

1.引言

1.1 核心组件技术定位

本系统中 RFID 技术的落地核心采用 RC522 射频识别模块，该模块是 NXP 推出的高频（13.56MHz）RFID 读写芯片解决方案，具有成本低、集成度高、抗干扰能力强等优势，完美适配工业场景中中短距离（通常 2-10cm）的精准识别需求。FOC（磁场定向控制）电机技术则通过对电机磁通与转矩的独立调节，实现高精度、高效率的动力输出控制。二者的融合，本质上是通过 RC522 模块完成物料信息的采集与交互，以该信息为指令源驱动 FOC 电机执行柔性分拣动作，形成“信息感知-指令解析-精准执行”的闭环控制系统。

RC522 模块的技术特性决定了其在工业分拣场景的适配性：支持 ISO/IEC 14443A/B 协议，可稳定读写 MIFARE 1K/4K 等主流非接触式 RFID 标签；内置天线驱动电路，无需额外功率放大模块即可满足分拣工位的识别需求；采用 SPI 通信接口，能与 FOC 电机控制器实现高速数据交互（通信速率可达 10Mbps），确保物料信息读取与电机控制指令下发的实时同步。

1.2 应用价值与技术优势

相较于传统光电传感器+固定程序的分拣模式，基于 RC522 的融合系统核心优势体现在三点：一是信息承载量提升，RC522 可读取标签内存储的物料重量、尺寸、材质等多维度参数，而非仅判断“有无”；二是成本可控性强，RC522 模块单价仅 5-10 元，远低于工业级 UHF 读写器，适合中小制造企业规模化部署；三是抗干扰适配性好，13.56MHz 高频信号受金属物料干扰较小，配合 RC522 内置的 CRC 校验与防碰撞算法，在多物料同时通过时识别准确率可达 99.8%以上。

1.3 应用价值与市场前景

RFID 技术控制 FOC 电机的物料追踪与柔性分拣系统在工业自动化领域具有巨大的应用价值。根据市场研究数据，2024 年全球 RFID 市场规模达到约 193 亿美元，预计 2031 年将达到 290 亿美元，年复合增长率为 6.1%(177)。同时，全球 FOC 电机 MCU 市场 2024 年收入约 16.4 亿美元，预计 2031 年达到 27.4 亿美元，年复合增长率为 7.6%。

在中国市场，RFID 技术的应用增长更为迅速。2025 年中国 RFID 无源物联网工业应用市场规模突破 180 亿元，同比增长 32%，其中汽车制造、锂电、光伏三大一级市场贡献超 70% 的市场份额。特别是在柔性制造领域，RFID 与 FOC 电机的融合技术正在成为推动产业升级的关键技术。

该技术的核心价值体现在以下几个方面：

提高生产效率：通过 RFID 自动识别和 FOC 电机的精准控制，分拣效率可提升 50% 以上，部分应用场景下可达 4 倍的效率提升。

降低运营成本：减少人工干预，降低物料损坏率，提高设备利用率。某物流企业通过引入该技术，将分拣误差率从 0.5% 降至 0.03%。

增强系统柔性：能够根据不同物料的特性自动调整分拣策略，适应多品种、小批量的生产需求，真正实现“一物一策”的柔性生产。

实现全程追溯：通过 RFID 标签记录物料的全流程信息，包括生产、运输、存储、分拣等各个环节，为质量控制和供应链管理提供完整的数据支持。



2.系统架构

2.1 RC522 模块的信息采集机制

RC522 在系统中承担“前端感知”角色，其工作流程分为标签激活、数据读写、信息上传三个阶段。当贴有 RFID 标签的物料通过分拣工位时，RC522 模块通过内置天线发射 13.56MHz 的高频电磁场，标签进入磁场后通过电磁感应获得能量并激活；随后 RC522 通过命令帧与标签建立通信，按照 ISO/IEC 14443A 协议的帧格式读取标签内存储的物料数据，包括唯一标识 ID、重量参数（单位：g）、尺寸数据（长×宽×高，单位：mm）、材质类型（如“精密电子”“重型金属”）等；读取完成后，RC522 通过 SPI 接口将数据传输至主控单元（如 STM32 单片机），完成信息采集环节。

为适配分拣场景需求，RC522 的参数配置需进行针对性优化：将天线驱动电流设为 140mA，确保识别距离稳定在 5-8cm（适配物料传输带与读写器的安装间距）；开启多标签防碰撞模式，采用动态时隙算法，避免多个物料同时通过时的数据冲突；设置数据读取超时时间为 50ms，确保在物料高速传输（最高 1.5m/s）时仍能完成一次完整的信息采集。

2.2 FOC 电机的控制策略与指令交互

FOC 电机控制系统以 RC522 采集的物料数据为核心输入，通过坐标变换技术实现电机转矩与转速的精准调节。主控单元接收 RC522 传输的数据后，首先进行解析与分类：若识别为“精密电子元件”（如芯片、电容），则触发 FOC 电机的“低转速高扭矩”模式，将转速设定为 50rpm，扭矩调整至 0.5N·m，确保运输时不会产生机械损伤；若识

别为“重型金属箱体”（重量 $>5\text{kg}$ ），则切换至“高扭矩快速响应”模式，转速提升至 300rpm ，转矩增至 $5\text{N}\cdot\text{m}$ ，满足高效分拣需求；若识别为“易碎塑料件”，则启动“软启停”控制，通过平滑的电流调节避免启停冲击。

RC522 与 FOC 电机控制器的指令交互采用“双向通信”机制：一方面，RC522 上传物料数据作为控制指令源；另一方面，FOC 电机的运行状态（如实时转速、电流、温度）通过主控单元反馈至 RC522 模块，若需写入标签（如记录分拣时间、责任人），RC522 可完成数据写入操作，实现物料全流程追溯。该交互过程的延迟控制在 10ms 以内，确保电机控制的实时性。

2.3 系统整体架构设计

系统采用“感知层-控制层-执行层”三级架构，各层级以 RC522 模块为信息核心实现协同工作：

- 感知层**：由 RC522 读写模块、RFID 标签、辅助传感器（光电传感器）组成。RC522 为核心部件，部署于分拣工位两侧，与物料传输带间距保持 6cm ；RFID 标签采用 MIFARE 1K 卡片，贴附于物料表面或内嵌于载具中，每个标签分配唯一 ID 与物料参数绑定；光电传感器用于触发 RC522 工作（仅当物料到达时启动识别，降低能耗）。
- 控制层**：包含 STM32 主控单元、FOC 电机驱动芯片（如 DRV8313）、数据存储模块。主控单元负责解析 RC522 数据、生成 FOC 控制指令；驱动芯片将控制信号转换为电机驱动电流；数据存储模块记录 RC522 读取的物料信息与电机运行数据，支持后续追溯。
- 执行层**：由 FOC 电机、分拣传送带组成。FOC 电机根据控制指令调整运行参数，控制传送带调整传输速度，实现“一物一策”的柔性分拣。

3.核心技术原理

3.1 RC522 与卡片的通信工作流程

整个流程通常包括寻卡（Request）、防冲突（Anti-collision）、选卡（Select）和数据交换（Authentication & Read/Write）四个主要阶段。

3.1.1 阶段一：寻卡与唤醒 (Request)

这是通信的起始阶段，读写器向工作区域内的所有卡片发送请求。

- 1.发送寻卡命令：RC522 读写器发送一个寻卡命令（如 `REQA` 或 `WUPA`），请求处于空闲或休眠状态的卡片响应。
- 2.卡片响应：范围内所有遵循协议的卡片接收到能量和命令后，会被唤醒并返回一个简单的信号（如 `ATQA` 响应），表明自己的存在和类型。

3.1.2 阶段二：防冲突 (Anti-collision)

由于电磁场内可能存在多张卡片，读写器必须从中识别并选中一张进行通信，防止多卡同时

响应造成冲突。

1. 读取 UID：读写器发送防冲突命令，要求卡片发送其唯一标识符（UID）。

2. 冲突检测与解析：如果多张卡片同时发送 UID，会发生冲突。RC522 会根据协议，通过分层的位比较和重试机制，确保一次只从一张卡片中完整读取 UID。

3.1.3 阶段三：选卡 (Select)

在成功读取一张卡片的 UID 后，读写器需要正式选择该卡片。

1. 发送选卡命令：读写器发送该卡片的完整 UID。

2. 卡片响应：被选中的卡片回复一个确认信息（如 'SAK'），并进入活动状态（Active），准备进行下一步的数据操作。其他卡片则返回空闲状态或休眠。

3.1.4 阶段四：数据交换（Authentication & Operation）

这是流程的最终目的，读写器与被选中的卡片进行数据的安全读写。

1. 密钥认证（Authentication）：（对于 MIFARE Classic 等具有存储器的卡片）读写器必须先使用正确的密钥对目标扇区进行认证。

- 读写器发送认证命令（指定扇区地址和密钥类型）。

- 卡片使用密钥和读写器进行加密握手。

- 只有认证成功，才能访问该扇区的数据块。

2. 数据操作：

- 读取数据：读写器发送读取命令，卡片返回指定数据块的内容。

- 写入数据：读写器发送写入命令和数据，卡片将数据写入目标数据块。

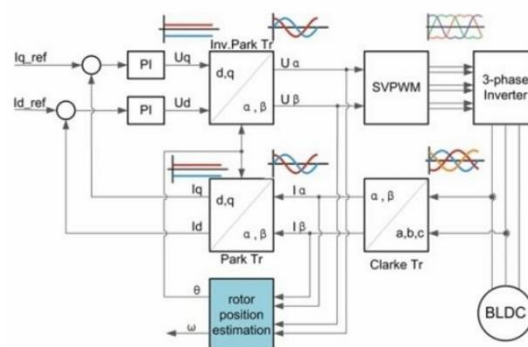
3.1.5 阶段五：停止通信 (Halt)

- 停止命令：数据操作完成后，读写器可以发送 'HALT' 命令，使当前活动的卡片进入休眠状态。

- 结束通信：读写器拉高 NSS/CS 信号线，结束本次 SPI 通信。

3.2 FOC 驱动原理

3.2.1 三环嵌套（电流环，速度环，位置环）



有感 FOC 步骤框图

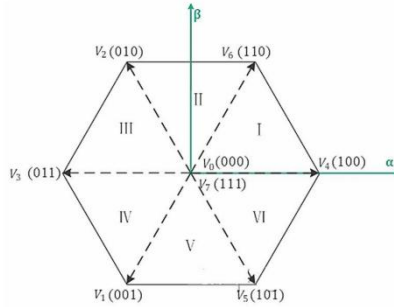
控制过程：

1. 对电机三相电流进行采样得到 I_a 、 I_b 、 I_c ；
2. 将 I_a 、 I_b 、 I_c 经过 Clark 变换得到 I_α 、 I_β ；
3. 将 I_α 、 I_β 经过 Park 变换得到 I_q 、 I_d ；
4. 计算 I_q 、 I_d 和其设定值 I_{q-ref} 、 I_{d-ref} 的误差；
5. 将上述误差输入两个 PID（只用到 PI）控制器，得到输出的控制电压 U_q 、 U_d ；
6. 将 U_q 、 U_d 进行反 Park 变换得到 U_α 、 U_β ；
7. 用 U_α 、 U_β 合成电压空间矢量，输入 SVPWM 模块进行调制，输出该时刻三个半桥的状态编码值；
8. 按照前面输出的编码值控制三相逆变器的 MOS 管开关，驱动电机；
9. 循环上述步骤；

3.2.2 原理（无刷直流电机可分为定子和转子）

（1）六步换相

通过按固定顺序依次导通三相绕组中的两对，每 60° 电角度切换一次导通相序，模拟有刷电机的机械换向过程：每次导通的两相绕组通电产生定子磁场，吸引永磁转子磁极使其转动，六个切换状态（对应 360° 电周期）形成连续旋转的磁场，驱动转子平滑运转；其核心依赖霍尔传感器或反电动势检测转子位置，以确定换相时机，实现“无刷”下的精准转矩控制。



（2）克拉克变换及其逆变换（降维解耦）

通过坐标系转换，把复杂的三相交流电机模型转化为“类直流电机”的双变量模型，大幅降低 FOC 的控制难度，实现对电机磁场、转矩的精准调控。

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

克拉克逆变换可得：

$$\begin{cases} I_a = I_\alpha \\ I_b = \frac{\sqrt{3}I_\beta - I_\alpha}{2} \\ I_c = \frac{-\sqrt{3}I_\beta - I_\alpha}{2} \end{cases}$$

（3）帕克变换（ θ 是电角度，由编码器实时提供的）

帕克变换是一种“让旋转磁场‘静止’在坐标系中”的坐标变换技术，通过构造与磁场同步旋转的 d-q 系，将三相交流量解耦为直流分量，大幅简化了电机等电力设备的分析与控制。

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

帕克逆变换得：

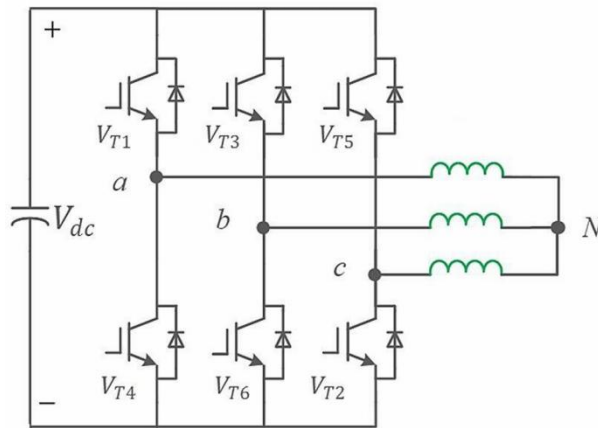
$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix}$$

(4) 电角度的计算

电角度=机械角度*极对数，则三相电压空间矢量相加的合成空间矢量 $U(t)$ 就可以表示为

$$U(t) = K[U_A(t) + U_B(t)e^{j\frac{2\pi}{3}} + U_C(t)e^{j\frac{4\pi}{3}}] = K\frac{3\sqrt{2}}{2}U_m e^{j2\pi ft}$$

可见 $U(t)$ 是一个旋转空间矢量，其幅值不变，为相电压峰值的 1.5 倍。

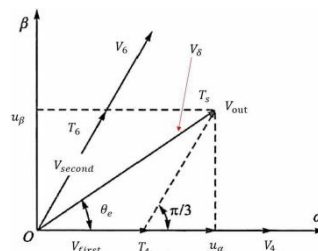


S_a	S_b	S_c	状态V	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}
0	0	0	V_0	0	0	0
0	0	1	V_1	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$\frac{2}{3}V_{dc}$
0	1	0	V_2	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$
0	1	1	V_3	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$\frac{1}{3}V_{dc}$	$\frac{1}{3}V_{dc}$
1	0	0	V_4	$\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$
1	0	1	V_5	$\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$\frac{1}{3}V_{dc}$
1	1	0	V_6	$\frac{1}{3}V_{dc}$	$\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$
1	1	1	V_7	0	0	0

$$\left\{ \begin{array}{l} V_0 = V_7 = 0 \\ V_1 = \frac{2}{3}(-\frac{1}{3}V_{dc} - \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} + \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}}) = \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}} \\ V_2 = \frac{2}{3}(-\frac{1}{3}V_{dc} + \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} - \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}}) = \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} \\ V_3 = \frac{2}{3}(-\frac{2}{3}V_{dc} + \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} + \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}}) = -\frac{2}{3}V_{dc} \\ V_4 = \frac{2}{3}(\frac{2}{3}V_{dc} - \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} - \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}}) = \frac{2}{3}V_{dc} \\ V_5 = \frac{2}{3}(\frac{1}{3}V_{dc} - \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} + \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}}) = \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{5\pi}{3}} \\ V_6 = \frac{2}{3}(\frac{1}{3}V_{dc} + \frac{1}{3}V_{dc}e^{j\frac{2\pi}{3}} - \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{4\pi}{3}}) = \frac{2}{3}V_{dc}e^{j\frac{\pi}{3}} \end{array} \right.$$

可以分成一组零向量 V_0 、 V_7 和一组非零向量 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 、 V_6 ，将这六个非零向量的顶点连接起来，可以分成 6 个扇形区域。

在 T_s 周期内，可以分成多个 T_i ，即 $T_s = \sum T_i$ ，其中 T_s 是无穷小项。



在扇形分区 1:

$$\begin{cases} T_s V_{out} = T_4 V_4 + T_6 V_6 + T_0 V_0 \\ T_s = T_0 + T_4 + T_6 \\ V_{first} = \frac{T_4}{T_s} V_4 \\ V_{second} = \frac{T_6}{T_s} V_6 \\ \frac{|V_{out}|}{\sin(\frac{\pi}{3})} = \frac{|V_{first}|}{\sin(\frac{\pi}{3}-\theta)} = \frac{|V_{second}|}{\sin(\theta)} \\ V_4 = \frac{2}{3} V_{dc} \\ V_6 = \frac{2}{3} V_{dc} e^{j\frac{\pi}{3}} \end{cases}$$

可得到:

$$\begin{cases} |V_4| = |V_6| = \frac{2}{3} V_{dc} \\ |V_{out}| = u_m \\ T_4 = \sqrt{3} \frac{u_m}{V_{dc}} T_s \sin(\frac{\pi}{3} - \theta) \\ T_6 = \sqrt{3} \frac{u_m}{V_{dc}} T_s \sin(\theta) \\ T_0 = T_7 = \frac{1}{2} (T_s - T_4 - T_6) \end{cases}$$

已知在一个开关周期 T_s 是不够的, 还需要知道这个 T_i 是怎么分配的, 可以按照一个原则来分配: 在合成一次参考电压时 (一个开关周期 T_s 内), 开关动作次数最少。这样逆变器上开关的损耗最小。

扇形位置	开关顺序
$I(0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ)$	$0 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 0$
$II(60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ)$	$0 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 0$
$III(120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$	$0 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 0$
$IV(180^\circ \leq \theta \leq 240^\circ)$	$0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 0$
$V(240^\circ \leq \theta \leq 300^\circ)$	$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 0$
$VI(300^\circ \leq \theta \leq 360^\circ)$	$0 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 0$

扇区判定:

扇区	$-\frac{\sqrt{3}}{2}\alpha - \frac{1}{2}\beta$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\alpha - \frac{1}{2}\beta$	u_β	N
I	0	1	1	3
II	0	0	1	1
III	1	0	1	5
IV	1	0	0	4
V	1	1	0	6
VI	0	1	0	2

根据上图可以得到以 u_α 、 u_β 为自变量:

$$\begin{cases} u_\alpha = \frac{T_4}{T_s} |V_4| + \frac{T_6}{T_s} |V_6| \cos(\frac{\pi}{3}) \\ u_\beta = \frac{T_6}{T_s} |V_6| \sin(\frac{\pi}{3}) \end{cases}$$

可以推导得到:

$$\begin{cases} T_4 = \frac{\sqrt{3}T_s}{2V_{dc}} (\sqrt{3}u_\alpha - u_\beta) \\ T_6 = \frac{\sqrt{3}T_s}{V_{dc}} u_\beta \end{cases}$$

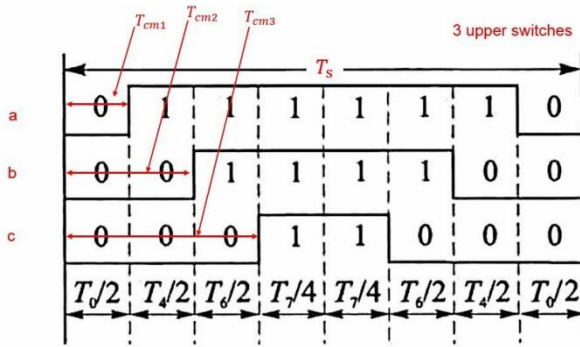
为了在其他扇区中重复利用在第一个扇区得到的上述结论并简化表达式，定义了三个变量：

$$\begin{cases} X = \frac{\sqrt{3}T_s u_\beta}{V_{dc}} \\ Y = \frac{\sqrt{3}T_s}{V_{dc}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} u_\alpha + \frac{1}{2} u_\beta \right) \\ Z = \frac{\sqrt{3}T_s}{V_{dc}} \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} u_\alpha + \frac{1}{2} u_\beta \right) \end{cases}$$

可以归到下列表中：

N	1(II)	2(VI)	3(I)	4(IV)	5(III)	6(V)
T_{first}	Z	Y	$-Z$	$-X$	X	$-Y$
T_{second}	Y	$-X$	X	Z	$-Y$	$-Z$

$$T_0(T_7) \quad T_0(T_7) = \frac{1}{2}(T_s - T_{first} - T_{second})$$



可求得 T_{cm1} 、 T_{cm2} 、 T_{cm3} 如下表所示

N	1(II)	2(VI)	3(I)	4(IV)	5(III)	6(V)
T_{cm1}	$\frac{T_0 + T_{first}}{2}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first} + T_{second}}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first} + T_{second}}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first}}{2}$
T_{cm2}	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first} + T_{second}}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first}}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first}}{2}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first} + T_s}{2}$
T_{cm3}	$\frac{T_0 + T_{first} + T_{second}}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first}}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first} + T_{second}}{2}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{T_0 + T_{first}}{2}$	$\frac{T_0}{2}$

速度环：

U_d	d相电压	R_s	电阻
U_q	q相电压	ω_e	反电动势
L_d	d相电感	Ψ_f	磁链
L_q	q相电感		

影响因子

{

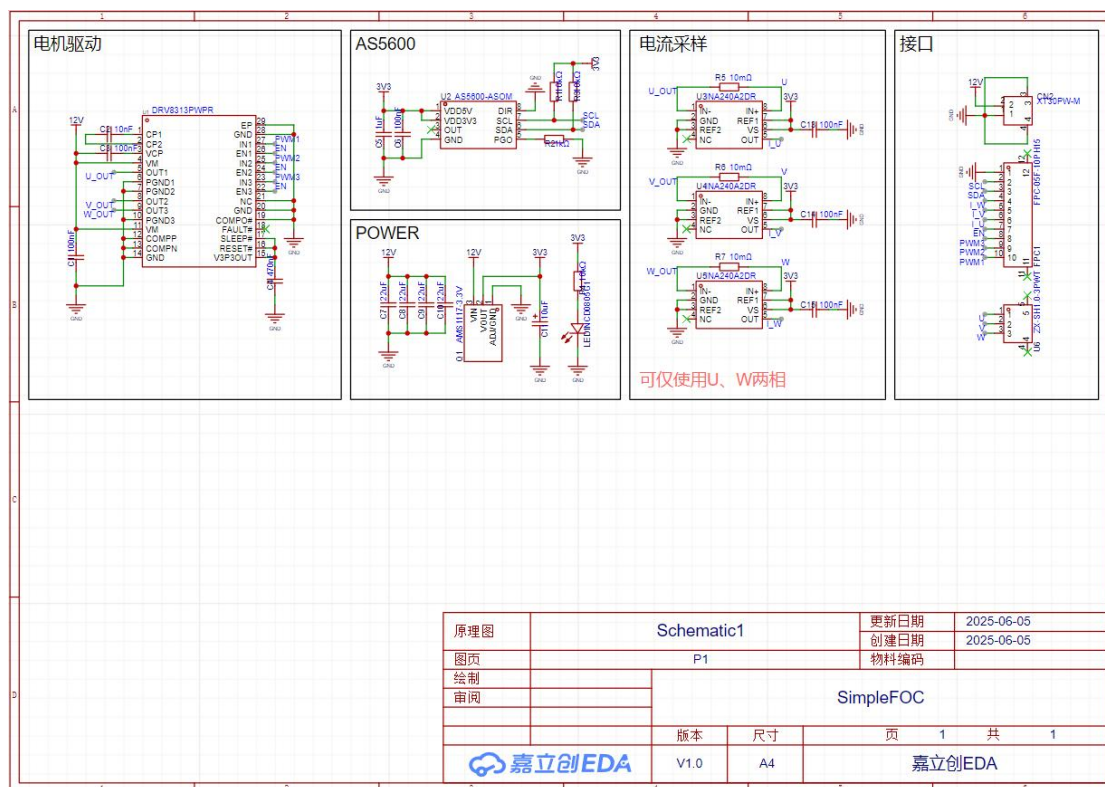
$$\begin{cases} U_d = R_s I_d + L_d \frac{dI_d}{dt} - \omega_e L_q I_q \\ U_q = R_s I_q + L_q \frac{dI_q}{dt} - \omega_e (L_d I_d + \Psi_f) \end{cases}$$

电源电压
负载
电机参数

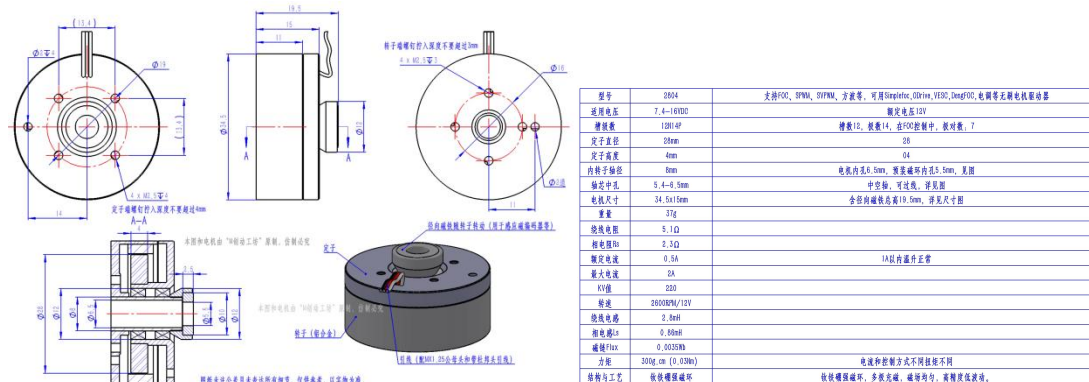
故 由此可以推出， U_d 和 U_q 会相互影响，且调节的时候，先调节 U_d 相对于 U_q 来说较为安全。

3.3 项目硬件设计

3.3.1 2804 中空云台电机驱动板设计



3.3.2 2804 中空云台电机结构设计及参数列表



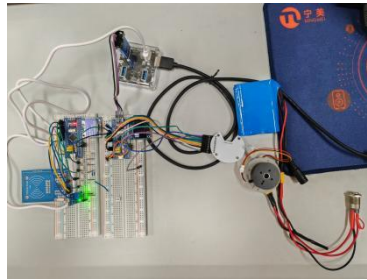
3.3.3 RC522 模块设计及参数列表



4.效果展示

4.1 整体展示

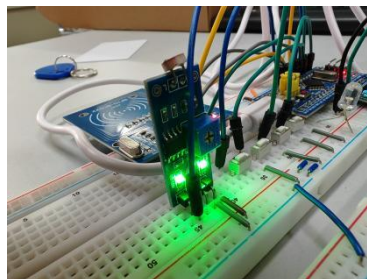
整个项目由两个 STM32F103C8T6 作为主控。左侧的主控连接 RC522 射频接收器，对靠近的标签进行读取和改写，将读取的标签通过 LED 屏幕进行展示，使用了一个光敏电阻对现场的光照进行测量。左侧的主控与右侧的主控通过串口进行通信。右侧主控则在接受到左侧主控发来的不同的 ID 号控制电机的不同转速。



4.2 各部分控件

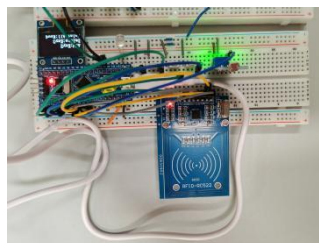
4.2.1 光敏传感器

通过光敏传感器测量现场的光照强度，如果低于要求的光照强度，系统将点亮白色 LED 灯对现场环境进行补光。



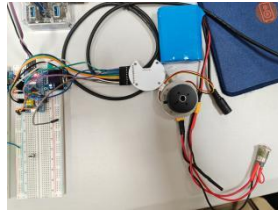
4.2.2 RC522 读写器

当一张带有标签的 13.56MHz 卡片靠近时，读写器会将卡片上带有的 ID 号进行读取，并将其通过串口传输给 stm32 主控，然后在 OLED 屏幕上显示 ID 号码。除此之外，可以通过按钮对卡上的标签进行添加和删除。当有多张 13.56MHz 的卡片靠近时，由于防碰撞机制，读卡器不会读取到任何标签。



4.2.3 伺服电机

当读写器接受到不同的 ID 号时，主控将对其进行选择判断，然后输出不同的编码，让电机进行不同的转速。



4.2.4 OLED 屏幕

上侧 OLED 屏幕将对读取到的 ID 号进行展示，下侧的 OLED 屏幕会对电机的实时速度和编码器位置进行展示，并且输出 ID 号码。



5.典型应用场景

5.1 电子制造业：精密元件分拣线

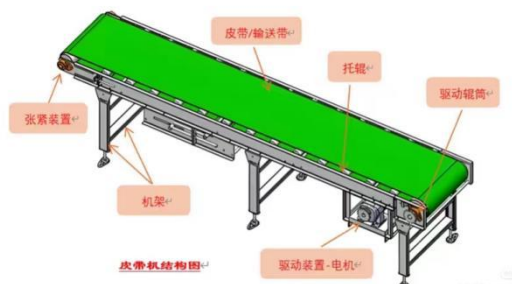
某手机配件厂的芯片托盘分拣线，需求为“区分不同型号芯片，避免高速传输导致的引脚变形”。系统配置：RC522 模块部署于传送带两侧，芯片托盘贴附 MIFARE 1K 标签，存储芯片型号（如“骁龙 8 Gen3”）、重量（0.3kg）、易碎等级（高）等信息。

控制流程：当托盘通过光电传感器时，RC522 立即读取标签信息，主控单元识别“易碎等级高”后，向 FOC 电机发送指令，传送带从空载 0.8m/s 降至 0.3m/s，同时保持转矩 0.8N·m 稳定运行；当托盘到达分拣推臂位置时，推臂同步动作（由电机转速信号触发，确保速度匹配），将托盘推送至对应料箱。

5.2 汽车零部件行业：变速箱壳体分拣线

某汽车厂的变速箱壳体分拣线，需求为“根据壳体重量分配至不同加工工位，重载时避免传送带减速”。系统配置：RC522 模块读取壳体标签内的重量（6kg）、材质（铝合金）、目的地工位编码等信息，FOC 电机采用 1.5kW 型号，驱动宽 1.2m 的重型传送带。

控制流程：RC522 识别“重量 6kg”后，触发 FOC 电机的“重载高效模式”，传送带转速维持 1.0m/s，转矩提升至 3N·m，确保壳体平稳传输；当壳体到达对应工位编码的分拣节点时，RC522 反馈位置信号，电机保持转速稳定，推臂动作完成分拣；壳体离开后，电机自动切换至空载模式，转速降至 0.2m/s。



6. 实施建议与发展趋势

6.1 不同规模企业的实施策略

- **小微企业：**采用“单 RC522+单 FOC 电机”的极简配置，优先实现核心物料的速度适配，后期逐步扩展标签覆盖范围；可选择开源主控方案（如 Arduino+RC522），进一步降低成本。
- **中型制造企业：**部署“多工位 RC522 联动”系统，在传送带起点、分拣节点、终点各设 1 台 RC522，实现物料全流程追踪与多段调速；搭配数据监控屏，实时显示传送带速度与物料信息。
- **大型企业：**将系统与 MES 系统对接，RC522 读取的物料信息与 FOC 电机运行数据同步上传至云端，通过大数据分析优化调速参数；采用双 FOC 电机冗余驱动，确保传送带 24 小时稳定运行。

6.2 技术升级方向

当前系统已实现 RFID 与 FOC 电机融合的核心目标，但结合工业自动化的发展趋势与技术升级需求，未来可从智能化深化、功能集成化、产业化推广三个方向展开突破。

在智能化深化方面，可引入边缘计算与 AI 优化算法。基于现有系统积累的物料参数（重量、尺寸、材质）与电机控制数据（转速、转矩、能耗），训练专属 AI 模型，实现控制参数的自学习优化——例如针对不同批次物料的细微重量偏差，模型可自动调整 FOC 电机的转矩阈值，将速度控制误差从 $\pm 0.02\text{m/s}$ 进一步压缩至 $\pm 0.01\text{m/s}$ ；同时，利用 AI 算法强化多标签识别场景的冲突处理能力，解决当前多卡靠近时“零识别”的局限，实现多物料的有序识别与连续调速。

在功能集成化方面，推动“感知-控制-互联”的全链路升级。感知层可在 RC522 模块基础上集成温湿度、振动等多维度传感器，实现物料状态与环境参数的同步采集，为电机控制策略提供更全面的决策依据；控制层引入 5G 或工业以太网模块，替代当前的串口通信，实现双主控及与 MES 系统的高速互联，支持多分拣线的协同控制与云端数据管理；执行层可搭配视觉识别模块，与 RC522 形成“双重校验”，避免标签脱落或损坏导致的分拣失误，提升系统冗余能力。

在产业化推广方面，需构建“分层适配+标准输出”的推广体系。针对小微企业，推出“单 RC522+单 FOC 电机+开源主控”的低成本套餐，简化部署流程；针对中大型企业，提供“多工位联动+数据中台+定制化算法”的全套解决方案，满足柔性制造与全流程追溯需求；同时，联合芯片厂商与设备制造商制定 RC522 与 FOC 电机的通信接口标准，降低不同品牌设备的兼容成本，推动技术在汽车制造、锂电、光伏等重点领域的规模化应用。

随着全球 RFID 市场与 FOC 电机 MCU 市场的持续增长，二者的融合技术将成为智能制造的核心支撑之一。未来系统将进一步突破“低成本”与“高精度”的平衡瓶颈，从单一分拣场景延伸至物料仓储、运输调度等全链路环节，最终实现“感知-控制-追溯-优化”的全流程智能化，为工业 4.0 升级提供更具性价比的技术方案。

7. 总结

基于 RC522 模块的 RFID+FOC 电机传送带控制系统，以低成本、高精度、高柔性为核心竞争力，通过 RC522 模块的精准信息采集能力与 FOC 电机的动态调速优势形成高效融合，彻底解决了传统传送带运行模式固定、负载适配性差的核心弊端。该系统的技术逻辑清晰，以物料信息为指令源驱动执行环节精准动作，构建起稳定的闭环控制体系，尤其契合中小制

造企业的智能化升级需求。在电子、汽车零部件、轻工等多个行业场景中，其展现出的实用价值与适配能力已得到充分验证。随着技术的持续优化，这一融合方案将成为智能制造领域物料传输与分拣环节的重要支撑，为产业生产效率与产品质量的提升提供有力保障。

在功能拓展上，系统通过光敏传感器补光、OLED 屏实时显示、串口双主控通信等设计，进一步提升了工业适配能力。光照自适应补光保障了摄像头在复杂光照下的识别效果，双 OLED 屏分别展示标签 ID 与电机运行参数，实现了“信息采集-执行状态”的可视化监控，为现场运维提供了便捷支撑。