



# 数字电源线下培训

意法半导体MCD中国区市场部

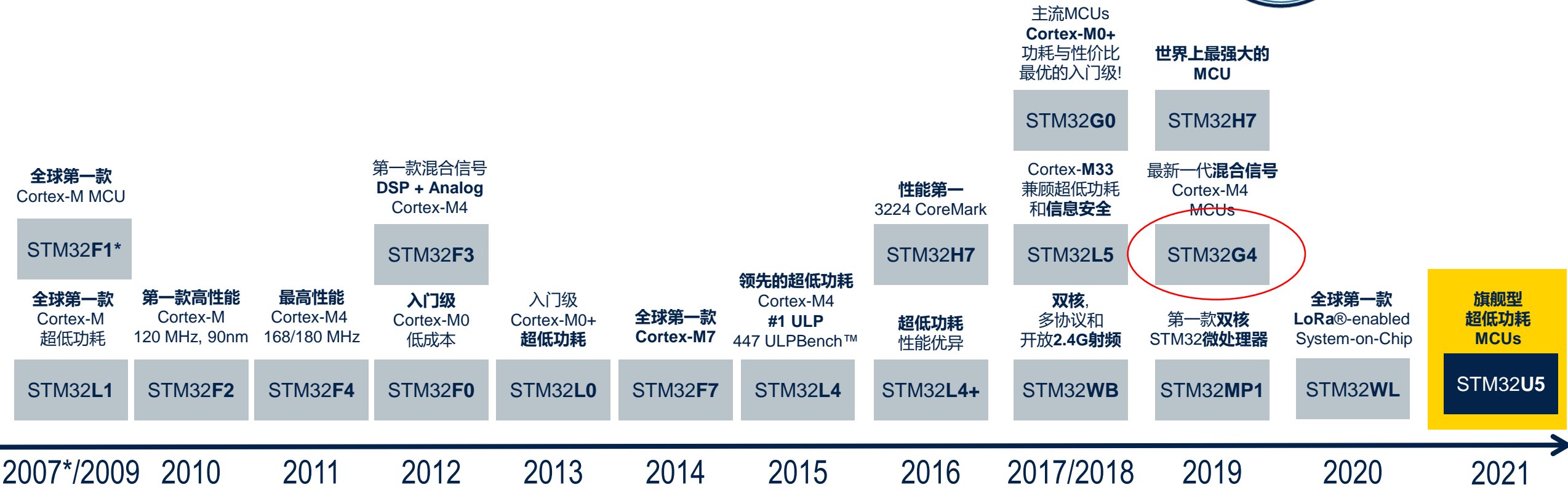
# 数字能源





# 延续STM32成功的故事

## Arm® Cortex® 32-bit MCU & MPU 的领导者





# STM32G4 产品定位

## STM8 + STM32 定位大众市场MCU领导者：20大产品线，千款型号，I/O兼容

 MPU							<b>STM32MP1</b> 418 CoreMark 650 MHz Cortex -A7 209 MHz Cortex -M4
 高性能 MCUs			<b>STM32F2</b> Up to 398 CoreMark 120 MHz Cortex-M3	<b>STM32F4</b> Up to 608 CoreMark 180 MHz Cortex-M4	<b>STM32F7</b> 1082 CoreMark 216 MHz Cortex-M7	<b>STM32H7</b> Up to 3224 CoreMark Up to 550 MHz Cortex -M7 240 MHz Cortex -M4	
 主流 MCUs	<b>STM32F0</b> 106 CoreMark 48 MHz Cortex-M0	<b>STM32G0</b> 142 CoreMark 64 MHz Cortex-M0+	<b>STM32F1</b> 177 CoreMark 72 MHz Cortex-M3	<b>STM32F3</b> 245 CoreMark 72 MHz Cortex-M4	<b>STM32G4</b> 550 CoreMark 170 MHz Cortex-M4		
					针对模数混合信号应用优化		
 超低功耗 MCUs	<b>STM32L0</b> 75 CoreMark 32 MHz Cortex-M0+	<b>STM32L1</b> 93 CoreMark 32 MHz Cortex-M3	<b>STM32L4</b> 273 CoreMark 80 MHz Cortex-M4	<b>STM32L4+</b> 409 CoreMark 120 MHz Cortex-M4	<b>STM32L5</b> 443 CoreMark 110 MHz Cortex-M33	<b>STM32U5</b> 651 CoreMark 160 MHz Cortex-M33	
 无线 MCUs			<b>STM32WL</b> ● 162 CoreMark 48 MHz Cortex-M4 48 MHz Cortex-M0+	<b>STM32WB</b> ● 216 CoreMark 64 MHz Cortex-M4 32 MHz Cortex-M0+			

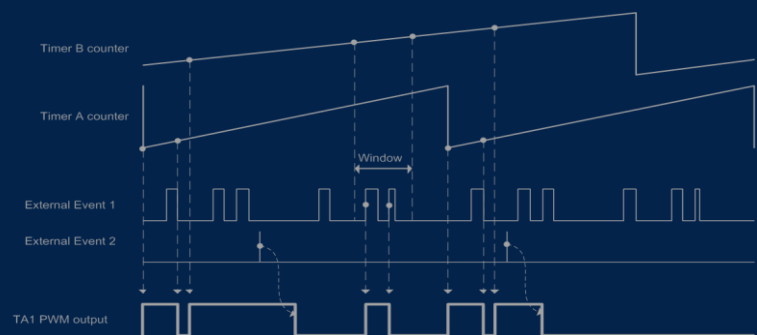


● Cortex-M0+ 射频协处理器

# 推动能源转换数字化

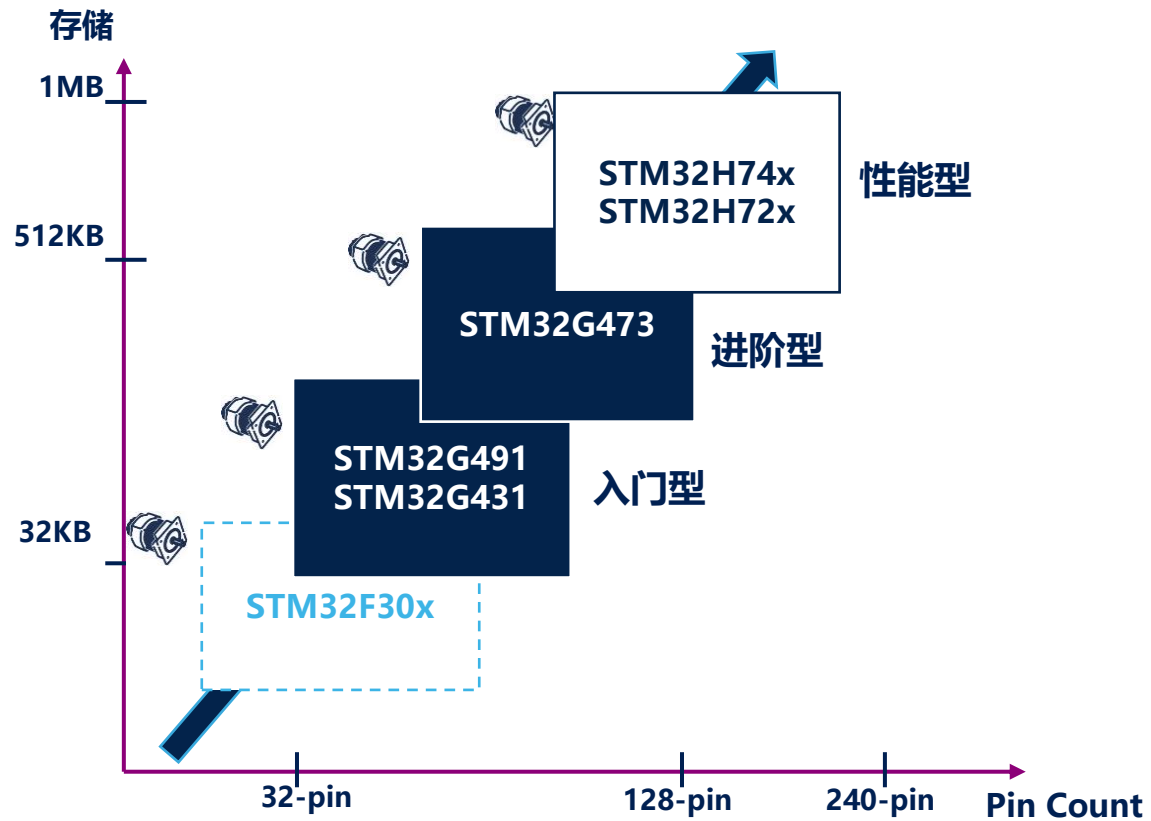
增强您的数字电源方案，使用

- **STM32G474**
- **全功能高精度定时器 (HRTIM)**
- ✓ 184ps 精度
- ✓ 高灵活度 PWM 波形配置

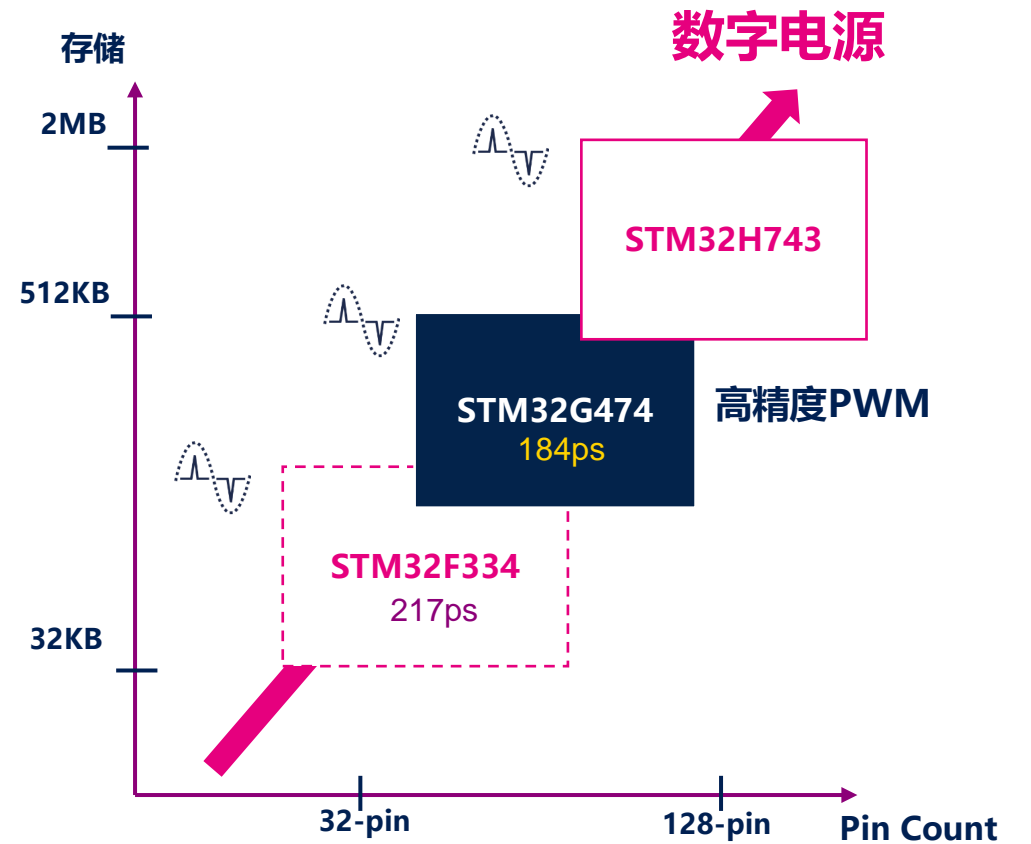


# STM32平台化应用

## 电机控制系列

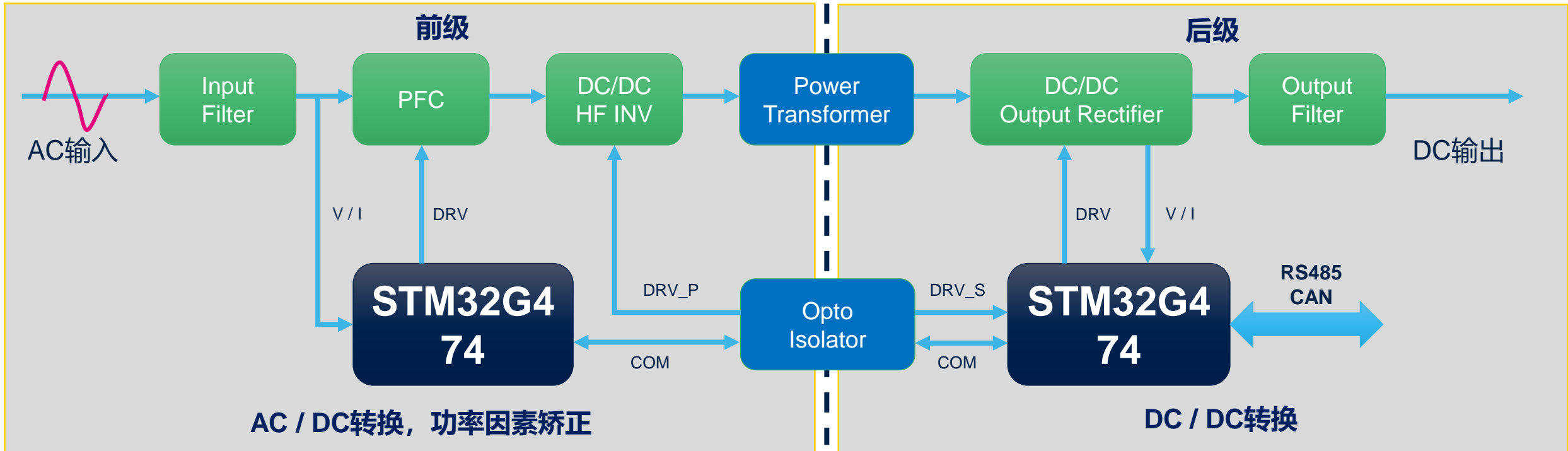


## 数字能源应用





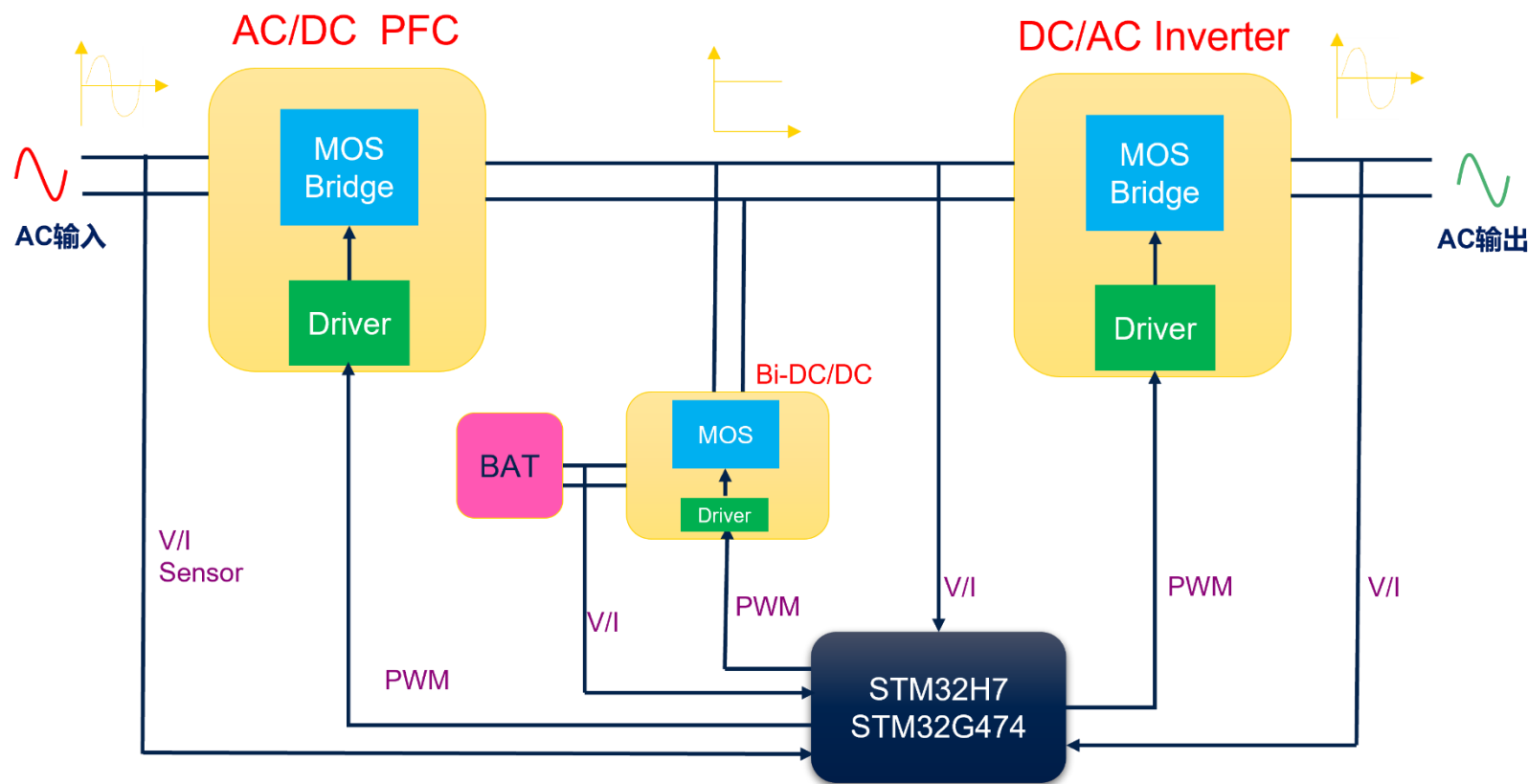
# 通信 / 服务器电源



- 高精度定时器高达12路高精度PWM输出，可支持PFC和后级DC/DC的各种拓扑
- 数学加速器，提升运算效率
- 内置高速ADC、DAC及比较器，轻松完成信号采样
- 多种通讯接口 (UART、I2C及CAN总线)
- 耐受高温125°C



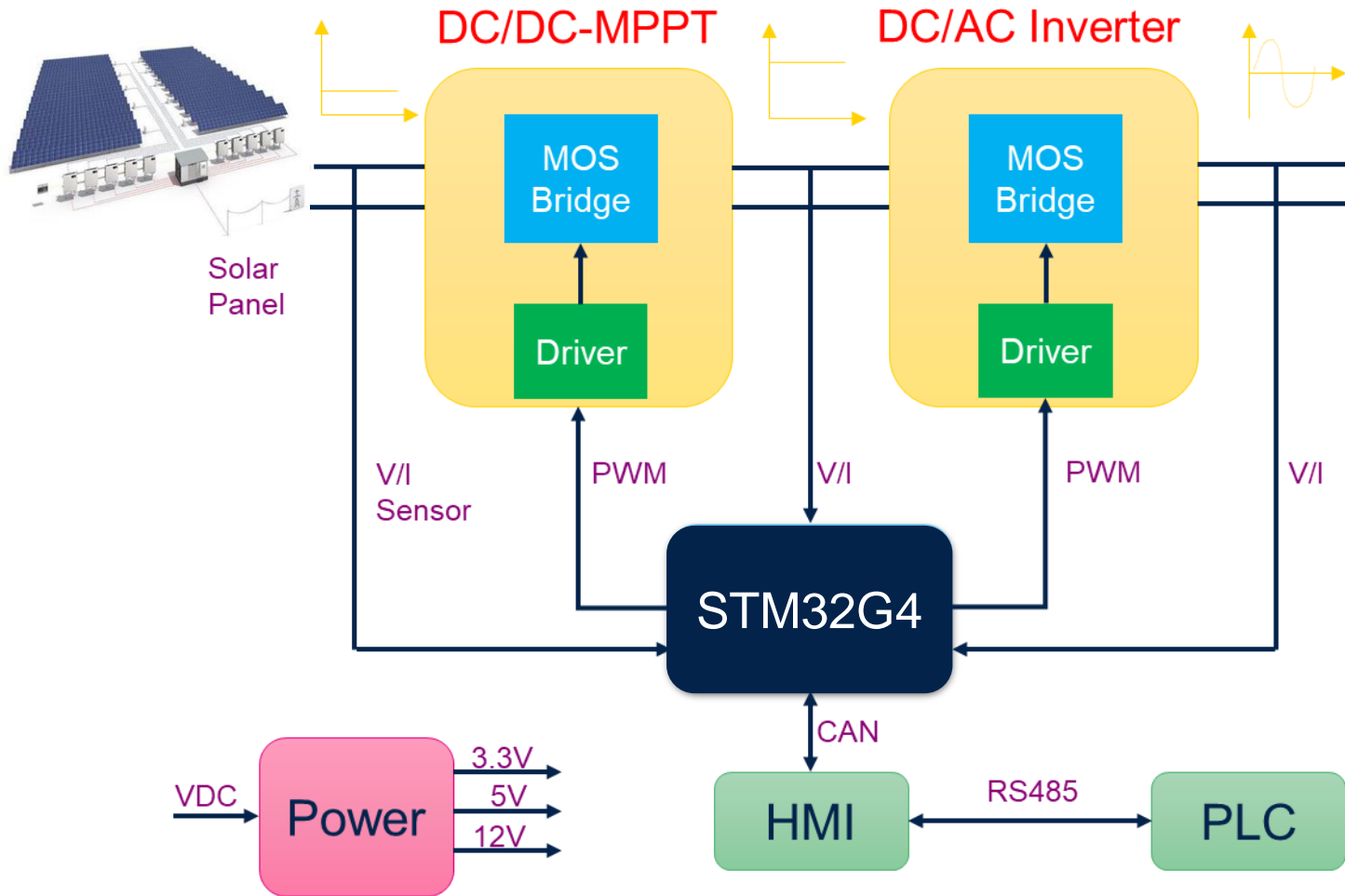
# 不间断电源 (UPS)



- 高运算能力
- 多个高级定时器和高精度定时器，提供足够多的PWM通道
- 数学加速器，提升运算效率
- 丰富模拟外设
- 耐受高温125°C



# 太阳能逆变器



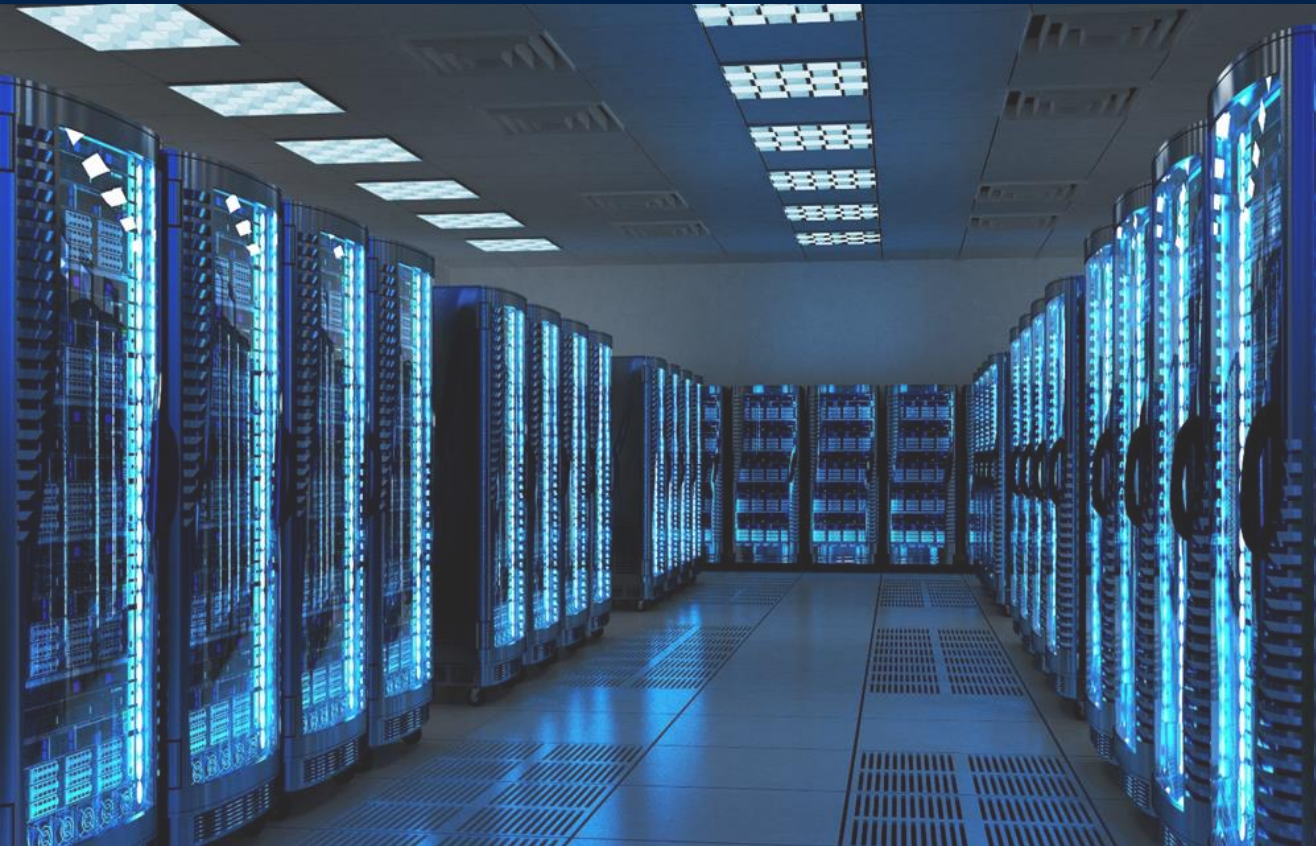
- 高运算能力
- 多个高级定时器和高精度定时器，提供足够多的PWM通道
- 数学加速器，提升运算效率
- 丰富模拟外设
- 耐受高温125°C

# STM32G4产品一览表

参数	STM32G474 高精度PWM型	STM32G473 性能型	STM32G491 入门型	STM32G431 入门型
内核, 主频	Arm Cortex-M4, 170 MHz			
Flash (max)	512 Kbytes (2x256KB dual bank)		512 Kbytes single bank	128 Kbytes single bank
RAM (up to)	96 Kbytes			22 Kbytes
CCM-SRAM	32 Kbytes		16Kbytes	10 Kbytes
12-bit ADC SAR	5x 12-bit @4 MSPS		3x 12-bit @4 MSPS	2x 12-bit @4 MSPS
比较器	7x (17纳秒)		4x (17纳秒)	
运放 1% 精度	6		4	3
12-bit DAC	7		4	
USB FS Device	1			
CAN-FD	3x		2x	1x
高级电机控制定时器	3x (170 MHz)			2x (170 MHz)
12 通道 高精度定时器	1x (184ps)	-		
温度范围	-40 to 85°C / -40 to 125°C			
引脚数	48 to 128		32 to 100	



## 融合DSP性能与模拟信号处理能力



- 运动控制类应用(马达驱动...)
- 工业仪器与测量设备
- 高精度信号控制
  - 光模块
- 数字能源
  - PFC
  - LLC/DC-DC
  - 光伏逆变

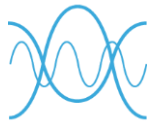
# STM32G4 系列 – 关键词



## 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

# PFC digital platform - STM32G474

## Configurations of MCU key functions on digital PFC

Arm® Cortex® -M4 Up to 170 MHz

Floating Point Unit (FPU)

- Control loop computation (reserved for future use)

32-Kbyte CCM-SRAM

- Zero wait-state for critical code execution

CORDIC for trigonometric functions acceleration

- Software phase-locked loop (reserved for future use)

FMAC filter mathematical accelerator

- Hardware digital filter (CPU off-load) for loop computation

Hi-Resolution PWM Timer (184 ps)

- Mainly for high frequency (HF) MOSFET control at 70kHz

Multiple ADCs (4 Msps) Up to 5

- AC voltage, PFC voltage/current, and hotspot temperature sensing

Comparators and DACs Up to 7

- PFC OVP and critical current protection

UART, SPI, CAN and USB

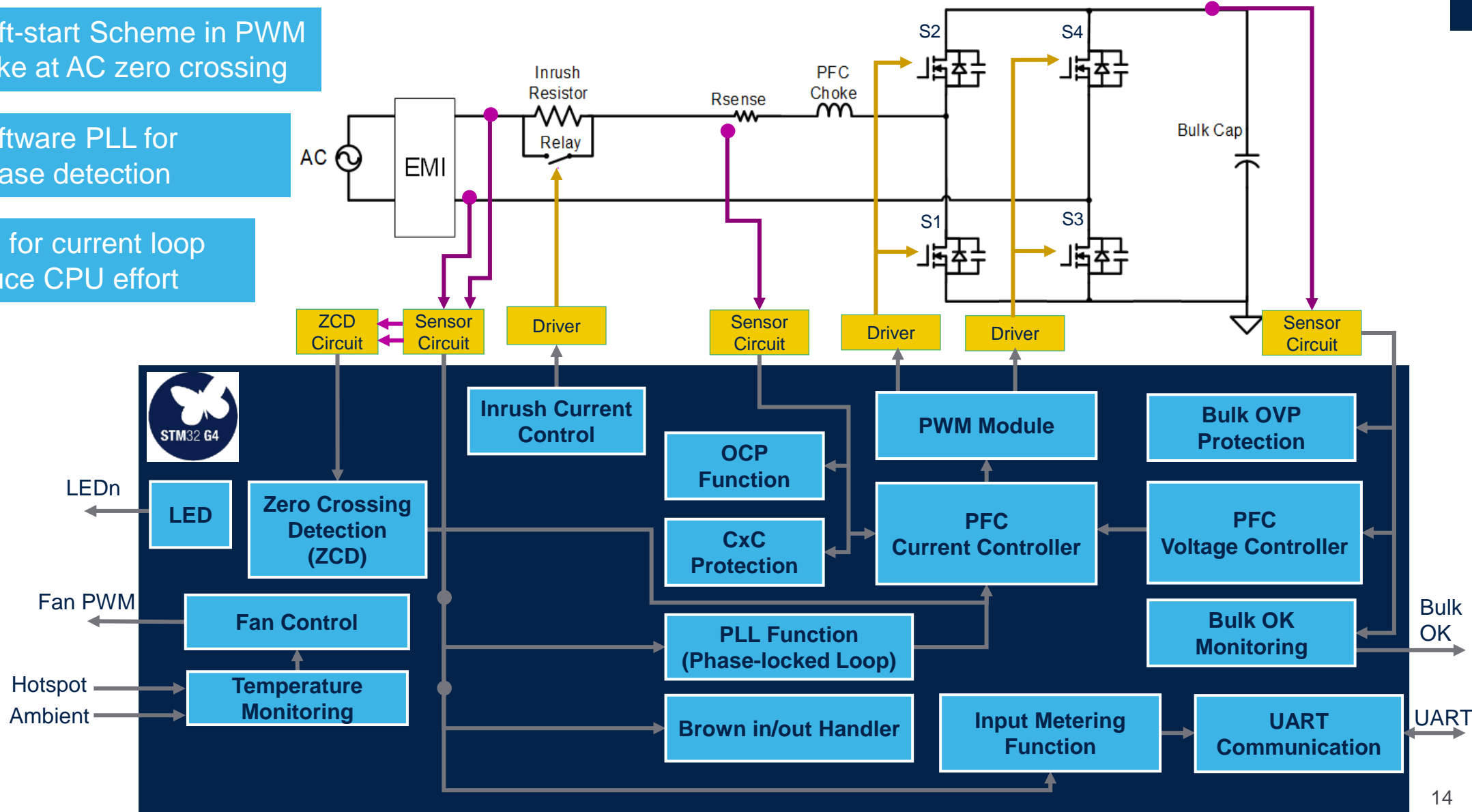
- UART for internal/external communication



## Key firmware features

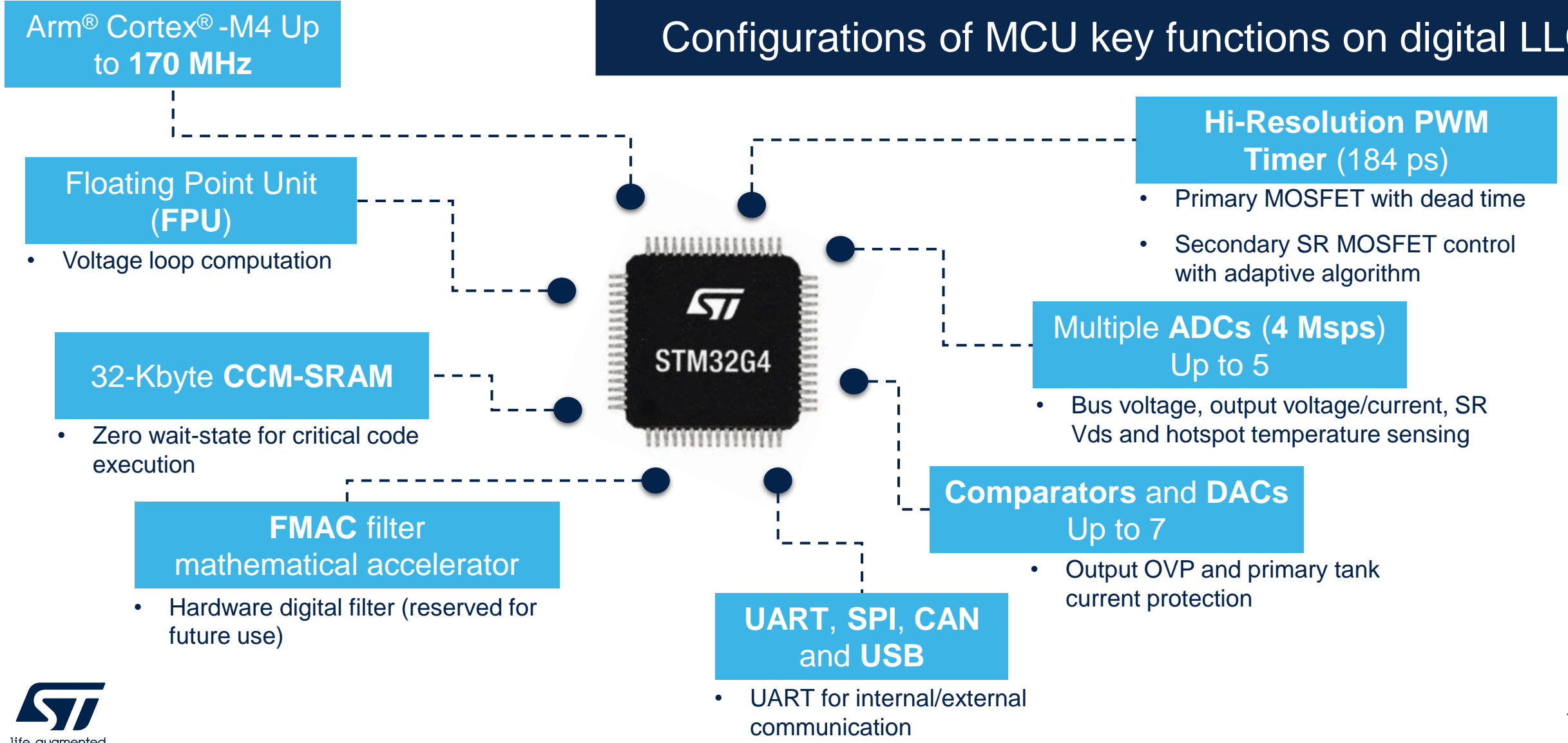
- Blanking + Soft-start Scheme in PWM for current spike at AC zero crossing
- HW ZCD + software PLL for reliable AC phase detection
- FMAC is used for current loop control to reduce CPU effort

# PFC functional block diagram



# LLC digital platform - STM32G474

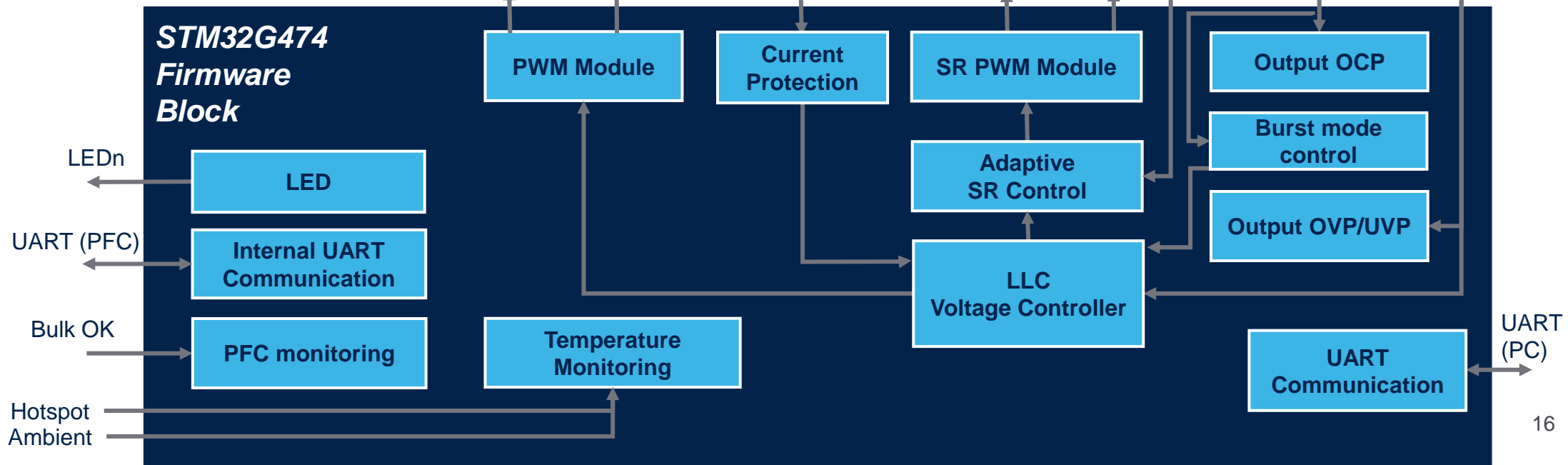
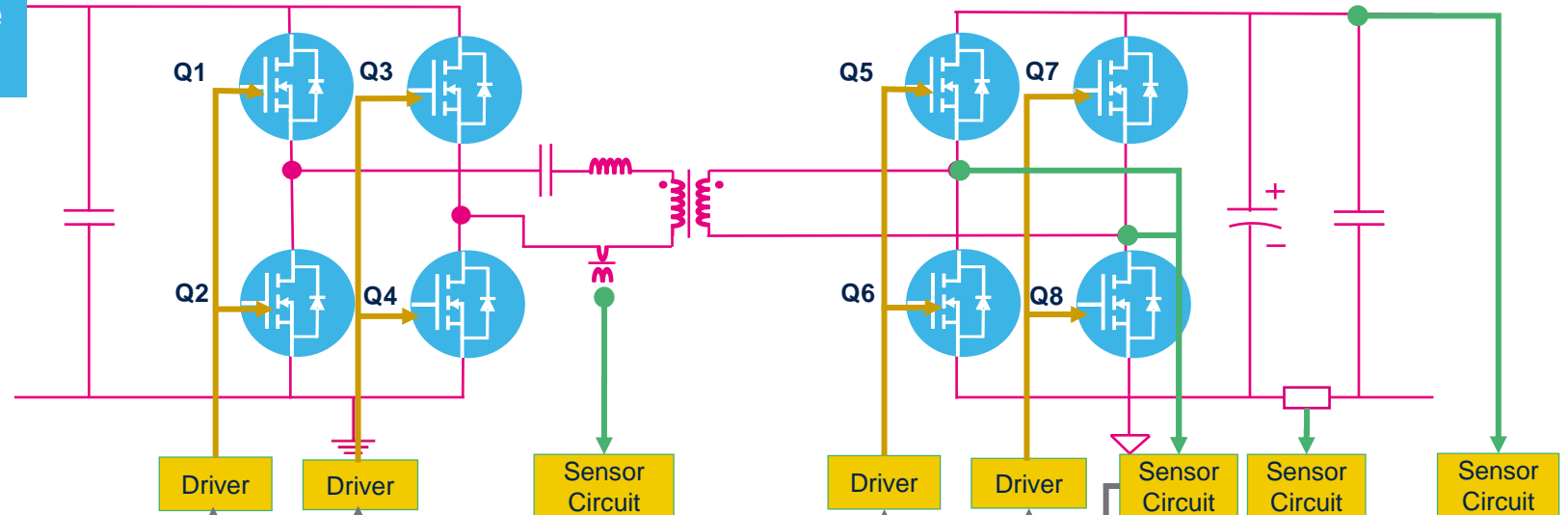
## Configurations of MCU key functions on digital LLC



# Firmware functional block - LLC

- Key firmware features

- Digital adaptive SR control to improve overall efficiency
- Burst mode operation is adopted to reduce losses at light load
- On-line coefficient tuning via UART

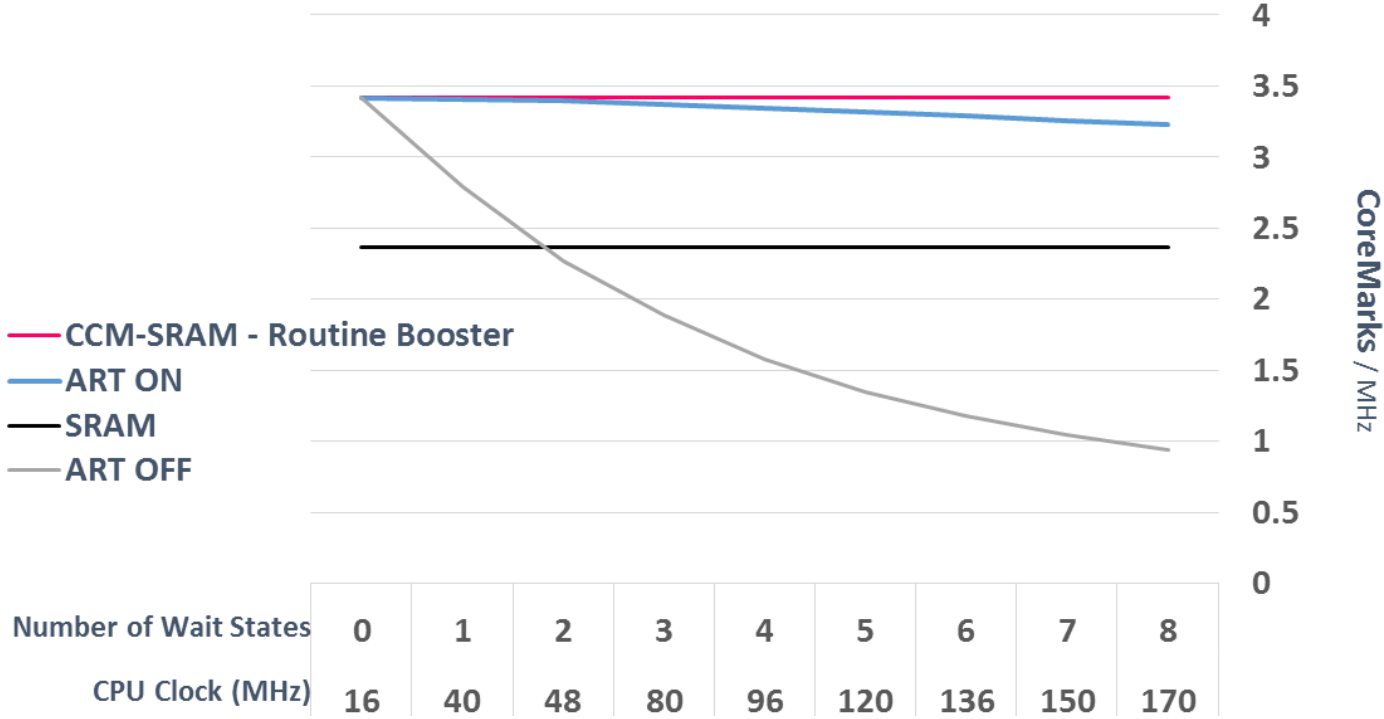




# 更加卓越的性能

## 170 MHz CPU 性能 (Arm® Cortex®-M4) 与 3种硬件加速器

Code execution performance



Arm Cortex-M4 with **FPU**

**最高170 MHz CPU 频率**

**最高213 DMIPS 和 550 CoreMark® 评分**

**3 种不同硬件加速器:**

- **ART 加速器** (动态缓存) → 全部代码加速 (提升平均性能)
- **关键程序加速** CCM-SRAM (静态缓存) → 预配置确定性保障
- **数学加速器** (三角函数 + 数字滤波器)

## 功能加速与减轻CPU负担

### 1. 三角函数 (Trigo)

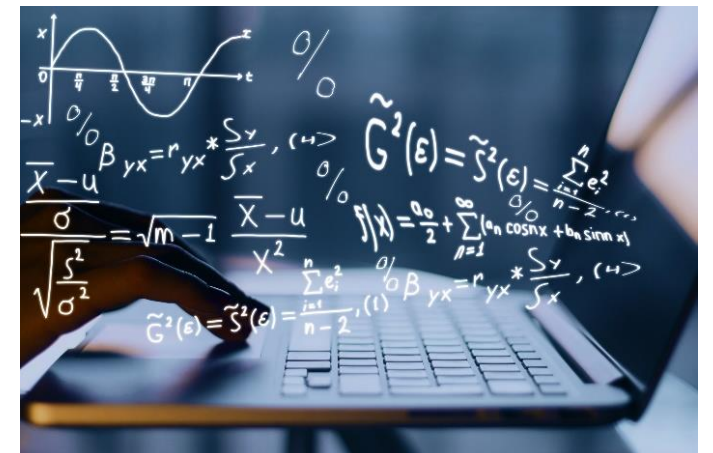
- 非常有利于电机控制中所常用的的矢量运算(FOC)
- 精度可达20位

- 矢量旋转(极坐标到平面坐标): Sin, Cos
- 矢量转换(平面坐标到极坐标): 反正切Atan2, 模数Modulus
- 双曲正弦Sinh, 双曲余弦Cosh, 指数函数Exp
- 反正切Atan, 反双曲正切Atanh
- 平方根
- 常用对数 Ln

- 显著提高数学函数运算效率

→ 比软件方式计算快**5倍**, 精度高**10倍以上**, CPU负荷为**0%**

→ 在电机驱动应用实例中, 约提高**12%**控制环路速度

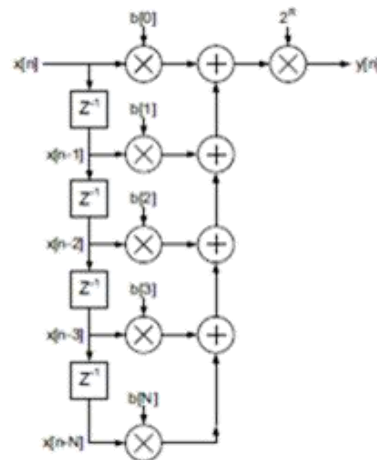


## 功能加速与减轻CPU负担

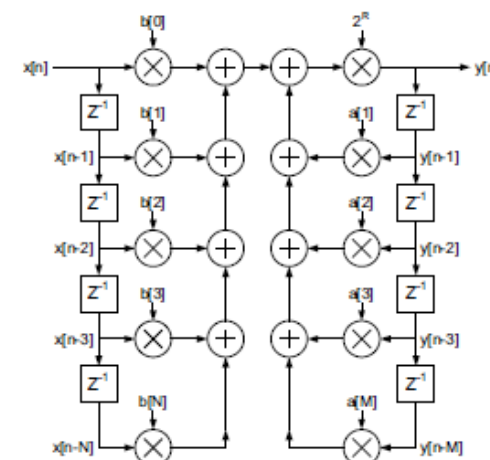
### 2. 数字滤波加速器(FMAC)

- 可被用于生成
  - FIR, IIR
  - 补偿器 (数字电源三极点三零点3p3z)
- 软件方式比FMAC快15%, 但:
  - ➔ 对于高速采样/长滤波, 软件方式需花费大量时间执行滤波任务
  - ➔ 使用FMAC+DMA方式, 无需CPU参与

#### FIR 滤波器



#### IIR滤波器



# 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	<b>SAR 12-bit</b> + 硬件过采样 → <b>16-bit</b>
采样率	Up to <b>4 Msps</b>
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	<b>15 Msps</b> (内部输出) 1Msps (带缓冲输出)
稳定时间	16ns

运放 (up to 6)	Values
带宽	<b>13 MHz</b>
斜率	<b>45 V/μs</b>
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 ( <b>1%</b> ) 32, 64, -31, -63 ( <b>2%</b> )

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

## 更低功耗需求，降低芯片发热

### 唤醒时间

268  $\mu$ s

30  $\mu$ s

9.5  $\mu$ s

11 cycles

VBAT \* 6nA/720 nA

Tamper: few I/Os, RTC

SHUTDOWN\* 43nA/565 nA

唤醒源: reset pin, few I/Os, RTC

STANDBY\* 130nA/885 nA

唤醒源: + BOR, IWDG

STOP 1 (full retention) 80  $\mu$ A

唤醒源: + all I/Os, PVD, COMPs, LPUART, LPTIM, I<sup>2</sup>C, UART, USB

SLEEP at 26 MHz 37  $\mu$ A/MHz

唤醒源: 任意中断或事件

RUN (Range1)@150 MHz 从Flash运行 163  $\mu$ A/MHz

RUN (Range1 boost)@170 MHz从Flash运行 173  $\mu$ A / MHz

环境: 25°C,  $V_{DD} = 3V$

Note : \* without RTC / with RTC

# 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 触发源
- 灵活角色可配Master/Slave, 更适合多项控制

## 多事件响应

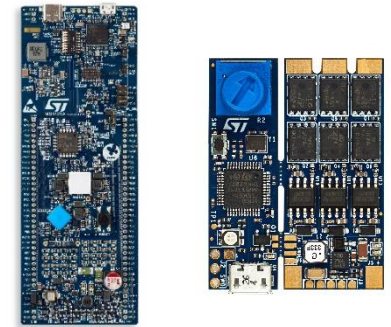
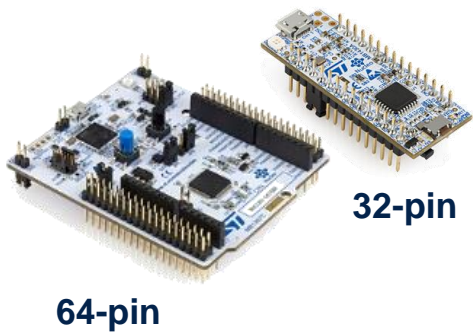
- 6个模拟与数字的错误输入源
- 10个事件输入源
- 事件响应可配置: 计数响应, 窗口内连续事件响应等

## 12个独立输出通道

- 可支持任意一种常见拓扑:
  - 1x 12 PWM (三项交错LLC)
  - 12x 1 PWM (多项独立 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

# STM32G4 硬件资源

## 加速评估, 原型设计及产品开发



### STM32 Nucleo

#### 灵活的原型设计

- NUCLEO-G431KB
- NUCLEO-G431RB
- **NUCLEO-G474RE**
- NUCLEO-G491RE

### Evaluation boards

#### STM32G4全功能评估

- STM32G484E-EVAL
- STM32G474E-EVAL

### Motor Control Pack

#### 全功能电机与模拟控制

- P-NUCLEO-IHM03

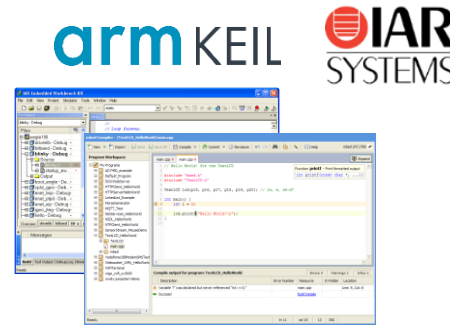
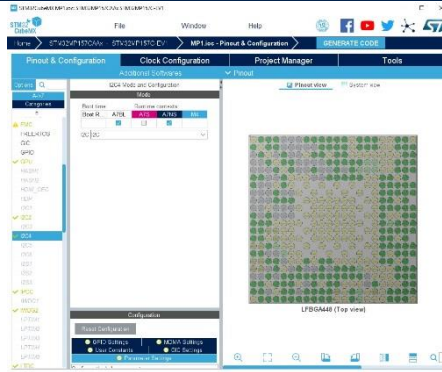
### Discovery kits

#### 关键性能原型设计

- B-G474E-DPOW1
- B-G431B-ESC1

# STM32G4 软件工具

## 完整支持Arm Cortex-M 开发生态



All-in-one STM32 programming tool  
Multi-mode, user-friendly



### STM32CubeMX

#### STM32CubeMX

- 配置及初始化代码生成
- 解决资源配置冲突

### IDEs Compile and Debug

#### 灵活的方案

- 第三方 IDE, 如 IAR、Keil
- 免费的基于Eclipse的官方IDE STM32CubeIDE\*

### STM32 Programming Tool

#### STM32CubeProgrammer

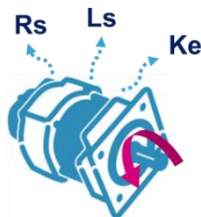
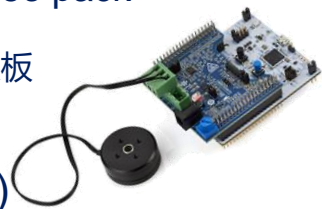
- Flash 和/或 系统存储 读写
- 支持 GUI 或 命令行 界面



# 专注的生态系统

## 电机控制

- **完整的生态系统** (硬件开发版, 软件开发套件(SDK), 文档与培训)
  - X-CUBE-MCSDK (v5.4)
    - 基于STM32Cube HAL and LL的电机驱动固件库
    - 电机驱动工作台: 连接STM32CubeMx, 配置电机驱动固件库的图形化工具
  - P-NUCLEO-IHM03: Motor Control Nucleo pack
    - NUCLEO-G431RB Nucleo-64
    - X-NUCLEO-IHM16M1 电机驱动扩展板
    - 低压电机
- **最先进的算法** (FOC, 6-step, 无传感器...)
- **电机分析器**: 一分钟连接并控制转动您的电机



## 数字电源

- **完整的生态系统** (硬件开发版, 软件开发套件(SDK), 文档与培训)
- **为高精度定时器量身定做的使用手册- AN4539**: 如何针对不同电路拓扑配置高精度定时器
- **数字电源培训** (PSU and PFC) – 基于G4系列 – 与第三方公司Biricha联合制作 (自 Q4 2019)



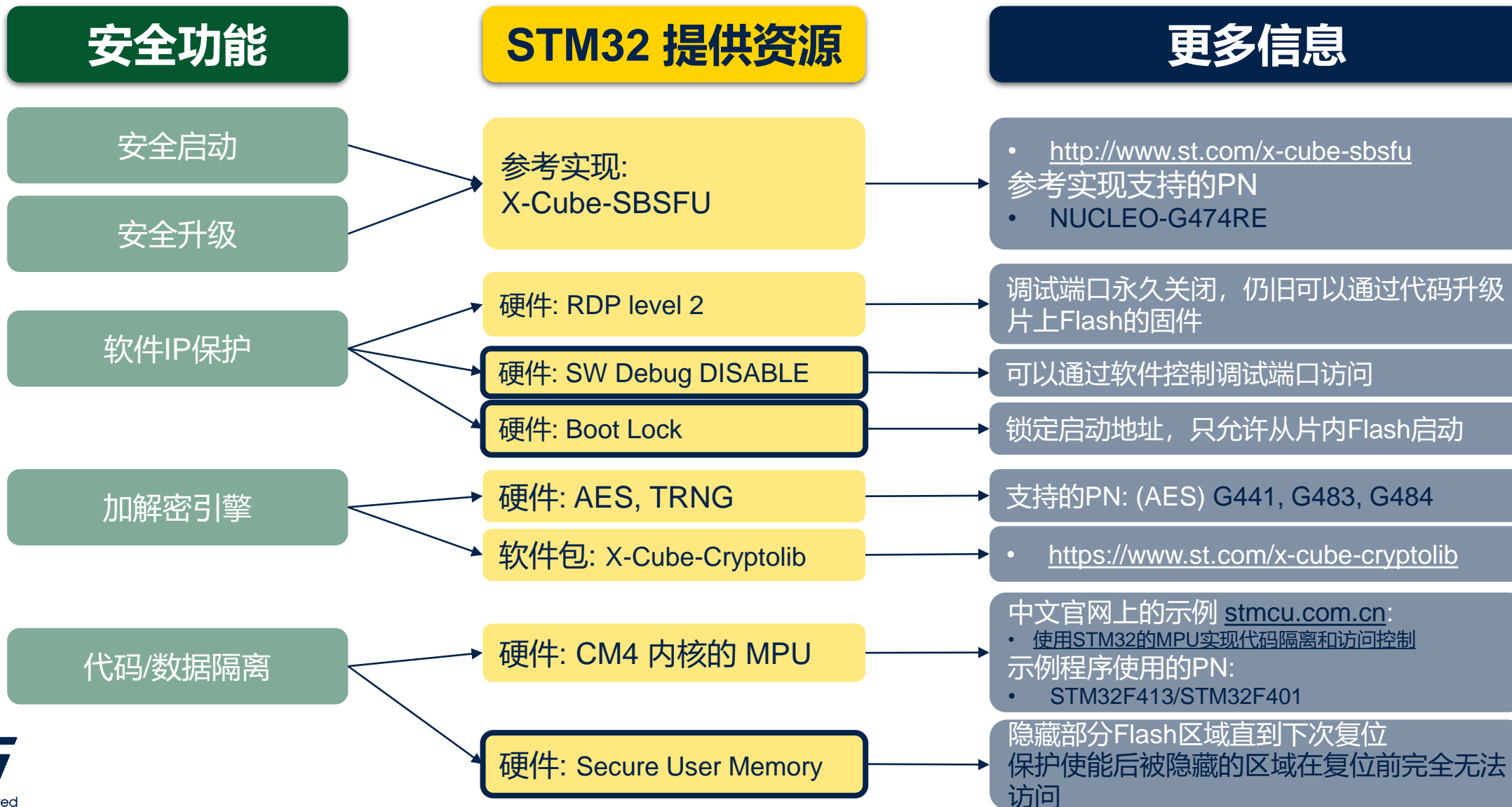
- STM32Trust 总结出12个安全功能（Security Functions）以契合客户使用案例和安全标准
- STM32Trust 生态系统整合安全相关资源（文档、软件、工具等）来涵盖这12项安全功能



□ 这里仅列出主要功能, 其他未列出的部分请参考 MUC产品相关手册文档以及[www.st.com/stm32trust](http://www.st.com/stm32trust)

□ X-Cube-SBSFU 目前最新版本v2.4.0

□ **加粗框**: G4 增加的或特有的安全特性



□ 这里仅列出主要功能, 其他未列出的部分请参考 MUC 产品相关手册文档

### 功能安全检测模块

### STM32 提供的资源

### 更多信息

内核检测

硬件: HardFault 中断 / 独立看门狗 / 窗口看门狗 / MPU / 定时器“刹车”功能  
软件: 内核周期自检 / 程序控制流检测

Flash检测

硬件: Flash ECC/CRC / 选项字写保护  
软件: Flash周期自检

RAM检测

硬件: Parity on SRAM  
软件: RAM周期自检 (March C) / 保存冗余信息

时钟检测

硬件: CSS (HSE,LSE) / 定时器“刹车”功能  
软件: 时钟交叉检测

电源检测

硬件: POR/BOR/PVD/PVM/电池电压监测/结温监测

输入输出检测

硬件: ADC模拟看门狗/ 寄存器Lock机制

外部通信检测

硬件: 通信协议出错检测  
( I2C/UART/SPI/QSPI/CAN /... )

免费软件包:

ClassB: X-CUBE-CLASSB v2.3.0  
(\*用户直接在ST.com网站申请下载)

SIL: X-CUBE-STL-G4  
(\*需签NDA获取)

应用手册:

AN4838: STM32MCU上的MPU单元

AN4187: 使用STM32系列的硬件CRC

AN4435: X-CUBE-CLASSB应用说明

AN4750: 处理STM32应用中的“软错误”

更多的功能安全机制请参考STM32G4系列的安全手册UM2454

关于功能安全更多的本地资源请访问:  
<https://www.stmcu.com.cn/ecosystem/app/function-safety>



# 谢谢各位!

© STMicroelectronics - All rights reserved.

The STMicroelectronics corporate logo is a registered trademark of the STMicroelectronics group of companies. All other names are the property of their respective owners.



life.augmented