



# 无刷直流电机控制应用

## ——基于STM8S系列单片机

李家庆 李芳 叶文 编著

STM8S



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

# 无刷直流电机控制应用

## ——基于 STM8S 系列单片机

李家庆 李 芳 叶 文 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

无刷直流电机广泛应用于汽车、工业自动化及航空航天等领域,是 21 世纪最有发展前景的新型电机之一。本书以 STM8S 单片机为控制核心来讲述无刷直流电机的控制应用。首先讲解了 STM8S 单片机的相关知识及实验例程等;再讲解了基本的无刷直流电机理论;然后详细描述了几个典型的电机控制应用实例;最后简述了电机控制系统开发的注意事项和设计经验。

本书配有可直接应用的电机控制板供读者选购。北京航空航天大学出版社网站的下载专区中也提供了完整的电路图和源程序。让读者可以从零起步,迅速开始一个电机控制项目的开发研究。

本书可供从事单片机及电机控制设计的人员参考,可供 STM8 单片机的用户阅读,也可用作高校开展学生科技创新、大学生电子设计竞赛等活动的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

无刷直流电机控制应用:基于 STM8S 系列单片机 /  
李家庆,李芳,叶文编著. -- 北京:北京航空航天大学  
出版社,2014.1

ISBN 978-7-5124-1285-9

I. ①无… II. ①李… ②李… ③叶… III. ①无刷电  
机—直流电机—微电机控制 IV. ①TM345

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 251455 号

版权所有,侵权必究。

### 无刷直流电机控制应用——基于 STM8S 系列单片机

李家庆 李芳 叶文 编著

责任编辑 王静竞

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1 000 1/16 印张:29.25 字数:623 千字

2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1285-9 定价:69.00 元

# 序 言

---

在开始写序言之际,让我回忆起 15 年前最初使用单片机开发项目的情景。一本厚厚的英文版的指令手册和使用手册,加上一个 8 英寸披萨大小的仿真板,花了差不多两个星期的时间啃完所有内容,得以开始项目开发。然而,随着单片机工艺的发展,仿真原理及方式的创新,众多电子版资料的呈现,让过去看似厚重的资料和仿真板进了古董陈列室,取而代之的人性化的仿真环境和电子资料,极大提升了开发效率。

市场化进程的发展,使得工程师包括企业的工作环境发生了巨大的变化。用三个字总结这些变化就是“快”、“多”、“急”。“快”指技术发展日新月异,8 位单片机在 10 年前是绝对的主流,到今天 32 位单片机已经占据了半壁江山。“多”指市场需求多,同时竞争者也多。“急”指一个谈定的项目必须按时完成,甚至客户要求提前完工,因为市场时不我待。

如何帮助客户按时完成开发、最终赢得竞争,这是一个半导体厂商甚至整个价值链的挑战。我们必须同命运,共呼吸,分工和合作共存,各自挖掘和发挥最大的潜能,才能推动整个价值链的发展。

意法半导体继 2007 年发布了震撼江湖的 STM32 产品线之后,于 2008 年推出了超级性价比的 8 位单片机产品线 STM8 系列。这两大产品线面世后,迅速赢得了市场的青睐,成为各行业的主流平台之一。

然而意法半导体却不能独享这份成功,因为这里也包含了众多增值服务商的巨大付出。从 2005 年开始,我们开始在国内寻找有深厚技术支持能力的本地公司,并结为战略合作伙伴关系,一起打造广泛的生态系统,为市场和客户提供全方位的服务。优易特就是其中一家主要的增值服务商,从最初的 STR7 开发板和大学实验板,到现在致力于电机控制专门研究和项目开发,已经成为意法半导体单片机的生态系统不可或缺的一块拼图。

能源短缺、优化和提升能源使用效率是当今热门的技术主题之一。根据第三方的统计,电机相关的应用消耗了全球的 2/3 的能源。然而,电机控制涉及了机械、电子、自动化的相关知识,所以与电机控制相关的开发项目容易成为工程师们梦魇。

本书把企业一线工程师的开发实例经验,与高校老师的基础理论讲述合为一体。详尽阐述了 STM8S 单片机的基础知识及应用例程、直流无刷电机控制原理,介绍了

## 序 言

STM8 电机控制固件库和开发套件以及应用实例,能够帮助工程师快速上手开发电机控制。对从事 STM8 单片机项目开发及电机控制项目开发的人员都有巨大的参考价值!

在此感谢参与此书编著的全体工程师、老师和相关人员,谢谢你们的无私奉献和辛勤劳动,为读者呈现了一本宝贵的启蒙材料和实战指南!

意法半导体(中国)微控制器市场部高级经理  
曹锦东

# 前 言

无刷直流电机(Brushless DC Motor,简称 BLDC 或 BLDCM)由永磁材料制造的转子、带有线圈绕组的定子和位置传感器组成。它是随着电子技术的迅速发展而发展起来的一种新型直流电机,具有传统直流电机的所有优点,同时又取消了碳刷、滑环结构,广泛应用于汽车、工具、工业工控、自动化以及航空航天等领域,是 21 世纪最有发展前景的新型电机之一。

无刷直流电机控制系统主要由电机本体和驱动电路组成,是典型的机电一体化高新技术。本书共分 4 大部分、10 个章节,对该技术进行了深入的研究与分析。全书遵循理论与实用技术相结合,实用技术为主的原则编写。通读本书,可以使读者在数天内启动一个电机控制项目的开发。

本书的第 1 部分主要介绍意法半导体(ST)公司的 STM8S 系列单片机的特点、开发环境、调试工具、硬件设计及实验例程等基础知识。第 2 部分主要介绍无刷直流电机(BLDC)的结构、工作原理、运行特性、数学模型及各种控制策略。第 3 部分主要介绍两个典型的 BLDC 控制应用,分别为基于霍尔传感器和无霍尔传感器下的六步驱动的软硬件实现实例。第 4 部分主要介绍 STM8MC-KIT V1.0 库的运行原理及在 STM8MC-KIT/UET 平台上运行的具体实现。最后简述了电机控制系统开发、调试的注意事项和设计经验。

本书介绍的 STM8S 系列单片机,是意法半导体公司最新发布的针对工业应用和消费电子开发的产品,具有很高的性价比。该系列单片机在电动自行车、变频家电和航模等无刷直流电机行业中得到了广泛应用。书中详细介绍了此单片机的应用技术,包括详细的图纸、实例程序以及进阶应用。

无刷直流电机应用技术是近十年来才兴起的技术。普通高校本科阶段还没有开展相应技术的教学,而社会对相关技术又特别急需。因此,越来越多的技术人员都盼望能有一本实用的电机控制书籍,指导开展相应的研发工作。但是,目前市场上这方面的图书偏重于电机本体的原理及控制理论的研究。真正介绍实际项目开发过程的,并不多见。

本书针对以上问题,尝试在内容及编排上作一个重要改变。本书作者由来自企业的一线工程师及高校学者组成。在内容及编排上,抛弃传统的以电机理论为主线,实例为辅助的写法,而是从产品研发生产的角度,先学习电机控制的大脑——单片机

相关知识,再学习一些基本的无刷直流电机理论,最后详细讲述几个典型的应用实例,并且给出了所有的电路图纸和程序代码。本书还对每一个实例的思路、解决问题的方法、产品的设计经验等作了深入的剖析,对实例进行思路拓展。书中电机控制的应用实例,尽管是基于 STM8S 系列单片机阐述的,但是其思路、方法和经验是通用的。读者完全可以融会贯通、举一反三,直接将书中的技术与经验,应用到自己的电机控制产品开发中去。

本书选择了具有很强实用性的典型案例,公开了案例真实可用的电路图、程序源代码,并提供可以直接使用的电机控制板供读者选购。有了这些,读者便可以迅速启动一个电机控制项目的开发研究。读者可通过北京航空航天大学出版社网站([www.buaapress.com.cn](http://www.buaapress.com.cn))的下载专区下载书中所讲解的数十个完整的实例源码、图纸和使用说明等相关资料,方便读者实践和二次开发。

本书面向已初步具有 C 语言、电机学和电子技术基础知识的,对无刷直流电机控制技术或 STM8 单片机应用技术感兴趣的读者。本书可供从事单片机及电机控制产品设计的人员参考,也可供使用和维护直流无刷电动机的工程技术人员阅读。同时,这本书也可用作高校开展学生科技创新、大学生电子设计竞赛等活动的培训教材。

本书由重庆科技学院电气工程实验中心和深圳市优易特科技开发有限公司合作组织编写,并由重庆科技学院实验中心及电子信息研究所提供评估板和研究实验条件。本书由李家庆、李芳主编,叶文、王志杰、李金池协助编写。重庆科技学院的许弟建、吴云君、彭宇兴、钟秉翔等老师参与部分章节的编写及资料整理、审阅工作。在此书的编写、审核过程中,还得到了意法半导体(ST)公司、友尚电子(上海)有限公司、武汉力源信息技术股份有限公司和北京航空航天大学出版社的大力支持和指导。ST 公司的 Johnson, Cao, Yan-feng, Li, Dennis, GE, Jacky, LU, Frank Xiong 等为本书的编写提出了宝贵意见。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者学识有限,错漏和不当之处在所难免,敬请读者及同行给予批评指正(E-mail: [Fred.lee@u-easytech.com](mailto:Fred.lee@u-easytech.com))。读者如有兴趣,可加入本书的互动 QQ 群: 164583164,交流技术,共同进步。

作者  
2013年6月

# 目 录

## 第 1 部分 STM8S 系列单片机应用基础

<b>第 1 章 STM8 单片机概述</b> .....	3
1.1 STM8S 系列 .....	3
1.1.1 STM8S 主要特点 .....	3
1.1.2 STM8S 主要应用 .....	4
1.2 STM8L 系列 .....	5
1.2.1 STM8L 主要特点 .....	5
1.2.2 STM8L 主要应用 .....	7
1.3 STM8A 系列 .....	7
1.3.1 STM8A 主要特点 .....	7
1.3.2 STM8A 主要应用 .....	8
1.4 STM8 芯片选型 .....	8
1.4.1 芯片选型表 .....	8
1.4.2 STM8 单片机网站 .....	9
<b>第 2 章 STM8 单片机开发环境</b> .....	12
2.1 STM8 集成开发环境简介 .....	12
2.1.1 ST TOOLSET .....	12
2.1.2 COSMIC .....	13
2.1.3 IAR .....	15
2.2 STM8 开发工具 .....	16
2.3 STM8 程序设计 .....	17
2.3.1 STVD 汇编语言程序设计 .....	18
2.3.2 COSMIC C 语言程序设计 .....	26



# 目 录

2.3.3	COSMIC C 语言相关说明 .....	29
2.3.4	IAR C 语言程序设计 .....	36
2.4	STM8 烧录 .....	47
2.4.1	使用 STVD 烧录 .....	47
2.4.2	使用 STVP 烧录 .....	49
2.5	STM8S 固件库 .....	52
2.5.1	固件库简介 .....	52
2.5.2	压缩包描述 .....	54
2.5.3	文档和库规范 .....	54
2.5.4	使用举例 .....	58
<b>第 3 章</b>	<b>STM8S 硬件基础及实验例程 .....</b>	<b>62</b>
3.1	STM8S 产品概述 .....	62
3.1.1	模块框图及功能外设 .....	63
3.1.2	中央处理单元 .....	66
3.1.3	FLASH 程序存储器和数据 EEPROM .....	67
3.1.4	单线接口模块和调试模块 .....	68
3.1.5	中断控制器 .....	69
3.1.6	选项字节 .....	76
3.2	STM8S 硬件基础 .....	78
3.2.1	STM8S 最小系统 .....	78
3.2.2	电源电路 .....	81
3.2.3	GPIO 接口电路 .....	81
3.2.4	ADC 接口电路 .....	81
3.2.5	串行接口电路 .....	82
3.2.6	STM8 系统可靠性设计要点 .....	83
3.3	时钟配置 .....	86
3.3.1	STM8S 时钟树 .....	86
3.3.2	时钟配置实现 .....	89
3.4	GPIO 应用实验 .....	94
3.4.1	实验要求 .....	94
3.4.2	GPIO 内部结构 .....	94
3.4.3	相关寄存器配置 .....	96
3.4.4	参考程序 .....	99
3.5	模/数转换器应用实验 .....	101
3.5.1	实验要求 .....	101

3.5.2	ADC 方块图	101
3.5.3	ADC 功能描述	104
3.5.4	相关寄存器配置	108
3.5.5	参考程序	114
3.6	定时器应用实验	116
3.6.1	实验要求	116
3.6.2	定时器概述	116
3.6.3	TIM1 时基单元	118
3.6.4	相关寄存器配置	126
3.6.5	参考程序	135
3.7	串行接口应用实验	137
3.7.1	实验要求	137
3.7.2	UART 框图	137
3.7.3	相关寄存器配置	146
3.7.4	参考程序	153
3.8	数据 EEPROM 存储器应用实验	155
3.8.1	实验要求	155
3.8.2	存储器组织结构	156
3.8.3	EEPROM 编程模式	158
3.8.4	参考程序	160

## 第 2 部分 无刷直流电机理论基础

第 4 章	无刷直流电机概述	165
4.1	常用电机分类及结构特点	165
4.1.1	异步电动机	165
4.1.2	直流电机	167
4.1.3	步进电机	171
4.1.4	无刷直流电机	172
4.2	无刷直流电机的工作原理	174
4.2.1	三个基本定则	174
4.2.2	换相原理	177
4.2.3	工作原理	178
4.3	无刷直流电机转子位置传感器	180
4.3.1	霍尔传感器	181
4.3.2	光电编码器	182

# 目 录

4.4	无位置传感器的转子位置检测技术	184
4.4.1	反电动势法	185
4.4.2	其他检测方法	187
4.5	无刷直流电机的数学模型	188
4.6	无刷直流电机的运行特性	188
4.6.1	启动特性	189
4.6.2	工作特性	190
4.6.3	机械特性	190
4.6.4	调速特性	191
4.6.5	转矩转速特性	191
4.7	无刷直流电机应用	192
4.7.1	选择合适的电机参数	192
4.7.2	典型的 BLDC 电机应用	193
<b>第 5 章</b>	<b>无刷直流电机控制技术</b>	<b>195</b>
5.1	无刷直流电机换相控制	195
5.1.1	六步梯形换相	195
5.1.2	BLDC 换相电路	197
5.1.3	有感 BLDC 换相控制逻辑	197
5.2	无刷直流电机调压调速策略	201
5.2.1	晶闸管移相调压	201
5.2.2	DC/DC 变换器调压	202
5.2.3	PWM 换相调压	202
5.3	无感 BLDC 的转子位置检测	205
5.3.1	无感 BLDC 换相	205
5.3.2	传统反电动势法	206
5.3.3	全数字反电势法	208
5.4	无感 BLDC 的“三段式”启动	211
5.5	PID 控制原理	212
5.5.1	模拟 PID 控制原理	213
5.5.2	位置式 PID 算法	214
5.5.3	增量式 PID 算法	215
5.5.4	控制器参数整定	216
5.5.5	参数调整规则探索	218
5.6	无刷直流电机转速单闭环控制	218
5.6.1	转速信号的采集和处理	219

5.6.2	电机启动及转速调节策略 .....	219
5.7	无刷直流电机转速电流双闭环控制 .....	220
5.7.1	调节器参数工程设计方法 .....	221
5.7.2	BLDCM 双闭环系统计算实例及 Simulink 仿真 .....	226
<b>第 3 部分 基于 STM8S 的 BLDC 控制应用实例</b>		
<b>第 6 章</b>	<b>有感无刷直流电机控制实例 .....</b>	<b>233</b>
6.1	方案设计 .....	233
6.1.1	系统功能 .....	233
6.1.2	整体框架设计 .....	233
6.2	定时器的应用 .....	234
6.2.1	高级定时器输出模式 .....	235
6.2.2	通用定时器输入模式 .....	251
6.3	I/O 分配及选项字节配置 .....	260
6.3.1	I/O 口功能分配 .....	261
6.3.2	选项字节配置 .....	261
6.4	硬件电路设计 .....	263
6.4.1	主控板电路原理及 SCH 设计 .....	263
6.4.2	功率板电路原理及 SCH 设计 .....	264
6.4.3	PCB 设计及成品 .....	270
6.5	软件进阶设计实例 .....	272
6.5.1	输出 PWM 信号实验 .....	272
6.5.2	电机基本运转实验 .....	275
6.5.3	实现电机的启停和调速控制 .....	283
6.5.4	增加人机界面程序 .....	291
6.5.5	实现电流采集与保护 .....	293
6.5.6	实现电机的速度闭环运转 .....	300
<b>第 7 章</b>	<b>无感无刷直流电机控制实例 .....</b>	<b>309</b>
7.1	基本功能需求 .....	309
7.2	整体方案设计 .....	309
7.3	MCU 功能概述 .....	309
7.3.1	MCU 特性简介 .....	310
7.3.2	MCU 内部功能框图 .....	311
7.3.3	MCU 封装及引脚 .....	312

7.4	I/O 分配及选项字节配置 .....	312
7.4.1	I/O 分配 .....	313
7.4.2	选项字节配置 .....	314
7.5	硬件电路设计 .....	315
7.5.1	整机电路 .....	315
7.5.2	MCU 系统电路 .....	318
7.5.3	电源及电压检测电路 .....	318
7.5.4	驱动与功率系统电路 .....	320
7.5.5	反电动势过零点检测电路 .....	323
7.5.6	电流检测与过流保护电路 .....	324
7.5.7	各种接口电路 .....	325
7.6	设计成品 .....	325
7.7	软件进阶实例 .....	327
7.7.1	电机延时运转 .....	327
7.7.2	电机霍尔换相运转 .....	332
7.7.3	反电动势换相 .....	340
7.7.4	三段式启动设计 .....	341
7.7.5	无感方式的电机基本运转 .....	342
7.7.6	电机开环调速及电流采集与保护 .....	348
7.8	无感 BLDC 电机监控系统 .....	358
7.8.1	监控系统功能设计 .....	358
7.8.2	上位机界面设计 .....	359
7.8.3	上下位机通信设计 .....	359
7.8.4	下位机编程思路 .....	362
7.8.5	参考例程 .....	363
7.8.6	功能测试 .....	363

## 第 4 部分 基于 STM8MC - KIT V1.0 电机控制软件的 BLDC 应用

第 8 章	STM8MC - KIT V1.0 电机库运行原理 .....	367
8.1	STM8MC - KIT V1.0 简介 .....	367
8.1.1	STM8SMC - KIT V1.0 库概述 .....	367
8.1.2	STM8S 系列单片机性能描述 .....	368
8.1.3	BLDC 软件库 V1.0 功能 .....	368
8.2	STM8S BLDC 控制入门 .....	369
8.2.1	BLDC 电机原理入门 .....	369

8.2.2	转子速度测量	370
8.2.3	换向延时和退磁时间	371
8.2.4	BEMF 过零点检测	372
8.2.5	快速退磁	374
8.2.6	指定延时曲线系数	376
8.2.7	无感启动策略	377
8.2.8	主动制动	379
8.3	STM8MC-KIT V1.0 人机接口	379
8.3.1	用户界面结构	379
8.3.2	欢迎帮助菜单	380
8.3.3	主菜单中的目标速度和测量速度	381
8.3.4	用户界面子菜单	381
8.4	STM8MC-KIT V1.0 固件入门	385
8.4.1	应用状态机	385
8.4.2	库结构	386
8.4.3	低层控制	389
8.4.4	高层控制	396
8.5	定义 BLDC 软件库参数文件	398
8.5.1	BLDC 配置文件(MC_BLDC_conf.h)	399
8.5.2	BLDC 电机参数(MC_BLDC_Motor_Param.h)	399
8.5.3	BLDC 驱动控制参数(MC_BLDC_Drive_Param.h)	399
8.5.4	HALL 传感器参数(MC_hall_param.h)	405
8.5.5	控制级参数(MC_ControlStage_param.h)	406
8.5.6	功率级参数(MC_PowerStage_Param.h)	407
8.5.7	单片机时钟定义(MC_stm8s_clk_param.h)	410
8.5.8	单片机 BLDC 驱动参数(MC_stm8s_BLDC_param.h)	410
8.5.9	端口引脚定义参数(MC_stm8s_port_param.h)	412
8.5.10	霍尔参数单片机接口(MC_stm8s_hall_param.h)	413
8.6	库函数描述	414
8.6.1	函数描述格式	414
8.6.2	高层 MC 模块	414
8.6.3	低层 MC 模块	419

## 第 9 章 基于 STM8MC-KIT 平台的电机库运行实现 421

9.1	开发平台简介	421
9.2	I/O 分配及选项字节配置	423

9.2.1	I/O 口功能分配 .....	423
9.2.2	选项字节配置 .....	425
9.3	主控板电路设计 .....	425
9.3.1	核心板电路设计 .....	426
9.3.2	底板电路设计 .....	427
9.3.3	显示接口设计 .....	433
9.4	功率板电路设计 .....	433
9.4.1	电机接口电路 .....	434
9.4.2	控制电源电路 .....	434
9.4.3	电压检测及反电动势处理电路 .....	435
9.4.4	驱动及功率电路 .....	436
9.4.5	电流检测与过流保护电路 .....	439
9.4.6	其他功能电路 .....	440
9.5	电机库软件实现 .....	441
9.5.1	电机库移植 .....	441
9.5.2	霍尔传感器控制 .....	442
9.5.3	无霍尔传感器控制 .....	442
9.5.4	PID 运算控制 .....	442
9.5.5	运行演示 .....	442
9.5.6	STM8 电机控制库配置软件 .....	442
<b>第 10 章</b>	<b>电机控制系统开发调试经验谈 .....</b>	<b>444</b>
10.1	安全注意事项 .....	444
10.1.1	确保人身安全 .....	444
10.1.2	安全措施 .....	446
10.2	可靠性设计经验概述 .....	447
10.2.1	自上而下、循序渐进的设计原则 .....	448
10.2.2	电路可靠性设计要点 .....	449
	<b>参考文献 .....</b>	<b>451</b>

# 第 1 部分 STM8S 系列单片机应用基础

详细介绍意法半导体(ST)公司的 STM8S 系列单片机的特点、开发环境、调试工具、硬件设计及实验例程等基础知识。

- STM8 微处理器概述
- STM8 微处理器开发环境
- STM8S 硬件基础及实验例程





