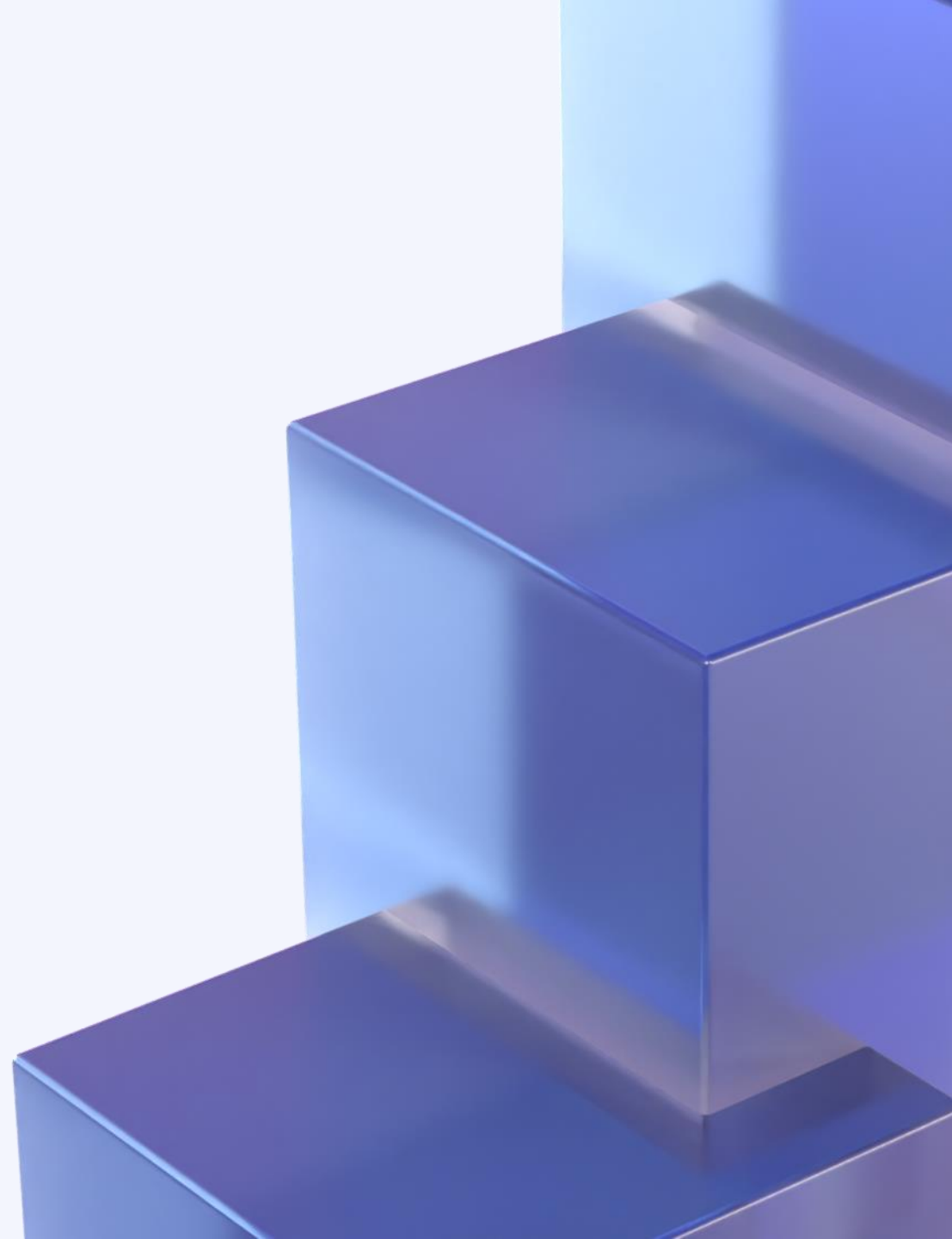




MPS Powers Humanoid Robots

没有运动，机器人只是一尊雕塑

- 2025岁末



人形机器人学导论

人形机器人模块

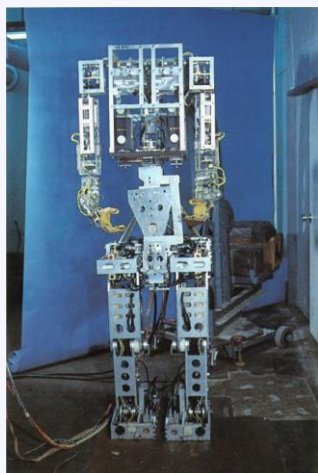
适合人形机器人的MPS电机功率驱动

适合人形机器人的MPS磁传感器

适合灵巧手的空心杯电机一体化方案

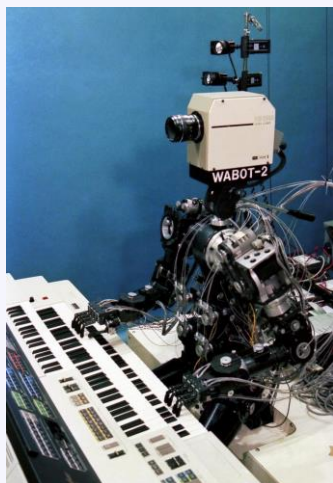
人形机器人发展历程

1970's



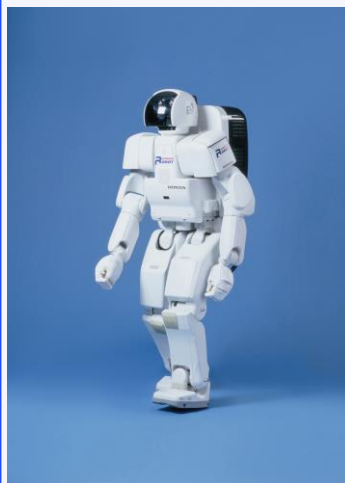
WABOT - 1

1980's



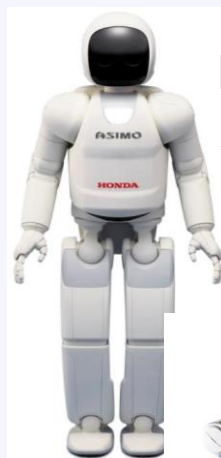
WABOT - 2

1990's



HONDA
E & P
Series

2000's

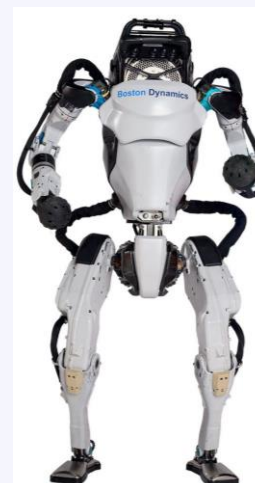


Honda
Asimo



Kawada
HRP-2

2010's



Boston
Dynamics
Atlas



DRC Hubo



Toyota
T-HR3



	Tesla	Figure AI	Agility Robotics	Apptronik	Sanctuary AI
名称	Optimus	Figure 02	Digit	Apollo	Phoenix
高度 (cm)	~173	~168	~175	~172	~170
重量 (Kg)	~56-73	~60	~65	~72	~70-75
有效载荷	~20 Kg	~20 Kg	~16-18 Kg	~25 Kg	~25 Kg
最高速度(Km/hr)	8	2.7	3.3	3.4	2.7
自由度	~50-55	~40	~20	~30	~55

主要挑战



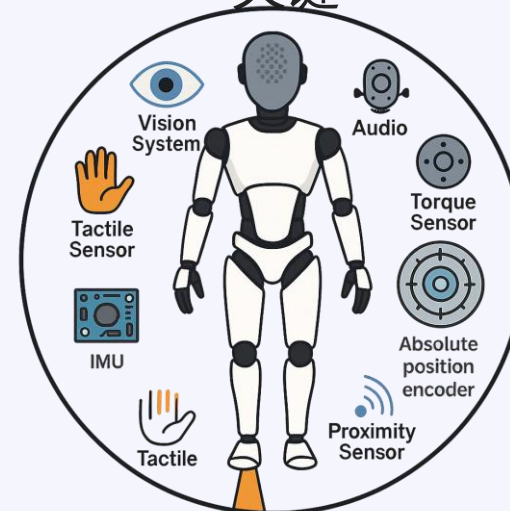
- 在实现类人运动的同时实现驱动和功率密度
- 实时进行大量电机协调
- 平衡与移动



人机交互安全



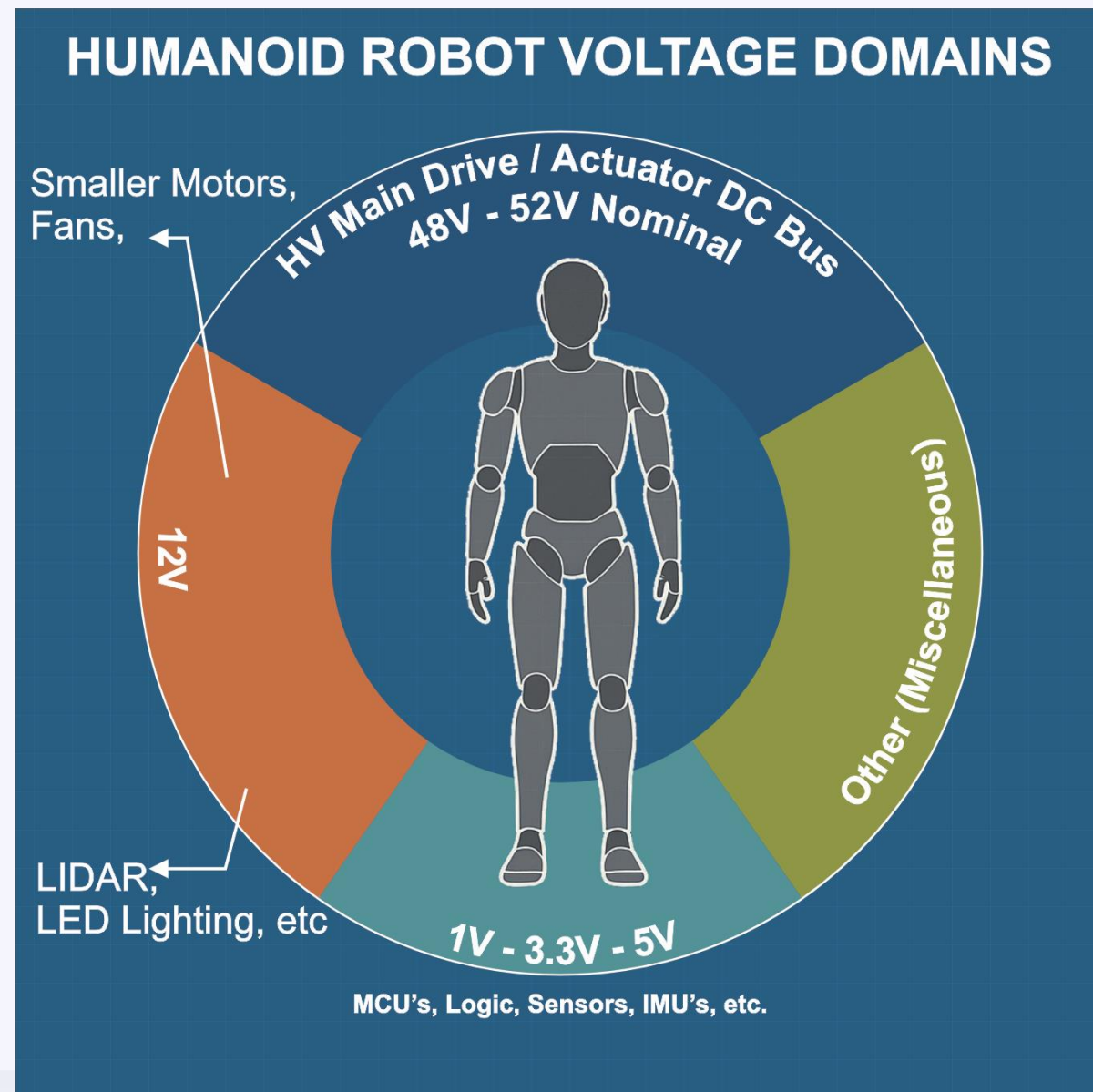
功耗和电池续航——效率是关键



高集成度传感器与信号反馈质量

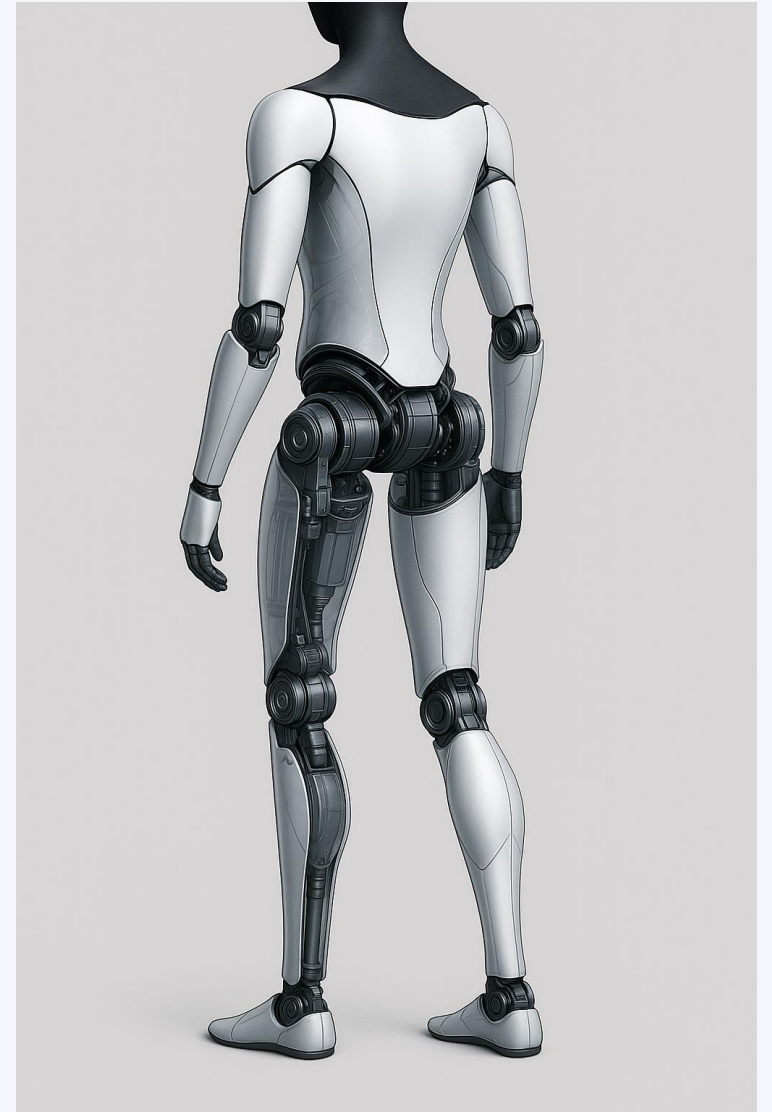
	Tesla	Figure AI	Agility Robotics	Apptronik	Sanctuary AI
机器人名称	Optimus	Figure 02	Digit	Apollo	Phoenix
电池电压	48V	48V	48V	48V	48V
电池类型	2.3 KHW Li-Ion	2-2.5 KHW Li-Ion	2-3 KHW Li-Ion	Li-Ion (swapable)	Li-Ion
运行时间 (小时)	~8	~5	~4-6	~4	~4-5
功率预算	2 KW Peak	2 KW Peak	2 KW Peak	2 KW Peak	2.5 KW Peak
冷却	Air Cooled (fans)	Air Cooled (fans)	Air Cooled (fans)	Air Cooled (fans)	Air Cooled (fans)
电机数量	~50	~40	~20-24	~30	~30
电机类型	PMSM	PMSM/BLDC	BLDC	PMSM/BLDC	PMSM/BLDC
传动结构	Harmonic	Harmonic + Custom	Custom Belt + geared	Harmonic/cycloidal	Harmonic/cycloidal
编码器	Abs Magnetic Position Encoders	Abs Magnetic Position Encoders	Abs Magnetic Position Encoders	Abs Magnetic Position Encoders	Abs Magnetic Position Encoders
传感器	Torque, IMU, Joint Angle, Vision	IMU, Joint Angle, torque, Vision, tactile	IMU, foot contact, force, stereo vision	IMU, vision, force, end effector sensors	IMU, vision, force, end effector sensors

- 48V – 低于60V 安规
- 通过降压 DC/DC 转换器用于达到较低的电压轨。
- 大多数电机将在标称 48V 下运行。
- 手部马达可以在 12V/24V 下运行。
- 冷却风扇将以 12V 运行。

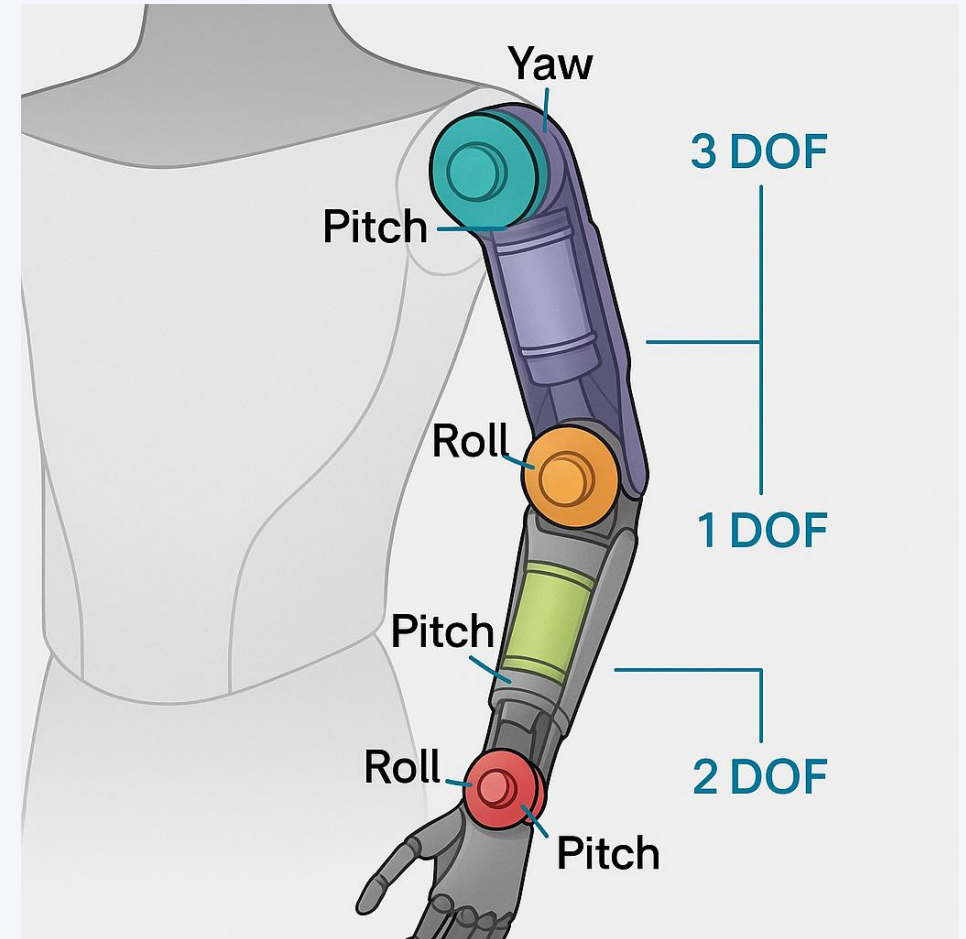


关节	电机结构	平均功率(W)	峰值功率(W)
肩部 (3 DOF)	PMSM + Harmonic Drive	300	700
肘部 (1 DOF)	PMSM + Harmonic Drive	200	400
手腕 (2 DOF)	PMSM + Compact Gearbox	100	200
手 (10+ DOF per hand)	Mini PMSM or DC Coreless Motors	30	80
髋部 (3 DOF)	PMSM + Harmonic Drive	400	1000
膝盖 (1 DOF)	PMSM + Harmonic Drive	250	600
脚踝 (2 DOF)	PMSM + Compact Harmonic/Cycloidal	150	300
颈部 (2–3 DOF)	Miniature PMSM	50	120
躯干 (2 DOF)	PMSM + Cycloidal or Direct Drive	75	200

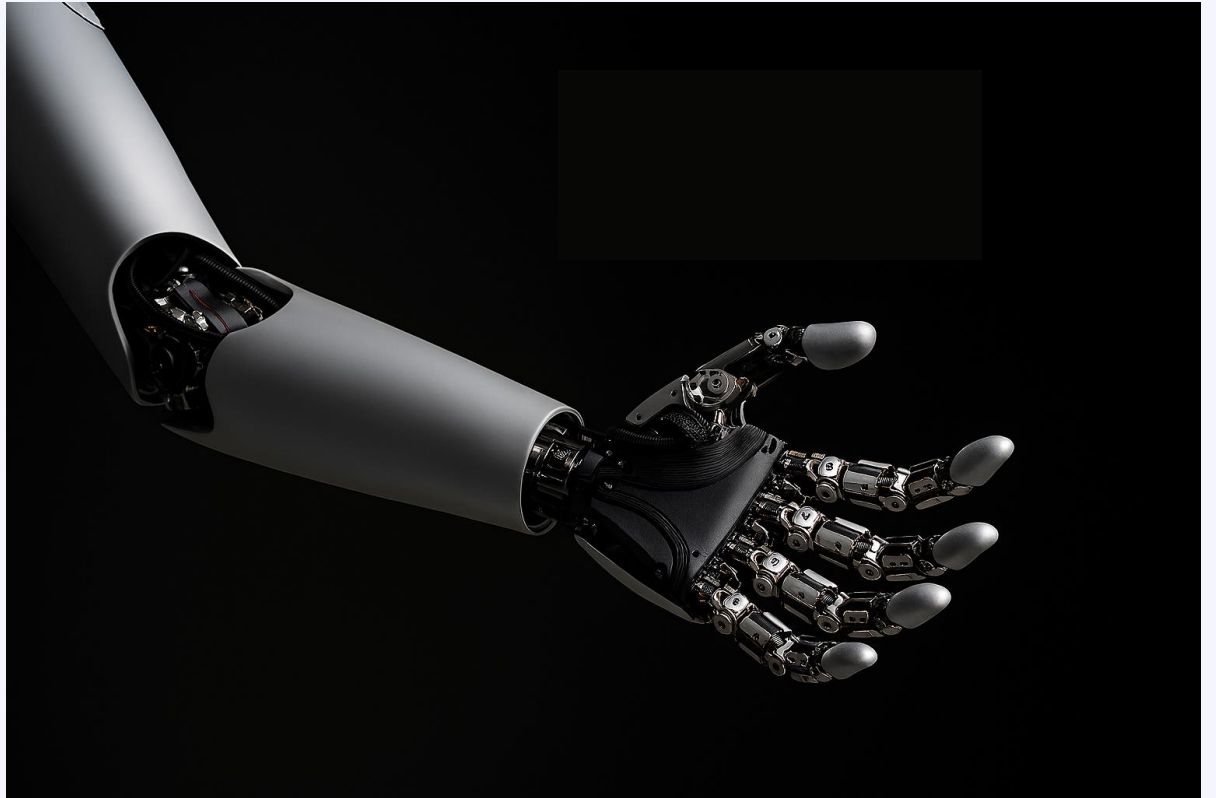
- 自由度(DOF)
 - 髋: 3 DOF
 - 膝: 1 DOF
 - 踝: 2 DOF
- 典型电机结构
 - 带磁绝对位置编码器的永磁同步电机
- 功率需求 (每个腿单元):
 - 48V 输入
 - 峰值电流: 40-60A
 - 持续电流: 10-30A
 - 平均功率: 400-800W
- 特殊条件:
 - 3-4 KW 突发负载模式 (例如弹跳)



- 自由度 (DOF)
 - 肩: 3 DOF
 - 肘: 1 DOF
 - 腕: 2 DOF
- 典型电机结构
 - 带磁绝对位置编码器的永磁同步电机
- 功率需求:
 - 48V 输入
 - 峰值电流: 20-40A 突发期间
 - 持续电流: 5-15A
 - 平均功率: 200-500W



- 自由度 (DOF)
 - 手指 (屈曲/伸展): 3 DOF
 - 手指 (外展): 1 DOF
 - 拇指: 4-5 DOF
 - 手腕: 2 DOF
- 典型电机结构
 - 空心杯电机带磁绝对值编码器
- 功率需求:
 - 12V to 48V 输入
 - 峰值电流: 5-8A 突发负载
 - 持续电流: 1-5A
 - 平均功率: 50-100W



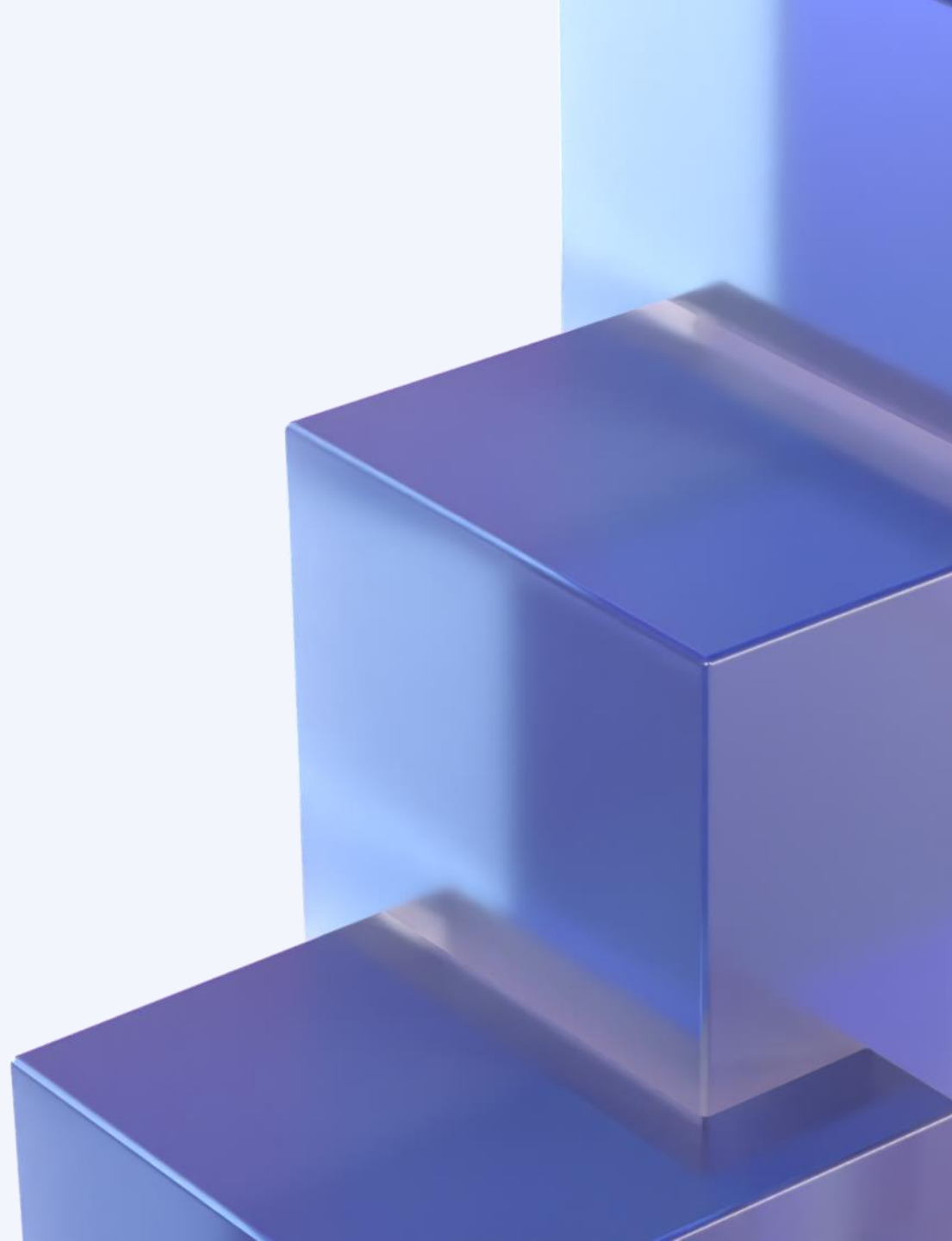
关节/自由度	交流感应电机	有刷直流电机	步进电机	无刷直流 (BLDC)	空心杯无刷直流 (Coreless)	永磁同步电机 (PMSM)
肩部 (3 自由度)	未使用	未使用	未使用	有时	未使用	标准
肘部 (1 自由度)	未使用	未使用	未使用	有时	未使用	标准
手腕 (2 自由度)	未使用	稀有 (抓手)	罕见 (简单的手腕)	常见的	稀有的	首选
手/手指 (10+ DOF)	未使用	稀有 (手指、眼睛)	未使用	常见的	首选 (手指、眼睛)	不太常见
髋部 (3 自由度)	未使用	未使用	未使用	有时	未使用	标准
膝盖 (1 自由度)	未使用	未使用	未使用	有时	未使用	标准
脚踝 (2 自由度)	未使用	未使用	未使用	常见的	未使用	标准
颈部 (2-3 自由度)	未使用	罕见 (眼睑)	稀有的 (研究机器人的颈部)	有时	有时 (颈部或眼睑)	首选
躯干 (2 自由度)	未使用	未使用	未使用	有时	未使用	标准



FOC驱动

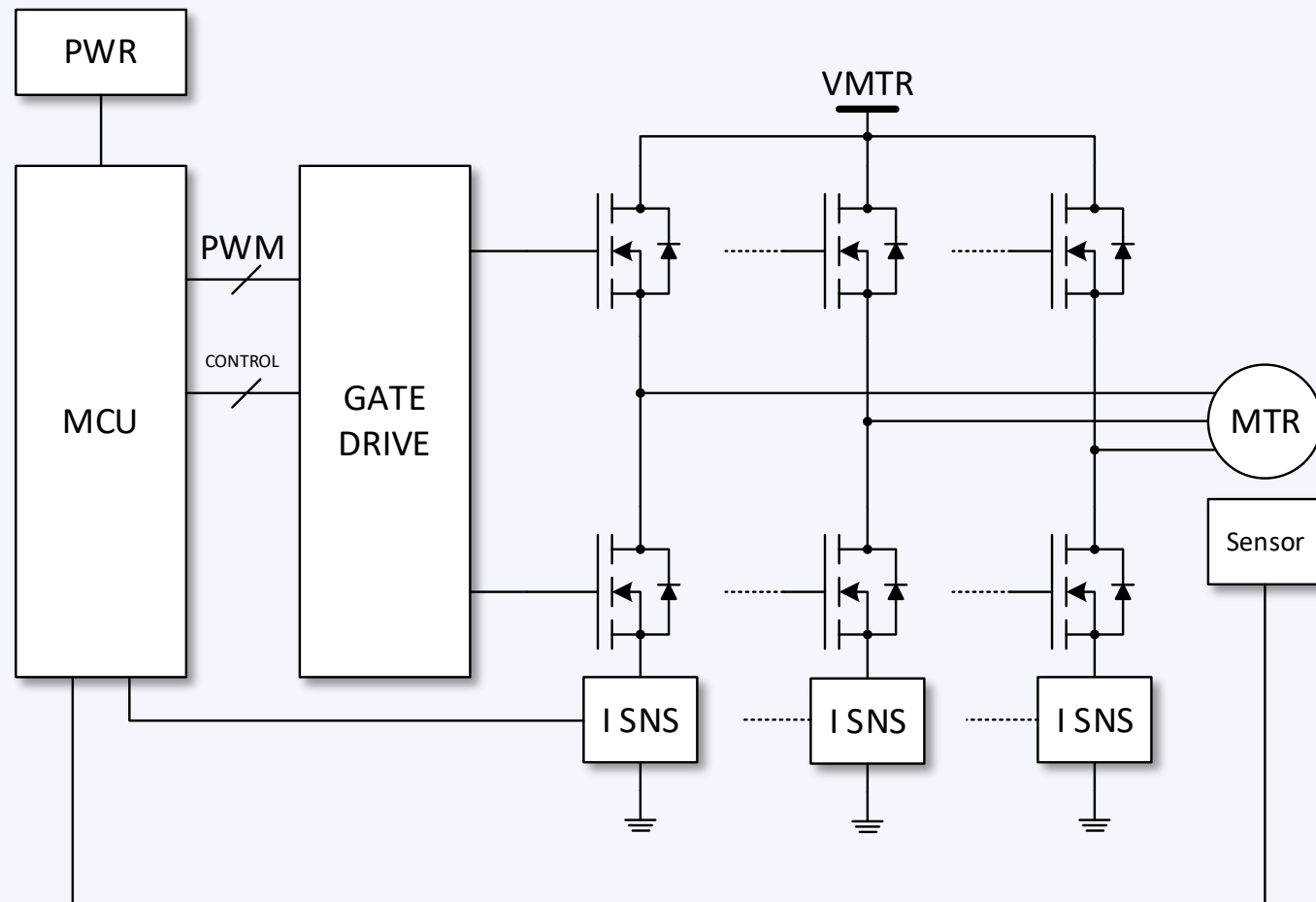
MPS

MPS功率驱动



典型的三相逆变器

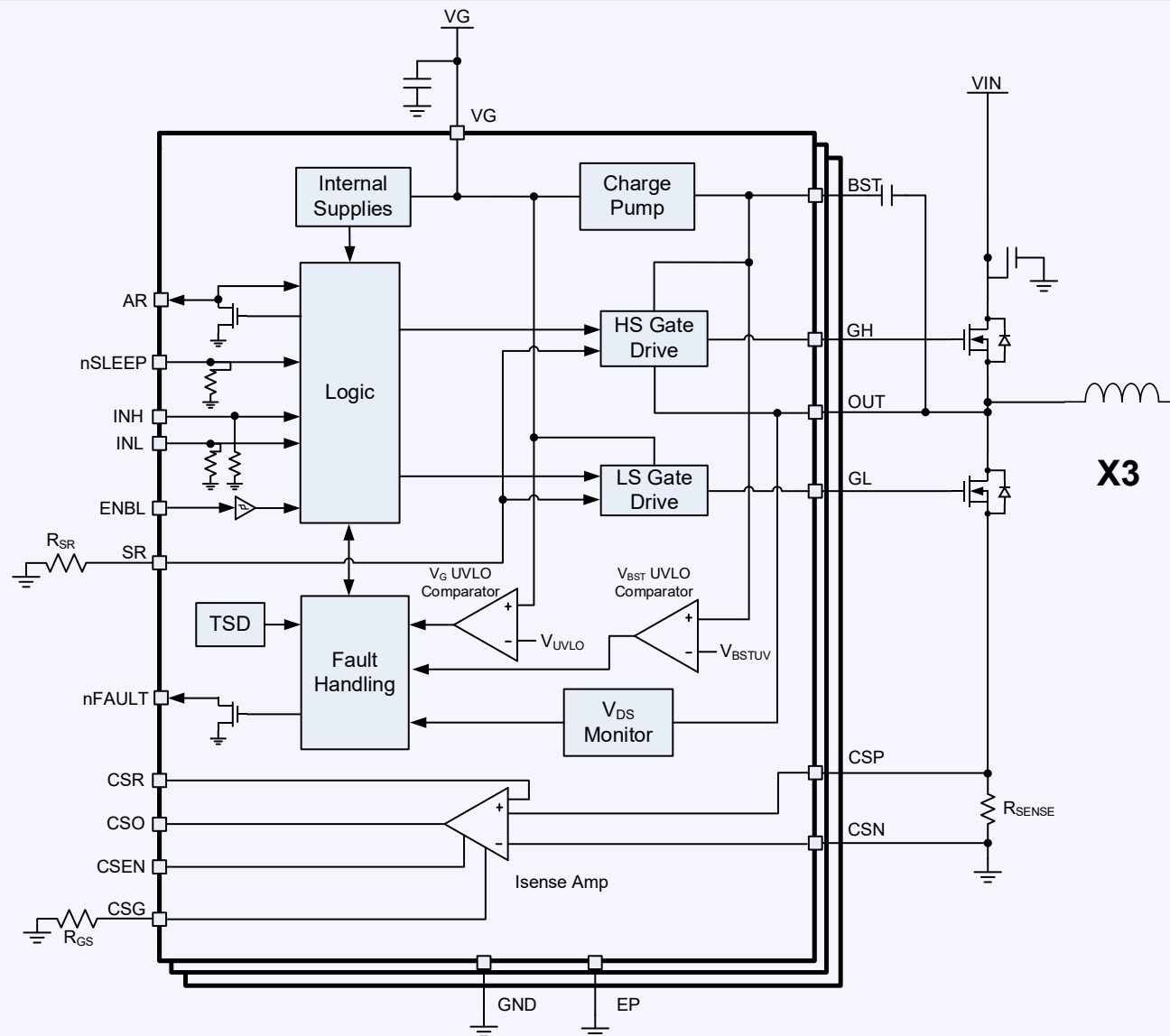
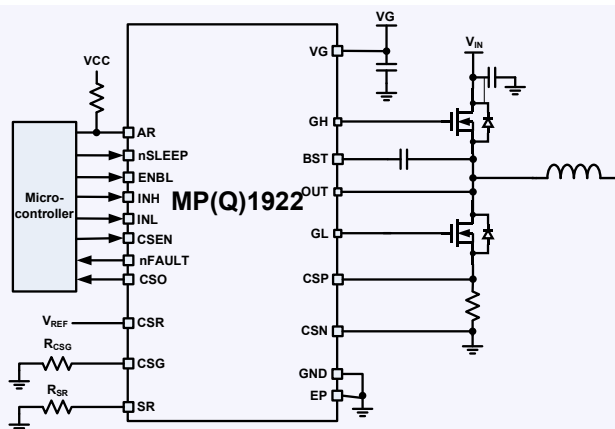
- 功率级：6 通道 N-MOS
- 高电流栅极驱动器
- 电流感应
- 微控制器/DSP (FOC)
- 电源管理
- 绝对位置编码器
- 保护模块



带半桥栅极驱动器的三相逆变器

特征

- 5V-15V输入电压，支持 100V 电源操作
- 3A 拉电流、4A 灌电流栅极驱动
- 内部电荷泵和 自动预充电
- 可编程控制驱动电流
- 低功耗睡眠模式 (0.1 μ A)
- 集成电流检测放大器
- 固有保护功能：
 - 外部 MOSFET 的去饱和保护
 - 过温保护、欠压锁定
 - 故障指示输出
- 符合 AEC-Q100 1 级标准

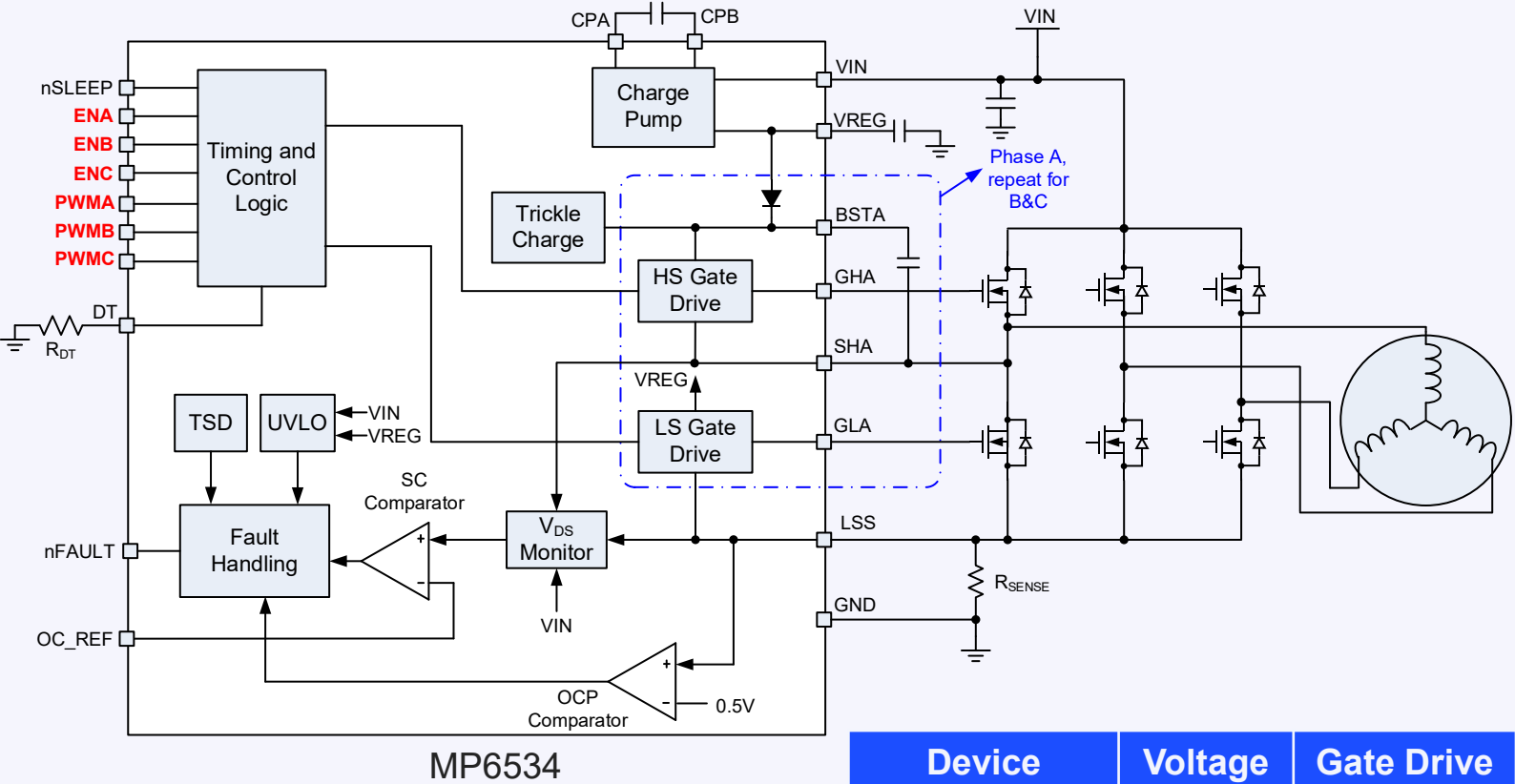


三相逆变器栅极驱动器



对于中等功率负载:

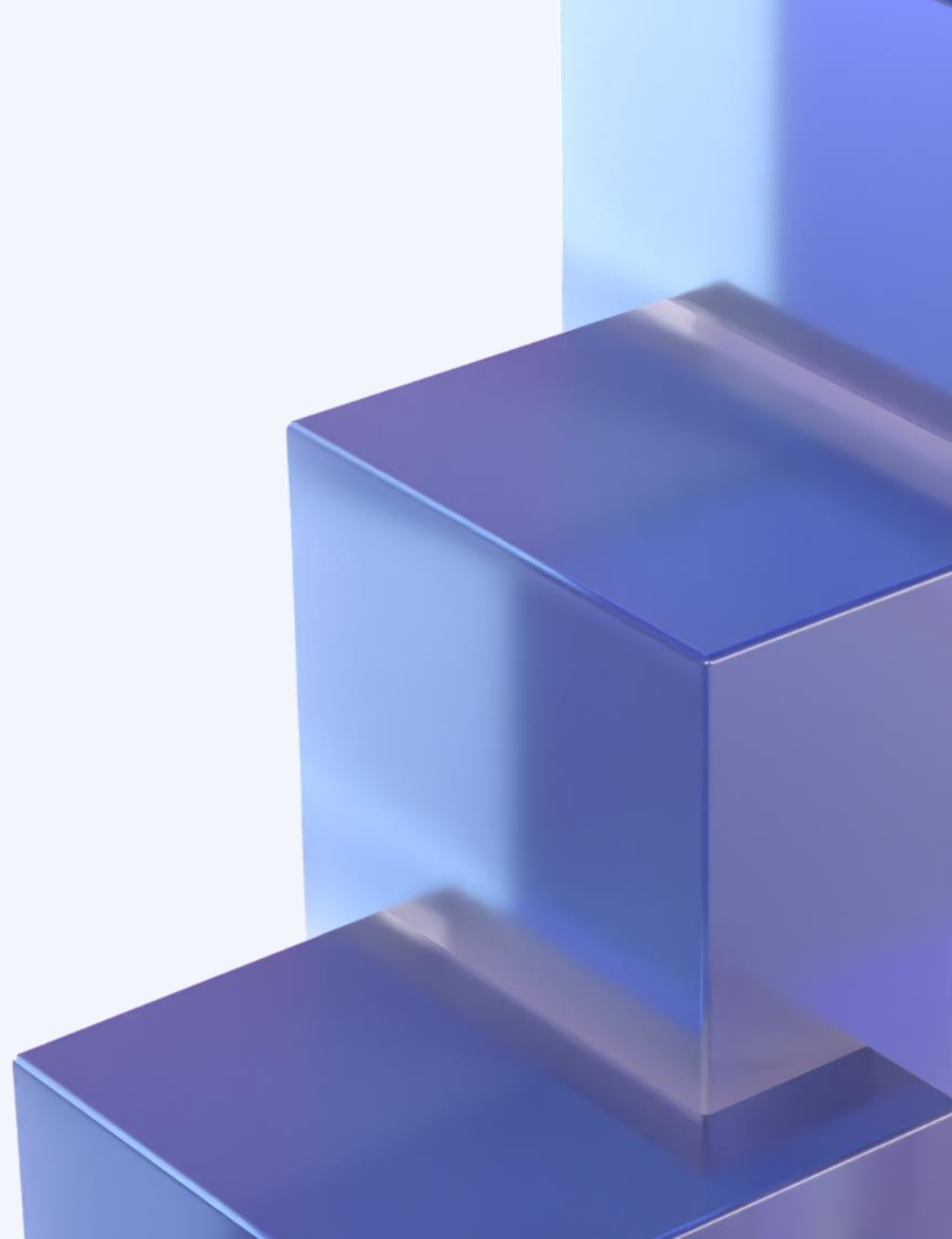
- N沟道MOSFET驱动器
- 电荷泵支持
- 过流保护
- 集成自举二极管
- 多个控制接口
 - Lx/ Hx
 - EN/PWM
 - DIR/PWM/BR
 - SPI
- 保护和故障报告



Device	Voltage	Gate Drive Strength
MP6530/31	60V	1.0A/0.8A
MP6534/35	55V	1.0A/0.8A
MP6537/38/39	100V	1.0A/0.8A

MPS

MPS电流检测

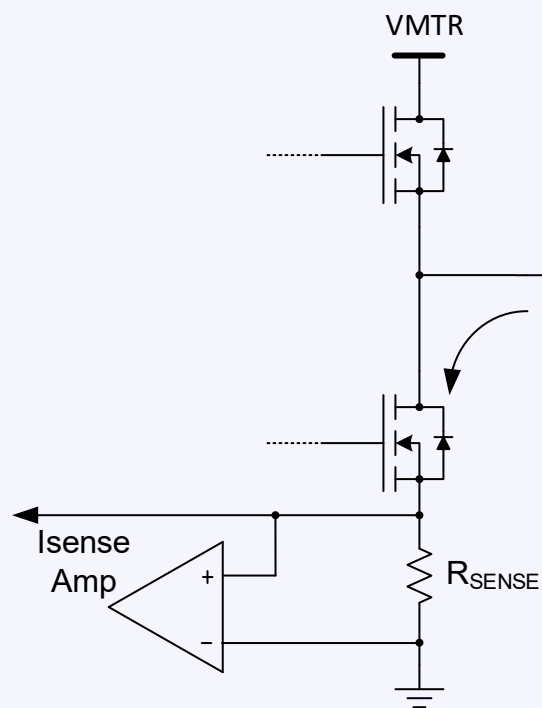


优点:

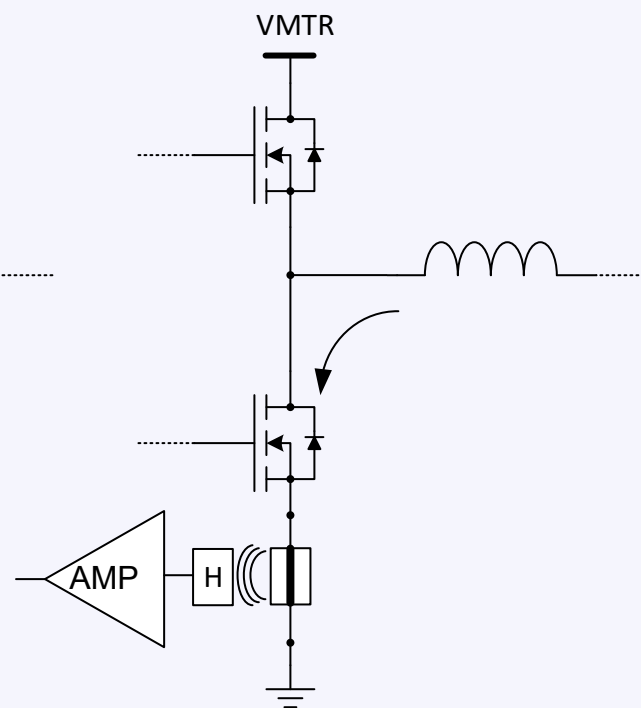
1. 降低成本
2. MHz 带宽

缺点:

- 功率耗散
- 优先考虑低侧感测
- 电流范围有限
- 无隔离
- 需要放大器



Resistive Shunt Current Sense



Magnetic Hall Sensor Based Current Sense

优点:

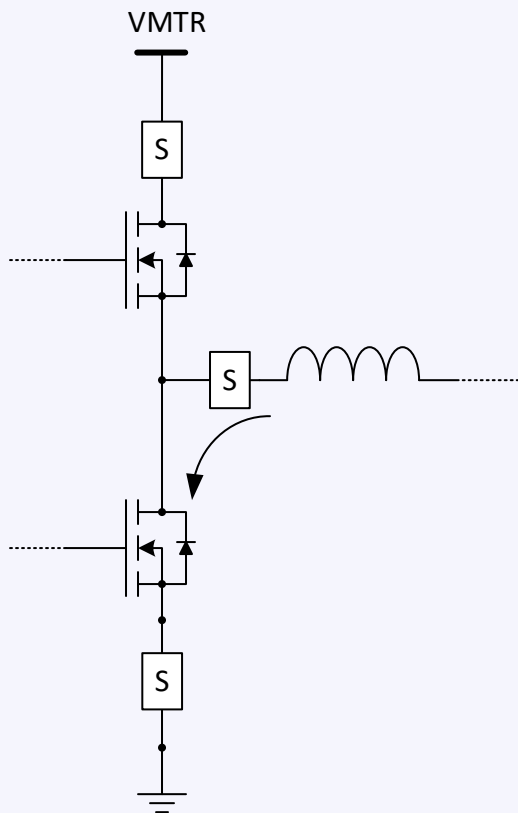
1. 隔离
2. 高边、相线、低边自由放置
3. 更低的功耗
4. 抗噪能力

缺点:

- 带宽有限, 最高 350kHz (高带宽产品尚未工程化)

- 免疫GND 信号噪音
- 检测/保护对地短路
- 检测/保护直通短路
- 需要高压共模运放

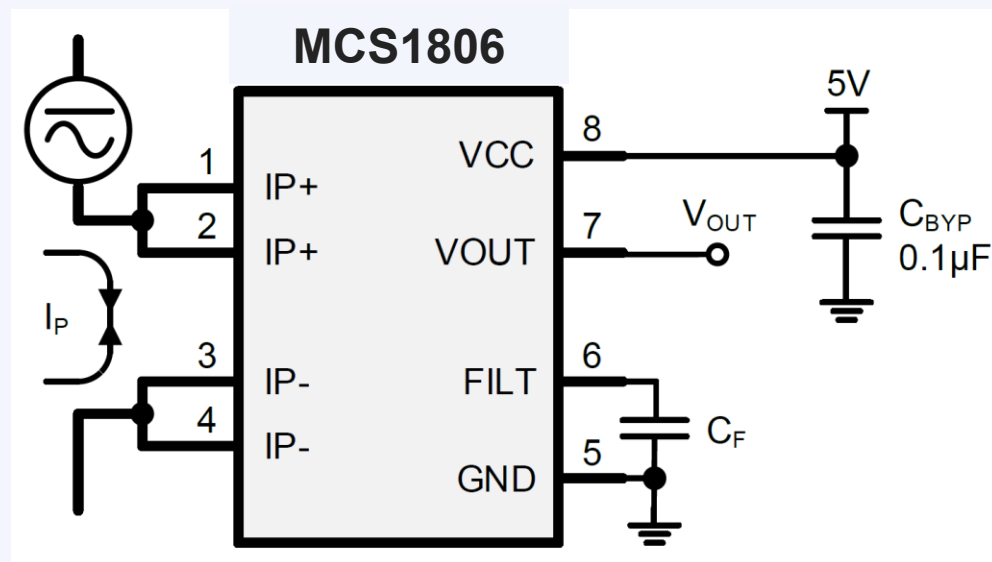
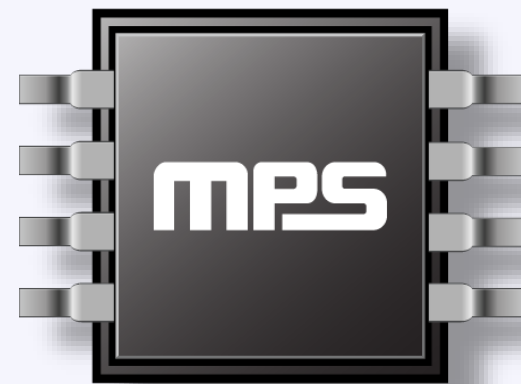
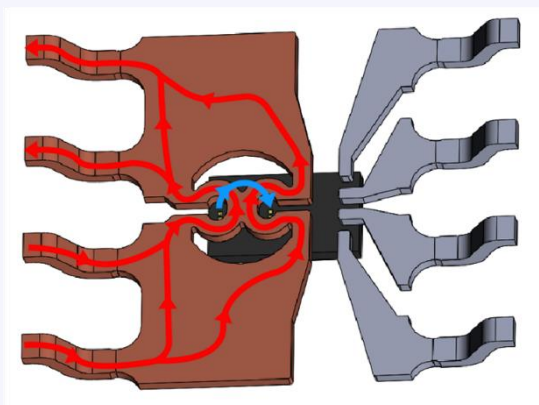
- 检测/保护对地/对VM短路
- 检测/保护直通短路
- 由于采样电阻，增大地线噪音



- 随时测量电流
- 最适合 FOC 算法
- 无法防止上下管直通

成本优化的隔离电流采样

- QFN/SOIC 集成解决方案
- 最小的隔离解决方案占用空间
- 3kV_{RMS} 隔离
- 580V_{RMS} 工作电压
- 不受外部杂散场影响
- 无芯，无磁滞
- 感应电流高达 $\pm 100\text{A}$
- $0.3 \sim 1\text{m}\Omega$ 初级电阻- 效率高损耗低



MCS(Q)1823 – 带 OCD 的电流传感器, 3x3mm² QFN封装

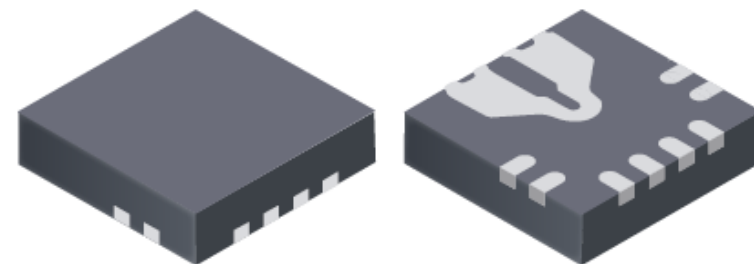
主要规格

- 微小尺寸: 9mm² QFN-12 封装
- 不受外部杂散磁场的影响
- 总精度±2.5%
- 0.6mΩ内部导体电阻
- 快速过流检测 (OCD)
响应时间为 1μs
- UL认证
- 3.3V 或 5V 单电源选项
- 5A至50A范围
- 120kHz带宽
- 可选电源电压的比例或绝对输出



应用

- 汽车用电流放大器带保护
- ATM 机 – 点钞机
- 负载检测与管理
- 开关电源
- 过流故障保护

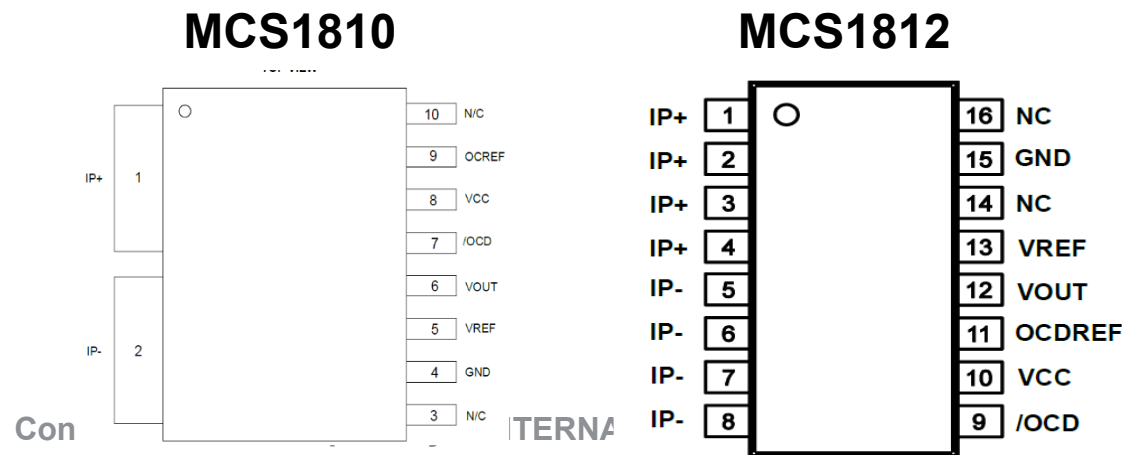


3mm x 3mm QFN-12 package

MCS(Q)1810/12 $\pm 100A_{RMS}$, 6kV隔离

主要规格

- 封装和电流范围选项：
 - WSOIC-10 中的 MCS/Q1810: $5A$ 至 $100A_{RMS}$ ($0.3m\Omega$)
 - WSOIC-16 中的 MCS/Q1812: $5A$ 至 $80A_{RMS}$ ($1m\Omega$)
- 相同的封装尺寸: $10.3mm \times 10.3mm$
- 400kHz带宽
- 支持增强隔离
- 双向和单向, 绝对输出



应用

- 车载充电器 (OBC)
- 充电站
- 电机控制
- UPS 和 PVC 的逆变器负载检测管理

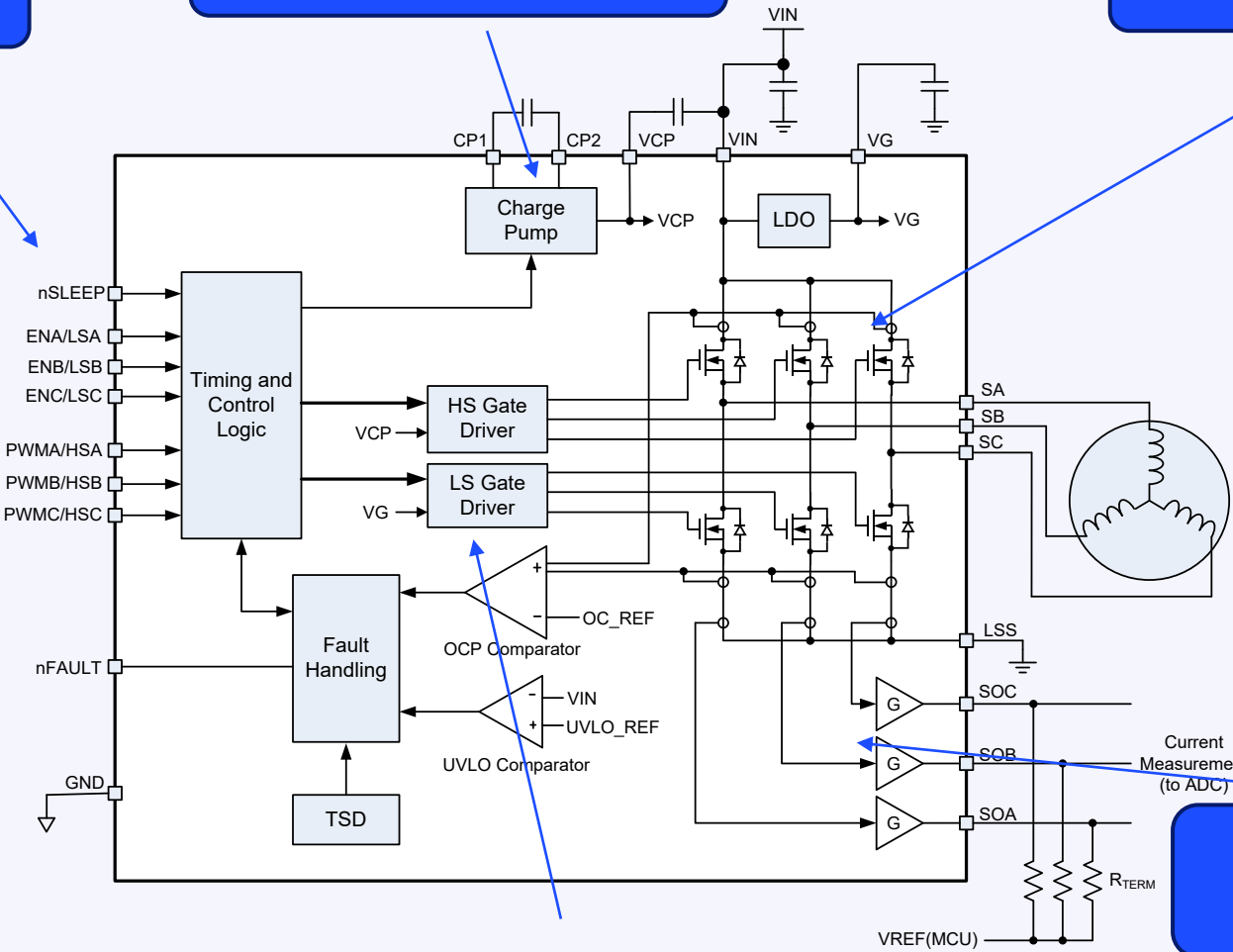
Key Specifications	MCS1810/12
Accuracy	1.5%
V_{ISO} (RMS)	6000V
V_{IOWM} (RMS)	1100V
OCD Response	500ns

控制信号输入

电荷泵

N-MOS

- 功率级
- 预驱
- 电流检测
- 异常处理和保护
- 过流保护

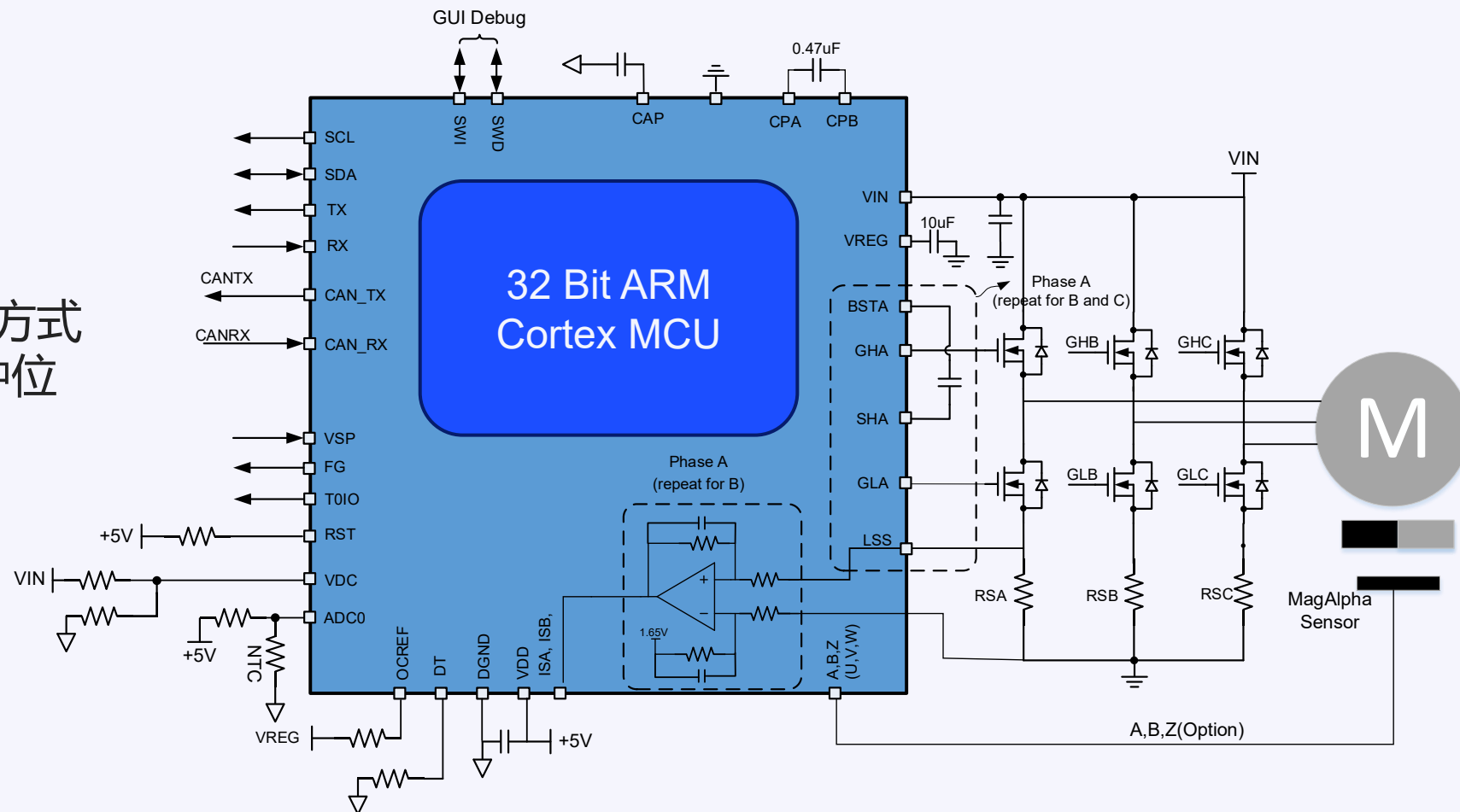


Device	Voltage	Current
MP6540	50V	5A
MP6541	40V	8A
MP6543	22V	2A
MP6545	45V	2.5A
MP6549	18V	10A

集成电流检测

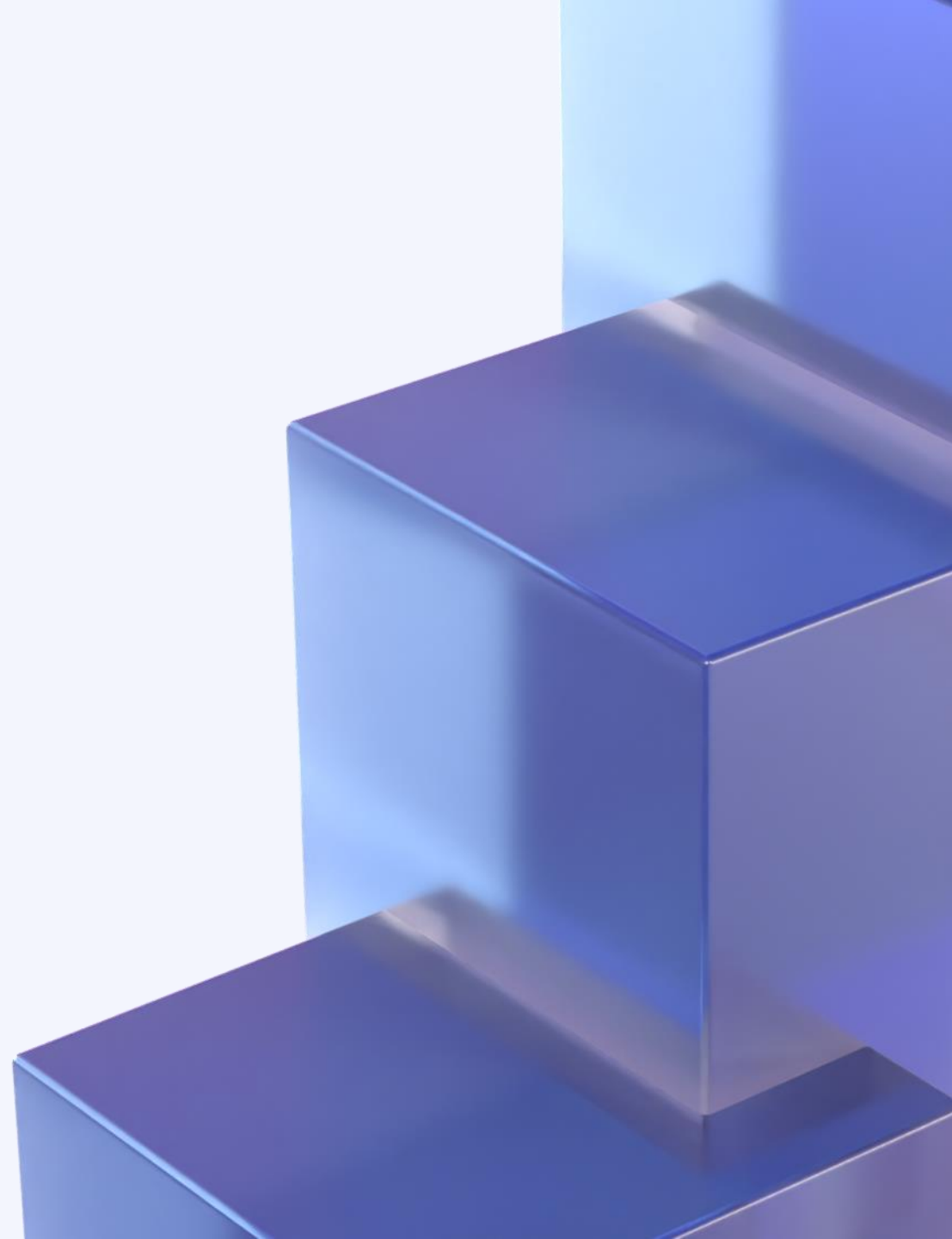
预驱

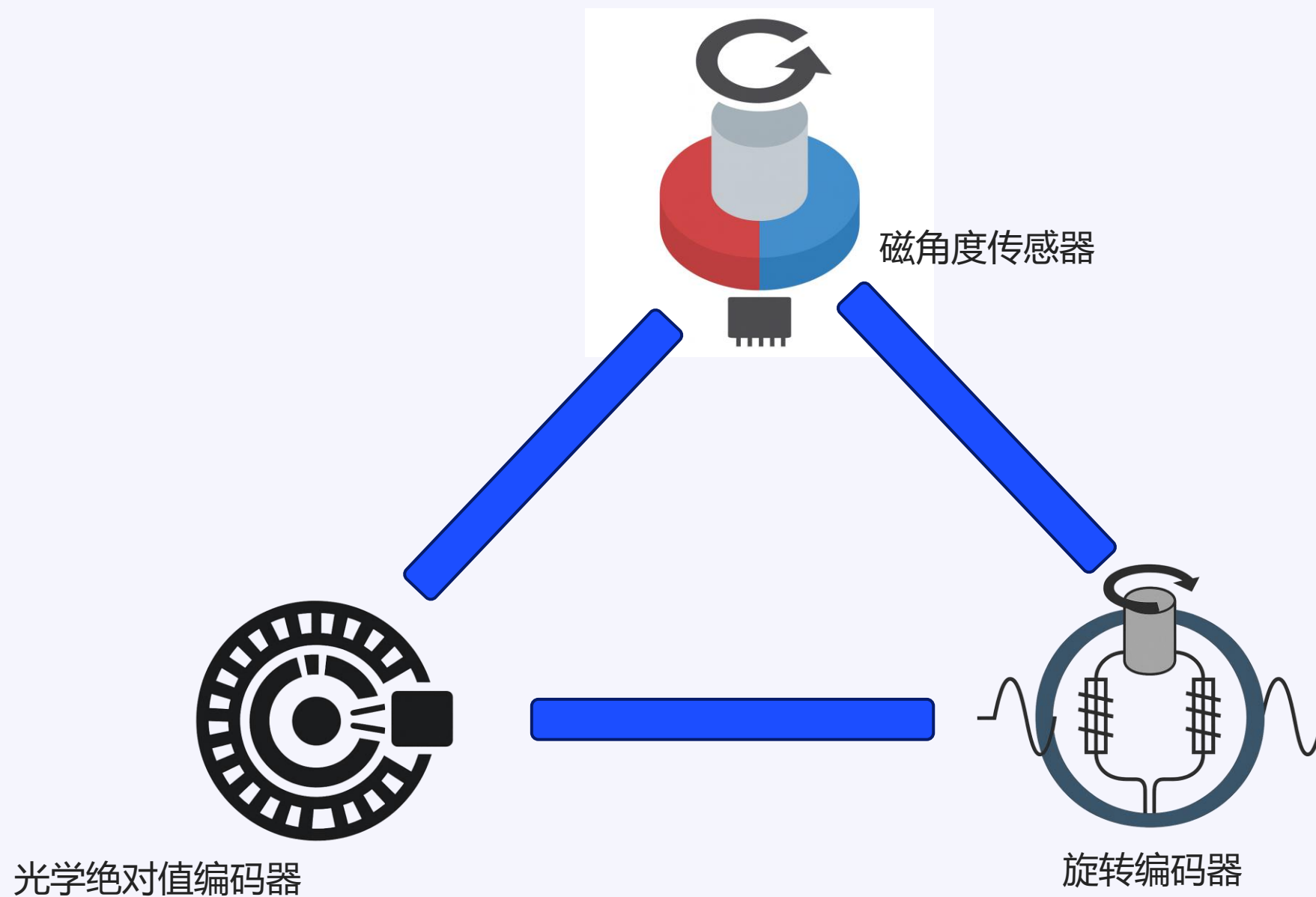
- Cortex M4F MCU
- 内置预驱
- 内置电流检测
- 支持FOC等多种控制方式
- 支持UVW/ABZ等多种位置传感器

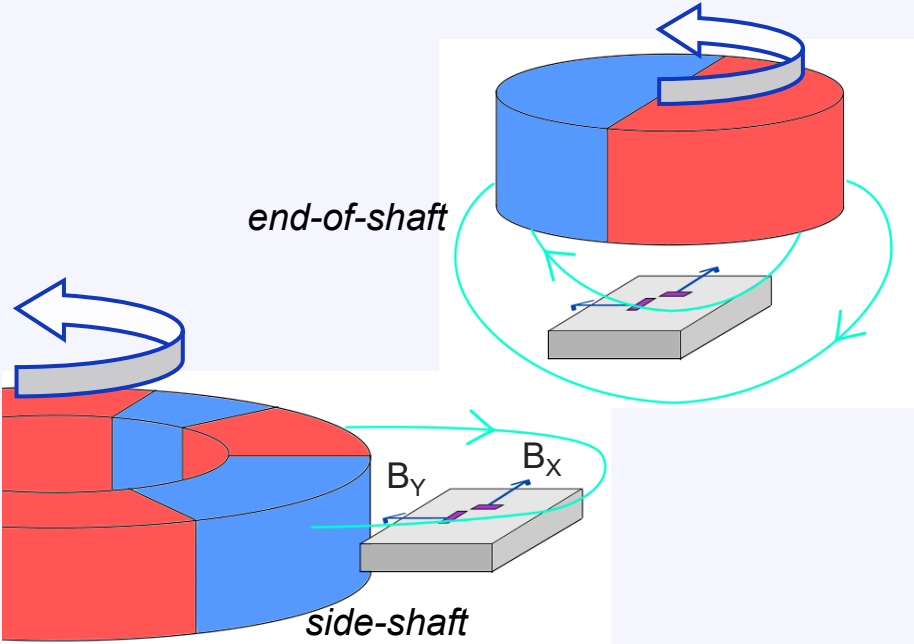


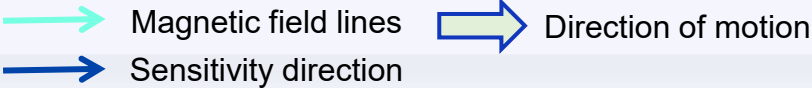
MPS

MPS磁传感器



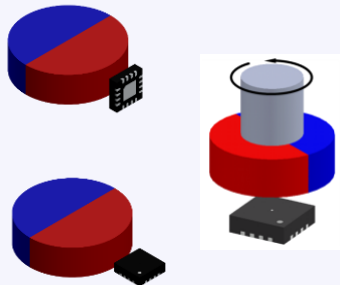


MagAlpha™	
型号	MA732, MA735/6, MA702, MA302, MA782, MA600A, MAQ600A, MAQ430, MAQ470/3
磁场感应方式	
感应方向	B_x, B_y
传感器输出	$angle = \text{atan} \frac{B_y}{B_x}$



概述

MA732 可检测永磁体（通常是旋转轴上径向磁化的圆柱体）的绝对角度位置。快速数据采集和处理功能可在 0rpm 至 60,000rpm 的转速范围内提供精确的角度测量。数字滤波功能可调，可在伺服应用中优化控制环路性能。MAQ473-AEC1 是基于 MA732 的汽车级产品。



特征

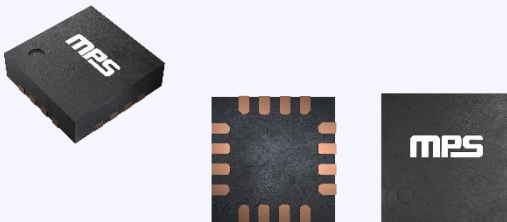
无噪声分辨率	9 位至 14.5 位（噪声分布偏差 $\pm 3\sigma$ ）
电源电压	3.0V至3.6V
接口	ABZ、PWM、SPI、SSI
场范围	30mT 至 >100mT
技术	基于霍尔

特色

- 9 位至 14 位分辨率绝对式角度编码器
- ABZ 增量和 PWM 输出
- 用于数字角度读数和芯片配置 SPI 串行接口
- 用于诊断检查的可编程磁场强度检测

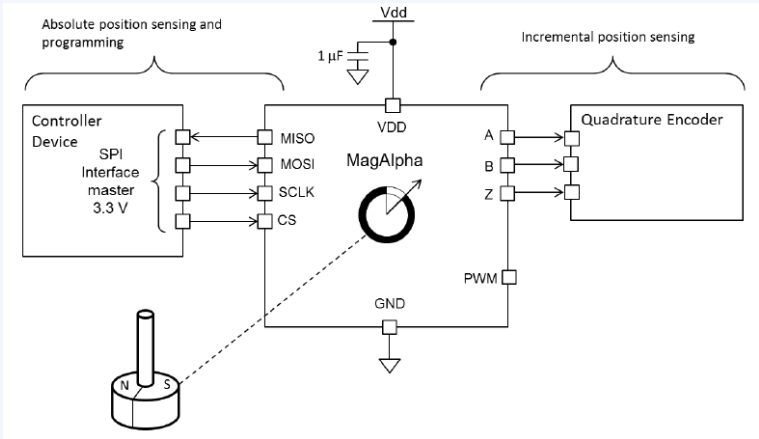
封装

- QFN-16 (3x3mm²)



应用

- 角度测量
- 高分辨率角度编码器
- 汽车级角度或速度传感器
- 机器人技术

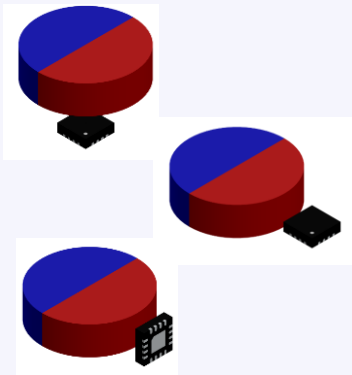


工具和资源

- Evaluation System: [EVKT-MagAlpha-MagDiff](#)
- Test Board:
 - TBMA732-Q-LT-01A
 - TBMAQ473-Q-LT-01A
- [MagAlpha Evaluation App](#)
- [Magnetic Sensor Simulation Tool](#)
- [MPS Technical Forum](#)

概述

MA(Q)600A是一款高精度、高带宽的磁角度传感器，用于检测永磁体（通常是旋转轴上的径向磁化圆柱）的绝对角位置。MA(Q)600A集成了高精度隧道磁阻（TMR）传感器，实现了高带宽和高精度（积分非线性，INL），使其成为位置控制和机器人技术的理想解决方案。



功能

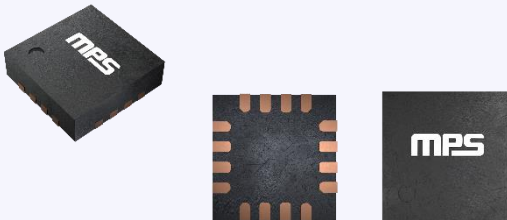
无噪声分辨率	12 位至 15 位（噪声分布偏差 $\pm 3\sigma$ ）
电源电压	3.0V至3.6V
接口	ABZ、PWM、SPI、SSI、UVW
场范围	10mT 至 >100mT
技术	TMR

重点

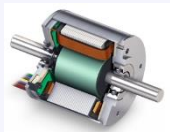
- Low INL
 - <0.6° Error;
 - <0.1° Error after Calibration
- No Latency
- 7.5mA I_Q ($I_{AVDD}+I_{DVDD}$)
- AEC-Q100 (MAQ600A)
- SPI Angle Readout in Daisy Chain Configuration Supported

封装

- QFN-16 (3x3mm²)



应用





灵巧手空心杯电机一 体化方案



适用于灵巧手的空心杯电机一体化方案



- FOC 控制
- 内置角度传感器
- 高集成度PCB: Diameter 10.5mm (FPC-Dual) 22mm (FR4)
- 5V to 32V 输入电压，支持24V
- 最大3A持续电流
- 支持高达80000转
- RS485 通信MODBUS协议
- 可配置的保护
 - UVLO
 - OCP
- 最高支持 60kHz 开关频率
- 角度分辨率可达 14 位
- 柔性板连接的PCB工艺

MPQ6547
MA600

D=10.5mm

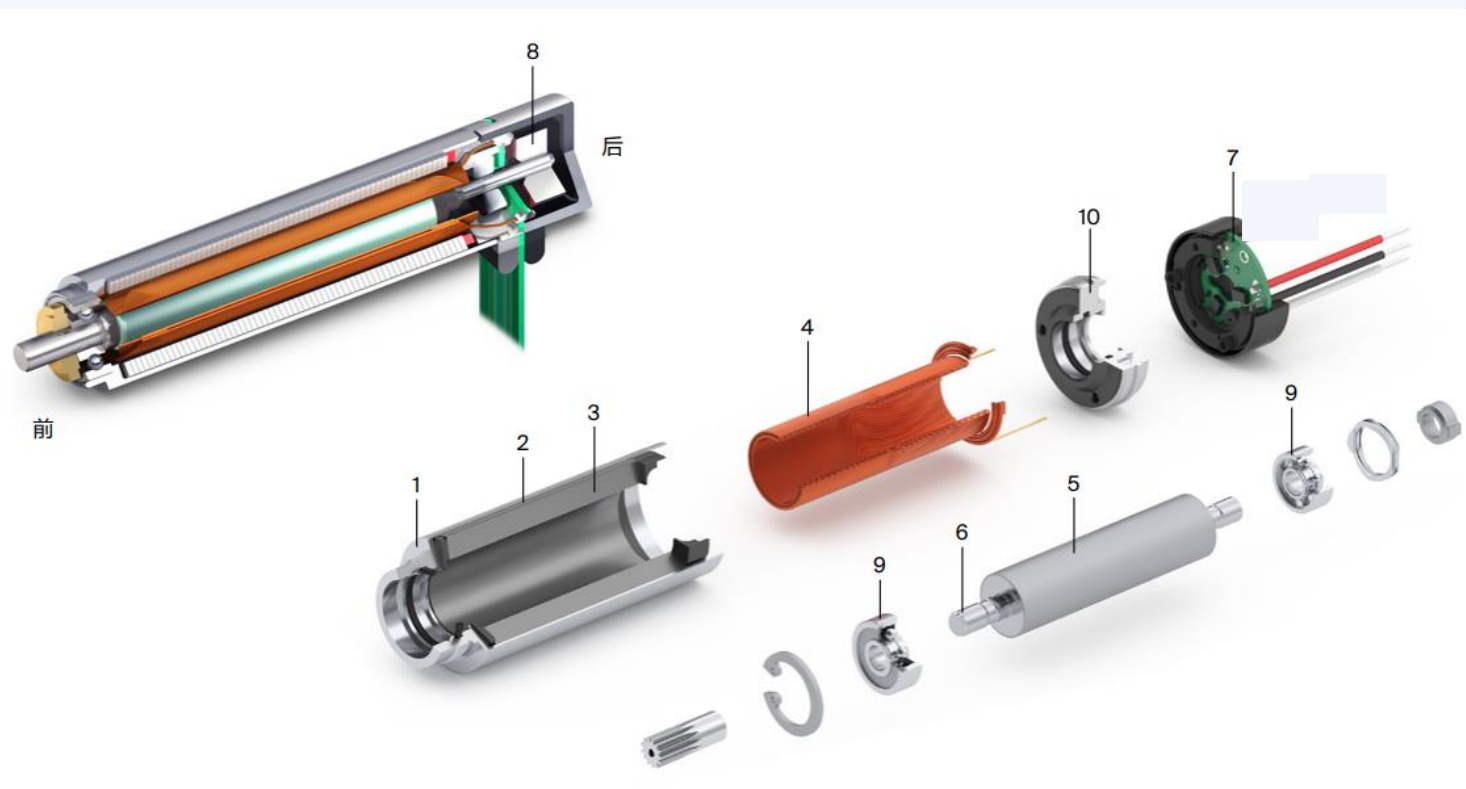
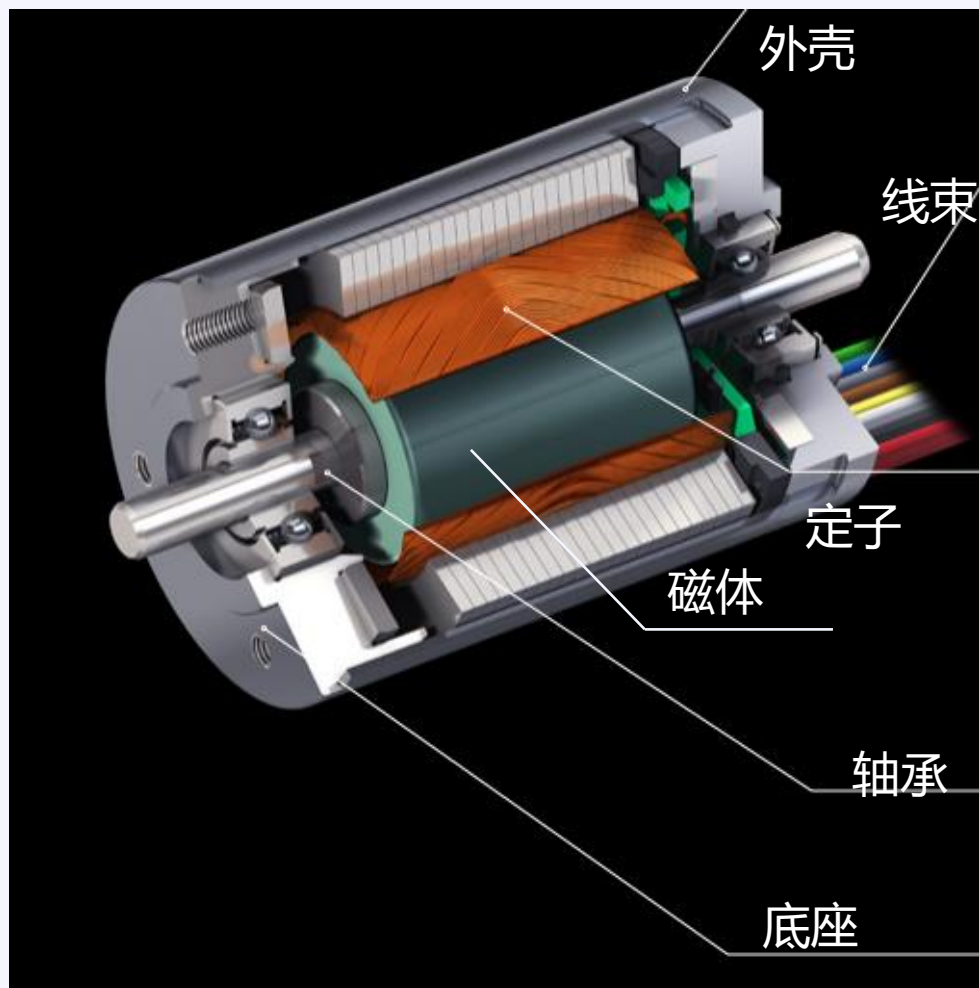


接口说明

CN #	Pin Name	Function
1	RS485_B	RS485 B port
2	RS485_A	RS485 A port
3	GND	DC power input ground
4	VIN	DC power supply input, 5V to 32V



空心杯电机的结构



01



实时反馈

通过RS485读取位置、
电流和电压反馈信息

02



闭环控制

位置环/速度环/转矩环
可配置闭环控制

03



丰富的MCU资源

多达10个通用IO，可以
实现各种应用层需求

04



灵活控制

通过API和GUI可以配置
MCU的各种工作状态和反馈

05



高驱动效率

高达 60 千赫兹的开关频率，
可降低电机功率损耗，这意
味着更低的功耗、更少的发
热以及更高的效率

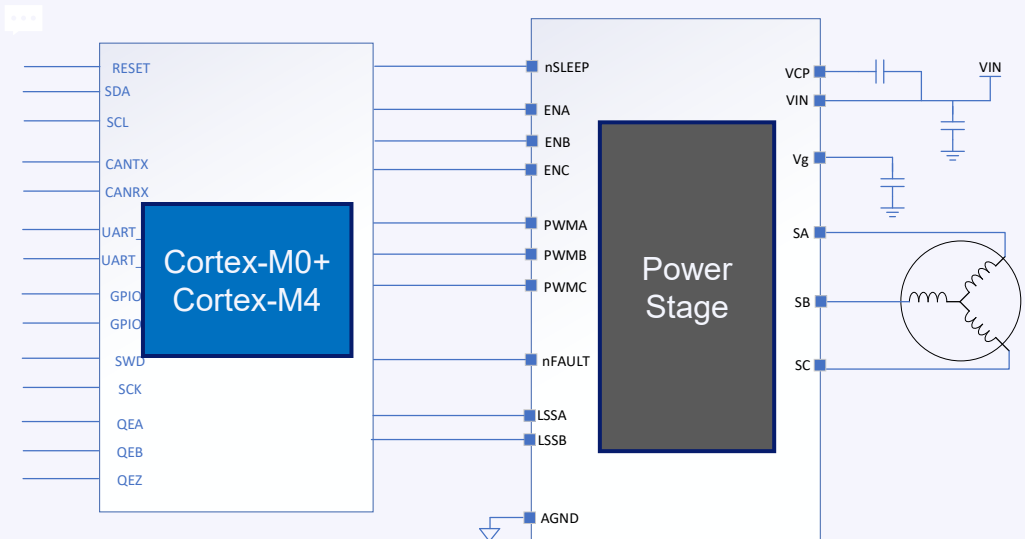
06



保护

SmartDrive库为系统
诊断提供变量

System Block Diagram



- 支持在磁场定向控制（FOC）算法下驱动所有人形机器人的三相无刷直流（BLDC）/永磁同步（PMSM）电机。
- 支持多种电流检测拓扑结构，用于电流采样和保护。
- 通过基于磁性霍尔传感器的绝对位置编码器实现闭环控制。
- 支持三相逆变器的分立实现、高度集成的功率级以及现成的电机解决方案。

MPS提供一站式人形机器人驱动解决方案
助力行业快速应用

Questions?

