 4, Q = 3
 Repeat:
 Write x[n] to WDATA
 Poll YEMPTY flag low or wait for interrupt (~8 clock cycles)
 Read y[n] from RDATA

FMAC 实施 D-Power 降压转换器示例

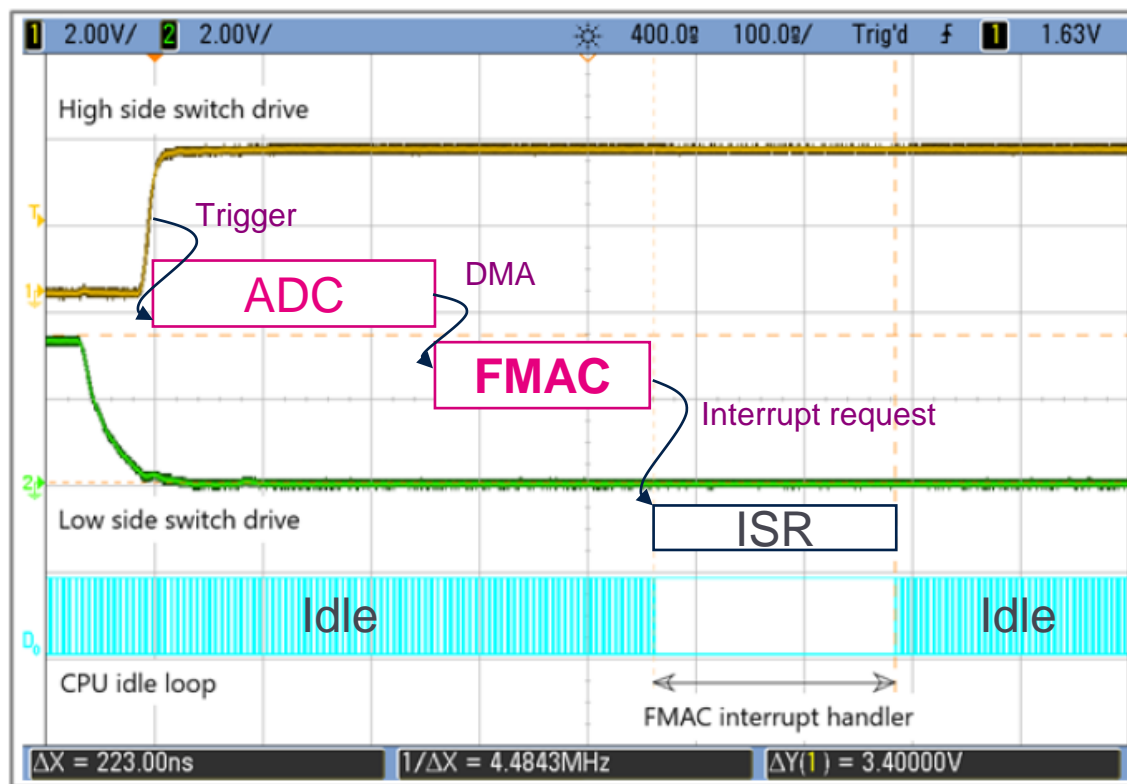


降压转换器
200kHz 开关频率
ADC 在高边上升沿触发

参考应用手册AN5305

- 223ns 执行时间, 包括ISR 进和出
- 少于5% CPU @ 200kHz 开关频率

Figure 21. CPU load



硬件

ADC: 264ns
 FMAC (inc. DMA): 200ns
 总延迟: 464ns

软件 任务 (CPU)

FMAC 读出
 写入HRTIM

- **高精度定时器HRTIMER**

- **AN4539:** HRTIM Cookbook - How to operate the Hi-Resolution timer in different topology

- **数学加速器Cordic**

- **AN5325:** Getting started with the CORDIC accelerator using STM32CubeG4 MCU Package

- **数学加速器FMAC**

- **AN5305:** Digital filter implementation with the FMAC using STM32CubeG4 MCU Package



更多资源.....



community.st.com



www.st.com/STM32G4



www.st.com/STM32H7



[STM32G4 Online Training](https://www.st.com/STM32G4/online-training)



wiki.st.com/stm32mcu



github.com/STMicroelectronics

[STM32G4 blog articles](#)



life.augmented

Our technology starts with You



了解更多信息，请访问www.st.com

© STMicroelectronics - 保留所有权利。

ST徽标是STMicroelectronics International NV或其附属公司在欧盟和/或其他国家的商标或注册商标。若需意法半导体商标的更多信息，请参考www.st.com/trademarks。

其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。



life.augmented