



life.augmented

ST在大功率热管理系统中的 电机控制系统方案 HVAC、BESS和数据中心

Willem ZHENG

电机控制技术创新中心

应用工程师

1 高功率冷却系统

2 10 kW PMSM电机驱动器，配备Vienna PFC、1个MCU

3 实验测试

4 ST冷却系统解决方案

高功率冷却系统

数据中心

数据中心基础设施管理

- AI服务器，直接液冷
- 电信基站

数据中心冷却业务的市场规模（2022年）	31.4亿美元	*1
预测市值（2032年）	311亿美元	
全球市场增长率（2022-2032年）	25.8%	
液冷业务的市场规模（2032年）	171亿美元	



HVAC

HVAC（暖通空调）

- 住宅空调系统
- 热泵
- 屋顶单元

HVAC业务的市场规模（2023年）	2940亿美元	*2
预测市值（2032年）	4810亿美元	
全球市场增长率（2023-2032年）	5.6%	



BESS

电网级电池储能

- 热管理，直接液冷

BESS业务的市场规模（2023年）	54亿美元	*3
预测市值（2030年）	269亿美元	
全球市场增长率（2023-2030年）	25.8%	



*1 Persistence Market Research, Data center liquid cooling Market, 2022年3月

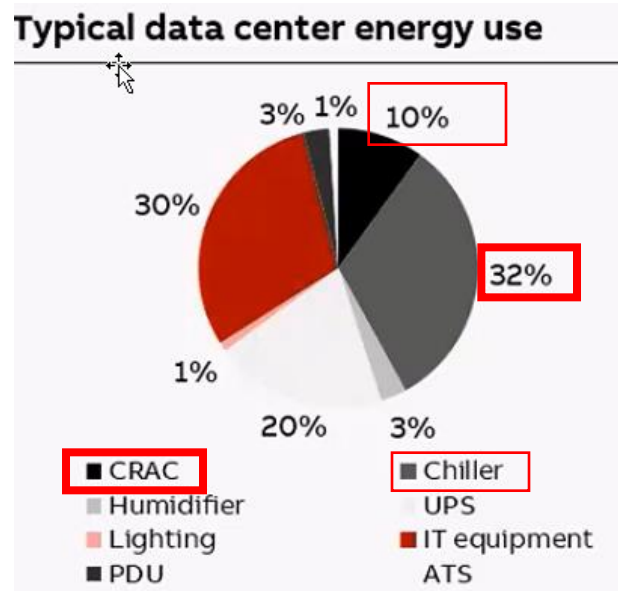
*2 Global Market Insights Inc. HVAC Market, 2024年5月

*3 Delvens.Battery Energy Storage System (BESS) Market, 2023年8月

用于提高冷却系统效率的电机控制和数字电源

AI服务器和HVAC需要大量电力
2030年AI消耗的电力可能占到全球电力的10%以上

电机消耗了冷却系统中2/5的能源



高效的电机驱动器如何节约能源

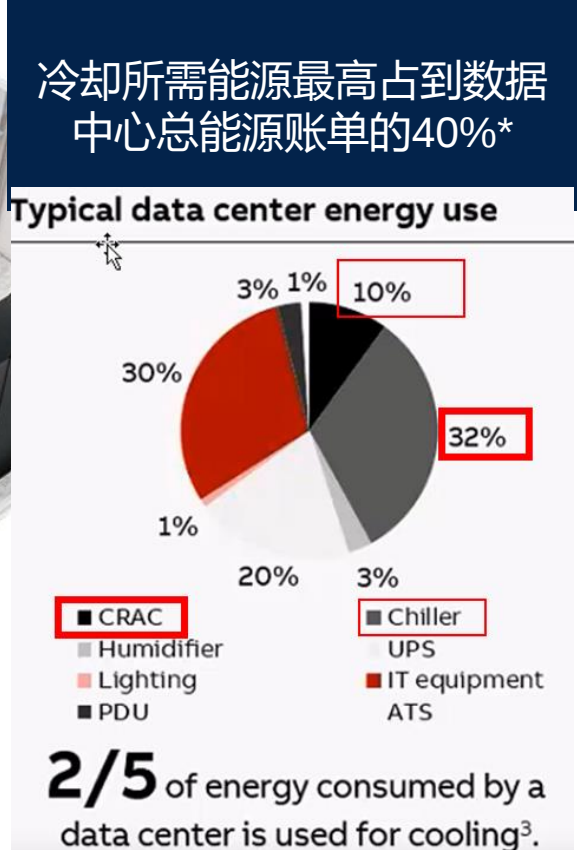
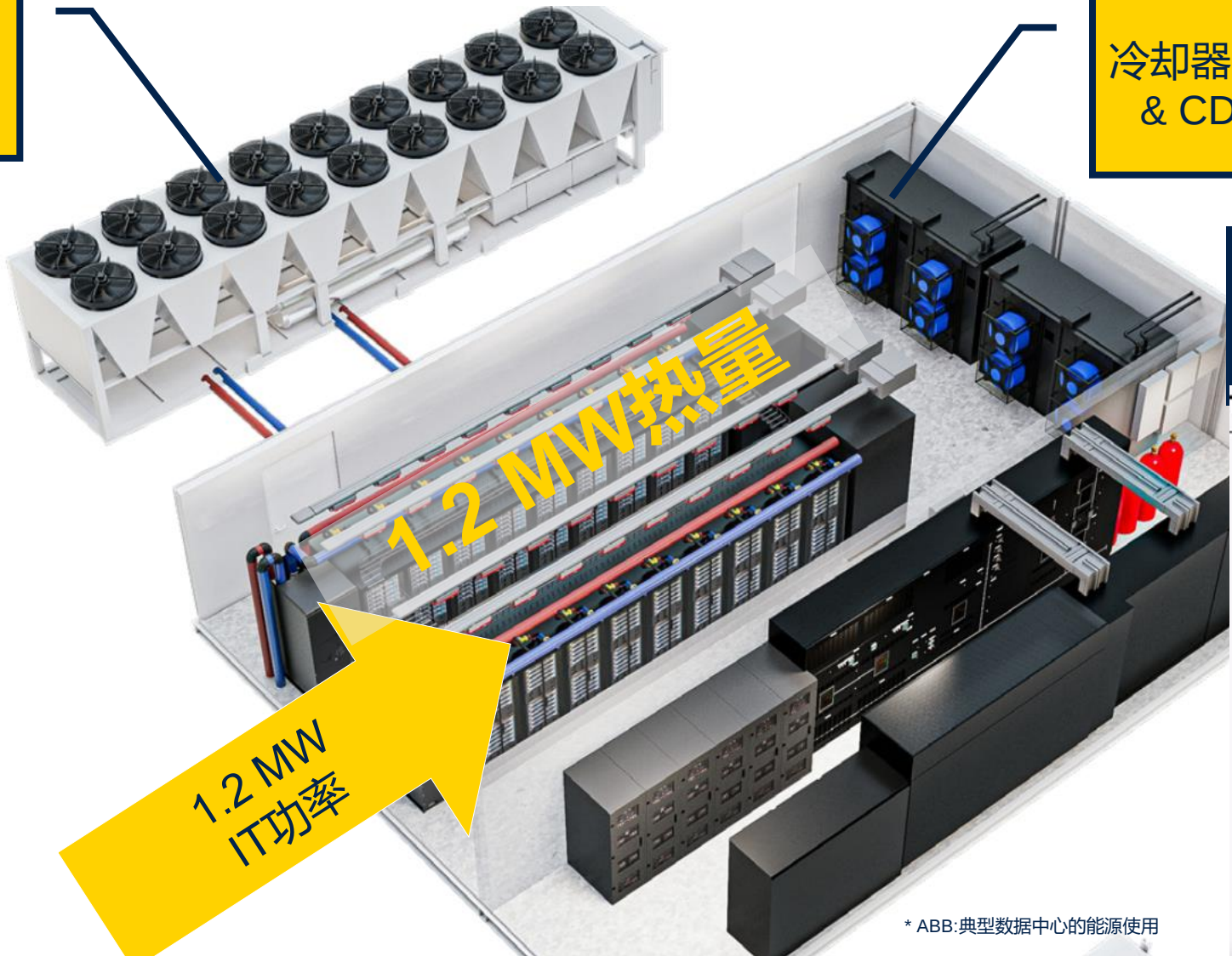
- 相比于IE2和IE3, IE4和IE5电机可节约5-15%的能源
- WBG材料
- 电机变速驱动装置根据电流需求调整电机速度, 节约20-60%
- 驱动装置能够根据负载 (SRM) 优化电机磁通量, 最多可节约20%
- 分布式dPFC, 提升电能质量
- 使用系统分析进行冷却优化, 节约约30%

典型的1.2 MW数据中心参考设计

散热风扇
(100x 5 kW)

冷却器 (3x 100 kW)
& CDU (2x 20 kW)

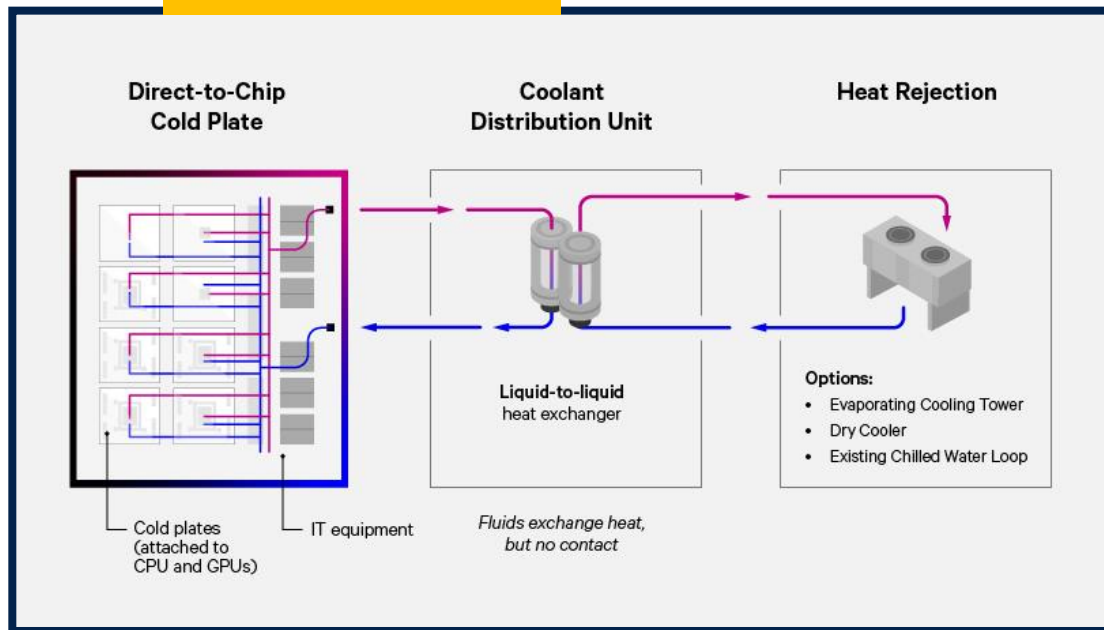
IT负载, 计算	8个机架, 每个132 kW
IT负载, 网络和存储	10个机架, 每个10 kW
冷却拓扑	75%液冷 25%空冷
冷却负载	840 kW



* ABB:典型数据中心的能源使用

数据中心冷却系统架构

直接芯片冷却



通过平衡热捕获属性和液体黏度来决定选择哪种液体。水的热捕获能力最强，但通常与乙二醇混合使用，这会降低热捕获能力，但黏度的增加会提高泵送效率。



Liquid Cooling

Active Rear Door

Passive Rear Door

直接芯片冷却通常可带走机架中设备生成的70-75%的热量，需使用混合方法（风扇）进行冷却。



Fans in
CRAH or
CRAC
units



Pumps



Chillers



10 kW PMSM电机驱动器 + Vienna PFC 1 MCU用于高效冷却

基于STM32G4的全平台控制：1台电机 + 3相Vienna PFC

ST元件

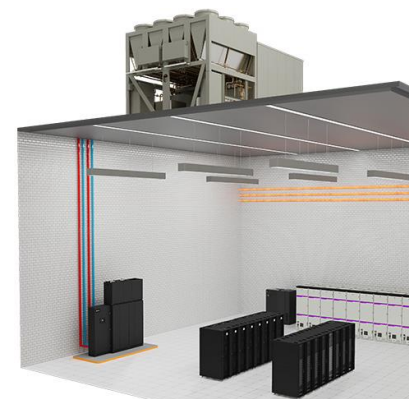
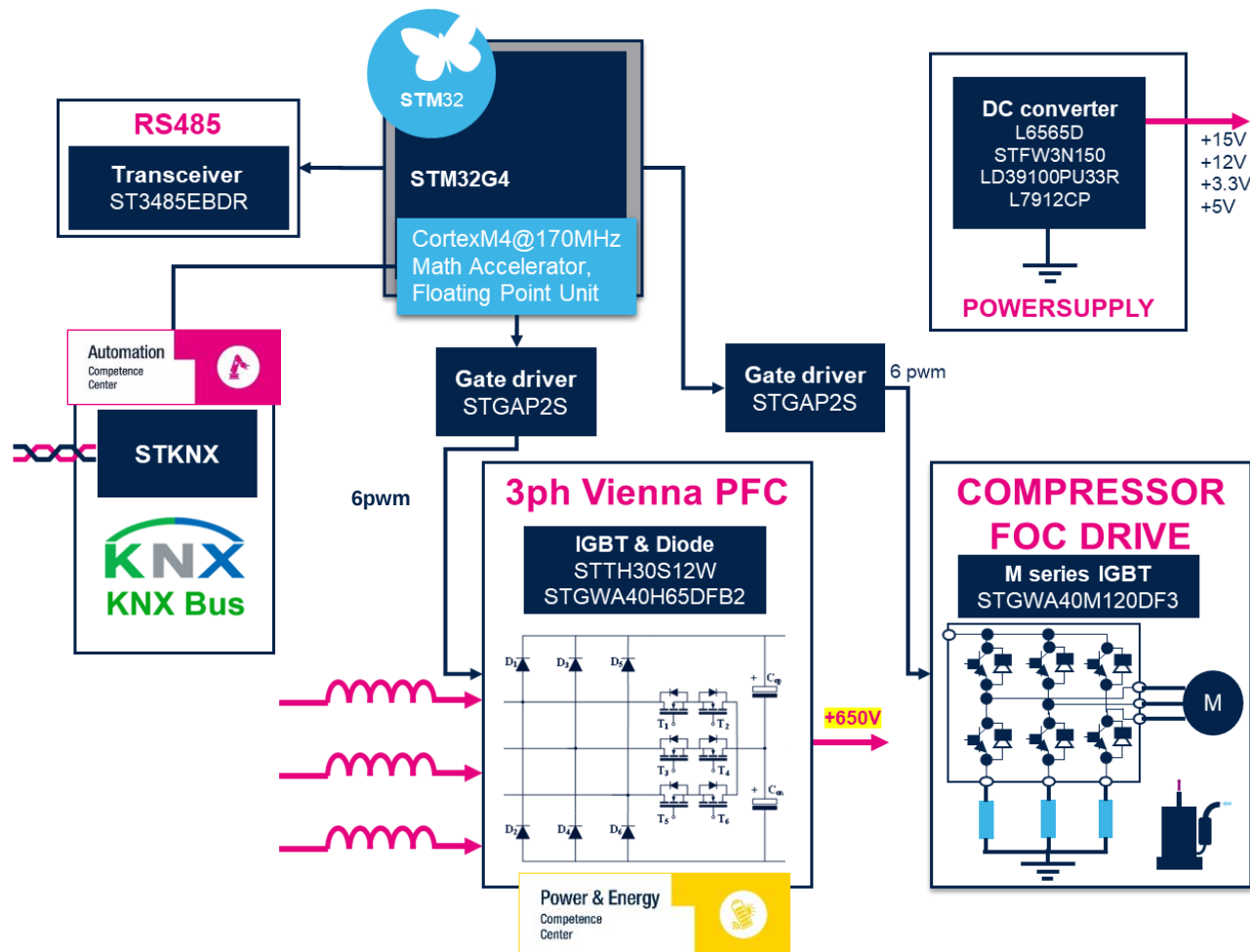
STM32G431RBT6 * 1
TN4050-12PI * 1
ST3485EBDR * 1
L7912CP * 1
L6565D * 1
STFW3N150 * 1
LD39100PU33R * 1
STKNX模块 * 1

对于压缩机驱动:

STGWA40M120DF3 * 6
STGAP2SCMTR * 6
TSV7911LT * 1
TS391RILT * 1

对于Vienna PFC:

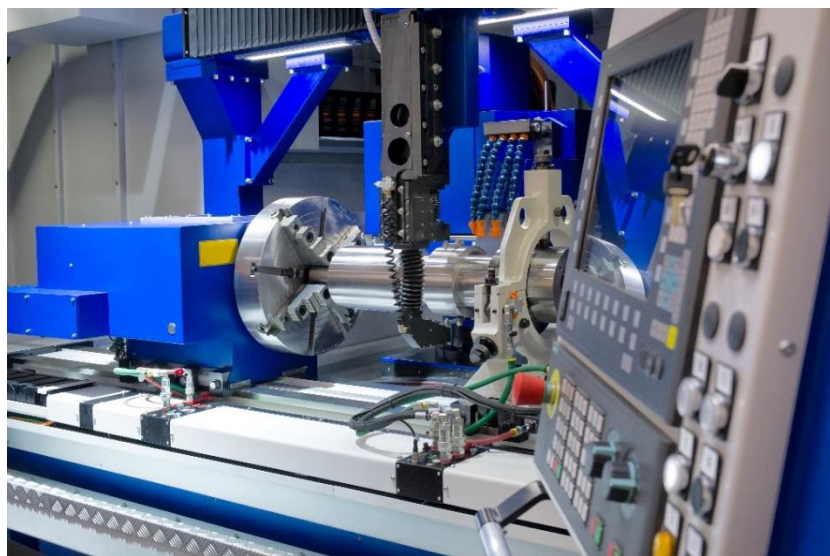
STGWA40H65DFB2 * 6
STTH30S12W * 6
STGAP2SCMTR * 6
TSV912A * 5
TSV911ILT * 3





STGAP2S, STGAP2SICSN/STGAP2D

1700 V电隔离单通道和双通道



1700 V功能性电隔离

100 V / ns
共模抑制比

快速开关频率
(传播延时75 ns)

电流能力
4 A灌/拉

待机, SD引脚, 制动引脚,
热关断保护

可提供生态系统和全面支持

为SiC电源做好了准备

非常稳定

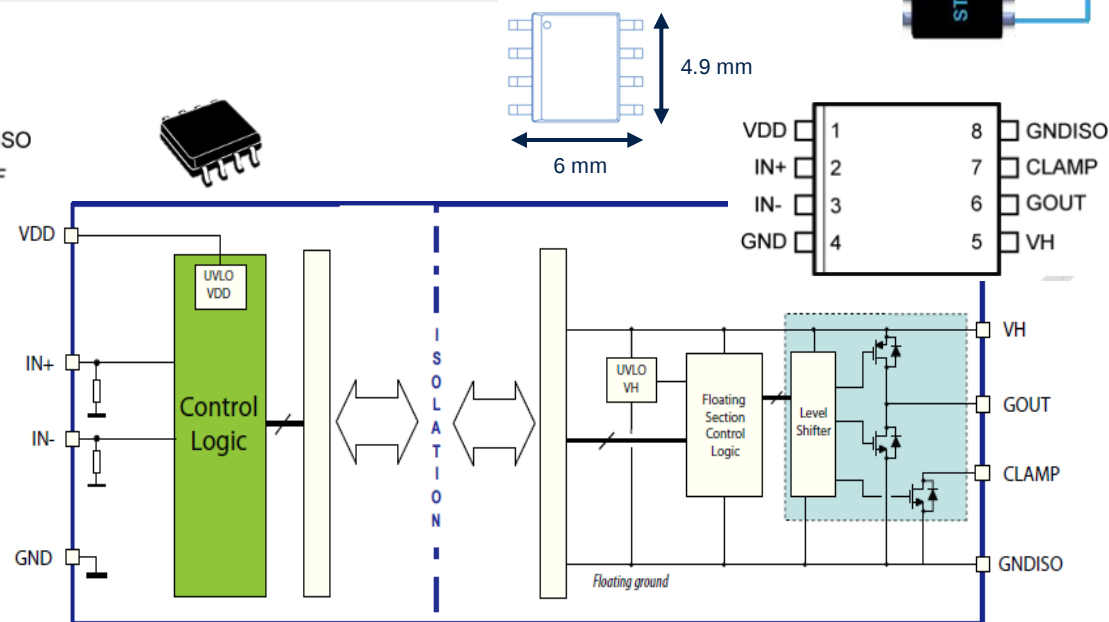
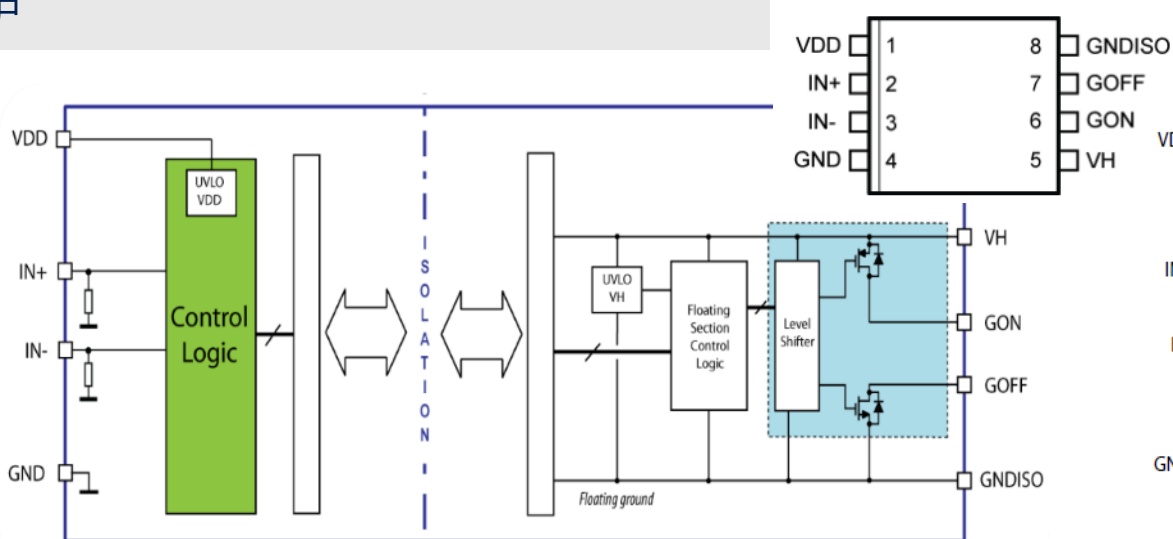
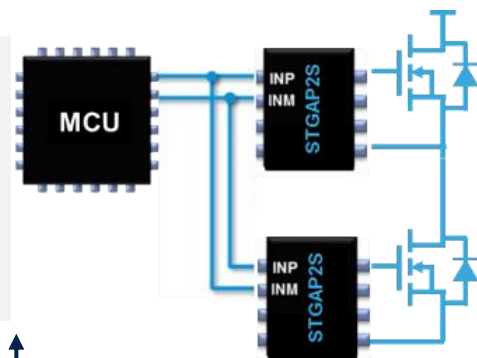


STGAP2S, STGAP2SICSN

4000 V, 4A功能性隔离栅极驱动器

- 3V3 / 5 V逻辑输入（逻辑阈值，VDD的1/3、2/3）
- 电源电压可达26 V
- 4 A灌/拉电流能力
- 较短的传输延时：75 ns
- UVLO功能（Si MOS-IGBT和SiC选项）
- 待机功能
- 100 V/ns CMTI
- 基础隔离4000Vpeak
- 热关断保护

- 有源高输入引脚与有源低输入引脚，用于硬件联锁
- **STGAP2SM, STGAP2SICSN:**
独立的输出选项，轻松实现栅极驱动调谐
- **STGAP2SCM, STGAP2SICSNC:**
Miller钳位引脚选项，避免引入开启现象
- SO-8封装（窄型）



STM32G4

丰富、先进的模拟功能

混合信号SoC适用于广泛的应用

ADC (多达5个)	值
拓扑	SAR 12位 + 硬件过采样 → 16位
采样率	高达 4 Msps
输入	单端和差分
偏移和增益补偿	自动校准以减少增益和偏移

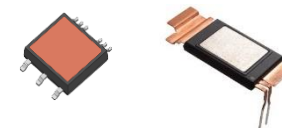
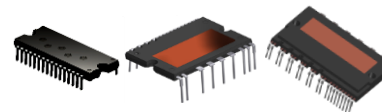
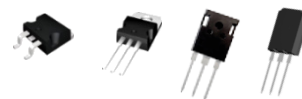
DAC (多达7个)	值
采样率	15 Msps (内部) 1 Msps (来自缓冲输出)
建立时间	16 ns

运算放大器 (多达6个)	值
增益带宽	13 MHz
电压转换率	45 V/μs
偏移	3 mV (在完整温度范围下) 1.5 mV @ 25°C
PGA增益 (精度)	2, 4, 8, 16, -1, -3, -7, -15 (1%) 32, 64, -31, -63 (2%)

比较器 (多达7个)	值
电源	1.62 ..3.6 V
传播延时	16.7 ns
偏移	-6 ..+2 mV
迟滞	8步: 0, 9, 18, 27, 36, 45, 54, 63 mV

沟槽栅场截止型IGBT系列总览

击穿电压						开发	全新					全新	开发		
600 V		650 V				750 V	1200 V			1250 V	1350 V	1600 V	1700 V		
电流															
4至20 A	20至80 A	4至200 A	20至80 A	15至100A	20至50 A	200至320 A	15至40 A	8至75 A	15至75 A	20 A, 30 A	25 A, 35 A	30 A	50 A 裸露晶片		
开关频率															
8到30 kHz	50到100 kHz	2到20 kHz	16到60 kHz			2到20 kHz	2到20 kHz		20到100 kHz	16到60 kHz			2到20 kHz		
IGBT系列															
H	★ V	★ M	★ HB	★ HB2	JH	★ MH	MS	M	H	IH	IH2		M		
主要应用															
家用电器	焊接, PFC, 太阳能, UPS, 充电器	工业电机控制、汽车牵引逆变器、GPI、空调	PFC, 太阳能, UPS, 充电器, 焊接和软开关		感应加热、微波和软开关	牵引逆变器	电机控制、辅助负载、PTC加热器、电池热管理	工业电机控制、GPI、空调	PFC、焊接、太阳能、UPS、充电器	感应加热、微波和软开关			工业电机控制、GPI、风力发动机		



新的650 V HB2系列IGBT

以出色的性能和功率密度提升系统效率

$T_J = 175^{\circ}\text{C}$

较低的 V_{CESAT} , 1.55至1.65 V

裸晶片中的电流能力为15至100 A

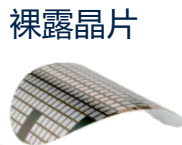
与HB系列相比, Q_g 更低

非常软的关断和低的电压尖峰

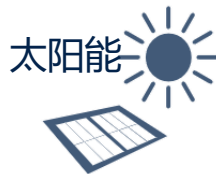
不同二极管选项 (D、DH和用于保护)

产品种类丰富

封装



应用



用于硬开关的低损耗M系列

$T_J = 175^{\circ}\text{C}$

较低的 $V_{\text{CESAT}} = 1.7$ 至 1.85 V

电流能力：8、15、25、40和50 A。
裸芯片中最高75 A

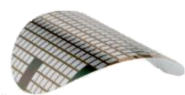
2至20 kHz

短路时间10 $\mu\text{s}^{(*)}$

在TO-247、TO-247 LL和
TO-220中可用（仅8 A、15 A）

封装

裸露晶片



TO-220



TO-247



TO-247
长引线



MAX247
长引线

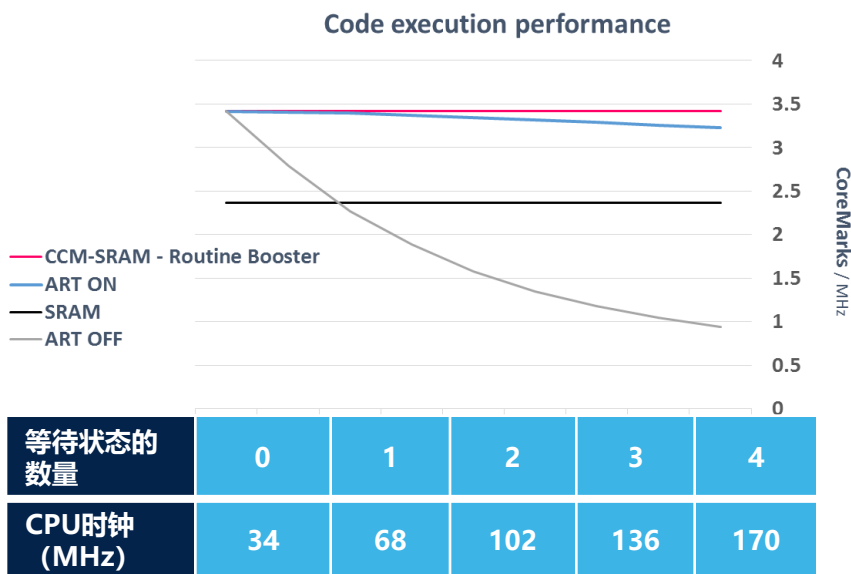


$(^{*})@ V_{\text{CC}} \leq 600\text{ V}, V_{\text{GE}} = 15\text{ V}, T_{\text{jstart}} = 150^{\circ}\text{C}$



用于Vienna PFC + 压缩机的STM32G431 CPU负载测试结果

工作	PWM频率	控制频率	任务持续时间	CPU负荷
压缩机FOC (无传感器, 1个分流电阻)	5 kHz	5 kHz	9.5 us	4.8%
PFC VOC	40 kHz	20 kHz	28.6 us	57.1%
PFC其他任务		2 kHz	8.9 us	1.8%
压缩机, 速度循环和其他任务		2 kHz	19.8 us	4%
总计				67.7%



纯170 MHz CPU性能 (Arm Cortex®M4) , 带3个加速器

Arm Cortex®-M4带FPU

CPU频率最高170 Mhz

最多213个DMIPS和569个CoreMark® 结果

3种不同的硬件加速器:

- ART加速器 (~动态缓存) →全代码加速 (平均)
- 程序执行加速器CCM-SRAM (~静态缓存) →保留决定论
- 数学运算加速器 (Cordic + FMAC)

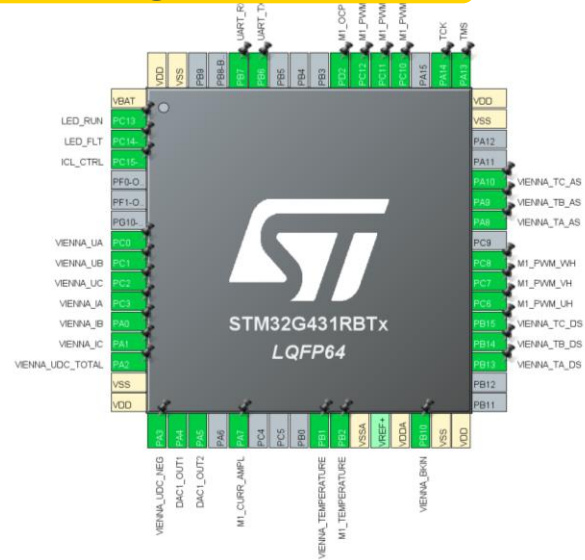
C + 压缩机的STM32G431 64引脚MCU中的所有功能

功能	数字I/O	模拟I/O	总计
压缩机	7	2	9
PFC & ICL	8	9	17
USART comm	2		2
SWD调试	2		2
其他模拟值		2	2
其他数字值	2		2
MCU功能			12
未使用	10	8	18
总计			64

MCU的OCP & 温度检测

MCU的OCP & OVP

Vdd, Vss, Boot, Vdda, Vssa,
NRST



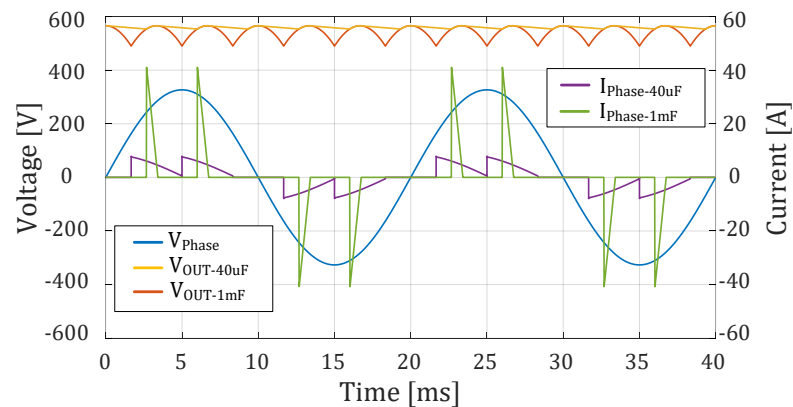
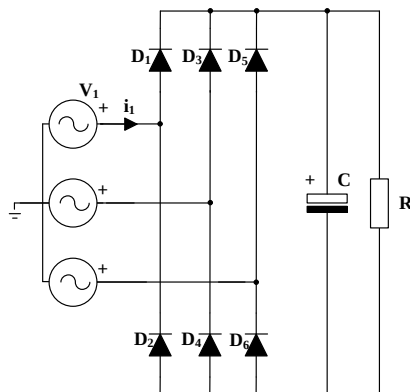
空间使用Vienna PFC + 电机控制:

Flash: 53 KB

RAM:14 KB



NO PFC

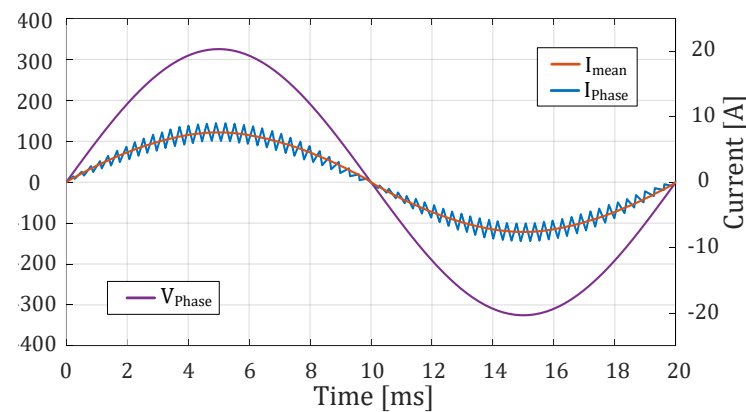
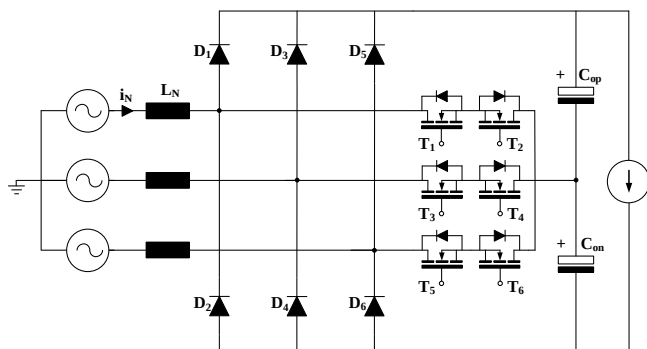


PFC 优势解析

$$CF = \frac{I_{peak}}{I_{rms}} = \text{HIGH}$$

$$PF = \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi}{1 + THD^2}} = \text{LOW}$$

PFC

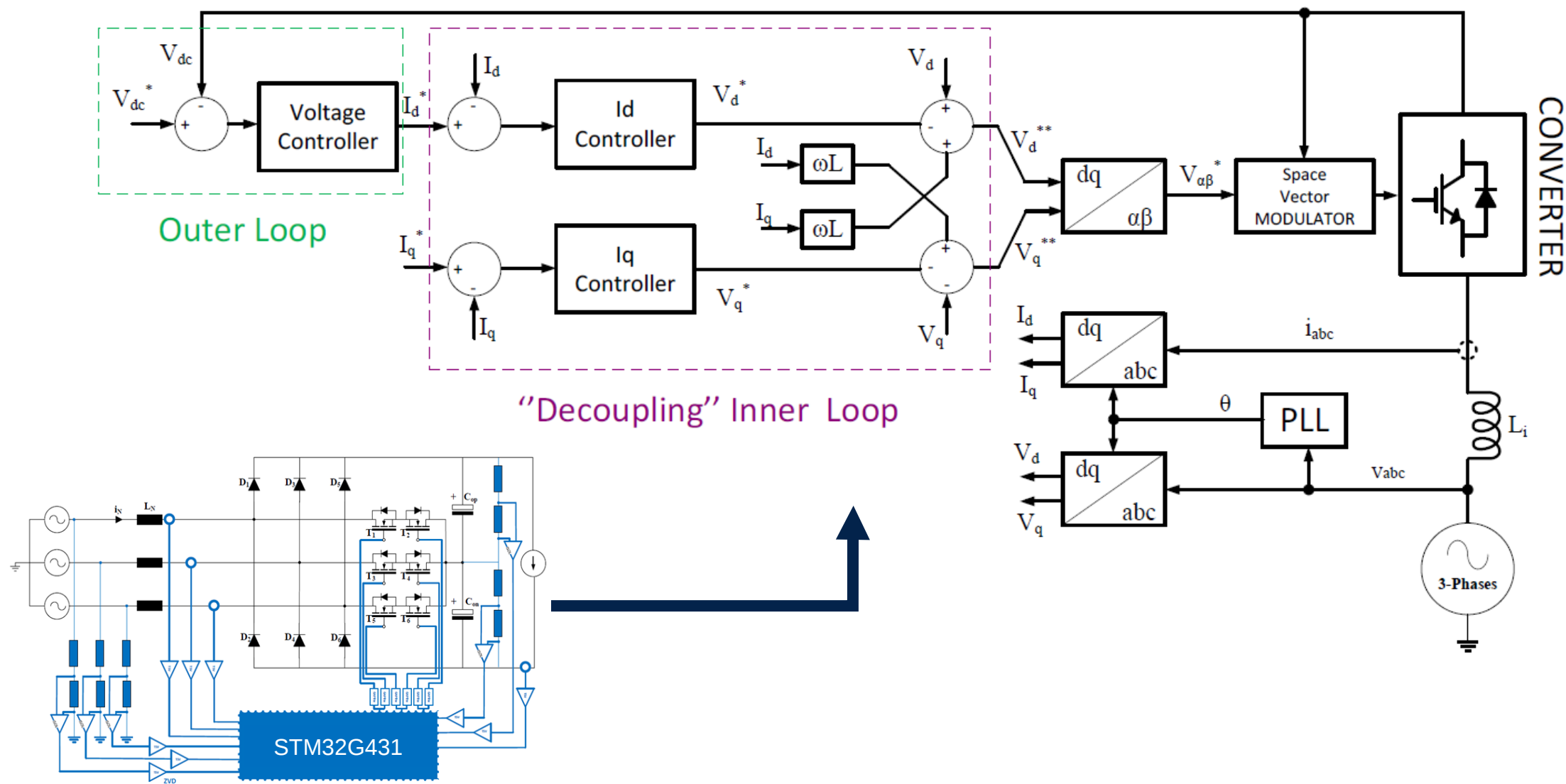


$$CF = \frac{I_{peak}}{I_{rms}} = 1.41$$

$$PF = \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi}{1 + THD^2}} = 1$$

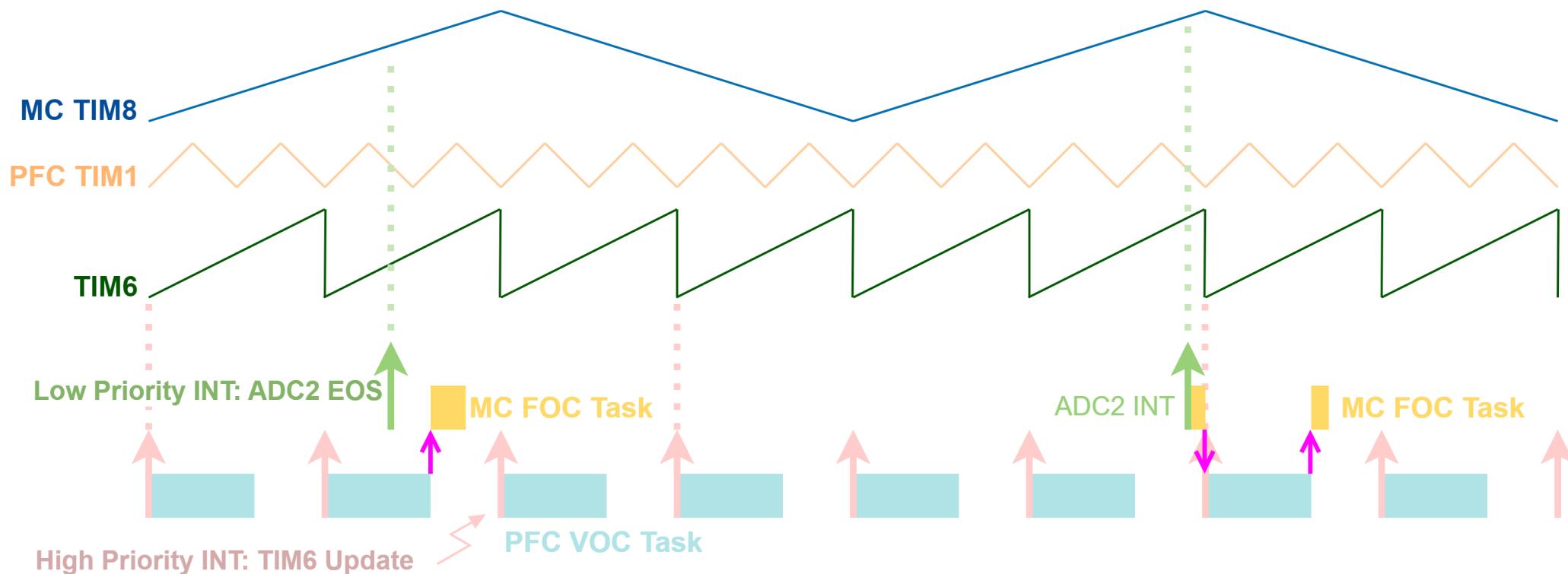


Vienna PFC 控制框图





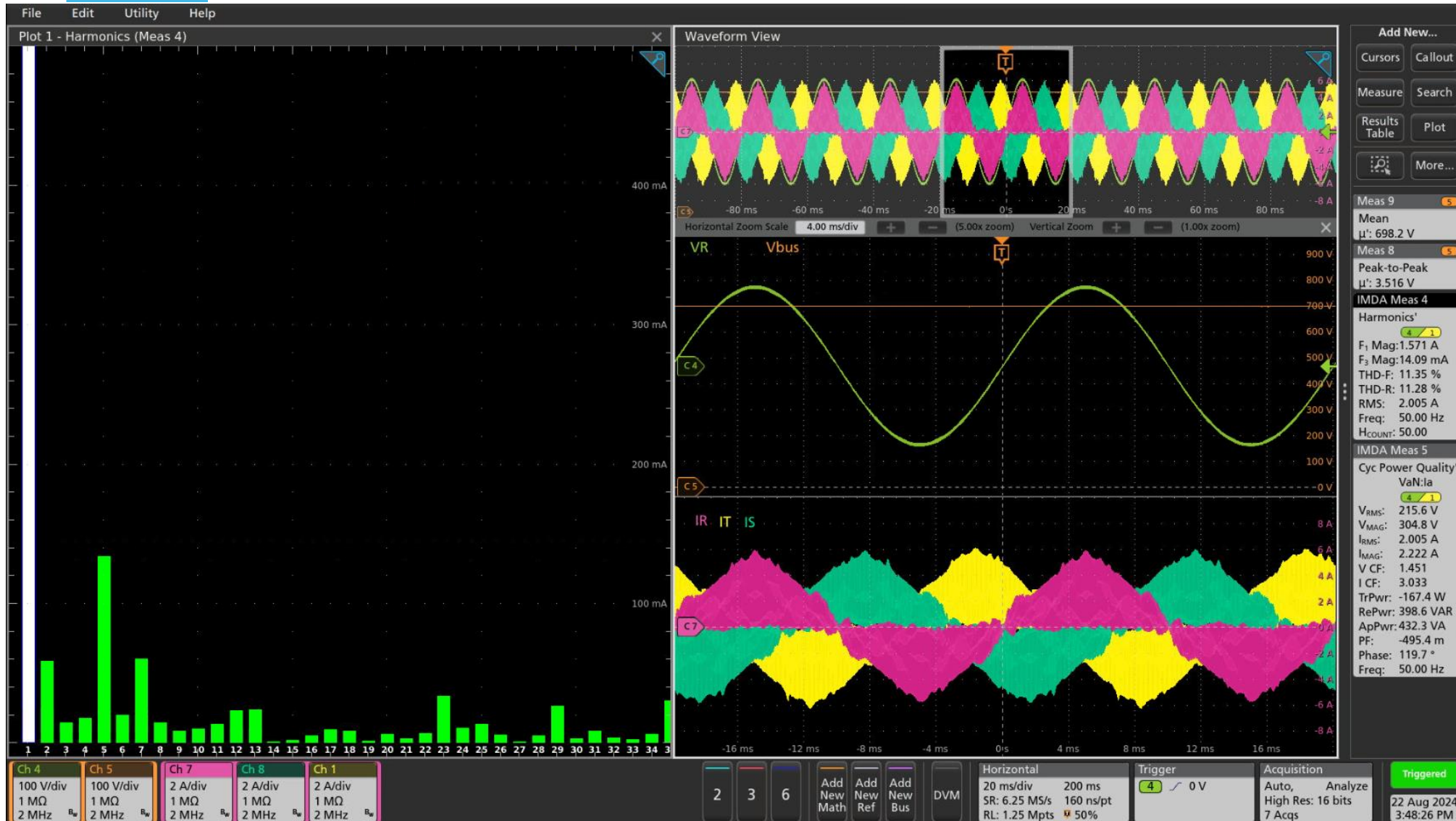
用于Vienna PFC + 压缩机的STM32G431 电机控制和Vienna：集成



- 1) TIM1用于PFC；TIM8用于MC
- 2) 在ADC2 INT中执行MC FOC任务，频率为5 kHz
- 3) 在TIM6 INT中执行PFC VOC任务，频率为20 kHz
- 4) PFC任务的优先级高于MC任务

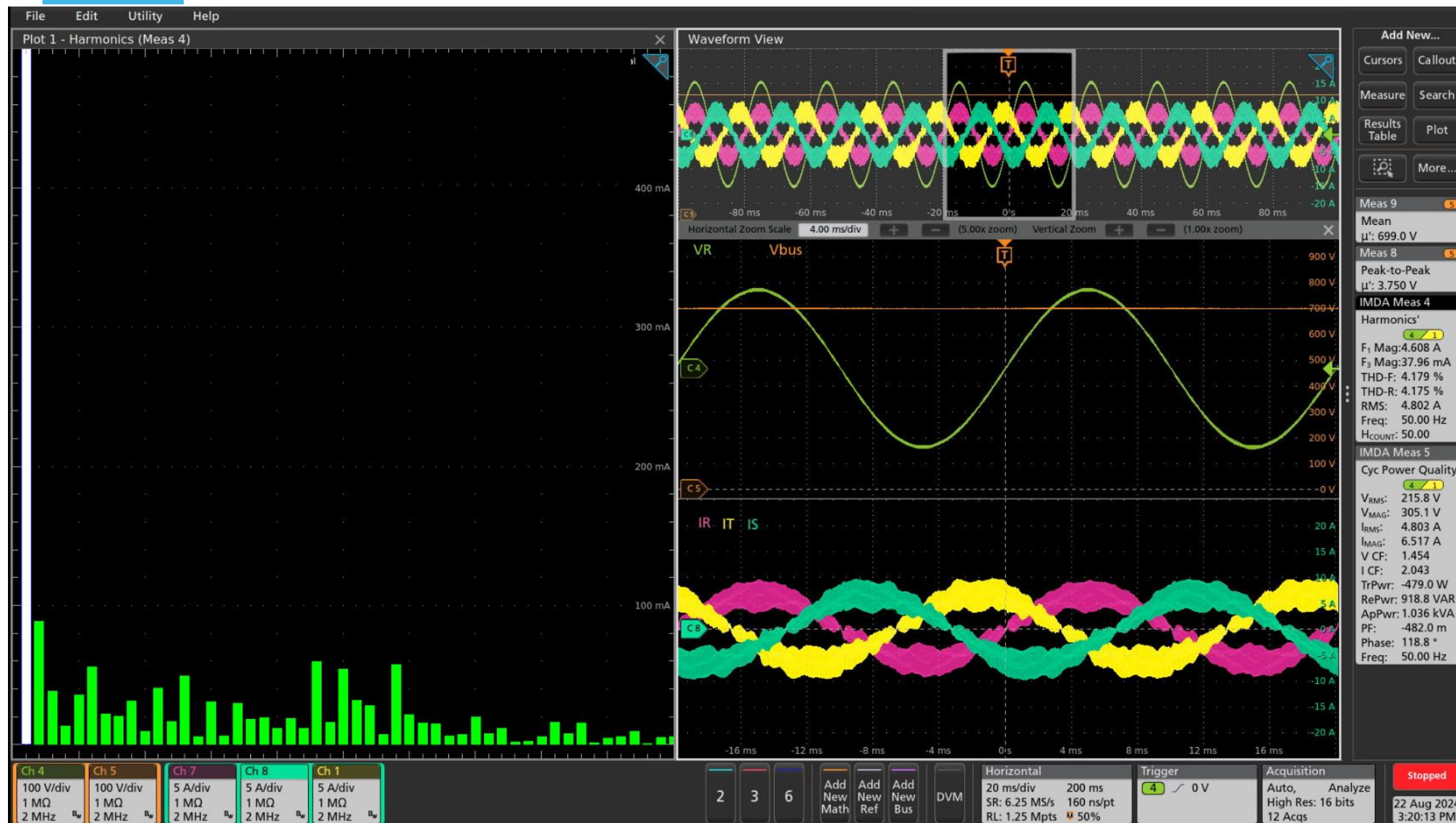


实验: Vienna PFC @1 kW



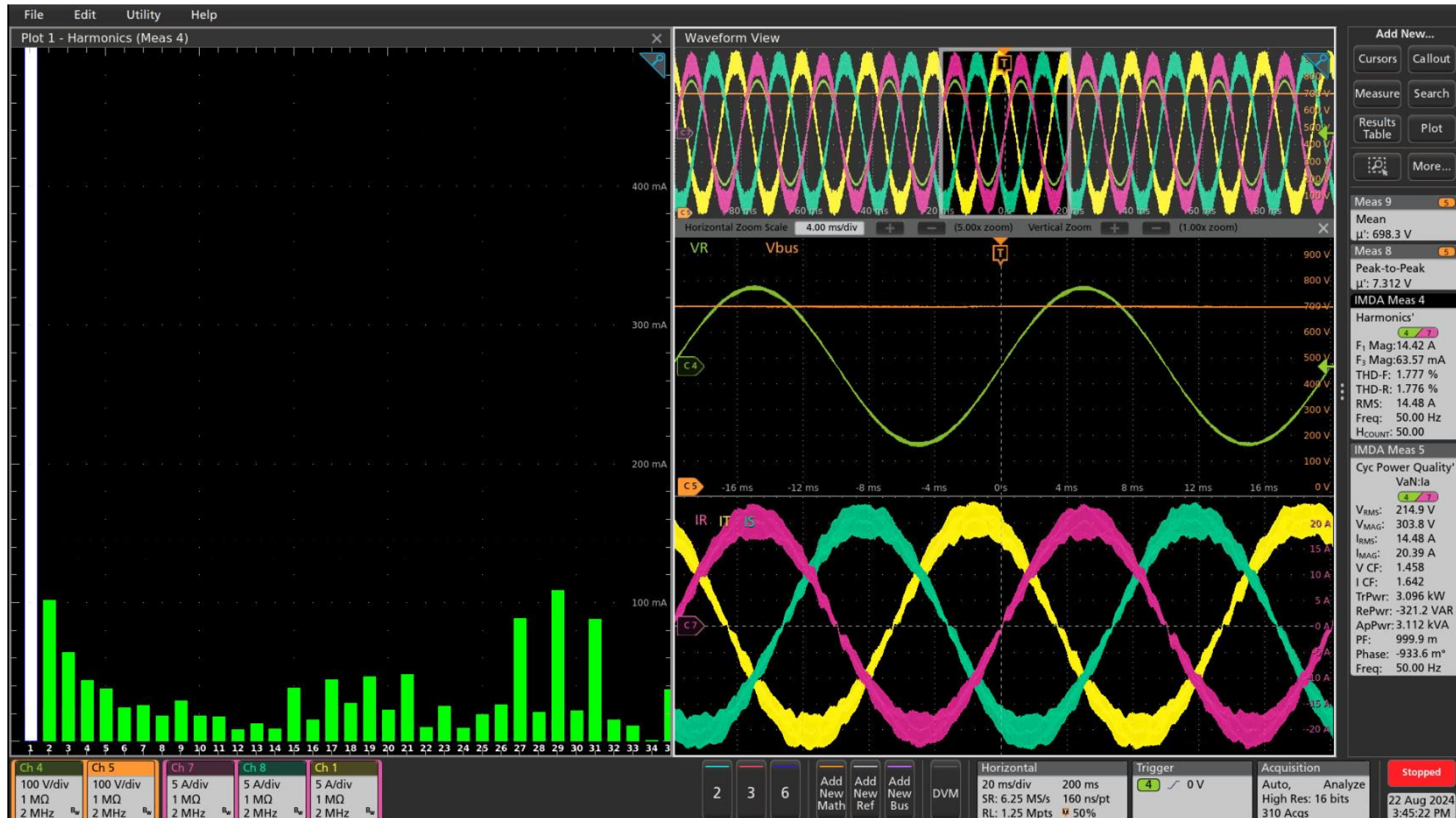


实验: Vienna PFC @3 kW





实验：Vienna PFC @10 kW

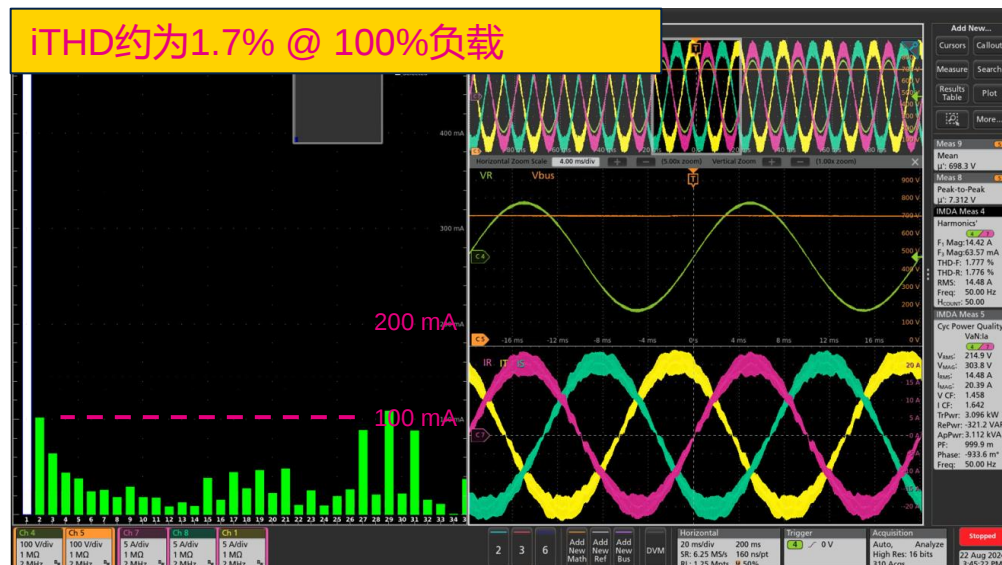
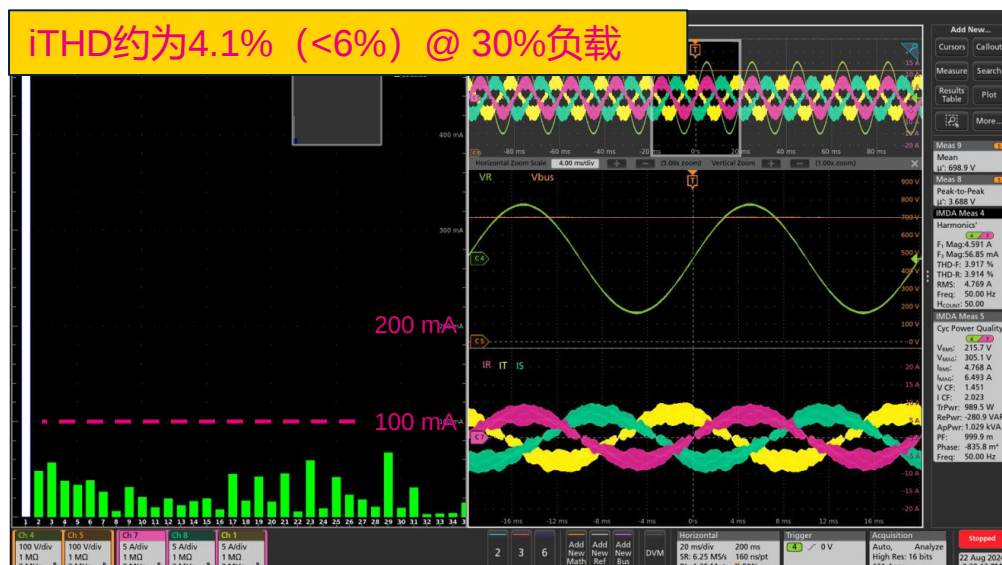
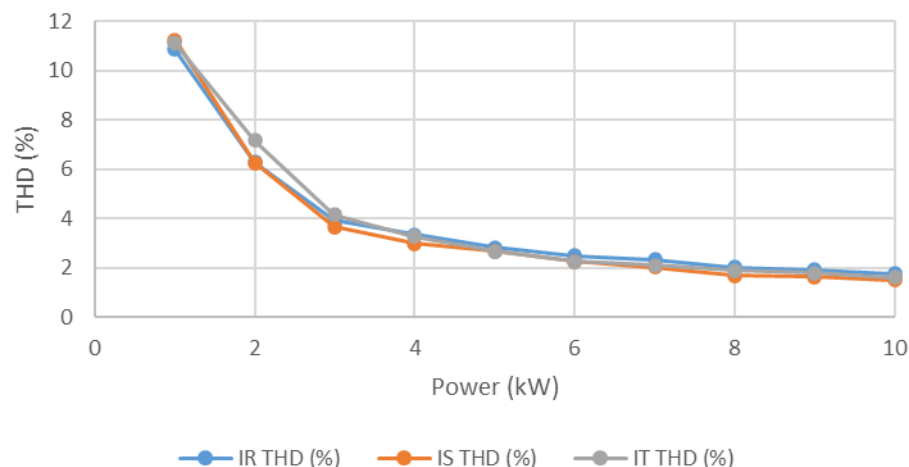




实验：iTHD结果

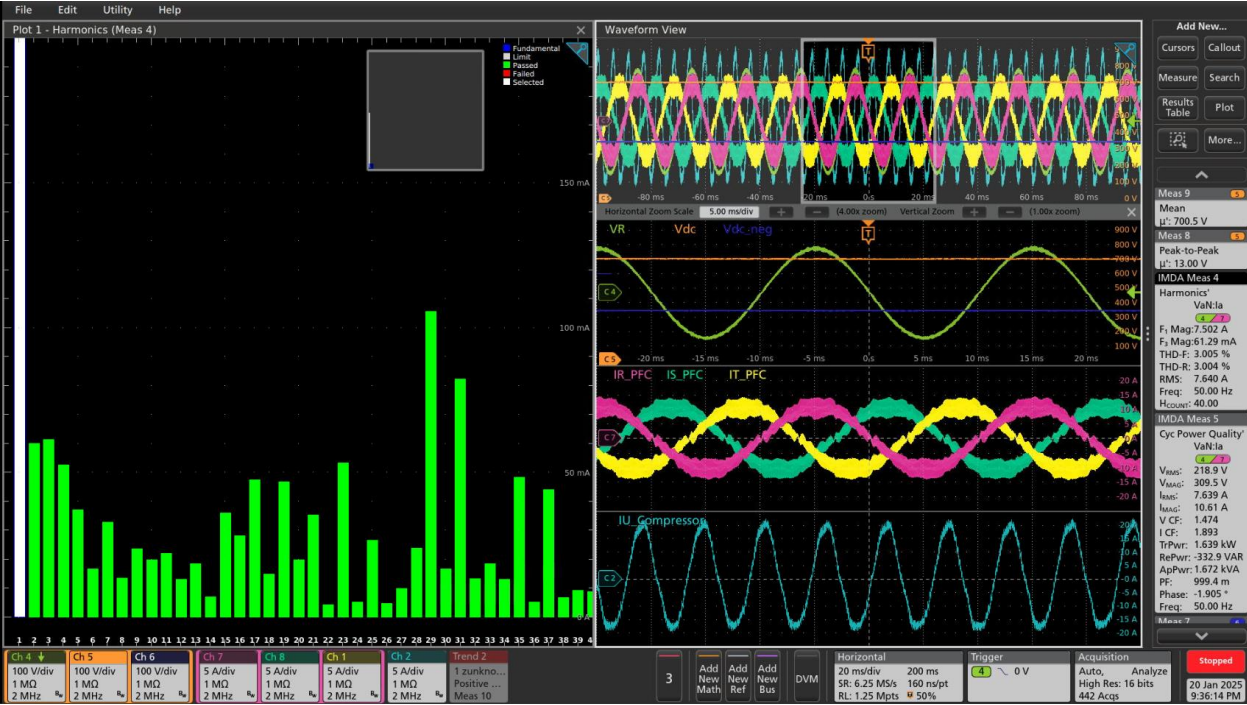
电源 (kW)	IR THD (%)	IS THD (%)	IT THD (%)	Vbus波动 (V)
1	10.87	11.25	11.11	3.734
2	6.285	6.258	7.164	3.562
3	3.917	3.649	4.156	3.688
4	3.351	2.974	3.272	4.094
5	2.833	2.678	2.665	4.703
6	2.499	2.257	2.254	4.781
7	2.335	2.019	2.093	5.094
8	2.02	1.691	1.892	5.703
9	1.917	1.641	1.802	6.922
10	1.777	1.493	1.6	7.312

AC Current THD

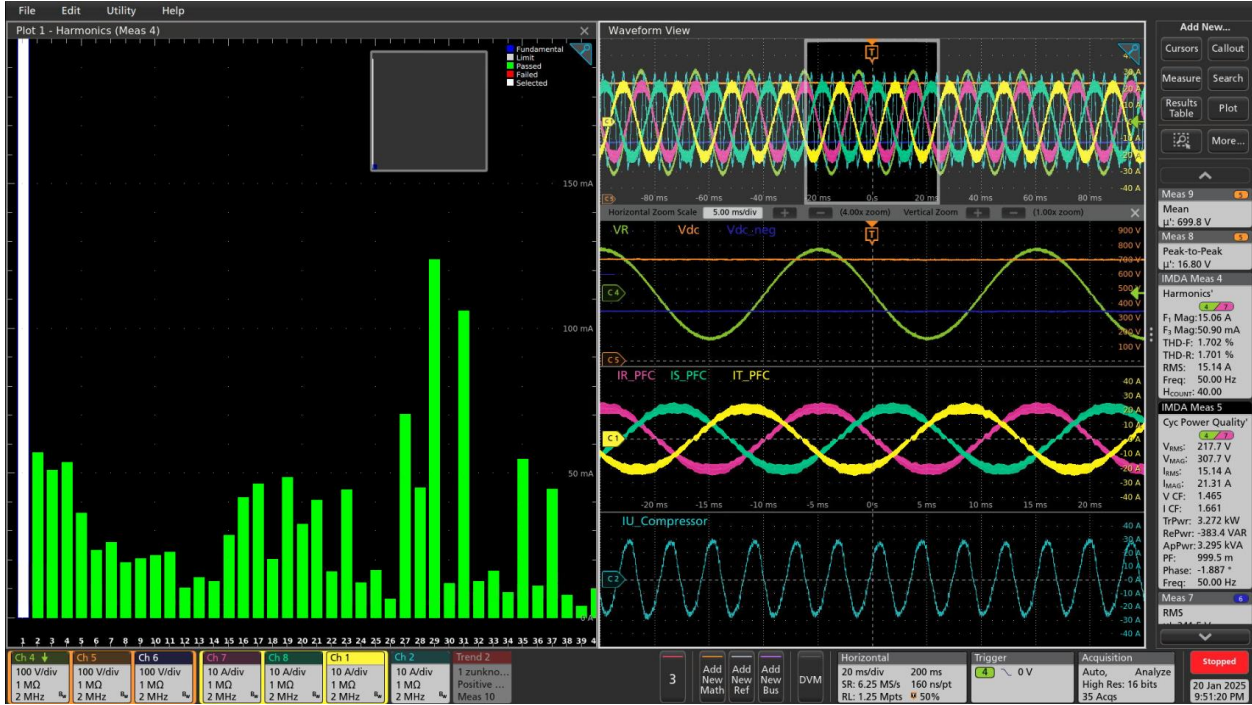




实验：压缩机



5 kW



10 kW



冷却系统解决方案 用于RAC、热泵、HVAC、数据中心和BESS

复杂性/
能源效率



该幻灯片中的零件编号只是示例：最终BOM需与营销部门商定



FOC
Vienna

3xFOC
d-IntPFC

2xFOC
d-IntPFC

2xFOC
d-PFC

FOC
d-PFC

@ MCCC可用



2 kW RAC
STM32G0
+STGIF10 + dPFC

1 kW

@ MCCC可用



2 kW RAC
STM32G4 +
STGIB10x
DualMC + d-PFC

2 kW

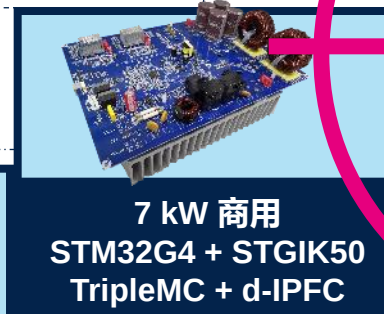
@ MCCC可用



4 kW 商用
STM32G4 + STGIB30
SLLIMM™
DualMC + d-I-PFC

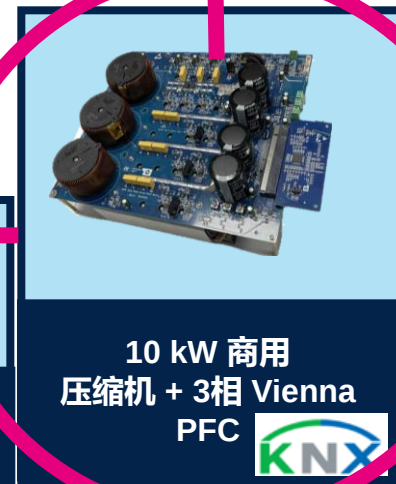
4 kW

@ MCCC可用



7 kW 商用
STM32G4 + STGIK50
TripleMC + d-IPFC

7 kW



10 kW 商用
压缩机 + 3相 Vienna
PFC

10 kW



零件编号仅供参考。请与负责市场营销的ST当地代表商定最终BOM



STM32电机控制生态系统

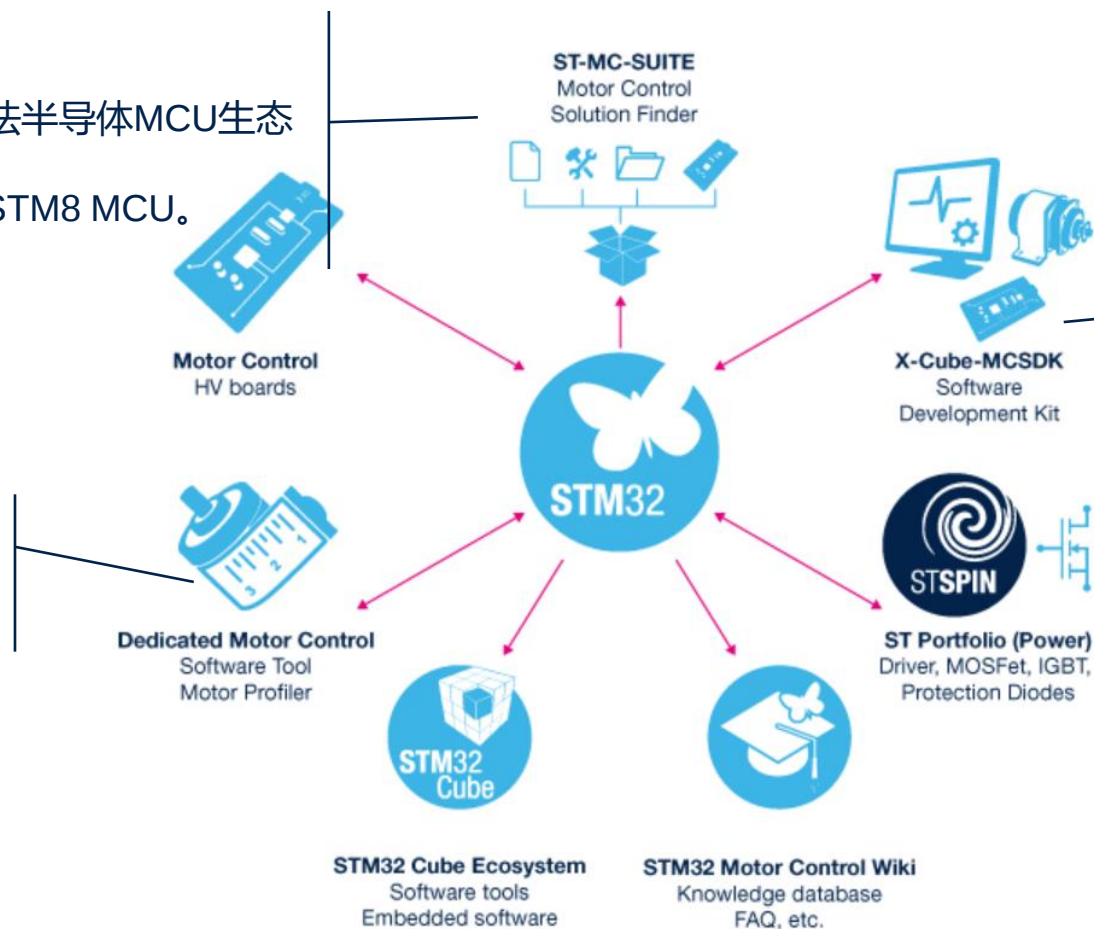
访问STM32电机控制专用页面:
www.st.com/stm32-motor-control

电机控制套件

- 在线工具，有助于轻松访问意法半导体MCU生态系统中的电机控制资源
- 适用于STM32、STSPIN32和STM8 MCU。

电机控制分析仪

- 自动检测关键参数 (Rs、Ls、Ke)
- 无需任何设备
- 适用于STM32 MCU。



电机控制软件开发工具包 (SDK)

- 电机控制固件库：完整的特征库
- ST电机控制工作站：图形化配置器/监视器
- 适用于STM32、STSPIN32 MCU。



推动可持续创新 聚焦领先应用领域

扫描二维码
获得更多资讯



意法半导体工业电子



能以致动子网站

Thank you



了解更多信息，请访问www.st.com