

一 工程项目：

- 1 项目名称：bldc_sensorless
- 2 项目使用的资源与软件：
 - (1) 正点原子阿波罗 STM32H743 开发板
 - (2) 正点原子无刷电机驱动板
 - (3) Keil uvision5
 - (4) Minibalance 波形上位机显示 3.5（可选）

二 工程目标：

- 1 实验现象：
 - (1) 使用按键控制直流无刷电机的启停、正转、反转、加速、减速动作。
 - (2) 使用速度环进行电机转速的 PID 控制。
- 2 实验内容：
 - (1) 使用 vvvf 方法，启动无刷电机。
 - (2) 使用无感换向方法，根据反电动势的过零信号进行直流无刷电机的换向操作。
 - (3) 按下开发板上不同的按键，直流无刷电机可以进行启停、正转、反转、加速、减速操作。
 - (4) 进行直流无刷电机的开环控制和闭环速度控制，闭环速度控制使用 PID 控制对电机转速进行控制。
- 3 具体要求：
 - (1) 按键控制直流无刷电机时，按下相应的按键可以使得电机正常地启停、正转、反转、加速、减速。
 - (2) 使用 vvvf 方法，启动无刷电机。
 - (3) 使用无感换向方法，并根据反电动势的过零信号进行换向操作。
 - (4) 电机错误状态的捕获并及时进行异常处理，包括当电机堵转时、vvvf 出错、过零检测出错等，及时关闭驱动桥停止电机运转。
 - (5) 根据开环、闭环控制系统的结构，进行结构化、模块化编程。
 - (6) 使用 PID 控制对直流无刷电机的转速进行控制，包含位置式 PID 控制和增量式 PID 控制两种方法，转速控制精度 $\pm 1\%$ 。

三 学习目标（下述内容非先后顺序）：

- 1 学习直流无刷电机及电机驱动板的基本原理：
 - (1) 了解直流无刷电机的基本概念与结构。
 - (2) 掌握直流无刷电机的运行原理。
 - (3) 了解直流无刷电机驱动板的驱动桥基本原理，加深原理图分析理解能力。
- 2 学习直流无刷电机的 vvvf 启动的基本原理：
 - (1) 了解 vvvf 的工作原理。
 - (2) 了解 vvvf 启动电机时，正传、反转的各自换向操作。
- 3 学习直流无刷电机的反电动势过零检测无感换向的基本原理：
 - (1) 了解反电动势的产生以及对应的电压电流波形。
 - (2) 了解反电动势过零检测的工作原理。
 - (3) 掌握直流无刷电机正反转两种情况下，反电动势过零检测信号的变化情况。
- 4 学习 STM32H743 的外设使用：

- (1) 掌握 STM32H743 的高级定时器 (TIM1 或 TIM8) 的使用方法, 包括 3 相 PWM 互补输出等。
- (2) 掌握 STM32H743 的定时器的使用方法, 包括定时中断等。
- (3) 了解 STM32H743 的时钟树结构及配置。

5 学习速度环闭环控制和 PID 控制:

- (1) 了解电机速度环闭环控制的系统结构, 每一部分对应什么元器件。
- (2) 根据开环控制、闭环控制的系统结构, 编写每一部分对应的程序, 增强系统结构化、模块化编程能力。
- (3) 掌握 PID 控制的基本原理以及 PID 参数调试方法。
- (4) 掌握位置式 PID 控制和增量式 PID 控制的原理。

四 可以重复利用的资源:

- 1 工程项目目录下 Library 下面的内容, 包括 STM32H7 的 HAL 库、Minibalance 波形上位机显示的程序代码。
- 2 工程项目目录下 User\fw\bldc_ctrl 目录, 这里包含了直流无刷电机的开环、闭环速度控制的源代码, 以及 vvvf 启动、反电动势过零检测的源代码。

五 注意事项:

- 1 该项目包含直流无刷电机的反电动势过零检测、开环控制和闭环速度控制, 具体功能使用由 design_define.h 里面的宏定义决定。
- 2 系统上电前, 务必检查电路接线是否正确, 包括电机与驱动板的连接、驱动板和开发板的连接; 务必检查程序中换向操作是否正确, 绝对不允许每一项的上下管同时导通。
- 3 小编时间仓促, 因此项目中有不完善的地方敬请大家提出建议。
- 4 学习交流群 1126635164。

六 项目环境目录介绍:

项目目录下, 各文件夹的含义是 (含空文件夹, 加粗的是本项目包含的文件):

Doc 目录为项目文档, 包括参考资料、设计文档、原理图等。

Library 目录为项目所使用到的库文件, 包括仿真库、Monitor、Model、ThirdParty Firmware 等。

Project 目录为项目包含的工程目录, 包括 fpga 工程、firmware 工程、pcb 工程等, 以及工程专用代码、脚本等。

Script 目录包含项目专用的脚本、功能等。

Sim 目录为项目包含的仿真的目录, 包含仿真工程、testbench、激励文件、脚本等、以及仿真专用代码、脚本等。

Test 目录为项目专用测试的目录, 包含测试程序等。

User 目录包含用户主要的项目文件, 包含 rtl 代码、firmware 代码等。

目前最适合的使用方法是使用 Cygwin, 编辑代码、文件操作在 Cygwin 下面, 软件使用在 Windows 下面, 可以大幅节省开发时间。后期会开发快捷键切换目录, 届时适合在 Cygwin、Linux 环境下运行。