



STM32在数字电源及储能中应用

STM32 Solution in Digital Power and ESS

意法半导体 Terry Han

微控制器、数字 IC 与射频产品部 (MDRF)





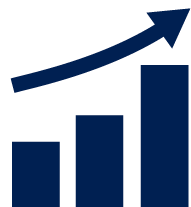
STM32 portfolio

 MPU					STM32MP1 Up to 1 GHz Cortex-A7 209 MHz Cortex-M4		STM32MP2 Dual 1.5 GHz Cortex-A35 400 MHz Cortex-M33			
 High-performance MCUs					STM32F2 Up to 398 CoreMark 120 MHz Cortex-M3	STM32F4 Up to 608 CoreMark 180 MHz Cortex-M4	STM32H5 Up to 1,023 CoreMark 250 MHz Cortex-M33	STM32F7 1,082 CoreMark 216 MHz Cortex-M7	STM32H7 Up to 3,224 CoreMark Up to 600 MHz Cortex -M7 240 MHz Cortex -M4	STM32N6 3,360 CoreMark 800 MHz Cortex -M55 Neural processing unit
 Mainstream MCUs					STM32F3 245 CoreMark 72 MHz Cortex-M4	STM32G4 569 CoreMark 170 MHz Cortex-M4	Mixed-signal MCUs			
	STM32C0 114 CoreMark 48 MHz Cortex M0+	STM32F0 106 CoreMark 48 MHz Cortex-M0	STM32G0 142 CoreMark 64 MHz Cortex-M0+	STM32F1 177 CoreMark 72 MHz Cortex-M3						
 Ultra-low-power MCUs	STM32L0 75 CoreMark 32 MHz Cortex-M0+	STM32U0 140 CoreMark 56 MHz Cortex-M0+	STM32L4 273 CoreMark 80 MHz Cortex-M4	STM32U3 393 CoreMark 96 MHz Cortex-M33	STM32L4+ 409 CoreMark 120 MHz Cortex-M4	STM32L5 443 CoreMark 110 MHz Cortex-M33	STM32U5 651 CoreMark 160 MHz Cortex-M33			
					STM32WL 162 CoreMark 48 MHz Cortex-M4 48 MHz Cortex-M0+	STM32WB0 64 MHz Cortex-M0+	STM32WB 216 CoreMark 64 MHz Cortex-M4 32 MHz Cortex-M0+	STM32WBA 407 CoreMark 100 MHz Cortex-M33		
 Wireless MCUs										



数字电源对主控的需求

数字电源需求



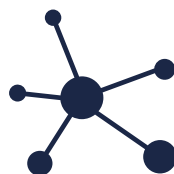
#1.高算力——从单一模块到系统集成

先进的内核，超高的主频、高执行效率和数学加速器



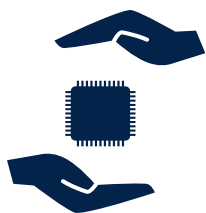
#2.采集精度高且快，控制精度高响应快

高精度多个独立ADC及多通道
高精度PWM和灵活的输出配置



#3.多样通讯

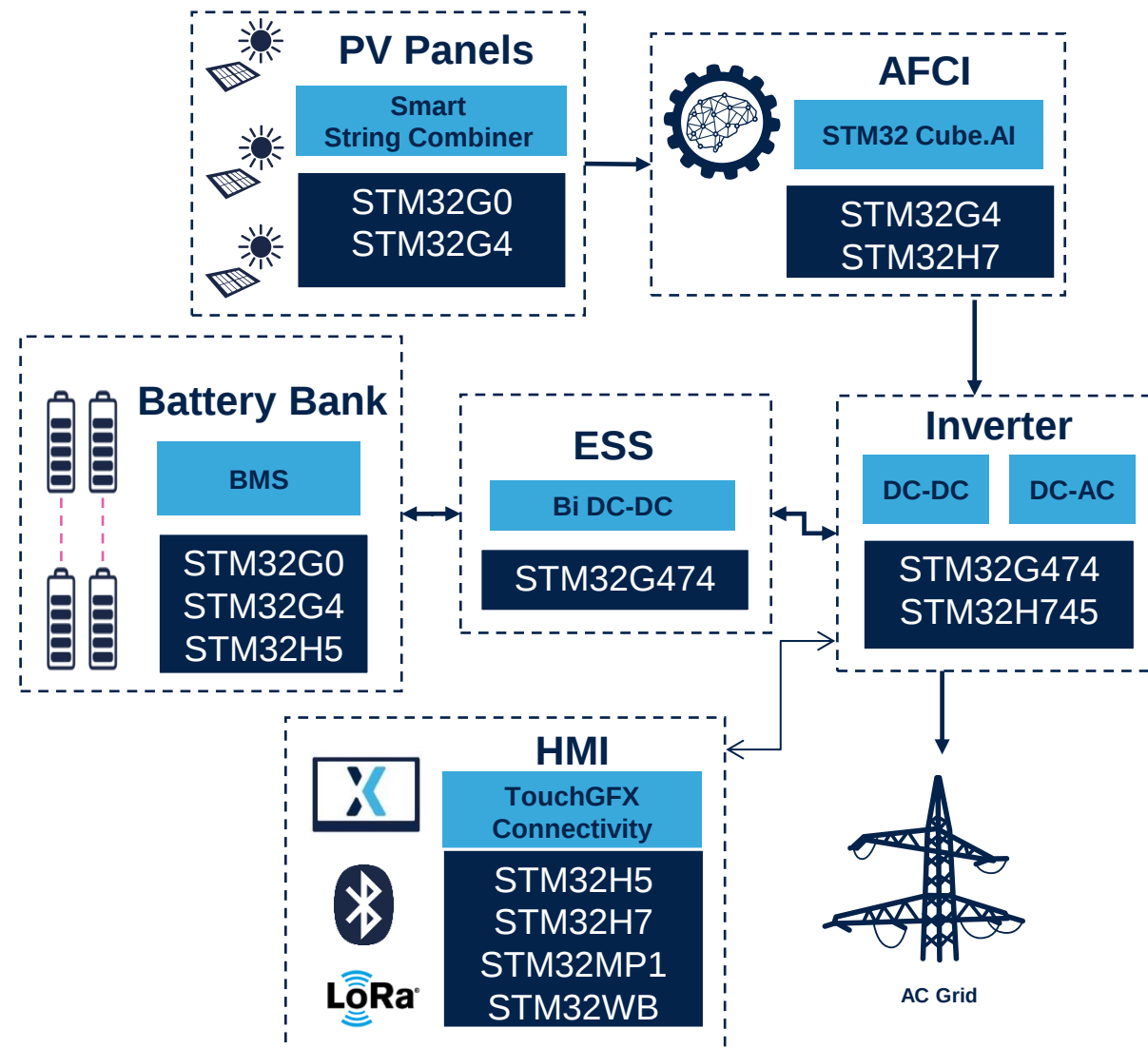
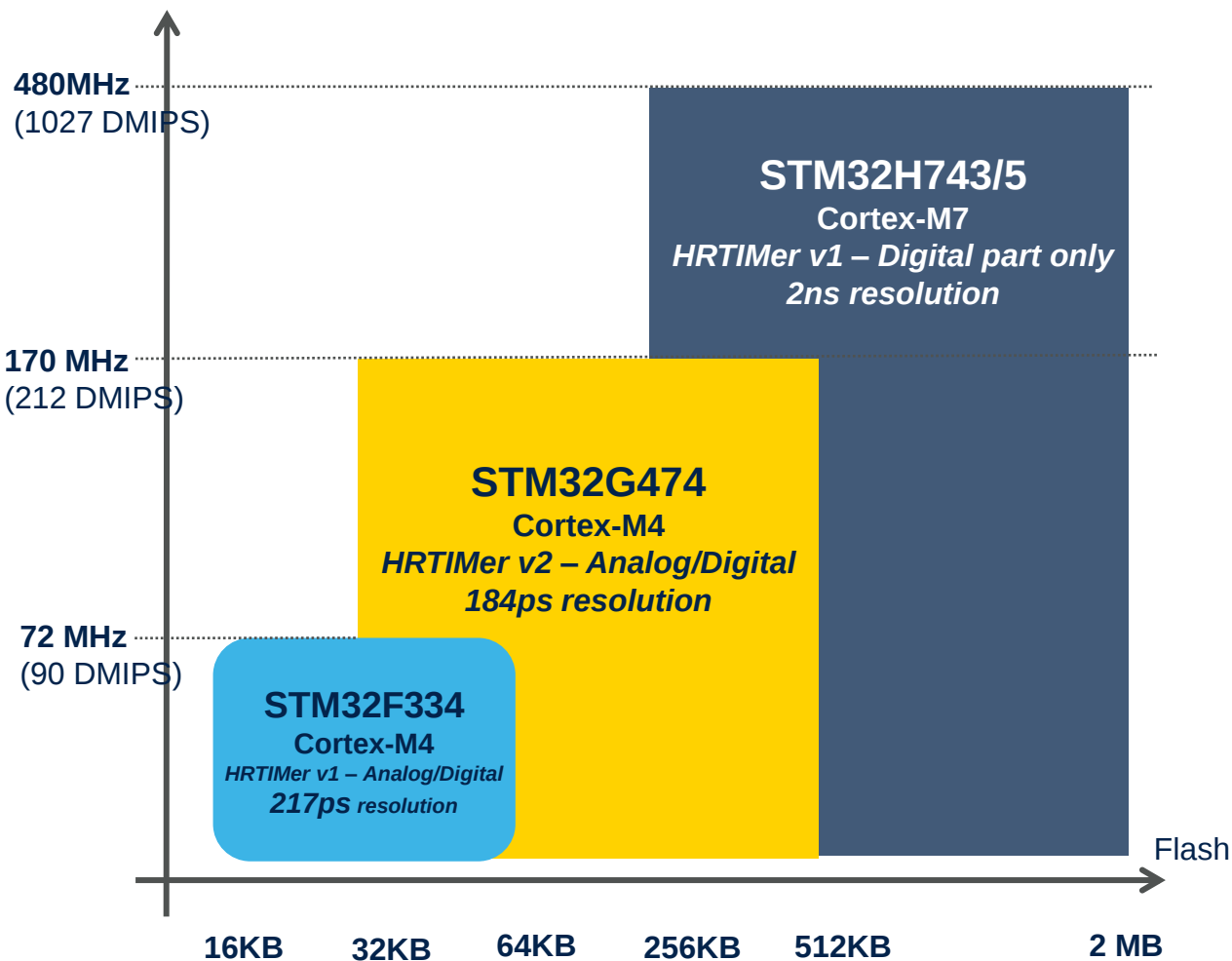
多种通讯接口（UART、I2C及CAN总线）



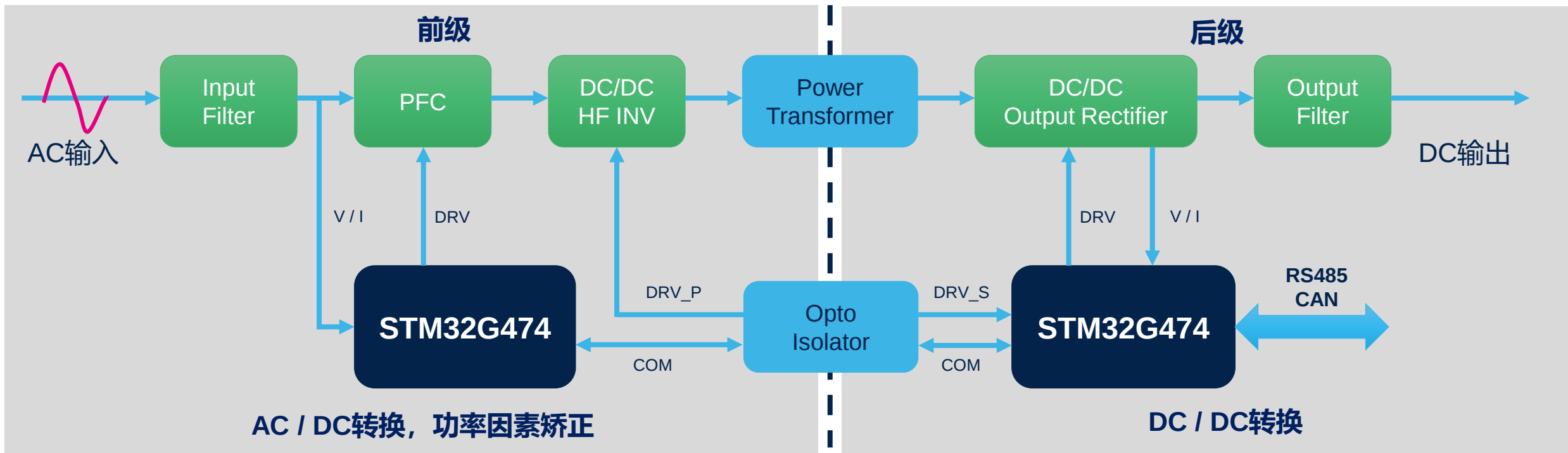
#4.高可靠性及安全性

安全加密机制
耐受恶劣高温125°C环境

STM32平台化应用



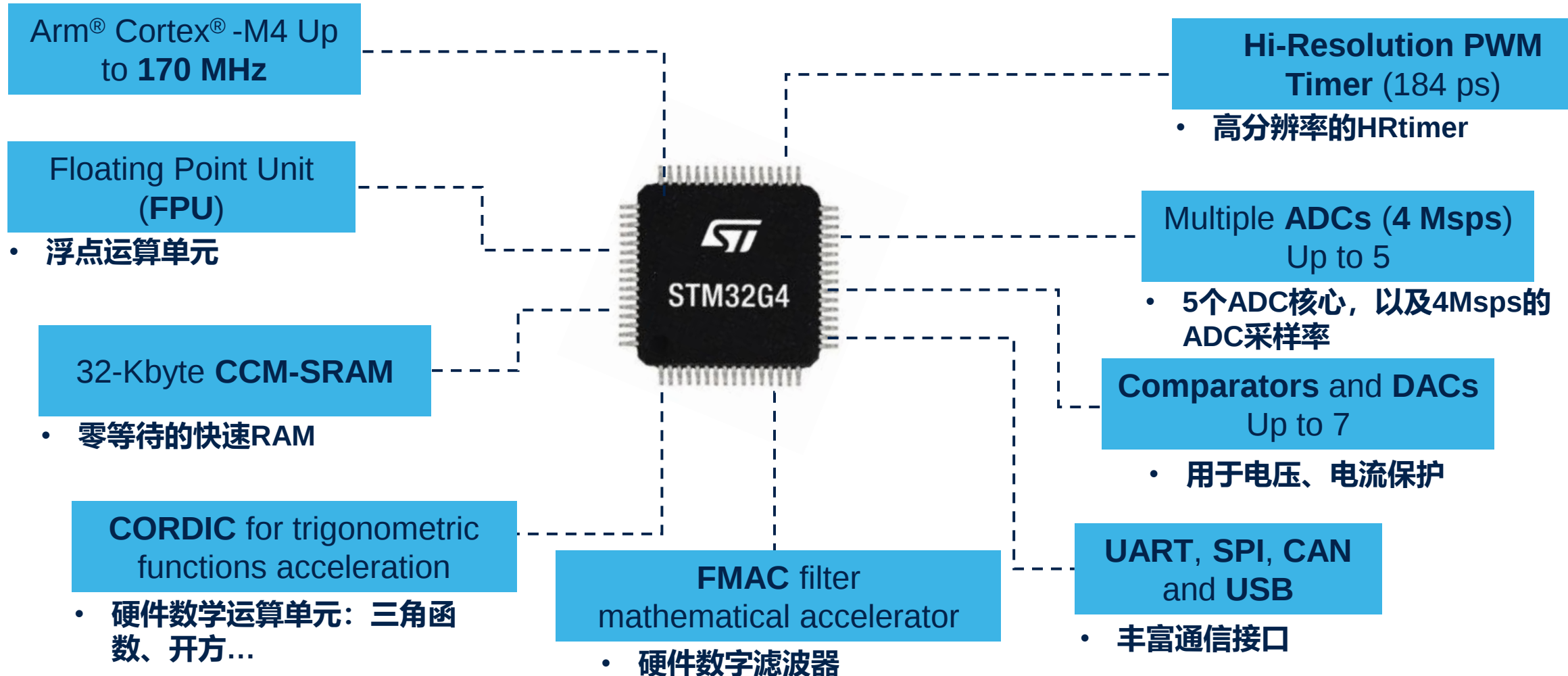
通信 / 服务器电源



- 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

PFC/ LLC- STM32G474

关键功能参数配置



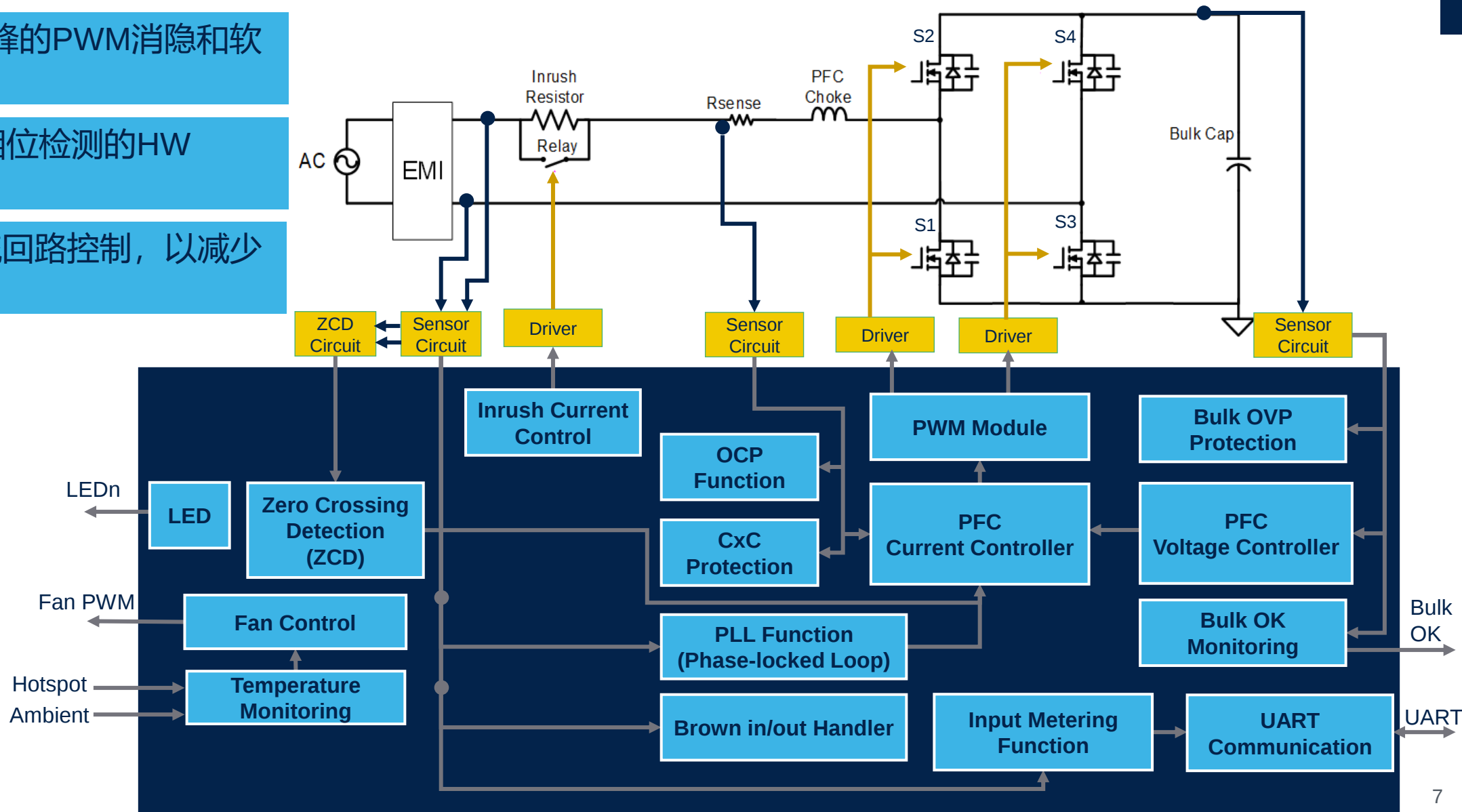
关键数字特性

AC过零电流尖峰的PWM消隐和软启动方案

用于可靠交流相位检测的HW ZCD+软件PLL

FMAC用于电流回路控制，以减少CPU工作量

STM32G474-PFC 框图



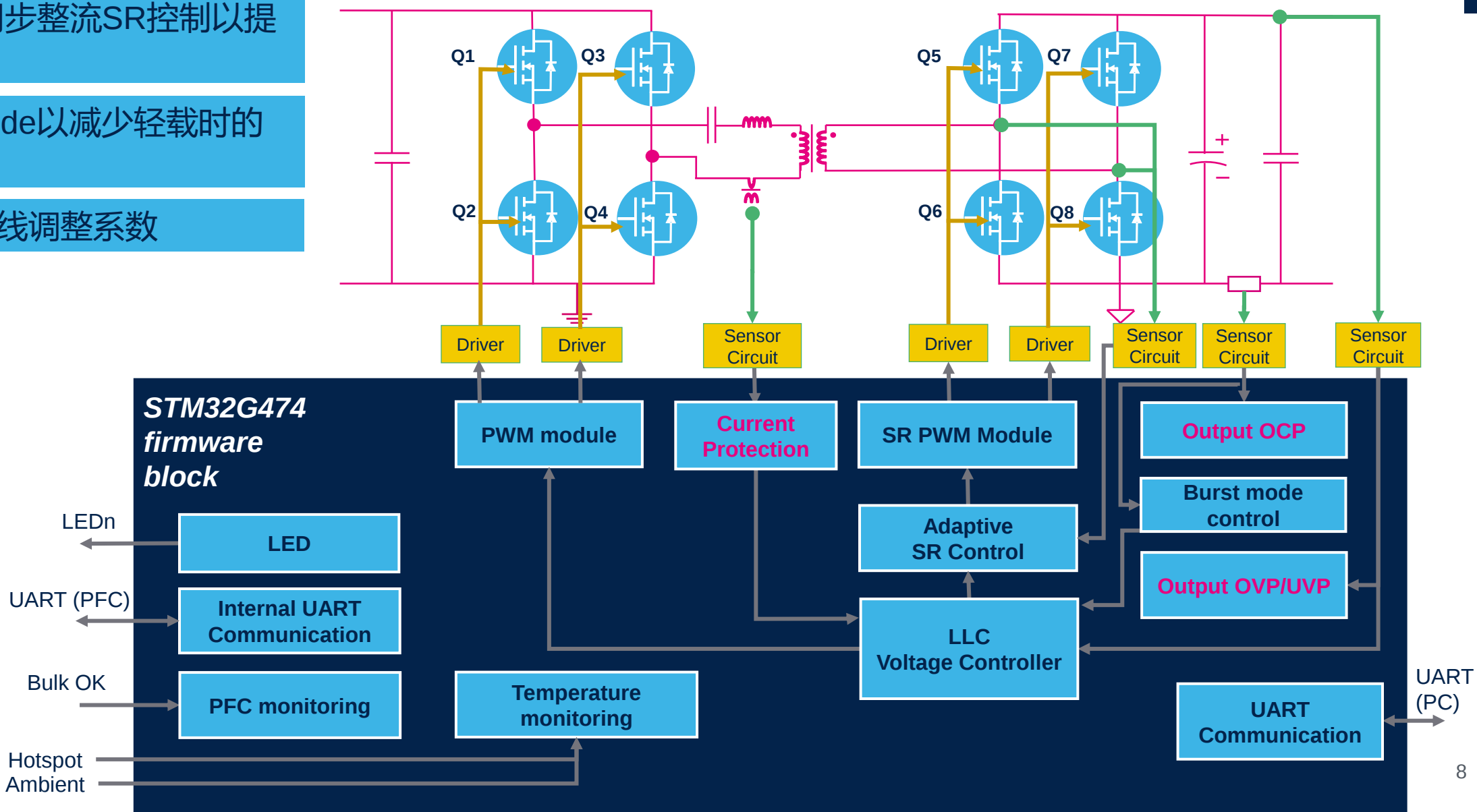
关键数字特性

数字自适应同步整流SR控制以提高整体效率

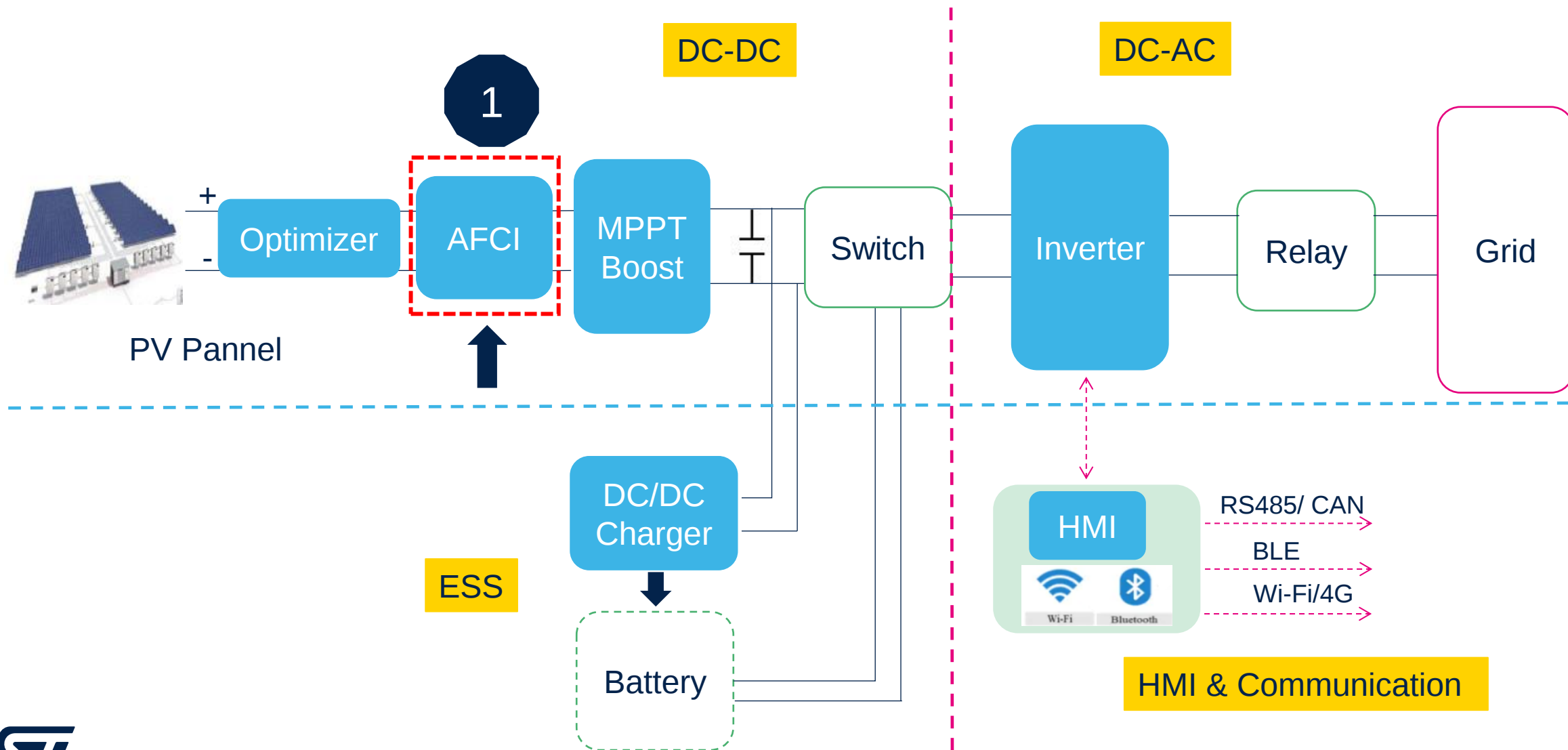
采用burst mode以减少轻载时的损耗

通过UART在线调整系数

STM32G474-LLC框图

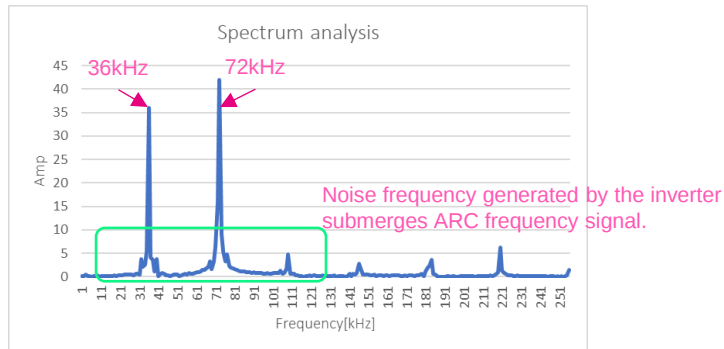
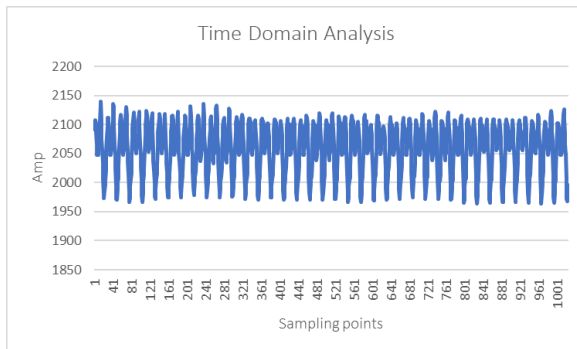
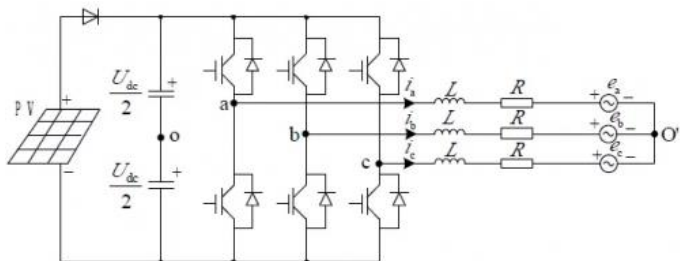


光伏逆变器框图

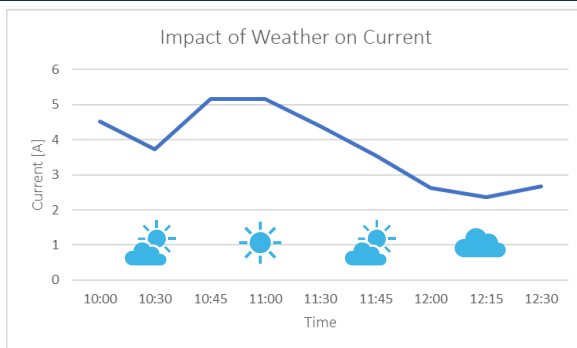
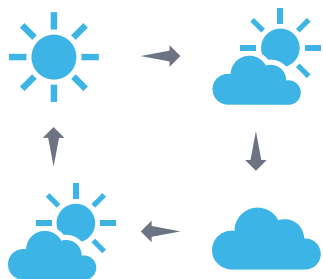


AFCI系统设计难点

逆变器噪声

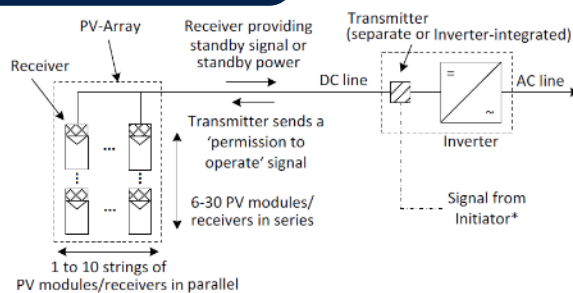


天气变化



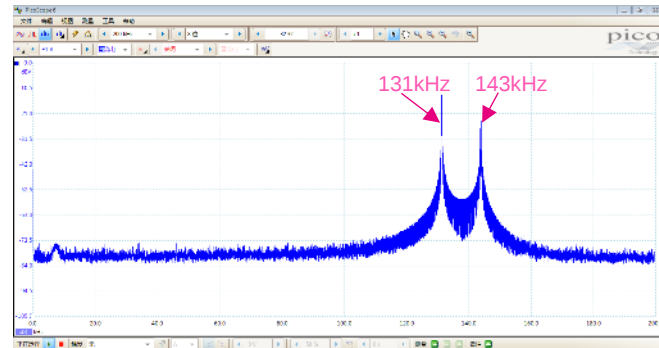
Date	Time	Weather	Voltage [V]	Current [A]	Power [KW]
15/07/2023	10.00	Nice, little cloudy	315	4.52	1.42
	10.30	Nice, little cloudy	277	3.74	1.04
	10.45	Nice, little cloudy	301	5.16	1.56
	11.00	Nice, little cloudy	300	5.16	1.55
	11.30	Nice, little cloudy	300	4.39	1.26
	11.45	Nice, little cloudy	320	3.55	1.10
	12.00	Cloudy	317	2.62	0.83
	12.15	Cloudy	334	2.36	0.79
	12.30	Cloudy	331	2.67	0.87

快速关断



Requirements of the Power Line Communication

Symbol	Transmitter Specification	Min.	Nom.	Max.	Unit	Remark
W_1	Logic 1 Code Word	{-1, -1, -1, +1, +1, +1, -1, +1}				+1 = mark, -1 = space
W_0	Logic 0 Code Word	{+1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1}				+1 = mark, -1 = space
F_M	Mark Frequency	131.236875	131.25	131.263125	kHz	$6.25\text{kHz} \times 21$
F_S	Space Frequency	143.735625	143.75	143.764375	kHz	$6.25\text{kHz} \times 23$
T_S	Average Bit Period	5.119488	5.12	5.120512	ms	(Time to complete one full duty cycle)/219
T_T	Transmission Period	168.943104	168.96	168.976896	ms	3 Words
T_Q	Quiet Period	901.029888	901.12	901.210112	ms	16 Words
T_C	Cycle Period	1069.972992	1070.08	1070.187008	ms	19 Words



AFCI 项目流程 - PoC 阶段



ST提供的AFCI开发包

AFCI硬件 参考板1.0

包含STM32G4
和STM32H7的硬
件电路板用于数
据收集和测试

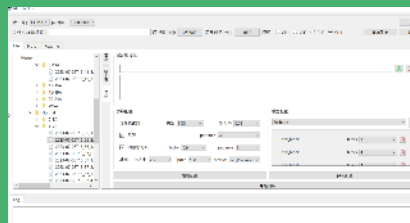


固件代码

- 数据记录工具
- 模型实时处理方法
- 相关的后处理

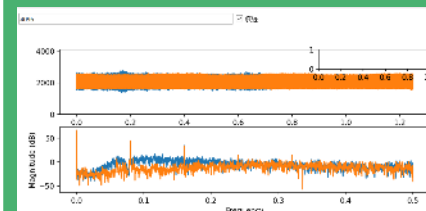
数据收集 PC工具

- 数据收集程序
- 实时检测程序



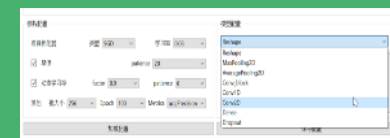
信号检测工具

用于分析采集到
数据的信号质量



AFCI AI 模型 训练

(exe 文件)
用于训练采集的
数据来生成AI模
型



技术支持， 使用文档

STM32 AI方案-AFCI总结

基于AI的电弧故障分断器 (AFCI) 助力于安全和可持续发展

Turnkey 参考设计方案，能有效快速部署最先进的AFCI方案

基于深度学习的检测器，可达到高检测准确率

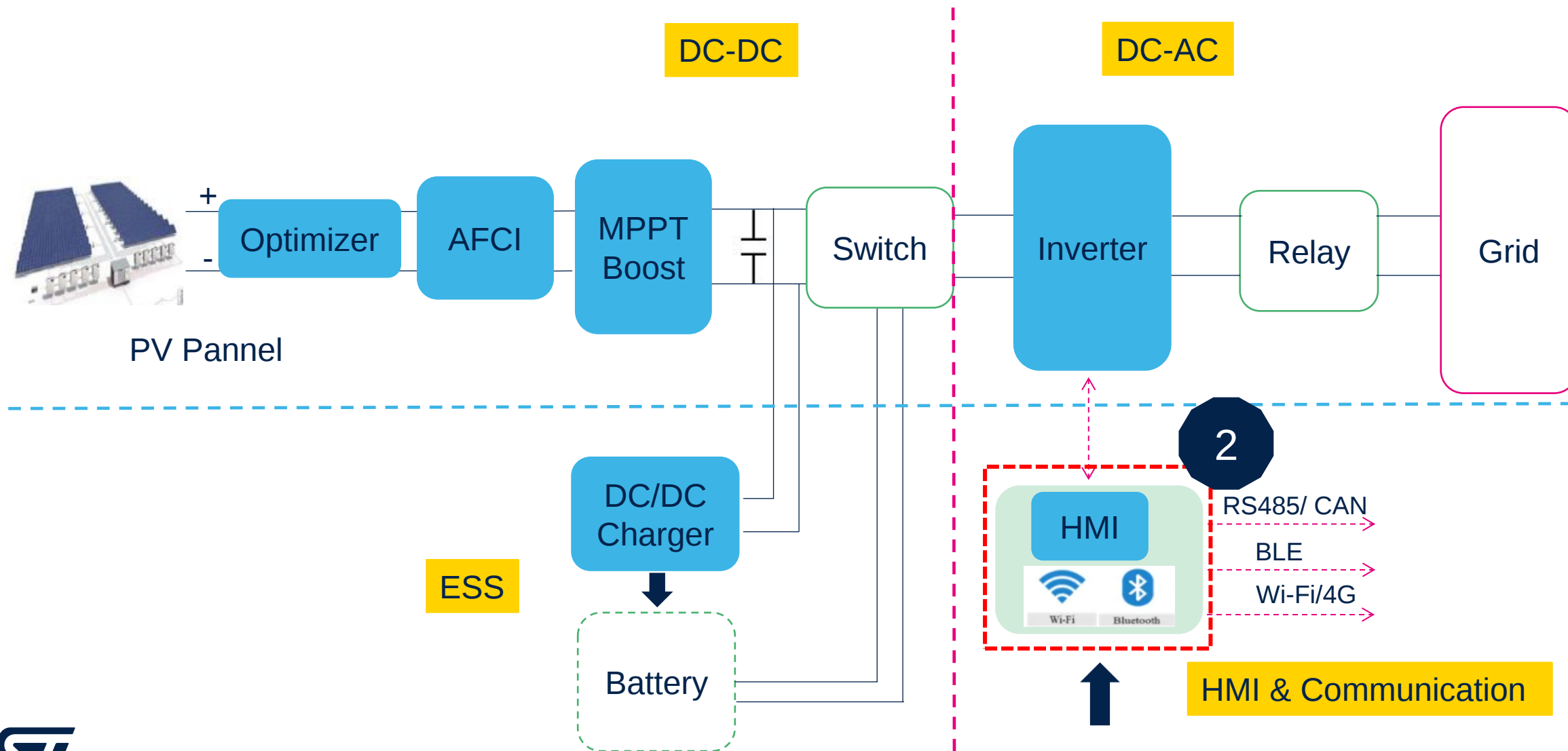
高性能基于边缘计算的STM32G4 或是 STM32H7的MCU

TSV7xx 运放带来更灵活和准确的信号处理

经验丰富的支持团队，提供成熟的材料和流程



光伏逆变器框图

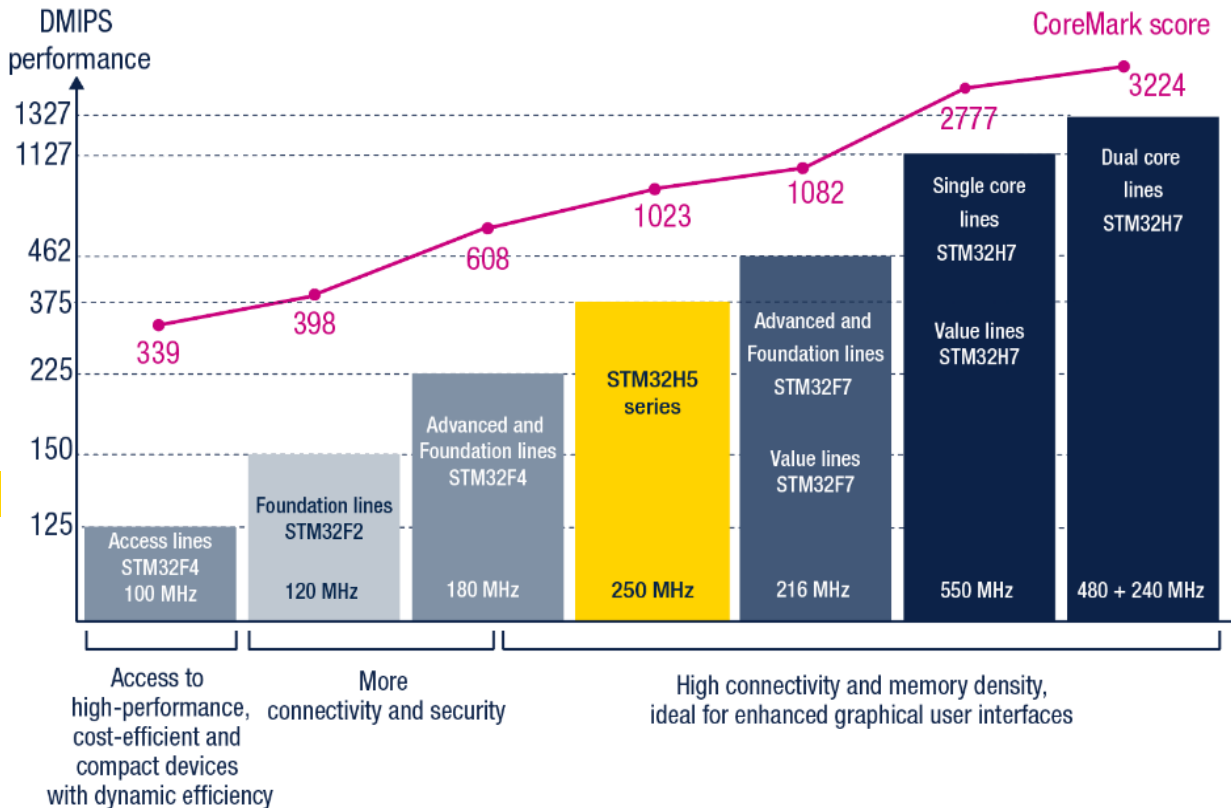




STM32 高性能微控制器

性能最高3224 CoreMark，外设丰富

STM32H7	- 双核 Arm® Cortex®-M7 + Cortex®-M4 FPU，最高480 MHz - 单核 Arm® Cortex®-M7，最高550 MHz，1177 DMIPS - Flash存储支持 512 Kbytes 到 2 Mbytes - 高性能拓展外置存储	高性能冠军
STM32F7	- Arm® Cortex®-M7 + FPU 支持 216 MHz，462 DMIPS - Flash存储支持 256 Kbytes 到 2 Mbytes - 高性能内置Flash和拓展外置存储	
STM32H5	- 高性能Arm® Cortex®-M33，支持250MHz，375 DMIPS - Flash存储支持 128 Kbytes 到 2 Mbytes - 工业 4.0 和智能家居	最新发布
STM32F4	- Arm® Cortex®-M4 + FPU 支持180 MHz，225 DMIPS - Flash存储支持 64 Kbytes 到 2 Mbytes	
STM32F2	- Arm® Cortex®-M3 at 120 MHz – 150 DMIPS - Flash存储支持 128 Kbytes 到 1 Mbyte - 高性能入门系列	



性能提升

- Cortex-M33内核, 1.5 DMIPS/MHz, 4.09 CoreMark/MHz
- 先进的40nm工艺, 使能
- 更高的系统主频
- 更快的flash访问
- 增强的系统架构



新特性, 高集成, 高性价比

借助40nm工艺:

- 更多的内部存储器 (FLASH+RAM)
- 更多的新特性外设
- 更小的面积



STM32F1/ F4 平台升级

功耗优化

- 40nm工艺优化动态功耗
- 静态功耗更低
- 其他功耗优化特征



先进安全功能

- Arm Cortex-M33内核与TrustZone®
- 产品生命周期
- 调试认证(Debug Authentication)
- 其他

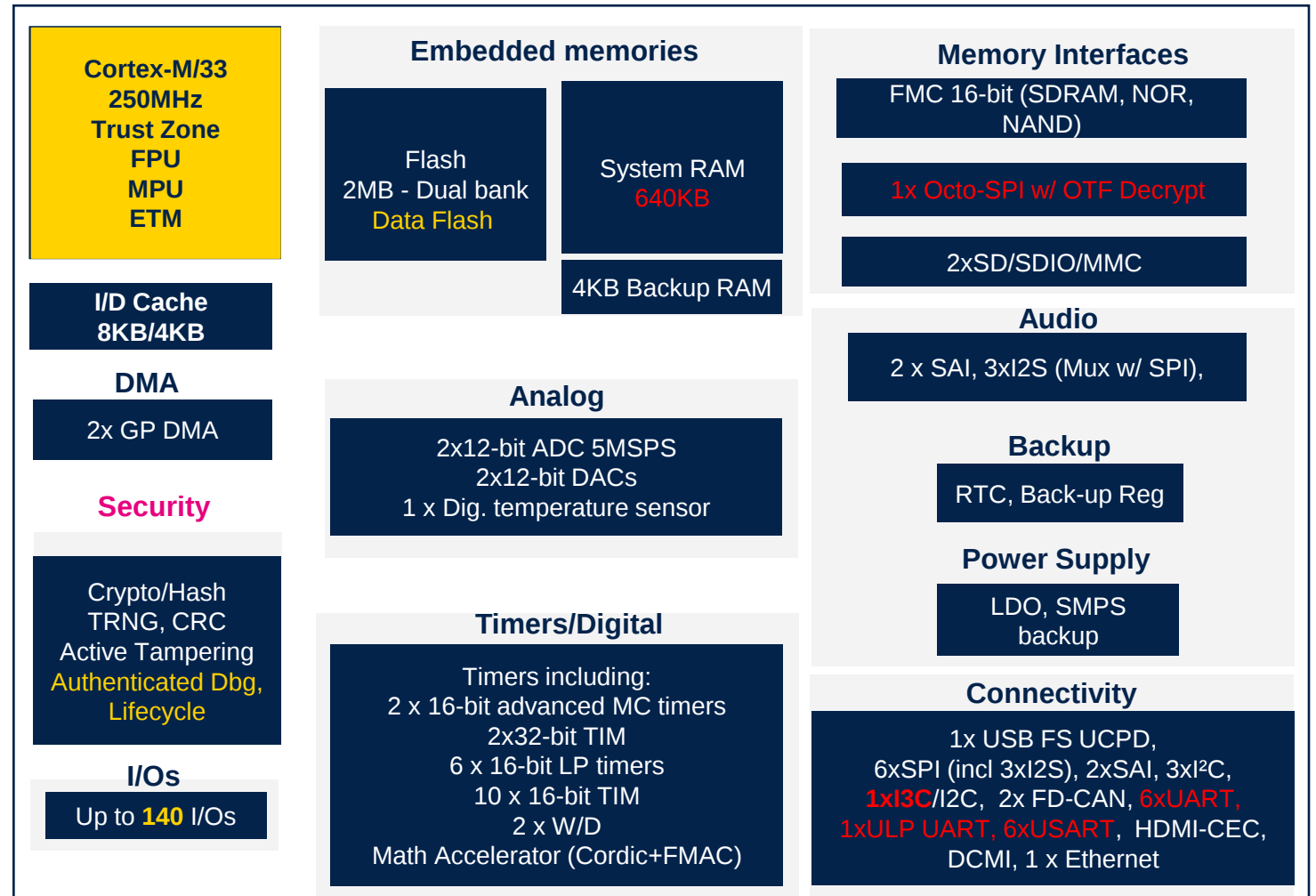




STM32H5-2MB

高性能 & 高性价比

- CM33内核, 250Mhz主频, 375DMIPS
- TrustZone
- 集成丰富外设
- 先进安全特性和全新器件生命周期管理
- 高效动态功耗
 - 124uA/MHz w/ LDO
 - 64uA/MHz w/ SMPS
- VDD 1.71V to 3.6V
- TA: -40°C to 85°C/125°C
- 64 → 176pin





STM32H5



=

性能提升



+

功耗优化



+

新特性, 新外设



+

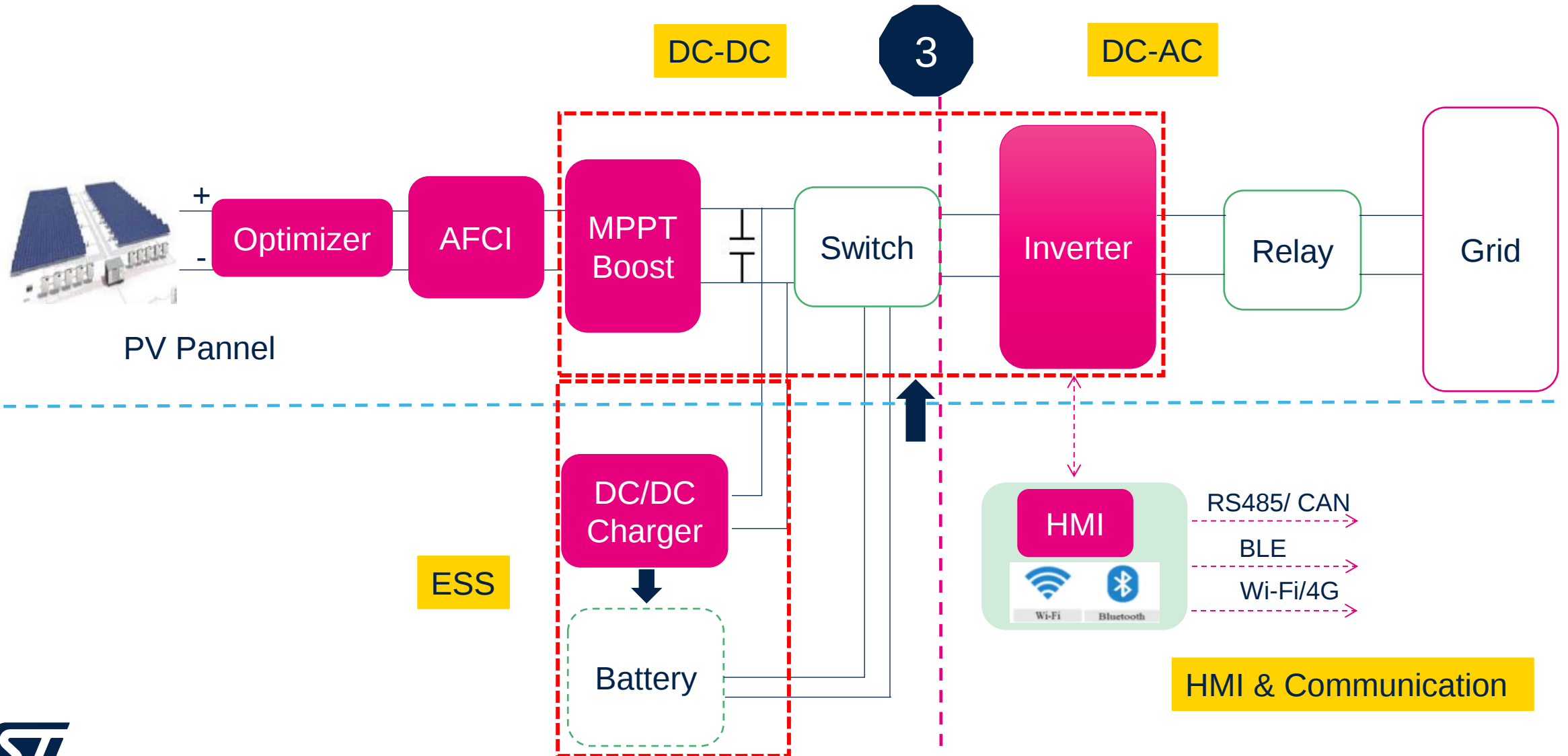
先进安全功能



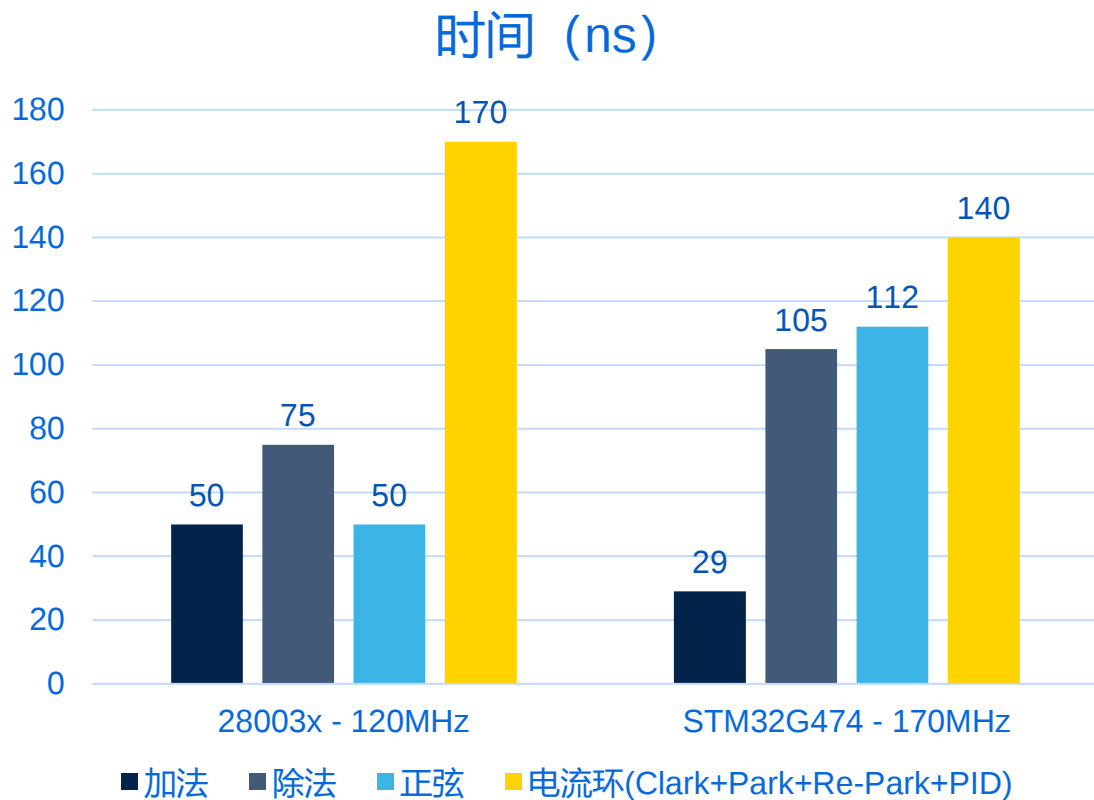
平台升级

STM32H5系列
不是简单替换F1/ F4系列！
而是带来更多应用特点

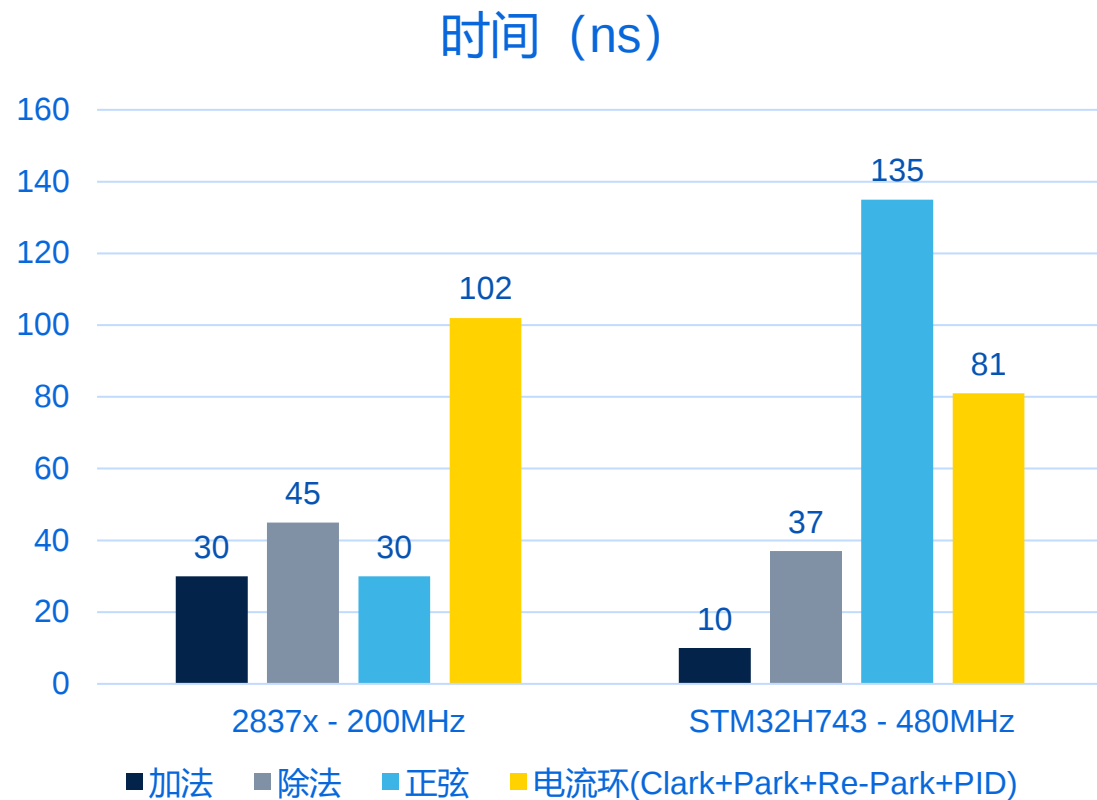
光伏逆变器框图



浮点 (float32) 计算能力对比DSP



结论：电流环路STM32G4即使用浮点运算也是DSP-28003x的**1.21**倍！

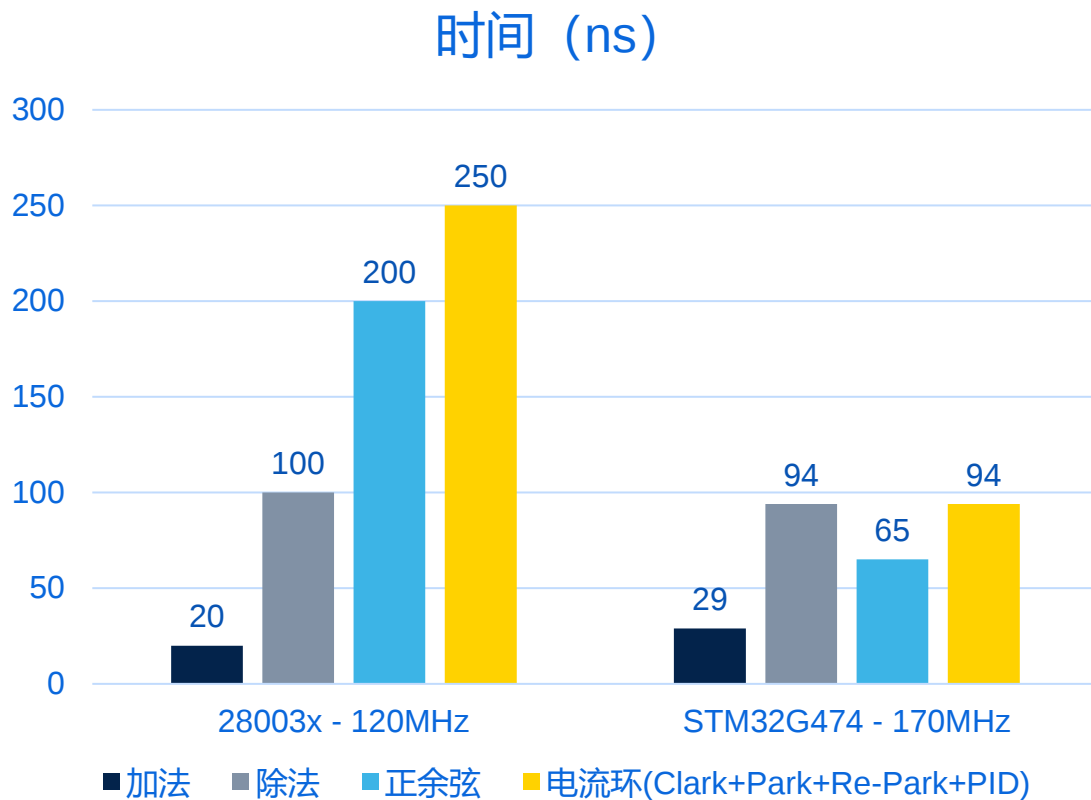


结论：电流环路STM32H743单核性能是DSP-2837x 的**1.25**倍！



注：电流环时间需要乘以10

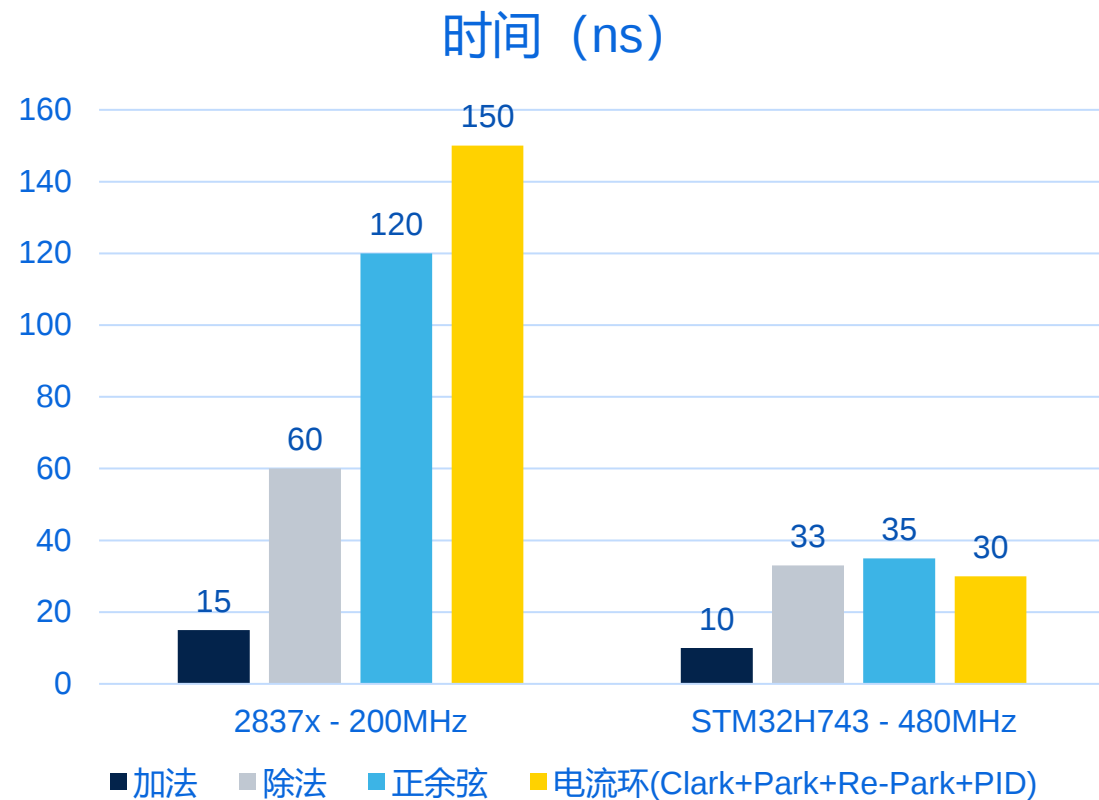
定点计算能力对比DSP



结论：电流环路STM32G4定点运算
性能是DSP-28003x的**2.6**倍!



注：电流环时间需要乘以10

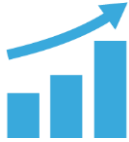


结论：电流环路STM32H743单核定
点运算性能是DSP-2837x 的**5**倍!

STM32G4产品一览表

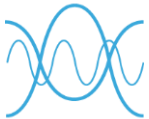
参数	★ STM32G474 高精度PWM型	STM32G473 性能型	★ STM32G491 入门型	STM32G431 入门型
内核, 主频	Arm Cortex-M4, 170 MHz			
Flash (max)	512 Kbytes (2x256KB dual bank)		512 Kbytes single bank	128 Kbytes single bank
RAM (up to)	96 Kbytes			22 Kbytes
CCM-SRAM	32 Kbytes		16Kbytes	10 Kbytes
12-bit ADC SAR	5x 12-bit @4 MSPS		3x 12-bit @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	

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)

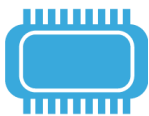


功能安全与信息安全

- 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

功能加速与减轻CPU负担

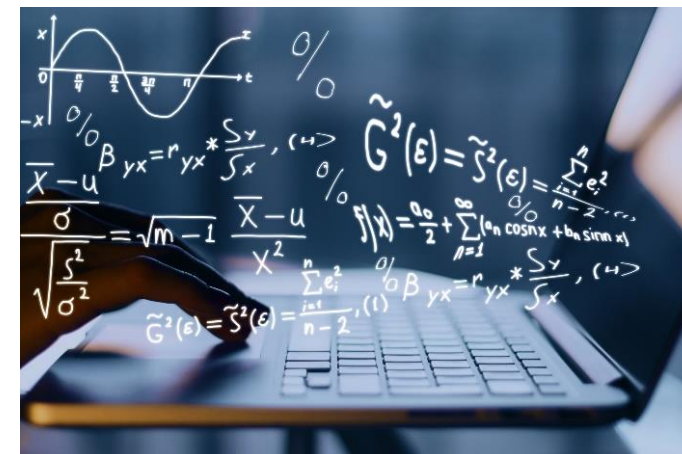
1. 三角函数 (Trigo)

- 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%**





STM32H7系列延展

高性能与高性价比兼备

 **Dual-core Line**

 **Single-core Line**

 **Value Line**

GUI

STM32H7A3/B3

280 MHz **LDO**
599 DMIPS
RAM 1.4 MB
Flash up to 2 MB

STM32H742

480 MHz **LDO**
1027 DMIPS
RAM 692 KB
Flash up to 2 MB

STM32H743/753

480 MHz **LDO**
1027 DMIPS
RAM 1 MB
Flash up to 2 MB

STM32H723/733

550 MHz **LDO**
1177 DMIPS
RAM 564 KB
Flash up to 1 MB

STM32H725/735

550 MHz **SMPS**
1177 DMIPS
RAM 564 KB
Flash up to 1 MB

STM32H7B0

280 MHz **SMPS**
599 DMIPS
RAM 1.4 MB
Flash 128 KB

STM32H750

480 MHz **LDO**
1027 DMIPS
RAM 1 MB
Flash 128 KB

STM32H730

550 MHz **LDO**
1177 DMIPS
RAM 564 KB
Flash 128 KB

STM32H730Q

550 MHz **SMPS**
1177 DMIPS
RAM 564 KB
Flash 128 KB

STM32H745/755

480+240 MHz **SMPS**
1027 + 300 DMIPS
RAM 1 MB
Flash up to 2 MB

STM32H747/757

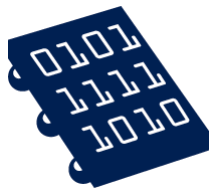
480+240 MHz **SMPS**
1027 + 300 DMIPS
RAM 1 MB
Flash up to 2 MB

Arm® Cortex® core

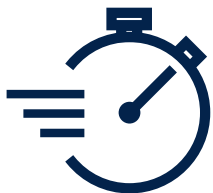
Cortex-M7

Cortex-M7 & -M4





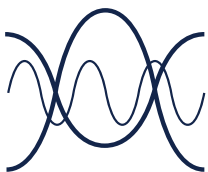
- 内置高达**2MB双区**的Flash，支持ECC校验
- 内置高达**1.4MB SRAM**（多达1MB连续地址空间），支持ECC校验
- 丰富的存储外扩接口：32bit FMC，SDMMC及**Octo-SPI**



- **高精度定时器**：精度高达**2.1ns**，10路PWM输出
- 2个高级定时器，可实现双电机控制
- 12个通用定时器及5个低功耗定时器



- 多达**11个U(S)ART**，6个高速 SPI 和5个 I2C
- 多达3个新一代 **FD-CAN**总线，通讯效率大幅度提升
- 2个USB OTG接口，支持高速和全速传输
- 10/100 以太网控制器
- DCMI 数字摄像头接口 和 4个 SAI 音频接口



- 3个**16位ADC**，采样速率高达**3.6MSPS**，共有36通道
- DFSDM 数字滤波模块
- 2个DAC、2个模拟比较器和2个运算放大器

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

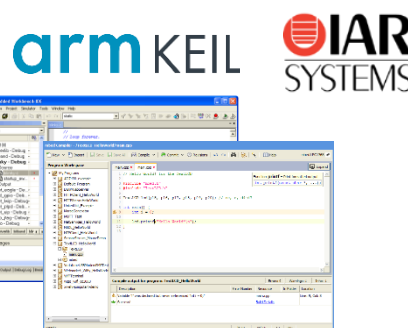
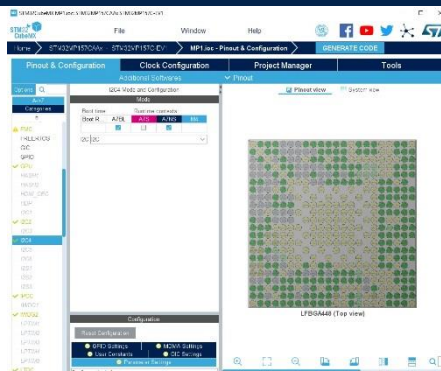
- 6个模拟与数字的错误输入源
- 10个事件输入源
- 事件响应可配置: 计数响应, 窗口内连续事件响应等

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DMA, 整个HRTIM单元亦有高级DMA功能, 可部分或整体更新参数

STM32 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

STM32数字电源开发支持

STM32 方便数字电源设计

数字电源开发SDK（支持PFC和PSU
拓扑结构的例程生成器和固件驱动库）
硬件评估板，文档，开发工具

创新的产品，外设 及软件算法

- 高精度定时器支持各类电源拓扑
- STM32集成丰富的高性能模拟外设
- 支持硬件协处理器加速计算性能
- Biricha 第三方数字电源设计培训
(ST 认证第三方)

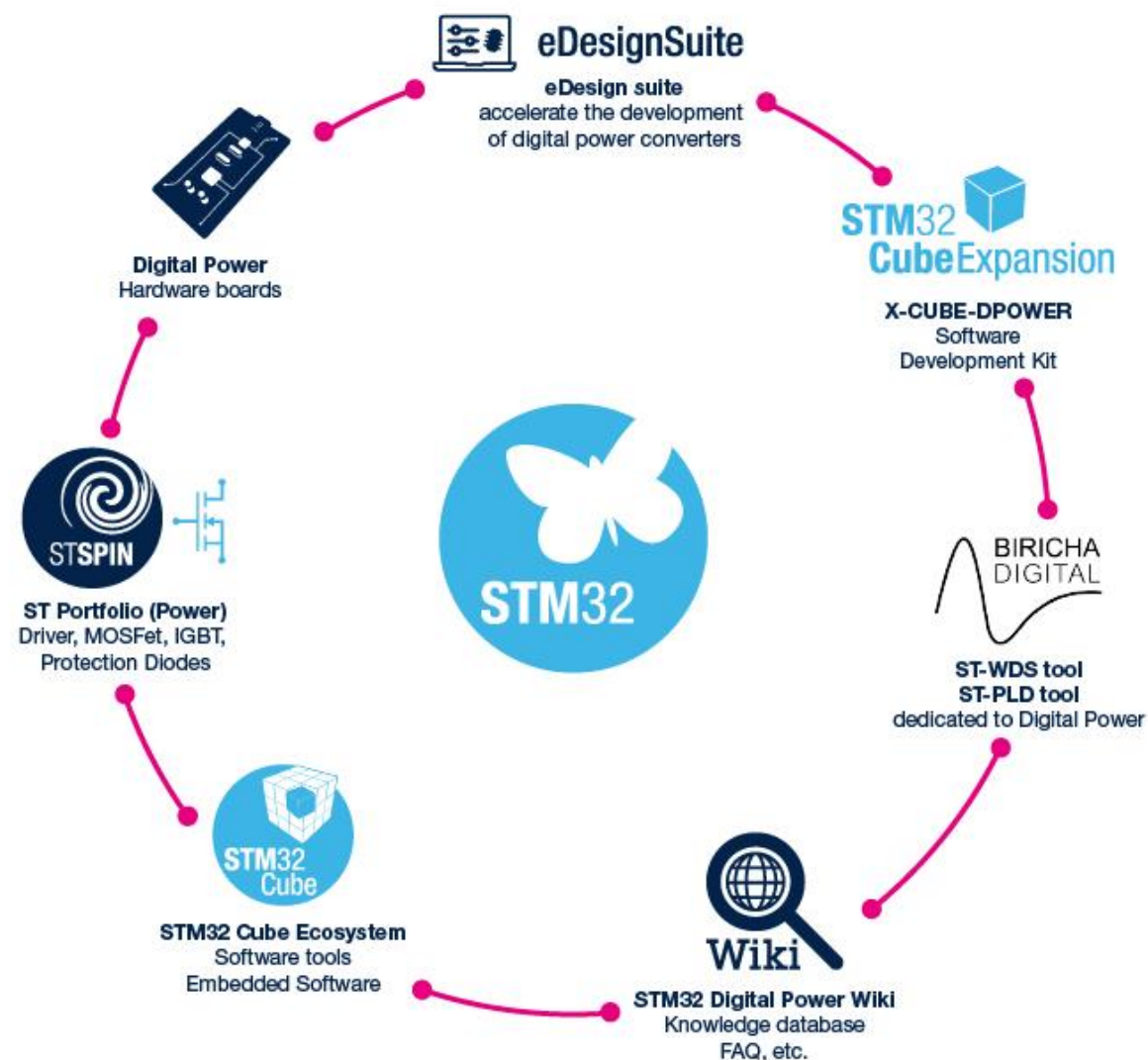
ST 宽泛产品线支持

更多的功率器件选择
基于STM32设计实现的端到端
数字电源解决方案

支持PFC 和 PSU STM32CubeMX

基于ST 评估板，支持电流或电压模式
运行的固件开发包，实现了 PFC 和
PSU 拓扑结构。

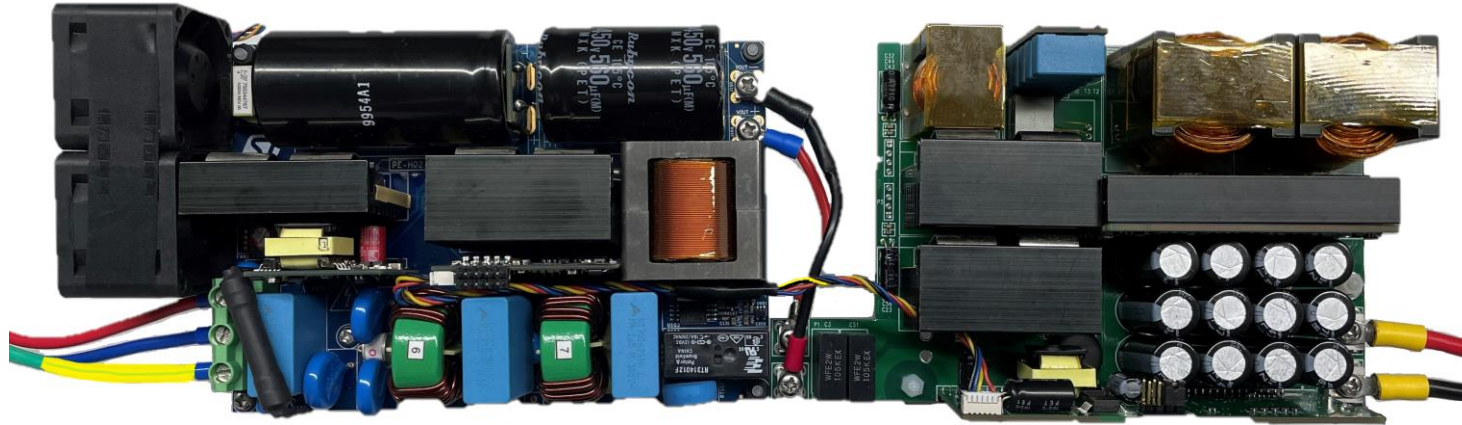
最新消息



STM32数字电源



3kW 5G通信电源数字电源解决方案



参数

- AC/DC: 无桥式图腾柱PFC, DC/DC:全桥LLC+SR
- 输入电压 : 90-264 Vac
- 输出电压 : 53.5Vdc
- 峰值效率 : 96.5% (@230Vac)
- 功率密度 : 40W/in³
- 功率因素PF > 0.99
- iTHD < 5%

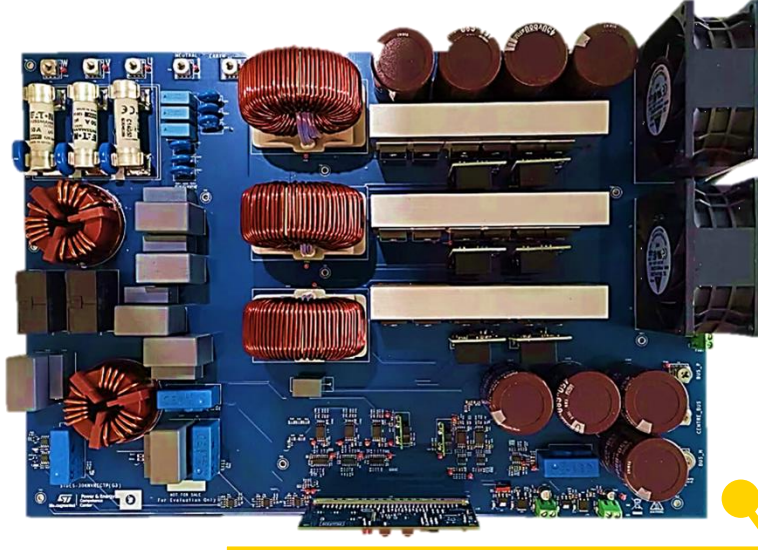
关键器件

- **STM32G474RBT6 (32-bit MCU, both PFC and LLC)**
- SCTW35N65G2V (SiC MOSFET)
- STGAP2D (Gate driver)
- STY139N65M5 (M5 SJ MOS)
- VIPer26HD/VIPer38LD (Aux. SMPS)
- STW70N65DM6-4 (DM6 SJ MOS)
- STGAP2HS (Gate driver)
- STL130N8F7 (SR LV MOS)



30kW 汽车充电数字电源解决方案

30kW 维也纳PFC



30kW 三相LLC



参数

- AC/DC: 三相维也纳PFC, DC/DC:三相LLC
- 输入电压 : 220-265 Vac
- 输出电压 : 200-1000Vdc
- 峰值效率 : 96.6% (@230Vac, 700Vdc)
- 功率因素PF > 0.99
- iTHD < 5%

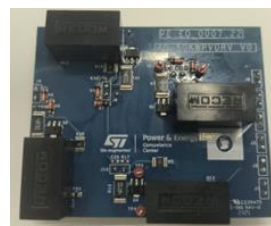
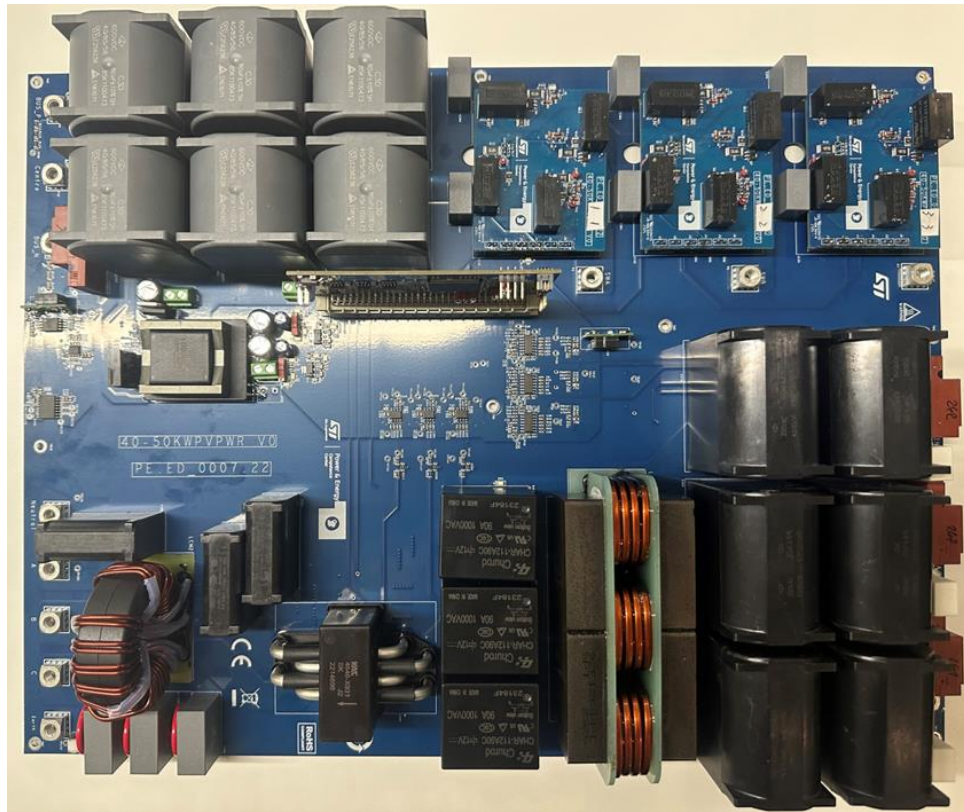
关键器件

- **STM32G474RET6 (32-bit MCU, PFC)**
- **STM32G474VET6 (32-bit MCU, LLC)**
- SCT018W65G3-4AG (SiC MOSFET)
- STGAP2SiCS (Gate driver)
- STPSC40H12C (SiC diode)
- SCT025W120G3-4AG (SiC MOSFET)
- STGAP2SiC (Gate driver)
- STTH60RQ06W (Ultrafast Diode)



50kW 光伏逆变器数字电源解决方案

50kW DC/AC逆变器



关键器件

- **STM32H743ZGT6 (32-bit MCU)**
- A2U8M12W3-FC (SiC Module)
- STGAP2SiCSC (Gate driver)
- STPS1150A (Schottky diode)
- STPS2H100A (Schottky diode)
- STPS2L60A (Schottky diode)

参数

- DC/AC: T型三电平
- 输入电压: 800 Vdc
- 输出电压: 380 Vac
- 峰值效率 98.89%
- 功率因素 PF > 0.99
- iTHD < 3%





STM32 本地化资源, 提供海量信息



ST 官网

www.ST.com.cn



STM32 中文官网

www.STMCU.com.cn



STM32中文技术支持邮箱:

mpu.china@st.com

mcu.china@st.com



大学计划联络邮箱:

edu.china@st.com



技术培训报名网页:

www.stmcu.com.cn/training



ST 中文论坛

shequ.stmicroelectronics.cn



ST Community 全球论坛

<https://community.st.com/s/>



STM32 21ic论坛

<http://www.21ic.com/stm32>



STM32 MCUs Wiki 页面

wiki.st.com/stm32mcu



STM32 MPUs Wiki 页面

wiki.st.com/stm32mpu



STM32 GitHub页面:

github.com/STMicroelectronics



STM32公众号



STM32视频号



STM32Bilibili



线上课程平台



www.st.com/stm32-digital-power

Our technology starts with You



Find out more at www.st.com

© STMicroelectronics - All rights reserved.

ST logo is a trademark or a registered trademark of STMicroelectronics International NV or its affiliates in the EU and/or other countries.

For additional information about ST trademarks, please refer to www.st.com/trademarks.

All other product or service names are the property of their respective owners.

