



ZLG电机驱动方案

芯片与智能物联解决方案供应商





目录

01 EtherCAT总线技术

02 电机驱动平台

03 电机驱动方案

1.1 EtherCAT是什么

发明：

- EtherCAT (Ethernet for Control and Automation Technology) 是以太网控制和自动化技术英文的缩写，最初由德国倍福自动化有限公司 (Beckhoff Automation GmbH) 研发，并将其开放给每个对此技术感兴趣的组织。

特点：

- EtherCAT是定位于基于以太网控制和自动化的通信技术，是自动化领域中被广泛应用的一种开放架构实时工业现场总线技术的通信协议，它是一项高速、实时、应用简易、拓扑灵活的工业以太网技术。采用标准的以太网数据帧和符合以太网标准IEEE.802.3的物理层，EtherCAT修改了数据链路层的结构，使其更加符合工业应用中的实时性和一致性。

市场：

- EtherCAT于2003年被引入市场，并于2007年成为国际标准，2014年成为中国国家标准，EtherCAT的出现为系统的实时性能和拓扑的灵活性树立了新的标准。

管理：

- EtherCAT技术协会 (EtherCAT Technology Group, ETG) 推广EtherCAT技术，并负责对该项技术的持续研发。

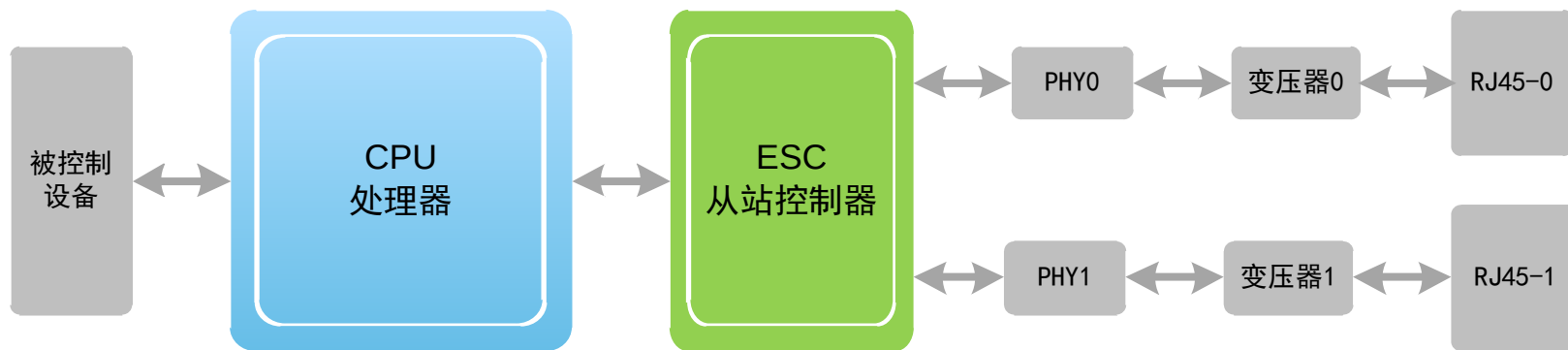


1.2 主站特点

- 在一个EtherCAT网络中，只能有一个主站，其他皆为从站，主站发起通讯，从站响应
- 搭建方案：
 - A) X86工控机 + 操作系统实时补丁 + 主板集成网卡 + 优化后的实时网卡驱动
 - B) ARM工控机 + 操作系统实时补丁 + 自带网卡外设 + 优化的实时网卡驱动
 - C) ARM工控机 + 操作系统实时补丁 + FPGA实现专用MAC + 专用实时网卡驱动
- 基本功能：
 - A) 扫描网络获取从站设备信息以及网络拓扑结构；
 - B) 读取从站设备描述XML文件并对其进行解析，获取其中配置参数；
 - C) 周期性收发EtherCAT数据帧，完成EtherCAT子报文解析与打包等；
 - D) 管理从站设备状态，运行状态机，完成主从站状态机设置和维护；
 - E) 进行非实时数据(SDO)通信，完成系统参数配置等；
 - F) 进行周期性数据(PDO)通信，实现数据实时交换，实时监控从站状态，从站反馈信号实时处理等功能

1.3 从站特点

- EtherCAT从站（ESC）采用专用通讯芯片搭建，如Beckhoff 的ET1100从站专用芯片、烧录从站固件的FPGA、内置从站单元的处理器等；
- ESC一般支持2-4个端口，每个端口可以使用以太网或EBUS进行通讯；
- ESC从站控制器负责物理层的数据收发与解析；
- ESC的CPU执行指定高层协议（如CIA 402），并通过从站控制器与外界通信



典型从站架构

1.4 如何设计

- 第一步：进入EtherCAT技术协会（ EtherCAT Technology Group, ETG ）官网，登录 <https://www.ethercat.org/cn.htm> ；
- 第二步：点击产品指南，在右边的筛选项目中，针对项目主类别、子类别、公司进行筛选，建议优先对公司进行筛选，如选择“倍福” ；
- 第三步：根据项目需要选择产品类别，如主站、从站设备；IO、伺服驱动器、编码器、仪表等应用；
- 第四步：点击产品名称复选框对应的链接，查看相应选型接口类型，如ET1100，与PHY接口为MII，与CPU通信接口为SPI

EN | DE | ES | IT | CN | JP

搜索

技术概览
协会组织
常见问题
会员相关
供应商ID
产品指南 1
资料下载
一致性测试
EtherCAT G
EtherCAT P
Safety over EtherCAT
EtherCAT 和 TSN
开发者论坛
知识库

主站 新闻 市场活动 新闻发布 联系方式

EtherCAT Products

EtherCAT产品手册

EtherCAT产品手册中列出了EtherCAT产品和服务，由ETG会员公司提供。尽管手册中已经包含了1000多条目，但目前还有更多没有被录入。需要任何查询或引用请直接和供应商联系。其中包含的技术信息能帮助您选择合适的产品。很多条目能链接到相应的设备描述文件和数据表。

筛选

主类别: 全部 2

子类别: 全部 3

公司: 全部 4

认证产品: ☐

筛选*:

公司: BECKHOFF Automation

认证产品: ☐

筛选*:

重新选择

* 文本筛选仅适用于列表中的主要兴趣、类别和描述。

产品列表

21 to 40 entries of 71 (filtered from 1,132 total entries)

公司	产品名称	类别
BECKHOFF Automation	EtherCAT/Ethernet Switchport Terminals	Gateways
BECKHOFF Automation	EtherCAT/Fieldbus Gateways	Gateways
BECKHOFF Automation	EtherCAT Bridge Terminal EL6692	Gateways
BECKHOFF Automation	FieldbusBox IL230x-B110 in IP67	Gateways
BECKHOFF Automation	PCI EtherCAT slave card FC1100	Interface Cards
BECKHOFF Automation	PCIe EtherCAT slave card FC1121	Interface Cards
BECKHOFF Automation	PLC and Motion Control Software TwinCAT	Control Software: Soft PLC
BECKHOFF Automation	Embedded PC series CX1020, CX1030	Control Hardware: PLC, Motion, IPC, PAC, embedded
BECKHOFF Automation	Embedded PC series CX9000, CX9010, CX9020	Control Hardware: PLC, Motion, IPC, PAC, embedded
BECKHOFF Automation	Demokit TC9910-B11x	Starter Kits
BECKHOFF Automation	ET1810, ET1811, ET1812 EtherCAT IP Core for Altera® FPGA	EtherCAT Slave Controller
BECKHOFF Automation	ET1815, ET1816 EtherCAT IP Core for Xilinx® FPGAs	EtherCAT Slave Controller
BECKHOFF Automation	EtherCAT ASIC ET1100	EtherCAT Slave Controller

The ET1100 ASIC housing (BGA128) only measures 10 x 10 mm. The chip can support up to four EtherCAT ports. The 8 kB internal memory (DPRAM) for access to process and parameter data is optionally addressed via parallel or serial data bus. Alternatively, the ASIC can be used without controller. In this case up to 32 digital signals can be connected directly.

Technical data	ET1100
Number of EtherCAT ports	4 (max. 4 x MII)
FMMUs	8
SYNC manager	8
DPRAM	8 kbyte
Distributed clocks	yes (64 bit)
Process data interfaces	32 bit digital I/O SPI 8/16 bit µC
Housing	BGA128, 10 x 10 mm

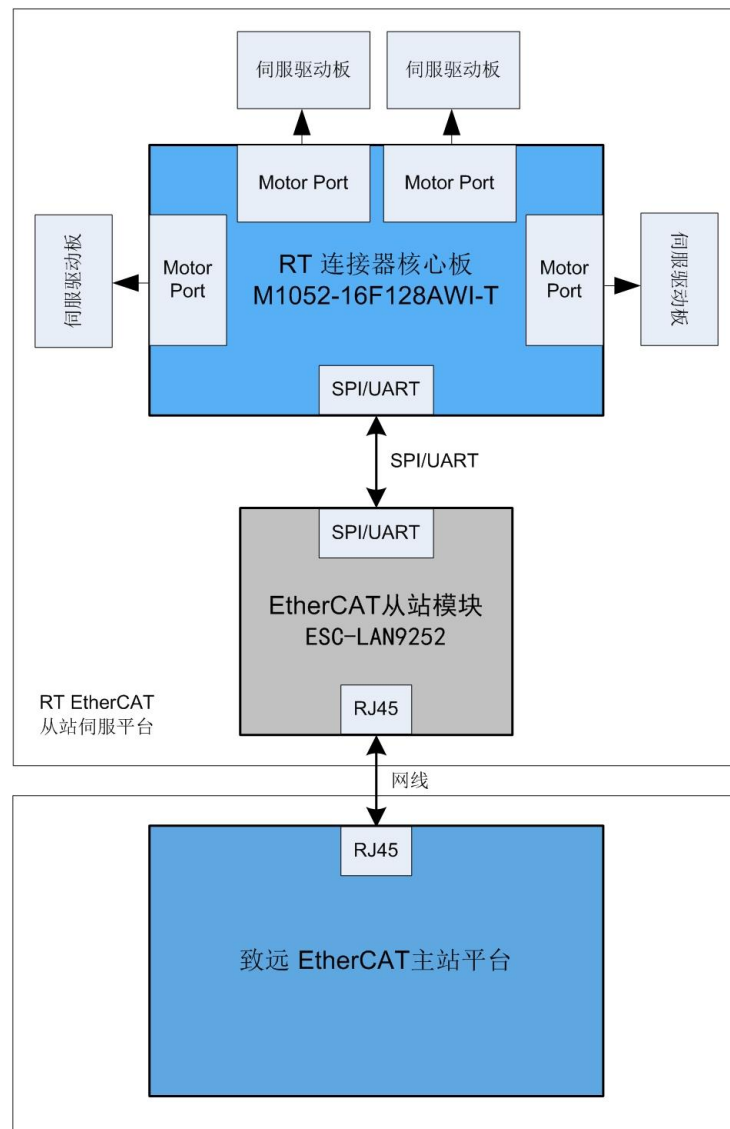
1.5 ZLG EtherCAT伺服驱动方案

主站

- 致远电子的EtherCATNET-100M主站；
- Xilinx硬件平台 + 实时优化的Linux

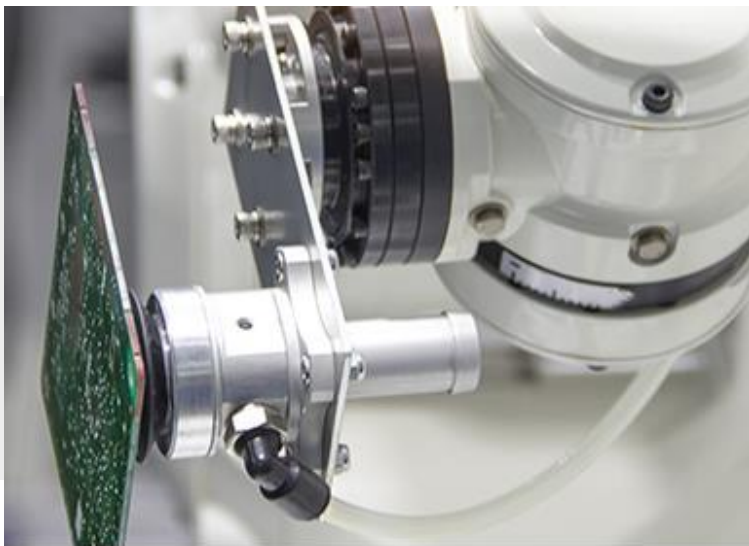
从站

- NXP i.MX RT1052处理器，一方面处理伺服电机驱动算法（最多同时控制四路电机），另一方面配合LAN9252做EtherCAT协议处理；
- LAN9252是一个2/3端口EtherCAT从站控制器，集成双路100Mbps以太网PHY，同时支持LAN和光纤



2. 电机驱动平台

立功科技的电机驱动技术是完全自主研发的一整套平台技术，包括完备的理论平台、软件算法平台和硬件电路平台。理论平台包括常用电机驱动的理论模型公式和配套的系列书籍等。软件算法平台包含FOC基础无感、FOC高性能无感、FOC高频注入无感、FOC编码器伺服、FOC霍尔伺服、FOC低频注入无感、FLUX磁通方波、Stepper步进伺服、AI电机参数自动测量等等软件算法。硬件电路平台包含基于高性能处理器、新一代的场效应管和IGBT管等功率电路、智能功率模块、高精度信号测量芯片等器件的电机驱动电路。



无刷/同步电机

FOC伺服

工业伺服

FOC无感

增加多种算法

Flux磁通方波无感

适用于高可靠性应用

FOC霍尔伺服

基于霍尔传感器的简易伺服

FOC高频注入无感

用于无传感器的驱动器

FOC基础无感

基础无感FOC技术平台

FOC低频注入无感

中低转矩的负载

步进电机

Stepper高精度细分

实现多电机、软件高细分控制

Stepper步进伺服

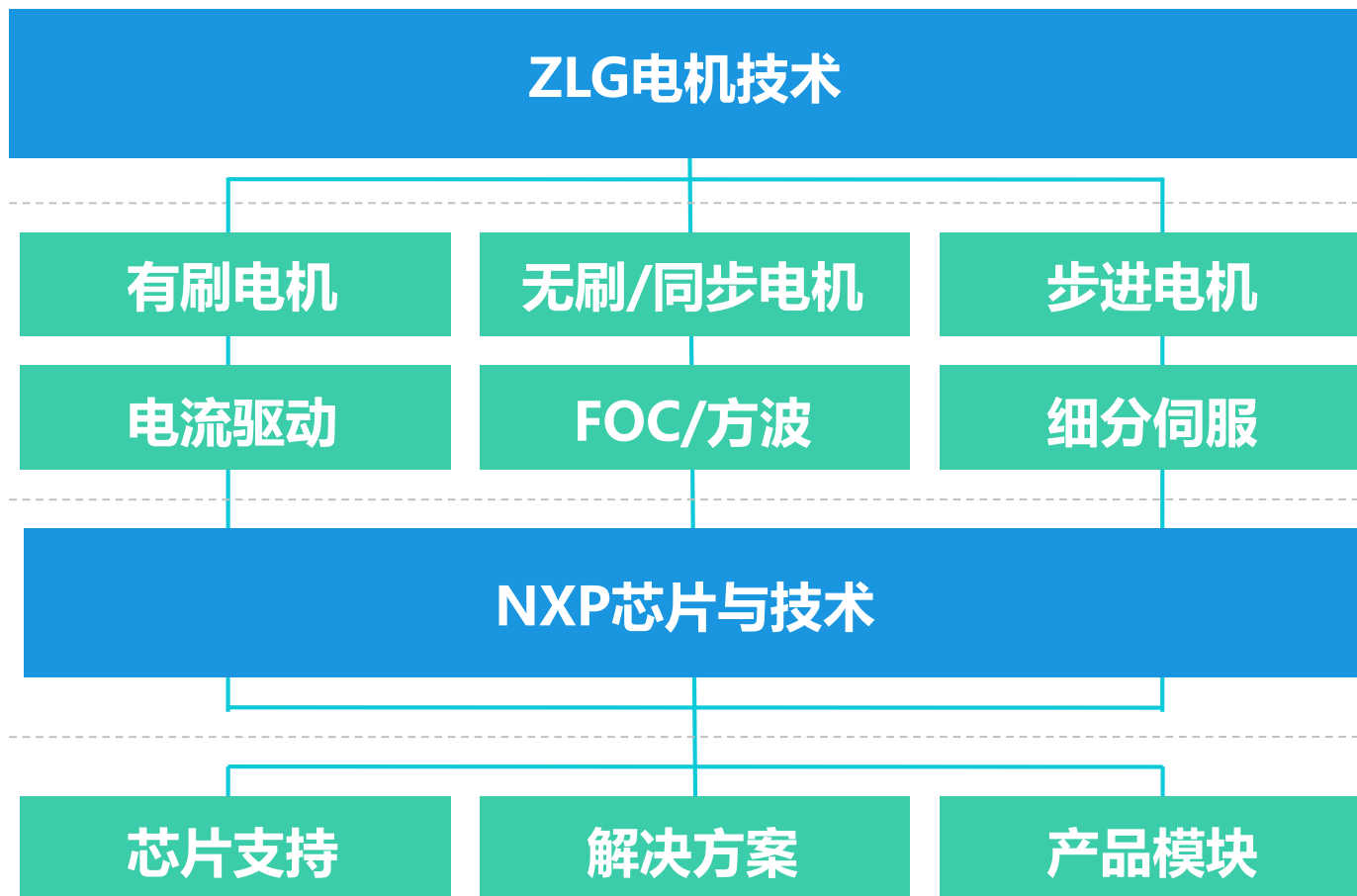
中低速应用

有刷电机

BDC有刷伺服

低成本应用

2. 电机驱动平台



ZLG积累：

多年电机技术积累、紧贴市场脉搏

ZLG平台：

AMeta软件开发平台、理论、研发、测试、生产平台

NXP优势：

先进电机芯片、专业技术团队

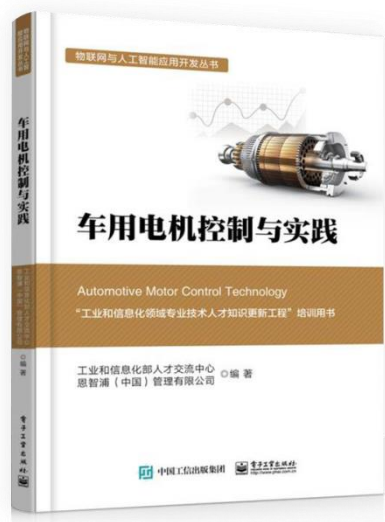
ZLG服务：

支持、方案、产品

2.1 电机驱动平台-理论平台

电机驱动书籍：

- 自行编写4本电机控制的内部教材
- 有刷电机/步进电机/无刷电机方波/FOC控制
- 和NXP合作《车用电机控制与实践》



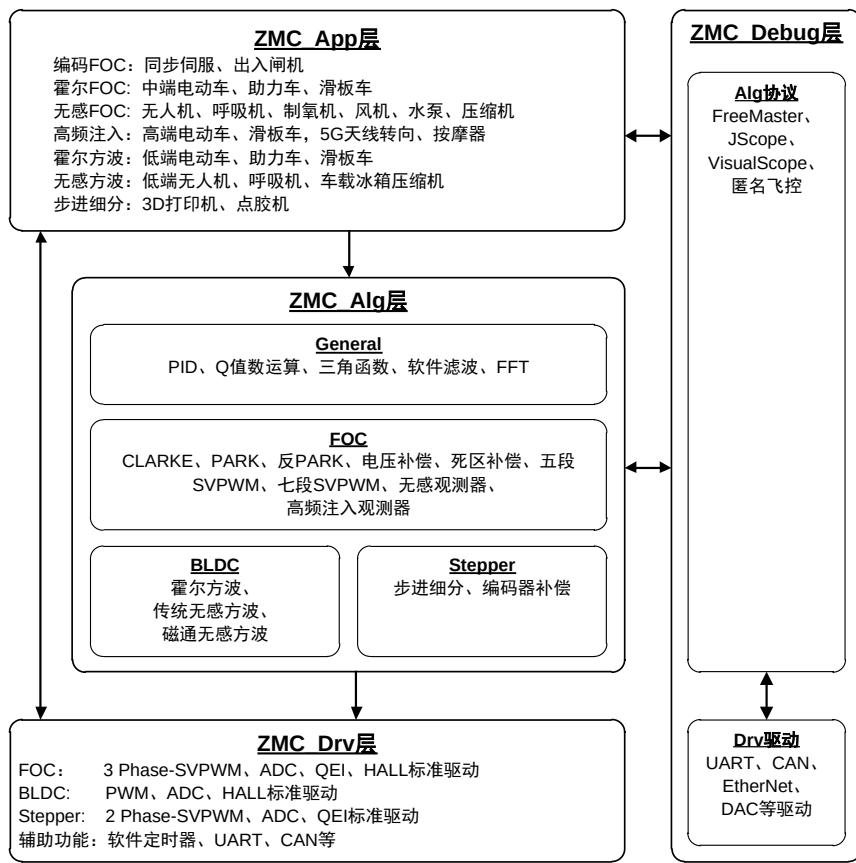
软件算法：

- 底层抽象，适用于大部分NXP工业和汽车处理器
- 伺服电机、直流电机、无刷电机、步进电机细分
- 超过30种电机算法
- 多项国家发明专利



2.2 电机驱动平台-软件平台

AMetal-FOC软件，严格分层、高效、易用！支持三相无刷/同步FOC驱动，伺服、无感、高频注入、低频注入、霍尔等。



App应用层 存放电机行业的应用算法，如PMSM QEI伺服应用算法等、ZMC Drone无人机算法等行业应用算法。

Alg算法层 存放电机驱动常用的模块化算法，如FOC中的CLARKE、PARK等算法。

Drv驱动层 存放电机驱动必须的底层驱动代码，如PWM、ADC等驱动，这一层必须根据驱动电路移植或修改。

Dbg调试层 抽象了一套虚拟示波器的接口，用户在调试代码时将需要显示的变量传递到这一层，用串口、CAN、EtherCAT等和PC的波形显示软件通讯和显示波形，也可通过处理器的DAC、PWM等输出模拟信号，在通用示波器上显示波形。

2.2 电机驱动平台-软件平台

```
am_esc_hwinit();          /* (1) 应用层, 伺服驱动硬件初始化 */
am_esc_data_get(&__g_user_data); /* (2) 应用层: 获取电机配置参数 */
am_esc_init(0, 1, 3, (void *) &__g_user_data); /* (3) 应用层: 配置参数到 0 号电机,
/* 1 伺服算法, 3 位置控制模式 */

for (; ) {
    ul_err_code = am_esc_state_get(0); /* (4) 应用层: 读 0 号电机的故障状态 */
    while (ul_err_code > 0) { /* 0 号电机有故障 */
    }

    l_position = am_esc_pos_get(0); /* (5) 应用层: 读取 0 号电机的位置 */

    if (l_position >= 1000) { /* 位置大于等于 1000 编码器脉冲 */
        am_esc_pos_set(0, -1000); /* (6) 应用层: 转向-1000 位置 */
    } else if (l_position <= -1000) { /* 位置小于等于-1000 编码器脉冲 */
        am_esc_pos_set(0, 1000); /* (7) 应用层: 转向 1000 位置 */
    }

    am_esc_run(0); /* (8) 应用层: 0 号电机状态处理函数 */
}
```

AMetal-FOC 快速搭建电机驱动, 懂C就能转!

底层驱动移植好后, 调用应用层的功能函数即可, 不用修改算法层代码, 能满足大部分应用需求, 特殊应用可灵活修改!

伺服位置控制演示:

- (1)、(2)和(3)初始化好底层硬件、获取用户预先配置好的电机参数、配置电机参数到0号电机、设置伺服算法和位置控制模式。
- (4)读取电机状态, 如果有故障默认停止工作。
- (5)获取电机当前的角度位置, 根据这个位置, 再调用(6)和(7)让电机在1000~-1000的位置来回转动。
- (8)处理电机的内部状态。

2.2 电机驱动平台-软件平台

算法	特点	应用领域	MCU				
			KVE0x	KV1x	KV3x	KV4x	i.MX RT
无感FOC	无传感器，M0或以上 安静、节能、敏捷 程序复杂，启动力矩小	高端风机和泵，静音效果好、尽量节能 无人机、散热风机、水泵、高端家用呼吸机		✓	✓		✓
霍尔FOC	霍尔传感器，M3或以上 启动用霍尔，启动力矩大 启动后用无感FOC	高端动力装置，静音效果好、尽量节能 电动升级桌等	✓	✓			
伺服FOC	高精度编码器，M4或以上 贵，高精度位置或速度控制	高低精度的纺机行业、数控机床、云台				✓	✓
高频注入FOC	无传感器，M3或以上 启动力矩大，接近伺服FOC 启动时有电流噪声、挑电机	无法安装霍尔和编码器，启动扭矩要大的应用			✓		

2.2 电机驱动平台-软件平台

AMetal-FOC通过高级编程技巧、编译器配置等手段，让代码能高速运行，小MCU也能干大事情！

FOC常见算法运行时间（72MHz Cortex-M3）

功能模块	机器周期数	执行时间（us）
Q格式乘法	9	0.125
Q格式除法	69	0.958
SIN和COS	36	0.500
CLARKE	15	0.208
PARK	29	0.403
IPARK	29	0.403
SVPWM	66	0.917
LOW_PASS	38	0.528
PI	48	0.667
PID	62	0.862

详看微信推文：《i.MX RT飞行学习板--如何让C代码在M7上极速飞奔？》

2.2 电机驱动平台-软件平台

电机参数测量，电机板烧进默认程序、连上FreeMaster，鼠标轻点“开”就能自动完成！

Project.pmp - FreeMASTER

File Edit View Explorer Project Tools Help

Project Tree

New Project

ZLG电机参数自动测量

软件测参上位机使用指南

1. 操作流程

默认的代码中，已设置好测量需要的经验值，只需要输入电机的极对数，就能马上测量电机参数。特殊情况时，还可以修改测量配置值。

1.1 设置极对数

极对数的测量过程（极对数 = 极数/2），以图1.1的无人机电机测试过程为例说明。

1) 稳压电源恒流（限流）设置在电机额定电流的5%左右，比如额定电流5A，设置250mA。

2) 稳压电源正负极任接电机两根线，打开电源输出开关。

3) 旋转电机，感觉电机是否有明显的阻抗力，否则增加电流，如图1.1所示电机需要600mA电流才明显感觉电机有阻抗力。

4) 缓慢旋转电机，记录电机一圈卡顿的次数n，则极对数为n。

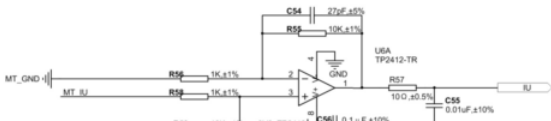


图1.1 极对数测试

1.2 设置最大相电流

因为采样电阻采集的信号需要经过放大之后再连接到MCU的ADC引脚，所以需要根据实际的相电流采集电路，计算电流采样量程。

如下运放电路：



Variable Watch

Name	Value	Unit
开关	?	ENUM
测试状态	开关	ENUM
错误标志	开关	ENUM
运行百分比	?	%
极对数	?	DEC
最大相电流	?	A
相电压量程	?	V
电阻测试电压增量	?	V
电感测试电压增量	?	V
反电势开环拖动测量	?	ENUM
ZLG 电阻	?	Ohm
ZLG D轴电感	?	H
ZLG Q轴电感	?	H
ZLG反电势常数	?	V/1000RPM
NXP 电阻	?	Ohm
NXP D轴电感	?	H
NXP Q轴电感	?	H
NXP反电势常数	?	V/rad/s



DRV-LV50A驱动板 + i.MX RT1052核心板

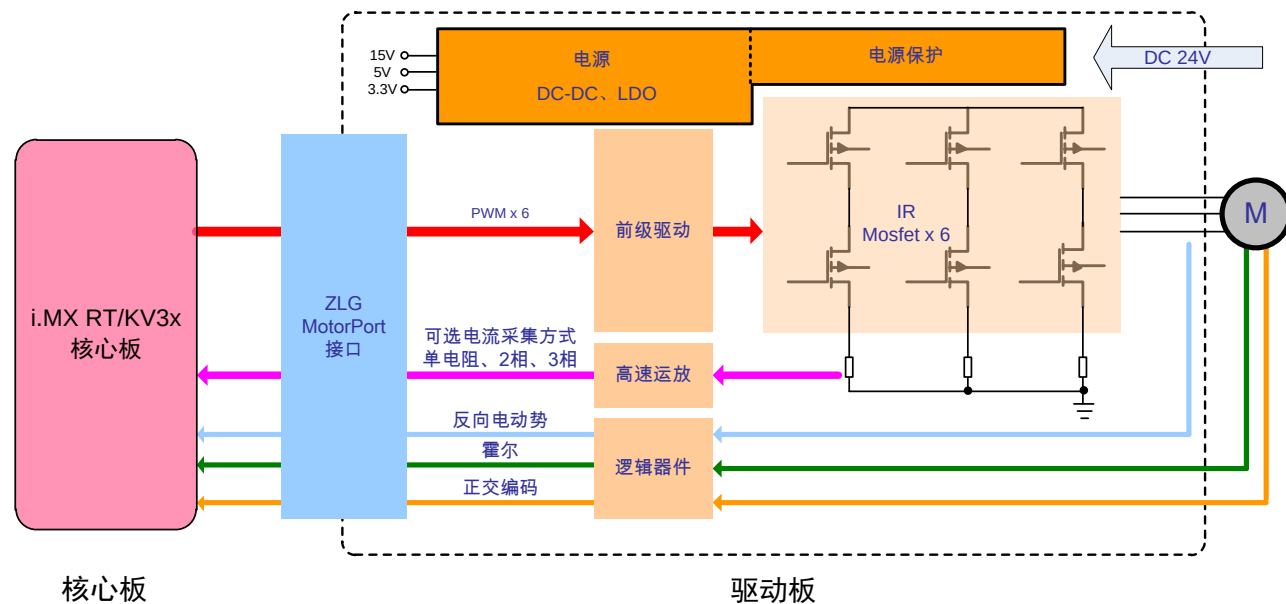


DRV-LV50A驱动板 + KV3x核心板

2.3 电机驱动平台-硬件平台

ZLG提基于MotorPort接口的电机驱动评估板，它是在 ZLG AMetal 硬件接口规范-MiniPort 的基础上，扩展定义了针对电机的接口，此接口是 2×10 通用排针接口，通过该接口可以方便地将 MCU核心板与电机驱动板相连接，快速进行电机应用的评估。

- 基于正交编码器，FOC力矩+速度+位置三环控制，
- 支持参数自动测量，PID参数自动计算；
- 支持开环拖动、霍尔拖动、高频注入、索引观测等多种编码器校准方式；



基于MotorPort的电机驱动开发板

2.3 电机驱动平台-硬件平台

ZLG有多年的电机驱动产品级设计经验，基于AMetal-FOC的硬件设计规范，在广州总部拥有电机测试和EMC等专业实验室。



PCI有刷伺服驱动板



低压无刷伺服驱动器



高压同步伺服驱动器



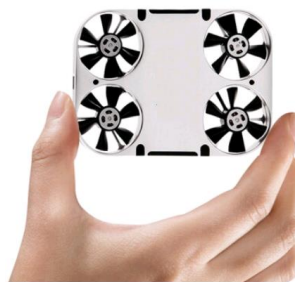
EMC实验室一角



包装印刷伺服

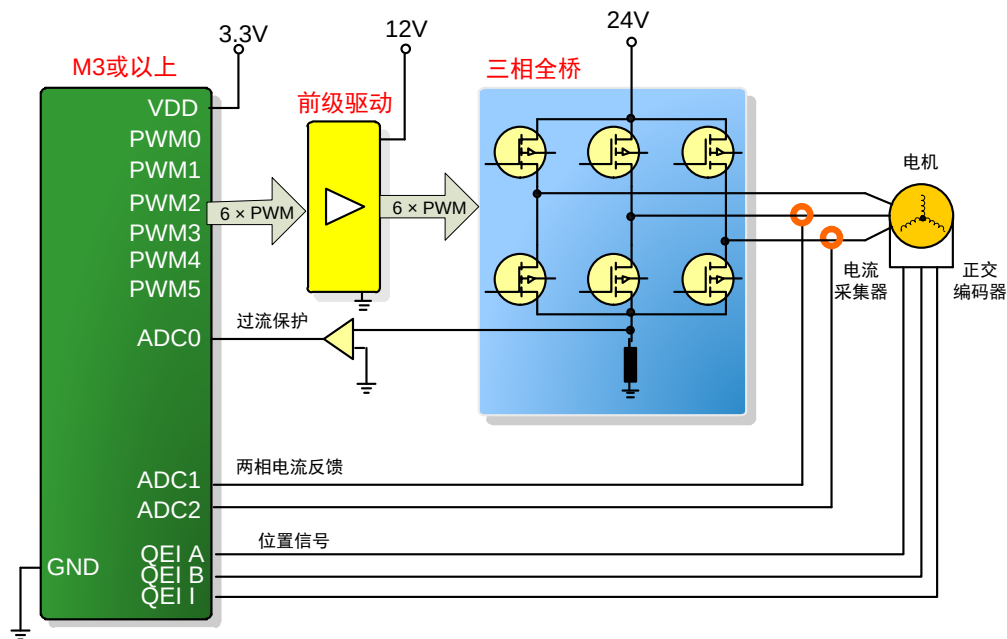


抽油烟机FOC方案



掌上无人机FOC动力方案

3.1 电机驱动方案-伺服FOC



FOC编码器伺服

FOC伺服原理

- 定子通过6个MOS管产生“正弦波”电流；
- 编码器测量转子位置，同时定子的“正弦波”电流产生的磁场要垂直于转子，达到最大转矩；
- 编码器精确测量转子的位置，位置和速度控制精度高

ZLG-FOC编码器伺服特点

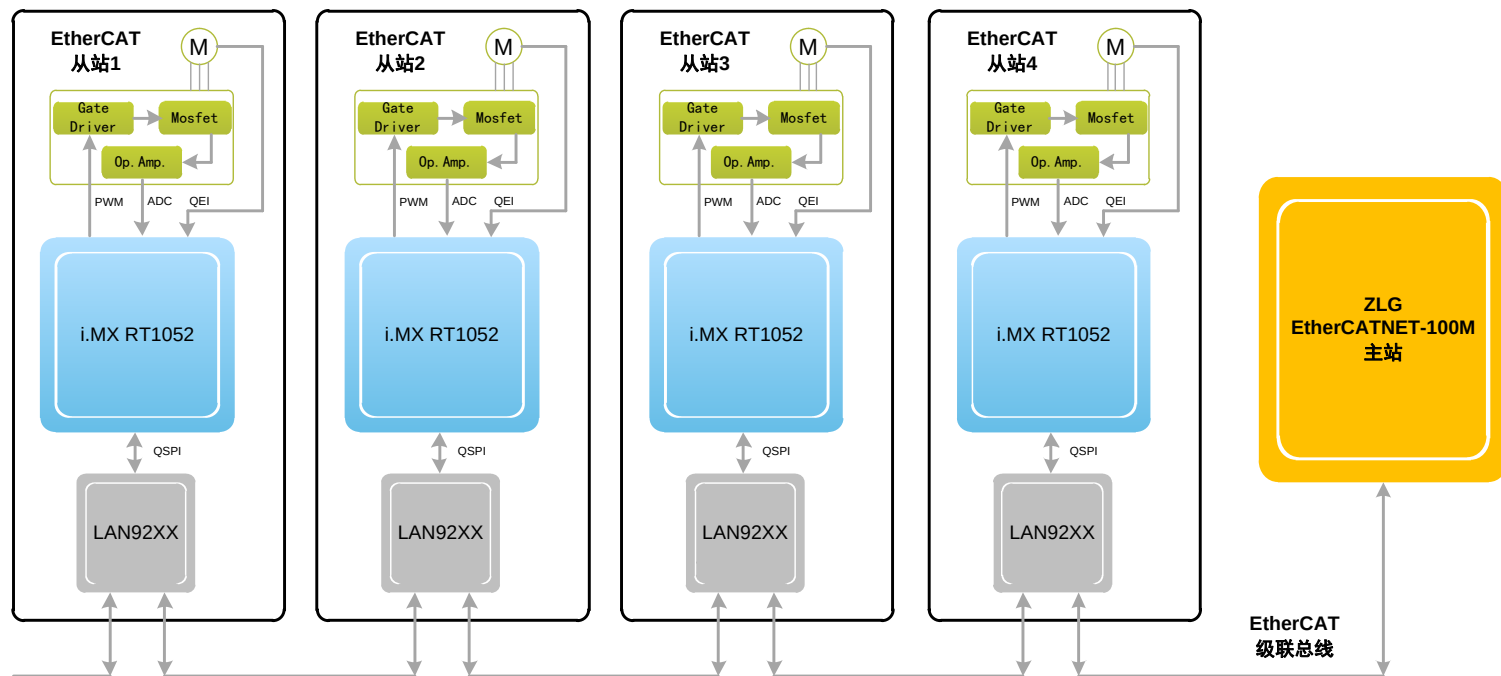
- 基于编码器的力矩、速度、位置等常规伺服FOC；
- 支持基于编码器的伺服FOC力矩、速度和位置三环控制；
- 支持开环拖动、霍尔拖动、高频注入、索引观测等多种编码器校准方式；
- 支持AI电机参数自动测量；
- 支持ARM Cortex、DSC、RISC-V等多处理器平台
- 适用于工业伺服、缝纫机、机器人、机器狗、稳拍器等等

3.1 电机驱动方案-伺服FOC



方案组成：

- 基于i.MX RT1052的核心板，528MHz主频，8MB SPI Flash；
- 核心板通过ZLG MotorPort接口，外接伺服驱动板，每路36V/50A；
- 每路伺服驱动板，同时配有差分 and TTL信号的正交编码器接口；
- i.MX RT1052外置LAN9252收发芯片，实现EtherCAT通讯



方案特点：

- EtherCAT从站转发延时1.3~1.5 μ S；
- 支持基于编码器的伺服FOC力矩、速度和位置三环控制，支持电机参数自动测量；
- 支持开环拖动、霍尔拖动、高频注入、索引观测等多种编码器校准方式；
- 三环控制时，每路电机算法执行小于2 μ S。

3.1 电机驱动方案-伺服FOC



演示说明：

视频演示了一台致远电子的 EtherCATNET-100M 主站和四台从站通讯，每台从站核心是RT1052，它一方面控制伺服电机，另一方面做EtherCAT协议处理。视频的一路从站只使用编码器、当旋钮用，主站根据该从站控制另外三路的位置。

EtherCAT一主四从 伺服FOC

3.1 电机驱动方案-伺服FOC

方案特点：

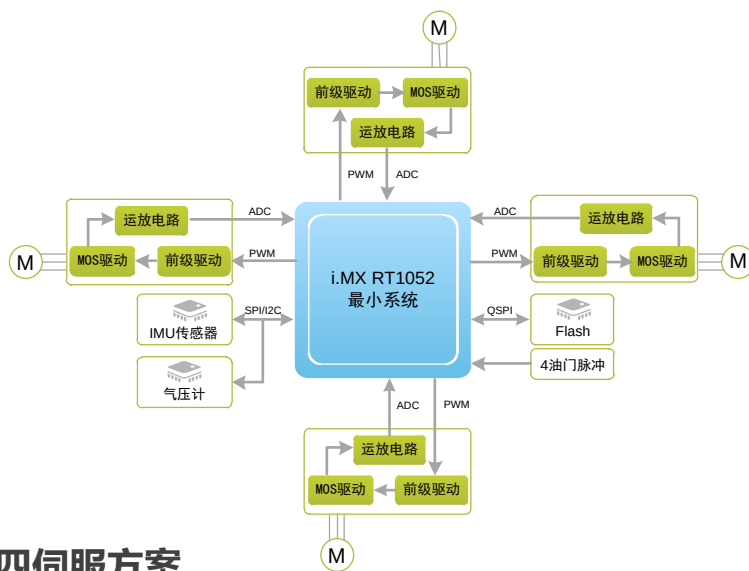
- 基于正交编码器，FOC力矩+速度+位置三环控制，
- 支持参数自动测量，PID参数自动计算；
- 支持开环拖动、霍尔拖动、高频注入、索引观测等多种编码器校准方式；
- 三环控制时，每路电机执行时间小于 $2\mu\text{S}$ @i.MX RT1052。

方案组成：

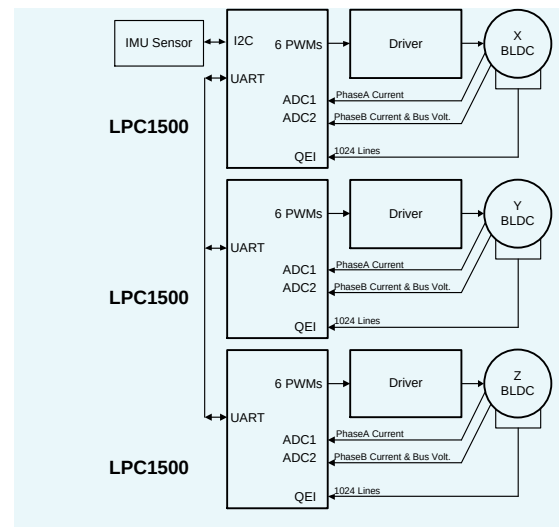
- 基于 ZLG-MotorPort 接口的功率板，20-PIN/2.54，36V/50A，支持差分 and TTL 正交编码或霍尔信号输入；
- 一拖四方案，基于 i.MX RT105，528MHz 主频，8MB SPI Flash，通过 ZLG-MotorPort 外接四套功率板；
- 一拖一方案，基于 LPC15、KV4X 等 Cortex-M3/M4



i.MX RT1052 四伺服方案



LPC1500 稳拍器方案



3.1 电机驱动方案-伺服FOC



演示说明：

视频演示的是RT1052同时控制四路伺服电机，其中一路只使用正交编码器，当旋钮用，控制另外三路转到相应的位置。

i.MX RT1052 四伺服方案

3.1 电机驱动方案-伺服FOC

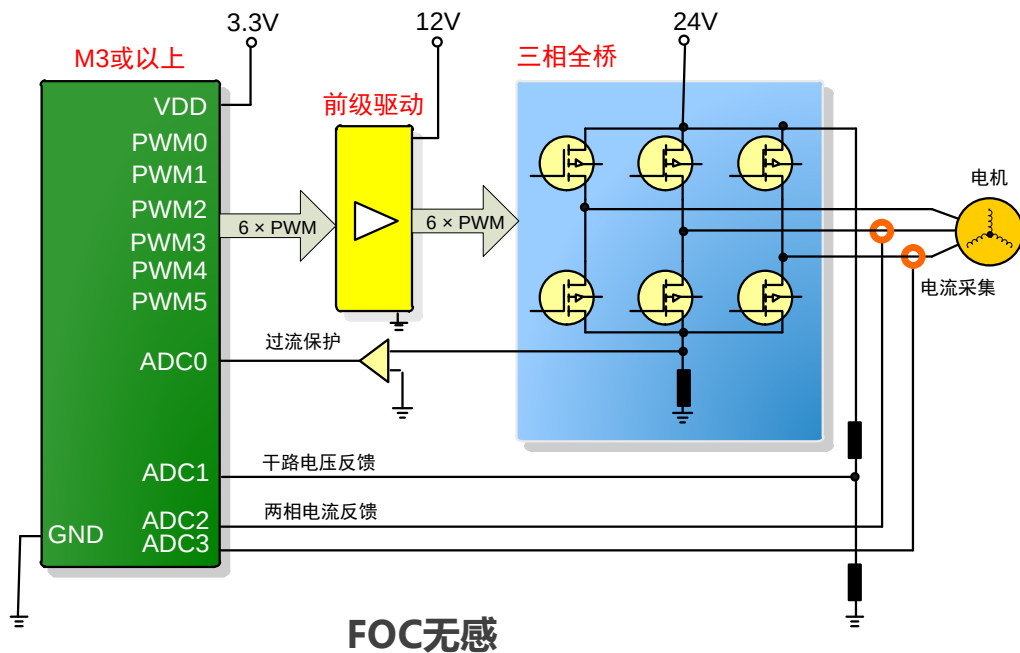


LPC1500 稳拍器方案

演示说明：

这个是产品级的 DEMO 演示，三个 LPC1500，分别用 FOC 三环位置控制摄像机的三个转动方向，其中一个 LPC1500 还兼顾 IMU 的空间位置解算；最后让摄像机一直稳定指向前方。

3.2 电机驱动方案-无感FOC



FOC无感原理

- 和伺服FOC驱动相似，电流也是正弦波、磁场也是垂直转子；
- MCU检测相电流和干路电压，软件估算转子的位置，无需编码器；
- 常规FOC无感算法，低速时位置估算不准确，启动力矩小，启动慢

ZLG-FOC无感特点

- 代码高效，2.5 μ s @i.MX RT1052，产品级算法，医疗产品认证；
- 算法齐备，顺逆风启动、电压补偿、MTPA、多种参数补偿、自动测参；
- 高速节能，7对极35000RPM，比方波省电5%~20%；
- 加减速快，加减速比方波电调快一倍以上；
- 超低噪音，正弦波电流，从启动到最高速电机没有电流声；
- 可靠启动，零速启动，连续3000次从静止瞬间到最高速；
- 稳定高速，速度比一般方波电调高5%以上；
- 多种保护，油门丢失、过压、欠压、过流、堵转、缺相、驱动自检等

3.2 电机驱动方案-无感FOC

方案组成：

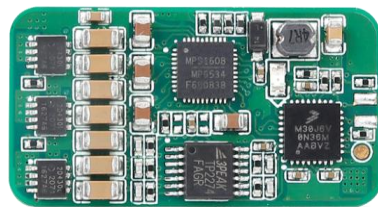
- 基于i.MX RT1052，4个FOC无刷电机+飞行控制算法
- 一拖四方案，基于i.MX RT1052飞行学习板；
- 一拖一方案，基于KV30等Cortex M0/M3/M4



i.MX RT1052 飞行学习板

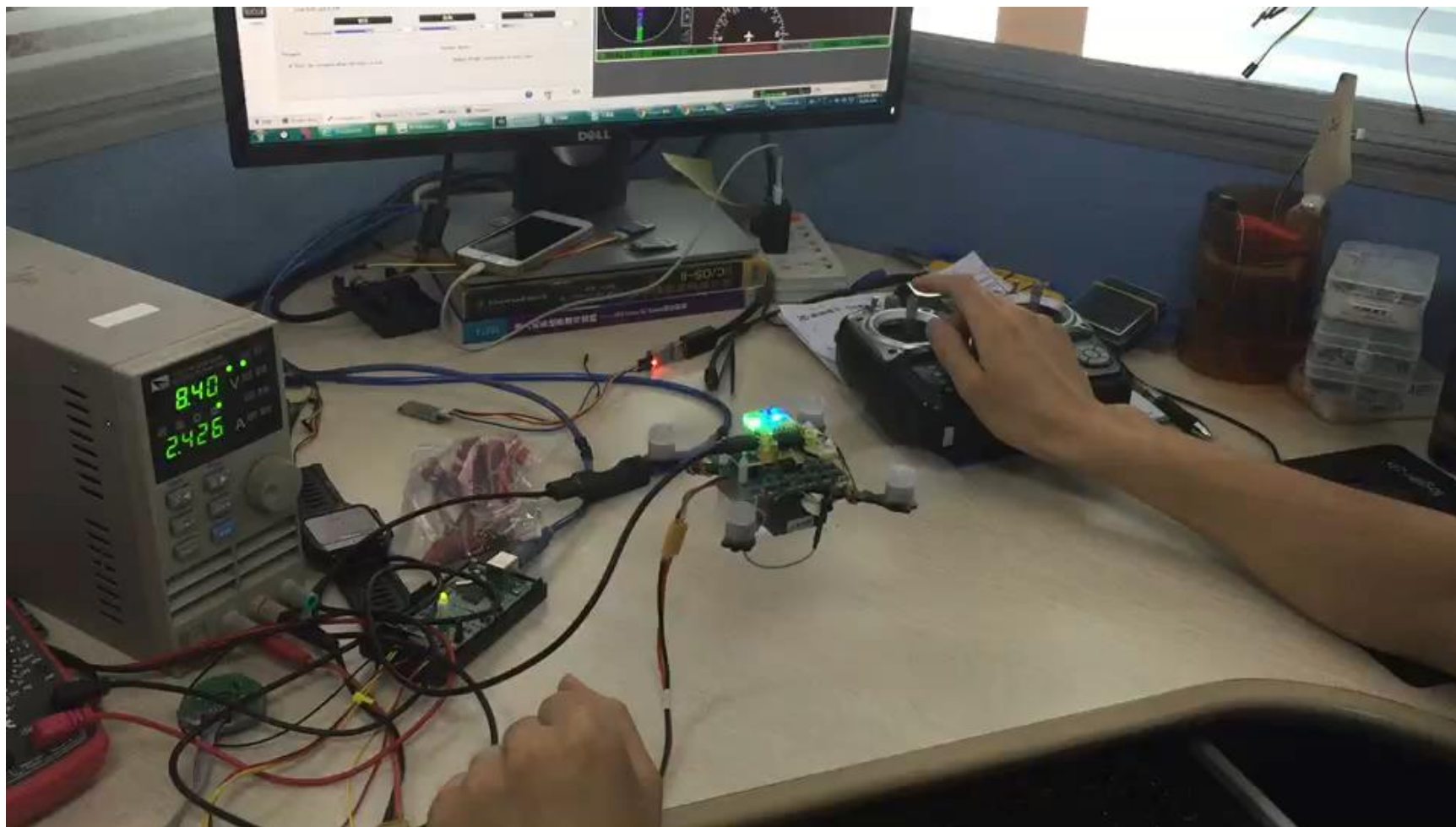
方案特点

- **代码高效**， $3.2\ \mu\text{s}$ @i.MX RT1052， $25\ \mu\text{s}$ @KV30 产品级算法，医疗产品认证；
- **算法齐备**，顺逆风启动、电压补偿、MTPA、多种参数补偿、自动测参；
- **高速节能**，7对极35000RPM，比方波省电5%~20%；
- **加减速快**，加减速比方波电调快一倍以上；
- **超低噪音**，正弦波电流，从启动到最高速电机没有电流声；
- **可靠启动**，零速启动，连续3000次从静止瞬间到最高速；
- **稳定高速**，速度比一般方波电调高5%以上；
- **多种保护**，油门丢失、过压、欠压、过流、堵转、缺相、驱动自检等



KV30 FOC电调评估板

3.2 电机驱动方案-无感FOC

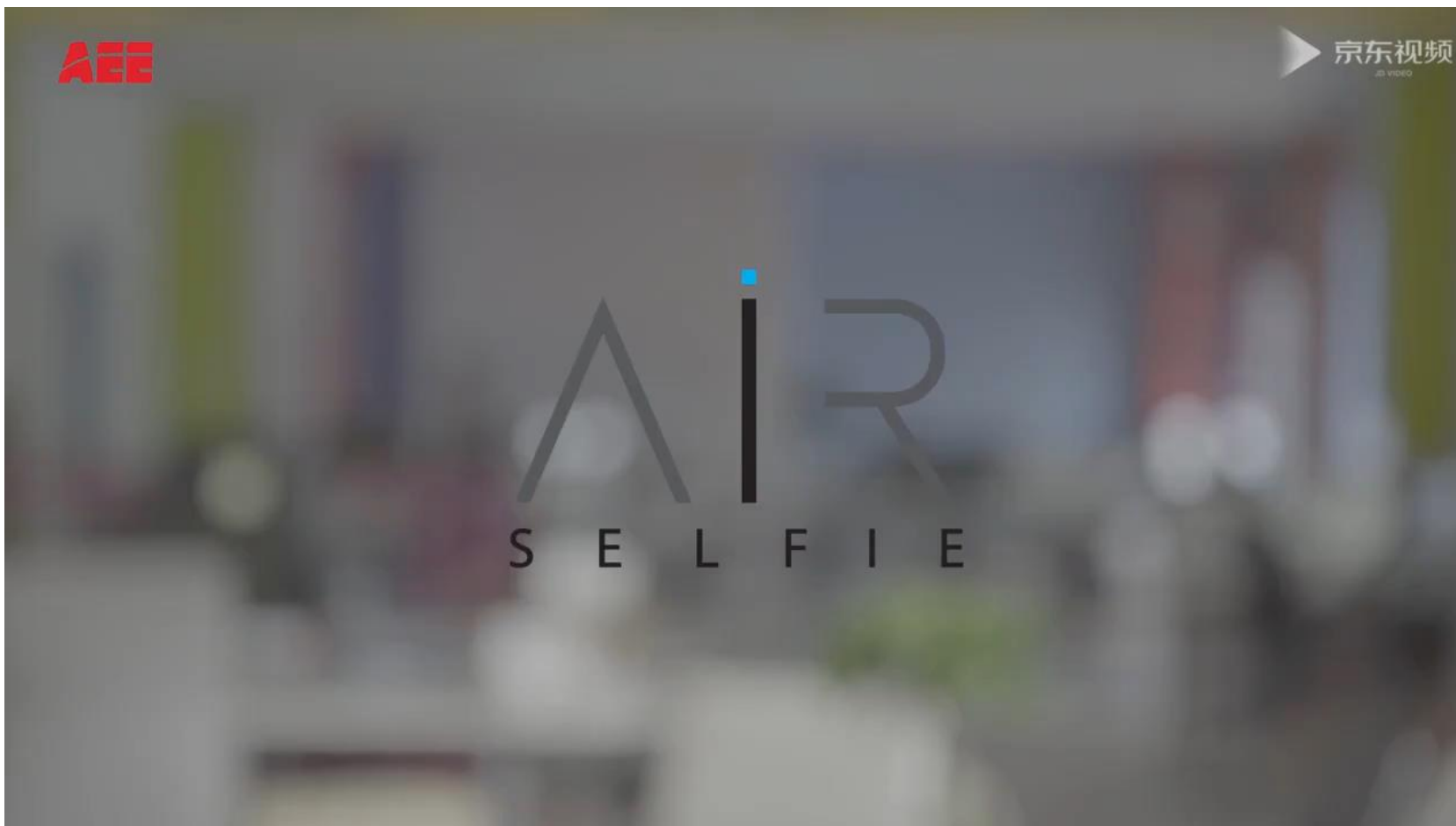


演示说明：

飞行学习板在桌上悬停演示，i.MX RT1052一方面用FOC无感算法，同时控制4路无刷电机，另一方面做基于IMU的飞控算法。

i.MX RT1052飞行学习板

3.2 电机驱动方案-无感FOC



演示说明：

产品应用了KV30 FOC电调方案的掌上无人机，飞机的能效、静音、敏捷性等效果大幅提升，而且体积还能做得很小。

掌上无人机

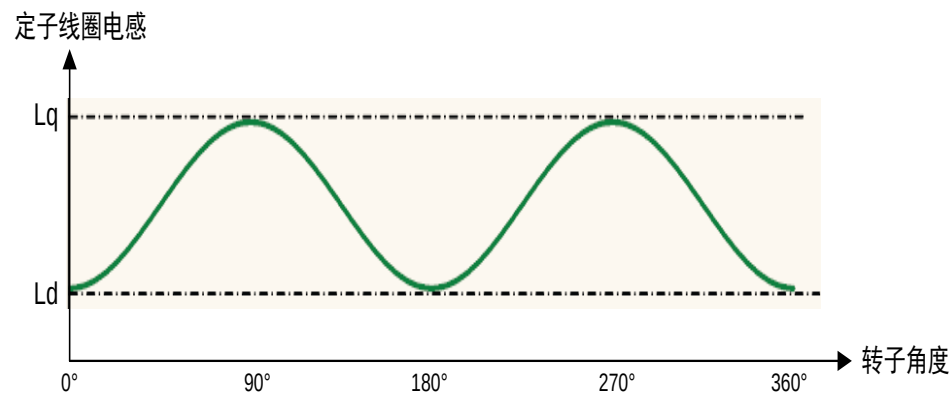
3.3 电机驱动方案-高频注入FOC

传统无感FOC

依靠“反向电动势”观测转子的位置，电机速度较高时才能检测，速度很低时，反向电动势太弱，无法准确观测转子的位置，导致启动不可靠、低速转矩小的缺点。

高频注入法

- **原理**：部分无刷电机的线圈电感量和转子位置相关，近似呈正弦波变化。高频注入法即在线圈上叠加远高于机械频率的电压或电流，一方面对机械转动影响不大，另一方面通过高频电压和电流，测量出电感量，从而观测出转子的位置。
- **优点**：使用高频注入法后的无刷电机，类似安装了高精度编码器，可以在启动和低速阶段让电机输出最大转矩！
- **缺点**：不是全部无刷电机都能采用，仅线圈的电感量变化明显的电机（即凸极性明显的电机），常见是“内嵌式电机”；仅在启动和低速时使用高频注入，且有电流的高频噪声，一般中高速时切换到普通无感FOC状态。



3.3 电机驱动方案-高频注入FOC

方案组成：

- 支持 Cortex M0/M3/M4、DSC等，如KV30；
- 基于ZLG-MotorPort接口的功率板，20-PIN/2.54，36V/50A



KV30 工业散热风机

方案特点

- **代码高效**， $2.9 \mu s$ @i.MX RT1052， $22 \mu s$ @KV30 产品级算法；
- **宽频注入**，注入频率100Hz~4KHz可调，适应不同转速的电机；
- **要求不高**，一般电机凸极性 $L_q/L_d > 1.2$ @1KHz，即可使用；
- **多种模式**，Q轴、D轴、混合等多种注入模式选择，适应不同应用；
- **配置简单**，标准软件接口和使用文档，快速上手



KV30 园林剪刀

3.3 电机驱动方案-高频注入FOC



高频注入FOC 汽车发动机 散热风机

演示说明：

方案使用了FOC高频注入无感算法，风机在完全静止时就可以用FOC闭环控制，启动力矩大、完全没抖动，轻松解决了大惯量风机顺逆风启动的难题！

3.3 电机驱动方案-高频注入FOC



演示说明：

采用了高频注入法的电动剪刀，电机静止也能闭环控制，启动速度大幅提升，缩短了园林工人的作业时间。

高频注入FOC 园林剪刀

汇聚500名工程师的研发测试分享平台



芯片与智能物联解决方案供应商

