密 级：

文档编号：

版 本：

|  |  |
| --- | --- |
| 编 制： |  |
| 标 准 化： |  |
| 审 核： |  |
| 批 准： |  |
| 日 期： |  |

双轴无刷驱动软件测试方案

高仙自动发科技发展有限公司



**修订记录**

A-新增 M-修改 D-删除

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **版本** | **日期** | **变更类型**  **（A-M-D）** | **修订原因** | **修订人** |
| V0.0 | 2022.6.15 | A | 初版 | 王志江 |
|  |  |  |  |  |

目 录

[1 简介 4](#_Toc103347922)

[1.1 目的 4](#_Toc103347923)

[1.2 术语和缩略语 4](#_Toc103347924)

[2 测试范围 4](#_Toc103347925)

[2.1 测试背景 4](#_Toc103347926)

[2.2 接口测试 4](#_Toc103347927)

[2.3 软件代码框架测试 5](#_Toc103347928)

[2.4 功能测试模块 5](#_Toc103347929)

[2.5 性能测试指标 5](#_Toc103347930)

[3 测试策略 6](#_Toc103347931)

[3.1 框架测试 6](#_Toc103347932)

[3.2 功能测试 6](#_Toc103347933)

[3.3 上位机功能测试 6](#_Toc103347934)

[3.4 性能测试 7](#_Toc103347935)

[4 测试工具和环境 7](#_Toc103347936)

[4.1 测试工具 7](#_Toc103347937)

[4.2 测试环境 7](#_Toc103347938)

[5 测试规划 7](#_Toc103347939)

[5.1 测试活动规划 7](#_Toc103347940)

# 简介

## 目的

测试双轴无刷直流驱动系统，验证软件代码设计各模块功能正常。

## 术语和缩略语

|  |  |
| --- | --- |
| 缩略语 | 定义 |
| ADC | Analog-to-digital converter  模数转换器 |
| PWM | Pulse width modulation  脉冲宽度调试 |
| MC | Motor control  电机控制 |
| PI | proportion-integral  比例-积分 |
| LWIP | Light Weight (轻型)IP协议 |
| MCU | Microcontroller Unit  微控制单元 |

# 测试范围

## 测试背景

针对S线、M线、X线底盘轮毂电机的需求，设计双轴电机驱动方案。本轮测试总体范围包括软件代码整体框架、各具体模块功能测试、性能测试、CAN口测试等。

## 接口测试

1．代码下载口：支持J\_Link、ST\_Link调试是否正常、有无掉固件。

2．串口：查看计算机COM口，串口调试软件是否可以正常连接、串口通信是否正常。

3．CAN口：CAN上位机是否可以正常连接、CAN通信是否正常。

4．485口：查看计算机COM口，串口调试软件是否可以正常连接、485通信是否正常。

## 软件代码框架测试

1、初始化模块测试：检测时钟配置、相关应用引脚配置、相关定时器功能配置、编码器初始化配置、ADC初始化配置、串口初始化配置、、CAN初始化配置、中断优先级配置。

2、中断时序测试：定时器及ADC中断周期及中断触发配置，ADC采样周期及采样点、PWM周期及死区。

3、安全环路，电机控制环路测试：电机使能关闭检测、高低压、过流错误检测、编码器对齐模式检测。

4、重点中断执行所需时间测试：CANopen协议栈处理时间、402协议执行时间、FOC执行时间、串口中断执行时间。

5、中断触发时间测试：与设计预期是否一致。

## 功能测试模块

1、PWM斩波输出测试：PWM经MCU输出至driver,放大后输出至MOS，需对比MCU输出波形与MOS输入波形，验证波形和死区时间。

2、Hall输入测试：从电机输出至MCU，需测试输出及输入波形及扇区相应变化。

3、编码器输入测试：从电机输出至MCU，需测试输出及输入波形，验证一圈的编码器读数。

4、ADC采样测试：前提1.65V偏执正常，三相电流采用相电流采样，经driver放大后传递至MCU，需对比测试相电流及输出电流的波形，并验证采样点。

5、FOC测试：电机正常运行时再次检查电角度的测量是否正确（旋转电机电角度在正常范围变化），两个轴同时工作时再验证ADC采样点以及测量是否准确（引入test引脚，测量采样点）。

6、LED指示灯测试：上电是否正常、异常情况报警指示是否与软件设计一致。

7、保护功能测试：设置电机峰值电流和持续时间，最大速度和最大电压及最小电压，测试触发保护条件时，驱动器是否工作。

8、刹车模块测试：急停按钮按下，双轴是否立即停机并锁轴。

9、硬件版本识别测试：软件识别与硬件设计是否一致。

10、温度采集模块测试：电机温度和MOS温度采集是否正常。

11、CAN接口测试：通过CAN接口可正常收发数据，上电心跳、并验证CAN断线保护功能、并通过CAN口控制电机运行。

12、串口通讯测试：可收发串口数据，并通过串口可以控制电机运行。

## 性能测试指标

性能指标主要针对电流环、速度环的控制效果进行测试，主要包括以下几点：

1、电流环测试：测试电流环响应时间、转矩稳态误差。

2、速度环测试：测试速度环响应时间、速度稳态误差、速度动态误差。

3、位置环测试：测试位置跟随误差和稳态误差。

4、电机独立及同步测试：测试每个电机的启动与停止的相互影响，以及同步启动停止性能。

# 测试策略

## 框架测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试目标 | 软件代码框架和时序 |
| 测试范围： | 1、初始化模块测试2、中断时序测试3、安全环路，电机控制环路测试 4、重点中断执行所需时间测试5、中断触发时间测试 |
| 技术： | 1. 软件设置测试引脚电平再软件中进行翻转 2. 使用示波器测量 |
| 开始标准： | 时序正常 |
| 完成标准： | 电机使能和去使能过程中时序不变 |
| 测试重点和优先级： | 1 |
| 需考虑的特殊事项： | 引脚配置和运行电机 |

## 功能测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试目标 | 测试系统各部分的功能 |
| 测试范围： | 1、PWM斩波输出测试2、Hall输入测试3、编码器输入测试4、ADC采样测试5、FOC测试6、LED指示灯测试7、保护功能测试8、刹车模块测试9、硬件版本识别测试10、温度采集模块测试11、CAN接口测试12、串口通讯测试 |
| 技术： | 1. 会使用CAN调试工具、串口调试工具 2. 熟悉FOC算法 3. 熟悉数据软件框架 4. 熟悉硬件原理图 5. 熟悉驱动器功能如何使用 |
| 开始标准： | 输入直流电源允许12V-24V |
| 完成标准： | 各功能模块实现预期功能 |
| 测试重点和优先级： | 2 |
| 需考虑的特殊事项： | 运行电机 |

## 上位机功能测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试目标 |  |
| 测试范围： |  |
| 技术： |  |
| 开始标准： |  |
| 完成标准： |  |
| 测试重点和优先级： |  |
| 需考虑的特殊事项： |  |

## 性能测试

|  |  |
| --- | --- |
| 测试目标 | 电流环、速度环、位置环、FOC独立及同步性能 |
| 测试范围： | 1、电流环响应时间、转矩稳态误差2、速度环响应时间 3、速度稳态误差4、速度动态误差5、FOC独立及同步性6、位置环稳态误差 |
| 技术： | 1. 调整PID参数 2. 使能运行电机切换电机运行状态 3. 使用CAN口打印需要监控的参数 |
| 开始标准： | 电流/速度反馈值跟随给定值，FOC按相应时序运行 |
| 完成标准： | 响应时间和误差符合标准，两路FOC相互独立 |
| 测试重点和优先级： | 3 |
| 需考虑的特殊事项： | 运行电机 |

# 测试工具和环境

## 测试工具

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **工具** | **产商/自产** | **版本** |
| 测试工具 | Keil | KEIL | Keil5 |
| 用于功能性测试的工具 | 示波器，万用表 | 泰克/FLUKE |  |
| 用于性能调试的工具 | CAN与串口调试工具 |  |  |

## 测试环境

软件配置

|  |  |
| --- | --- |
| **资源** | **描述** |
| 操作系统 | Windows 10 |
| 数据库 | Keil：hal库、标准库 |
| 测试工具 | 示波器、电流探头、CAN与串口调试工具 |
| 监控工具 | CAN与串口调试工具 |

# 测试规划

## 测试活动规划

TR1阶段:需求的完备性以及选择的产品概念是否满足产品包需求是否完整

TR2阶段:关注产品设计需求到产品设计规格的完备性

1、软件代码整体框架正常；

2、各具体模块功能测试正常；

3、性能指标测试满足测试需求；

4、界面测试正常；

TR3阶段:结果将作为开发阶段的后续详细设计活动是否继续投入资源的根据

TR4阶段: 任何不符合规定的情况都应该在TR4问题记录中得到记录，并进行风险评估

表单使用说明：

上述表格蓝色斜字体是编写要求、说明、示例，实际使用时可删除！

编制人在按照上文格式编制好表单后在项目团队内部达成一致意见后提交PLM文档库走签审流程，签审流程和职责如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 签审节点 | 编制 | 标准化 | 校对 | 审核 | 批准 |
| 测试工程师 | 标准化工程师 | / | SE | 测试组长、职能经理 | 产品管理部经理 |
| 根据模板要求编制提交PLM系统； | 标准化文档格式、文档名称、编码、签审流程按照规范要求执行； | / | 测试方案完全覆盖所设计的功能和性能要求； | 测试组长：会签方案内容完整性； 软硬件开发部经理：会签测试方案硬件/软件的覆盖产品功能、性能、质量基线要求全面性； | 综合决策 |

本文档的评审要素如下：

用规定的模板编写；

测试方案对产品/软件/硬件需求、产品/软件/硬件设计100%覆盖；

测试方案可行性；

测试计划和工作量评估的合理性；