



重庆电子科技职业大学
CHONGQING POLYTECHNIC UNIVERSITY
OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

全日制学生毕业设计 任务书

学 院 智慧健康学院

专业班级 嵌入式技术应用

学生姓名 汤红辉 学号 2203080517

指导教师 刘祥明 王玺伟 职称 讲师 工程师

题 目 三项有感无刷电机驱动器硬件设计

2024 年 6 月 28 日

毕业设计任务：

设计内容：1. 掌握相关理论基础,深入学习和理解三项有感无刷电机（BLDC）的工作原理、控制策略及其应用场景。2. 进行电机驱动电路的设计，包括但不限于功率电子元件的选择、电路拓扑结构的确定等。使用专业软件（如 Altium Designer, PSpice 等）进行电路仿真以验证设计的有效性。3. 基于设计方案制作实际的硬件原型，包括 PCB 板的设计与制作、元器件的焊接及调试。4.将硬件部分与控制算法结合，完成整个驱动系统的组装，并进行功能性和性能测试，确保其满足预期的技术指标。

设计指标：确保驱动器能够稳定驱动三项有感无刷电机，达到预定的速度和扭矩输出。实现对电机状态的实时监控与反馈调节，保证运行的安全性和稳定性。完成一套完整的硬件设计方案，包括电路图、PCB 设计文件以及相关的技术文档。提交一份详尽的毕业设计论文，清晰阐述设计思路、实施步骤、实验结果及其分析。

设计任务要求：

1. 具备扎实的电力电子学、自动控制原理等相关专业知识。2. 能够熟练使用电路设计软件进行电路设计和仿真。3. 具有一定的动手能力，能够独立完成硬件的制作与调试工作。4. 在指导教师的帮助下，解决设计过程中遇到的各种问题，按时完成各阶段的任务。

主要参考文献：

[1] 顾伟康.一体化无刷直流电机控制研究和实现[D].东南大学,2015.

[2] 黄龙亮,胡鹏飞,陈玉洁,等.基于 ARM 的无刷直流电机容错控制系统研究[J].自动化应用,2024,65(12):103-104+108.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.12.033.

[3] 王飞.BLDC 驱动电路设计及应用[D].西安电子科技大学,2017.

[4] 谭加尼.基于 STM32 的无刷直流电机控制器研制[D].武汉大学,2020.DOI:10.27727/d.cnki.gwhxc.2020.000290.

[5] 敬心灵.基于 STM32 的无刷直流电机矢量控制系统研究[D].常州大学,2022.DOI:10.27739/d.cnki.gjsgy.2022.000412.

[6] 马鸿德.BLDC 电机控制器的研究与设计[D].中国海洋大学,2015.

[7] 王聪.基于 STM32 的无刷直流电机控制系统研究[J].微处理机,2022,43(02):11-15.

[8] 赵国清,武涵.基于 STM32 的无感无刷直流电机控制系统设计[J].自动化应用,2024,65(05):142-148+152.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.05.042.

[9] 方思鹏.无刷直流电机高性能驱动电路的设计与实现[D].电子科技大学,2023.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2023.003895.

[10] 张平稳.高速无刷直流电机控制系统硬件电路设计[J].自动化应用,2019,(09):44-45+48.DOI:10.19769/j.zdhy.2019.09.017.

进度计划：

2024 年 9 月 16 日至 2024 年 10 月 19 日：进行相关文献查找和阅读，了解三项有感无刷电机的工作原理及其驱动器设计的基本概念，并完成开题报告及

开题答辩。

2024 年 10 月 20 日至 2024 年 12 月 21 日：深入学习电机控制理论、电路设计基础以及相关电子元件的选择。开始进行初步的硬件设计工作，包括电路图绘制和元件选型。


2024 年 12 月 22 日至 2025 年 2 月 21 日：完成详细的硬件设计方案，包括 PCB 设计、元器件采购等。着手制作原型并进行初步测试，确保各部分功能正常。

2025 年 2 月 22 日至 2025 年 3 月 21 日：进行全面的系统集成和测试，优化驱动器性能。撰写毕业设计论文初稿，并进行查重。

2025 年 3 月 22 日至 2025 年 4 月 24 日：进一步完善毕业设计论文，根据实验结果调整和优化设计。

2025 年 4 月 25 日至 2025 年 5 月 8 日：准备答辩材料，完成毕业设计答辩。

任务起止日期：2024 年 10 月 19 日至 2025 年 5 月 8 日

指导教师签字：刘祥明 



重庆电子科技职业大学
CHONGQING POLYTECHNIC UNIVERSITY
OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

全日制学生毕业设计 开题报告

题 目 三项有感无刷电机驱动器硬件设计

学 院 智慧健康学院

专业班级 嵌入式 2202

学生姓名 汤红辉 学号 2203080517

指导教师 刘祥明 王玺伟 职称 高级实验师

2024 年 10 月 8 日

重庆电子科技职业大学

毕业设计（论文）开题报告

1. 课题目的及意义，国内外研究现状分析

目的：

本项目旨在设计并实现一个用于三项有感无刷电机的高效、可靠的驱动器硬件。通过这一设计，期望能够优化电机控制性能，提高能效比，并为工业应用提供一种新的解决方案。

意义：

- 提升电机运行效率和可靠性。
- 推动电机控制技术的发展和进步，特别是在高效节能领域。
- 应对现代工业中对高性能电机驱动器的需求，促进相关产业的技术升级。

国内研究现状：

在中国，随着工业自动化水平的不断提高和对能源效率的关注增加，对于高性能电机驱动系统的需求日益增长。三项有感无刷电机（BLDC）因其高效能、长寿命以及良好的控制性能，在众多领域得到了广泛应用，如家用电器、电动车、工业自动化等。然而，相较于国际先进水平，国内在三项有感无刷电机驱动器的设计与制造方面仍存在一定的差距。虽然国内已有不少企业正在进行三项有感无刷电机及其驱动器的研发和生产，但在高端应用领域，如航空航天、精密机床等，其电机控制精度和稳定性仍有待提高。当前国内市场上的电机驱动产品主要集中在中低端市场，而高端市场的份额则被国外品牌占据。这表明国内企业需要进一步提升技术水平以满足更高质量标准的要求。近年来，中国政府出台了一系列鼓励创新和技术升级的政策措施，旨在推动包括电机驱动在内的制造业向更高附加值方向转型。这些政策为电机驱动技术的发展提供了有力的支持。

国外研究现状：

在国外，尤其是欧美发达国家和地区，三项有感无刷电机驱动器的研究和应用已经达到了较高的水平，并广泛应用于多个高科技领域。国外研究机构和企业三项有感无刷电机驱动器的技术创新方面取得了显著进展。例如，采用先进的控制算法（如矢量控制、直接转矩控制等）提高了电机的运行效率和动态响应速度；利用新材料（如碳化硅 SiC 功率器件）提升了驱动器的工作频率和能量转换效率。在高端制造、新能源汽车、医疗器械等领域，三项有感无刷电机驱动器的应用非常普遍。这些应用场景要求极高的可靠性、精确度以及适应复杂环境的能力，国外的产品往往能够更好地满足这些需求。为了降低开发成本并加快产品上市时间，许多国外制造商倾向于采用标准化和模块化设计理念。这种方法不仅有

<p>助于提高产品的兼容性和可维护性，还能促进整个行业的健康发展。</p> <p>综上所述，尽管国内外在三项有感无刷电机驱动器的研究和发展方面均取得了一定的成绩，但总体来看，国外在技术创新、高端应用以及标准化设计等方面仍然领先于国内。因此，如何吸收借鉴国外先进技术经验的同时结合本国实际情况进行自主创新，是未来中国电机驱动行业面临的重要课题。通过持续的技术研发投入和人才培养，有望缩小与国际先进水平之间的差距，并在全球竞争中占据一席之地。</p>
2. 本课题的任务、重点内容、实现途径
<p>课题任务：</p> <p>设计并实现一款三项有感无刷电机驱动器，满足特定应用场景下的性能要求。完成从理论分析到实际硬件实现的全过程，包括电路设计、PCB 制作、元件选型及系统集成测试。</p> <p>重点内容：</p> <p>在设计与开电机驱动时，需要重点关注以下几个方面：</p> <ol style="list-style-type: none">需求分析：明确驱动器的功能需求、性能指标以及用户需求。系统设计：包括电路设计、元器件选择、PCB 布局等。数据处理与控制算法：开发适合的控制策略，保证电机高效稳定运行。 <p>实现途径：</p> <ol style="list-style-type: none">使用 Altium Designer 或 PSpice 等工具进行电路设计与仿真进行详细的硬件原型设计与制作，并通过实验验证其性能。 <p>硬件系统测试：对系统进行全面的测试，包括功能测试、性能测试和安全测试等，确保系统的稳定性和安全性。</p>
3.课题可行性分析

三项有感无刷电机驱动器硬件设计项目的技术可行性主要基于以下几个方面：

1. 现有的技术基础：当前，电力电子技术和自动控制理论已经非常成熟，为本项目的实施提供了坚实的技术支持。例如，矢量控制和直接转矩控制等先进的电机控制算法已经被广泛应用于无刷直流电机的驱动系统中。此外，现代微控制器（MCU）和数字信号处理器（DSP）的发展也为电机控制系统的实现提供了强大的计算能力和丰富的接口资源。
2. 软件工具的支持：Altium Designer、PSpice 等电路设计和仿真软件能够有效地辅助进行电路设计与验证。这些工具不仅简化了设计流程，还提高了设计的准确性和可靠性。通过这些软件工具的应用，可以对电路设计进行详细的仿真测试，提前发现并解决潜在的问题。
3. 元器件的选择：随着半导体制造工艺的进步，功率 MOSFET、IGBT 等高效能电子元件的成本不断下降，性能不断提升，这为三项有感无刷电机驱动器的设计提供了更多选择。同时，市场上也出现了许多专门为电机控制设计的专用集成电路（ASIC），这些都极大地促进了电机驱动器的小型化、高效化发展。
4. 成本效益分析：虽然高性能的电机驱动器在研发初期可能需要较高的投入，但考虑到其长期运行中的节能效果以及维护成本的降低，整体经济效益显著。特别是对于工业自动化领域，高效的电机驱动系统不仅能提高生产效率，还能大幅减少能源消耗，从而带来可观的经济回报。
5. 市场需求潜力：随着全球范围内对节能减排要求的不断提高，市场对高效能电机驱动器的需求日益增长。尤其是在新能源汽车、智能家居等领域，三项有感无刷电机驱动器的应用前景广阔。因此，开发一款性能优异的产品具有广阔的市场空间和良好的商业价值。

4. 完成本课题所需的工作条件（如工具书、计算机、实验、调研等）及解决办法

学生宿舍管理系统的设计与实现课题所需的工作条件包括以下几个方面：

1. 工具书和文献：需要查阅与电力电子、自动控制理论、三项有感无刷电机及其驱动技术相关的专业书籍和技术文档。获取最新的研究成果和技术进展，以保证设计方案的先进性和科学性。

解决办法：利用学校图书馆或在线数据库查找并借阅相关领域的权威书籍和学术论文。参考官方文档和技术手册，以及所选用元器件的技术说明书。加入相关的技术论坛和社区，以便及时获取行业动态，并与其他研究者交流心得。

2. 计算机及软件环境：需要一台或多台配置较高的计算机用于电路设计、仿真、PCB 制作以及后续的数据处理和分析工作。

解决办法：根据项目需求，选择适合的计算机配置，确保其能够满足高性能

<p>计算的要求。可以考虑使用学校的实验室资源或者自购高性能计算机。下载并安装所需的软件工具，确保所有工具均为最新版本，以获得最佳的功能支持和技术支持。对于一些昂贵的专业软件，可以通过教育许可的方式获取免费或低成本的使用权，许多软件厂商为学生提供特别优惠。</p> <p>3. 实验条件：需要在一个配备齐全的实验室环境中进行硬件原型的制作和测试。这包括焊接设备、测量仪器（如示波器、万用表等）、电源供应器等。准备足够的测试数据，包括电机参数、运行状态记录等，以验证系统的正确性和稳定性。</p> <p>解决办法：与学校实验室管理部门协商，争取获得实验室资源的使用权，特别是那些专门用于电子电路设计和测试的实验室。构建详细的测试计划，准备充分的测试数据和场景，确保每一个功能模块都能得到全面而严格的测试。</p> <p>4. 调研：需要对现有的三项有感无刷电机驱动系统进行深入调研，了解其功能特点、优缺点以及用户反馈。收集目标应用领域的需求信息，明确最终用户的实际需求，为系统设计提供依据。</p> <p>解决办法：通过问卷调查、访谈等方式直接从潜在用户那里收集需求信息。同时，也可以参考已有的市场研究报告和技术白皮书。参加行业会议、研讨会或展会，了解最新的产品趋势和技术发展动态。这不仅有助于获取第一手资料，还能建立有价值的行业联系。分析竞争对手的产品，找出它们的优势和不足之处，从而为自己的设计提供改进方向。</p>	
<p>5.工作思路及方案分析</p>	
<p>为了确保《三项有感无刷电机驱动器硬件设计》项目的顺利进行，以下是详细的工作思路及各阶段的方案分析：</p> <p>1. 需求分析:明确项目的目标，包括提高电机控制精度、增强系统稳定性、优化能效等。通过问卷调查、访谈等方式收集来自潜在用户或相关领域的反馈信息，了解他们的具体需求。针对不同用户群体（如研发人员、维护人员和最终用户）的需求进行分析。研究市场上现有的同类产品，分析其功能特点、优缺点以及用户反馈，为本项目提供参考。整理调研结果，形成详细的需求文档，涵盖功能需求、性能需求、安全需求等方面，并明确优先级。在初步设计完成后，制作一个简易原型，进行初步测试以验证基本功能是否满足需求。</p> <p>2. 系统设计:定义系统的整体架构，包括硬件部分（电路拓扑结构、元器件选型）、软件部分（控制算法的选择）以及人机交互界面的设计，考虑到电机驱动器的安全性要求，需加入必要的保护机制，如过流保护、温度监控等。</p>	

编写详细的系统设计文档，包括 ER 图、流程图、电路原理图、PCB 布局图等，确保设计的每个细节都经过充分考虑。使用 Altium Designer、PSpice 等工具进行电路仿真，验证设计方案的可行性和有效性。对于复杂的控制系统，可以利用 MATLAB/Simulink 进行系统级仿真。

3. 系统实现：根据设计方案制作实际的硬件原型，包括 PCB 设计、元器件采购及焊接。确保所有元件的质量符合标准，并按照设计图纸精确组装。如果涉及到嵌入式软件开发，则需编写相应的控制程序，并进行调试。选择合适的编程语言和开发环境（如 C/C++、Keil、IAR 等）。将硬件和软件部分结合起来进行全面的系统集成测试，确保各模块能够协同工作，达到预期的功能和性能指标。采用模块化设计方法，提高代码复用性和可维护性。每个功能模块独立开发和测试，最后集成到整个系统中。利用 Eclipse 等集成开发环境（IDE）提供的调试工具，方便进行代码调试，快速定位并解决问题。
4. 测试：包括测试范围、方法和标准，编写全面的测试用例，覆盖所有功能点和边界条件。按照预定的测试计划执行单元测试、集成测试和系统测试，记录并修复发现的问题。基于测试结果，对系统进行必要的性能优化，确保其满足预期的技术指标。准备一个模拟的或真实的测试环境，包括所需的硬件设备、软件配置等，确保测试环境尽可能接近实际应用场景。利用自动化测试工具（如 LabVIEW, TestStand）来加速测试过程，提高测试效率和准确性。通过故意引入故障（如电源波动、信号干扰），测试系统的鲁棒性和自我恢复能力。

在以上工作思路的基础上，可以制定以下方案分析：

1. 需求方案分析：通过问卷调查和面对面访谈的方式收集来自潜在用户（如研发人员、维护人员）及领域专家的需求反馈。
2. 系统设计方案分析：使用 Altium Designer 或 PSpice 等专业软件进行电路设计与仿真，这些工具提供了直观的图形界面，使得电路设计和调试更加便捷。采用模块化设计理念，将整个系统分解为多个独立但相互关联的功能模块，便于后续的开发、测试和维护。根据性能要求选择合适的电子元件，考虑成本效益的同时也要保证系统的稳定性和可靠性。
3. 系统实现方案分析：虽然原始内容提到 Java 语言，但对于本项目而言，更适合选用 C/C++或其他适用于嵌入式系统的编程语言进行控制程序的编写。采用模块化开发方式，提高代码复用性和可维护性。每个模块应具有清晰的接口定义和独立的功能实现。选择适合的集成开发环境（IDE），如 Keil 或 IAR，它们提供了强大的调试工具，有助于快速定位和解决问题。
4. 测试方案分析：构建一个模拟的或真实的测试环境，包括必要的硬件设备和

软件配置。确保所有组件均按照设计规格正确安装和配置。对系统的各个功能模块进行全面测试，包括但不限于电机启动/停止、速度控制、位置控制等功能。特别关注关键性能指标，如响应时间、精度等。基于测试结果对系统进行必要的调整和优化，确保其在各种工况下都能稳定运行，并达到预期的技术指标。

6.时间安排及工作进度

为了确保《三项有感无刷电机驱动器硬件设计》项目的顺利推进，以下是详细的时间安排和工作进度计划：

第 1 阶段：启动和需求分析（1-2 周）

- 1. 收集关于三项有感无刷电机及其驱动系统的技术资料，进行初步的市场调研。
- 2. 通过问卷调查、访谈等方式收集潜在用户的需求，并分析类似系统的功能特点。

第 2 阶段：系统设计（1-2 周）

- 1. 设计系统的总体架构，包括电路拓扑结构、元器件选型等。
- 2. 使用 Altium Designer 或 PSpice 等工具进行电路仿真，验证设计方案的可行性。

第 3 阶段：系统开发（2-3 个月）

- 1. 根据设计方案制作实际的硬件原型，包括 PCB 板的设计与制作、元器件采购及焊接。
- 2. 编写嵌入式控制程序（如使用 C/C++），并进行初步调试。
- 3. 将硬件部分与控制算法结合，完成整个驱动系统的组装。

第 4 阶段：系统测试（2-3 周）

- 1. 搭建全面的测试环境，包括所需的硬件设备、软件配置等。
- 2. 对系统的各项功能进行全面测试，记录并修复发现的问题。

第 5 阶段：课题总结阶段（1-2 周）

- 1. 根据测试反馈进一步完善系统设计和实现，解决所有发现的问题。
- 2. 继续撰写和完善毕业设计论文，确保内容详实、逻辑清晰。
- 3. 答辩准备：制作课题答辩 PPT，展示课题研究成果。
- 4. 准备答辩所需的材料，如课题总结报告、系统演示视频等。

7.指导教师意见：（对本课题的深度、广度及工作量的意见、对设计结果的预测，并明确是否可以开题）
<p>该课题深入探讨了三项有感无刷电机驱动器的设计与实现，涵盖了从理论分析到实际硬件实现的全过程。项目不仅要求学生掌握电力电子学和自动控制原理等基础知识，还需要具备电路设计、PCB 制作、嵌入式编程以及系统集成测试的能力。这种跨学科的知识整合有助于培养学生的综合能力，符合毕业设计的要求。</p> <p>课题内容广泛，涉及多个领域，包括但不限于电路设计、元器件选型、控制系统开发、性能优化等。此外，还要求学生对市场需求和技术发展趋势有一定的了解，以便设计出既具创新性又实用的产品。这不仅拓宽了学生的知识面，也为他们未来的职业发展打下了坚实的基础。</p> <p>整个项目的任务量适中且合理分配。从需求分析、系统设计、硬件实现、软件编写到系统测试，每个阶段都有明确的任务和时间节点。虽然项目涵盖的内容较多，但通过合理的规划和有效的资源利用，是可以按时完成的。特别是考虑到学生已经具备一定的基础知识和技术背景，完成该项目的工作量是可行的。</p> <p>指导教师 刘祥明</p> <p>2024 年 10 月 8 日</p>
8.系部（教研室）审查意见
<p>系主任（签字）</p> <p>年 月 日</p>



重庆电子科技职业大学
CHONGQING POLYTECHNIC UNIVERSITY
OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

全日制本（专）科学生毕业设计

题 目 三项有感无刷电机驱动器硬件设计

学 院 智慧健康学院

专业班级 嵌入式 2202 班

学生姓名 汤红辉 学号 2203080517

指导教师 刘祥明 王玺伟 职称 讲师 工程师

评阅教师 贺晓辉 职称 副教授

2024 年 12 月 12 日

毕业设计原创性声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计《三项有感无刷电机驱动器硬件设计》，是本人在指导教师指导下，在重庆电子科技职业大学学习期间进行的研究工作所取得的成果。据我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

毕业设计作者：汤红辉

2025 年 5 月 19 日

重庆电子科技职业大学

毕业设计（论文）使用授权声明

本人完全了解重庆电子科技职业大学有关收集、保留和使用本人所送交的毕业设计（论文）的规定，即：学生在校期间毕业设计（论文）工作的知识产权单位属重庆电子科技职业大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交毕业设计（论文）的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅，可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编论文。保密的论文在解密后适用本声明。

论文涉密情况：

☐ 不保密

☐ 保密，保密期（起讫日期：_____）

作者签名：汤红辉
2025 年 5 月 19 日

指导教师签名：刘祥明
2025 年 5 月 19 日

摘 要

无刷直流电机（Brushless DC Motor, BLDCM）是一种寿命长、可靠性高且易于维护的机电一体化产品^[1]。无刷直流电机运行可靠、功率密度高、寿命长、效率高，其在结构上去除了电刷和换向器，减少了电机的维护费用和因换向器而引起的电磁干扰^[2]。无刷直流电机被认为是 21 世纪最具有发展潜力和应用前景的电机^[3]。无刷直流电机以电子换相来代替机械换相，有效解决了传统有刷直流电机的不足^[4]。近年来，全球智能化制造和发展成为主要趋势之一，无刷直流电机的价值被逐渐认知，随着高效无刷直流电机技术的不断发展，无刷直流电机的成本呈下降趋势，无刷直流电机被广泛应用在智能化相关产品中^[5]。

无刷直流电机（BLDC 电机）以其卓越的效能、长久的使用寿命和高度的可靠性，在工业自动化、消费电子、医疗设备、汽车工程以及航空航天等多个领域获得了广泛应用。随着现代科技日新月异的发展，对电机驱动系统的性能要求日益提升，尤其在效率、控制精度以及响应速度方面设定了更高的标准。这促使 BLDC 电机不断演进，以满足各行业对高性能驱动解决方案的需求。传统的有刷电机由于机械磨损问题，导致其使用寿命有限并且维护成本较高，而 BLDC 电机通过采用电子换向技术有效地解决了这些问题，因此成为现代高性能应用中的理想选择。传统的有刷直流电机的应用包括摩托车玩具，家用电器和计算机外围设备。汽车制造商把直流电机应用于电动车窗，座位和其他内饰设计，主要是因为它们的成本低，控制简单^[6]。

为进一步挖掘无刷直流电机的应用潜力，通过对其结构及工作原理的研究，设计一种基于 STM32F407 的无刷直流电机控制系统^[7]。本研究旨在结合 STM32F407VET6 微控制器、EG2133 驱动芯片和 AS5600 位置传感器的优势，设计一款高性能的三相有感无刷电机驱动器。通过优化硬件设计和软件算法，提高驱动器的效率、可靠性和控制精度，以满足日益增长的高性能电机驱动需求。具体而言，我们将深入研究如何利用 STM32F407VET6 的高级处理能力来实现复杂的控制算法，同时通过 EG2133 驱动芯片确保功率输出的稳定性和安全性，并通过 AS5600 位置传感器提供精确的位置反馈，进一步提升系统性能。此外，本研究还将探讨如何降低成本、简化设计复杂度，使所设计的驱动器更易于在实际应用中推广使用。通过本研究，我们希望能够为行业提供一种更加经济、高效且可靠的解决方案，从而促进 BLDC 电机驱动技术的进一步普及和发展。

关键词：STM32；BLDC；EG2133；AS5600；PCB。

Summary

Brushless DC motors (BLDC motors), known for their longevity, reliability, and ease of maintenance, represent a sophisticated integration of mechanical and electrical engineering. These motors offer dependable operation, high power density, extended lifespan, and superior efficiency. By eliminating brushes and commutators from their design, BLDC motors reduce maintenance costs and mitigate electromagnetic interference caused by the commutator. Recognized as one of the most promising types of motors with significant potential for development and application in the 21st century, BLDC motors substitute electronic commutation for mechanical commutation, effectively addressing the limitations of traditional brushed DC motors. In recent years, with the global trend towards intelligent manufacturing, the value of efficient BLDC motors has been increasingly recognized. As technology advances, the cost of these motors is decreasing, making them widely used in intelligent products.

The BLDC motor, characterized by its outstanding performance, long service life, and high reliability, has found widespread application across various fields such as industrial automation, consumer electronics, medical devices, automotive engineering, and aerospace. The rapid advancement of modern technology has led to higher demands on the performance of motor drive systems, especially in terms of efficiency, control accuracy, and response speed. This drives continuous evolution in BLDC motors to meet the demand for high-performance drive solutions across different industries. Traditional brushed motors suffer from limited lifespan and high maintenance costs due to mechanical wear, whereas BLDC motors solve these issues effectively through electronic commutation, making them an ideal choice for modern high-performance applications. Traditional applications of brushed DC motors include motorcycle toys, household appliances, and computer peripherals, while automotive manufacturers use DC motors in electric windows, seats, and other interior designs mainly for their low cost and simple control.

To further explore the application potential of BLDC motors, this study focuses on designing a BLDC motor control system based on the STM32F407 by investigating the motor's structure and operational principles. Aimed at leveraging the advantages of the STM32F407VET6 microcontroller, EG2133 driver chip, and AS5600 position sensor, this research aims to design a high-performance three-phase sensor-equipped BLDC motor driver. Through optimizing hardware design and software algorithms, the goal is to enhance the efficiency, reliability, and control accuracy of the driver to meet the growing demand for high-performance motor drives. Specifically, we will delve into utilizing the advanced processing capabilities of the STM32F407VET6 to implement complex control algorithms, ensure stable

and safe power output with the EG2133 driver chip, and provide precise position feedback through the AS5600 position sensor to improve system performance. Additionally, this study will examine ways to reduce costs and simplify design complexity, facilitating easier adoption of the designed driver in practical applications. Through this research, we aspire to offer a more economical, efficient, and reliable solution to promote the further dissemination and development of BLDC motor drive technology.

Keywords: STM32; BLDC; EG2133; AS5600; PCB.

目 录

1. 系统总体设计	6
1.1 设计需求分析	6
1.1.1 性能指标设定	6
1.1.2 功能要求细化	6
1.2 系统架构概述	6
1.2.1 系统组成模块介绍	7
1.2.2 各模块间的数据交互	8
1.3 关键技术选择依据	8
1.3.1 TM32F407VET6 选型考量	8
1.3.2 EG2133 驱动方案分析	8
1.3.3 AS5600 传感器选择理由	9
2. 核心控制单元硬件设计	10
2.1 STM32F407VET6 最小系统设计	10
2.1.1 电源电路设计	10
2.1.2 复位电路设计	11
2.1.3 时钟电路设计	11
2.2 输入输出接口设计	11
2.2.1 通信接口设计	12
2.2.2 控制信号输出接口	12
3. 驱动电路硬件设计	13
3.1 EG2133 驱动芯片介绍	13
3.2 功率驱动电路设计	13
3.2.1 MOSFET 选型与参数计算	13
3.2.2 驱动电路原理图设计	13
4. 位置检测电路设计	14
4.1 AS5600 传感器工作原理	14
4.2 位置检测电路设计	14
4.2.1 传感器接口电路设计	14
4.2.2 数据处理与传输电路设计	15
5. 其他辅助电路设计	16
5.1 电源管理电路设计	16
5.2 保护电路设计	16
5.2.1 过流保护机制	16
5.2.2 过压保护措施	16
5.3 温度监控与保护电路设计	17
6. 功能与性能验证	18
6.1 实验设备	18
6.2 实验步骤与测试内容	18
6.2.1 通电前准备与初步检查	18
6.2.2 空载功能测试	18
6.2.3 闭环控制测试	18
6.3 实验总结	19

7. 参考文献.....	20
8. 致谢.....	21

1. 系统总体设计

1.1 设计需求分析

本研究旨在开发一款高性能的三相有感无刷电机驱动器，为此设定了以下关键指标：

1.1.1 性能指标设定

确保电机在各种工作条件下均能高效运行，以减少能量损耗，提高能源利用率。

实现对位置和速度的精准控制，满足工业应用中对高精度的要求，保障操作的一致性和准确性。

具备迅速适应动态负载变化的能力，增强系统的灵活性和即时响应能力，以应对多变的工作环境。

通过采用耐用组件并优化电路设计，确保系统能够长期稳定运行，降低故障率和维护成本。

1.1.2 功能要求细化

为达到上述性能目标，具体功能要求如下：

支持多种通信协议（UART、SPI、I2C、CAN、USB），以增强与外部设备的数据交互能力。

实现过流和过压保护机制，确保系统在遇到异常工况时的安全性。

配备实时温度监控功能，有效预防因过热引发的故障，保障设备稳定运行。

通过开发板上的显示屏，提供直观的用户界面，搭配上位机，便于参数配置和状态监控。

1.2 系统架构概述

本研究设计的三相有感无刷电机驱动器系统由多个关键模块组成，每个模块都承担着特定的功能，共同确保系统的高效运行和精确控制。

1.2.1 系统组成模块介绍

1.2.1.1 核心控制单元

基于 STM32F407VET6 微控制器。该单元是整个系统的核心，负责执行复杂的控制算法，处理来自位置检测电路的位置反馈信息，并生成相应的 PWM 信号来控制功率驱动电路。此外，它还管理与外部设备的数据通信，支持多种通信协议（UART、SPI、I2C、CAN、USB），以实现灵活的数据交互。

1.2.1.2 功率驱动电路

采用了 EG2133 驱动芯片及其外围电路。此部分的主要功能是接收来自核心控制单元的 PWM 信号，通过控制 MOSFET 开关来驱动 BLDC 电机，确保电机能够根据控制指令准确运转。同时，EG2133 还提供了过流保护等安全机制，保障系统的稳定性和安全性。

1.2.1.3 位置检测电路

使用 AS5600 位置传感器。这个模块提供精确的转子位置反馈信息给核心控制单元，使得控制系统可以根据实时的位置数据调整电机的转速和方向，从而实现精准的速度和位置控制。

1.2.1.4 辅助电路

包括电源管理、过流过压保护以及温度监控等电路。这些电路虽然不是直接参与电机的驱动，但它们对于维持系统的正常运行至关重要。例如，电源管理电路确保了各模块得到稳定的供电；过流过压保护机制防止系统在异常情况下受到损害；而温度监控电路则用于监测系统工作温度，避免因过热导致的故障。

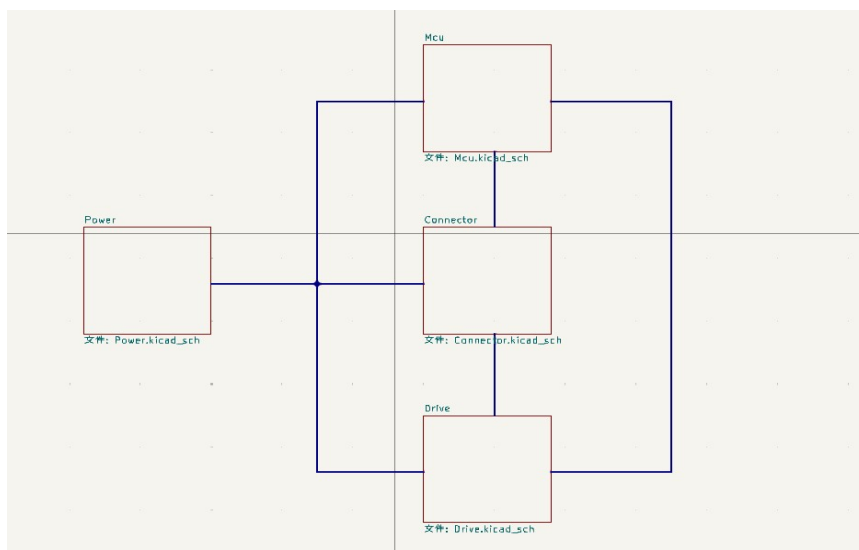


图 1-1 系统结构

1.2.2 各模块间的数据交互

为了实现高效的协同工作，各模块之间需要进行紧密的数据交互：

核心控制单元通过 SPI 或 I2C 接口从位置检测电路获取转子位置信息，并据此计算出适当的控制策略，然后将 PWM 信号发送至功率驱动电路，实现对电机的精确控制。

辅助电路提供的状态信息（如电压、电流、温度）被实时传输给核心控制单元。例如，当检测到过流或过压情况时，核心控制单元会立即采取措施，比如降低输出功率或切断电源，以保护系统免受损坏。

在通信方面，核心控制单元不仅负责内部模块间的协调，还需与外部设备进行数据交换。这可以通过 UART、USB、CAN 等接口实现，允许用户配置参数、监控状态或者与其他控制系统集成。

1.3 关键技术选择依据

为了确保所设计的三相有感无刷电机驱动器具备高性能、高可靠性和良好的经济性，本研究在关键技术组件的选择上进行了深入分析和考量。以下是针对核心控制单元、功率驱动电路以及位置检测电路的关键技术选择依据。

1.3.1 TM32F407VET6 选型考量

STM32F407VET6 微控制器采用 ARM Cortex-M4 核心，具备多项特性，使其成为优选方案：

Cortex-M4 内核支持浮点运算单元(FPU)，能够高效执行复杂的数学运算和实时控制算法，这对于 BLDC 电机的精确控制至关重要。

包括多个定时器、ADC（模数转换器）、DAC（数模转换器）、SPI/I2C/UART 等通信接口，满足了系统内部与外部设备的数据交互需求。

适合长时间运行的应用场景，有助于提升系统的整体能效比。

拥有广泛的社区支持和成熟的开发工具链，便于快速原型设计和调试。

1.3.2 EG2133 驱动方案分析

EG2133 是一款专为无刷直流电机设计的专用驱动芯片，其选用理由如下：

集成了必要的保护功能（如过流保护），减少了外围电路的设计复杂度和成本。

优化的栅极驱动设计可以有效地减少开关损耗，提高整体效率。

内置的安全机制能够在异常情况下自动断电，防止损坏，增加了系统的鲁棒性。提供了详细的参考设计和应用指南，简化了开发流程，缩短了产品上市时间。

1.3.3 AS5600 传感器选择理由

AS5600 磁性旋转编码器作为位置检测传感器的选择，主要基于以下几个方面：

能够提供准确的角度位置反馈，分辨率高达 12 位，适用于需要精密控制的应用。

通过 I2C 或 SPI 接口与微控制器连接，配置简便，易于集成到现有的控制系统中。

采用非接触式磁感应技术，不受灰尘、油污等环境因素的影响，适合工业环境下的长期稳定工作。

在保证性能的同时降低了能耗，有利于延长电池供电设备的工作时间或减少散热需求。

2. 核心控制单元硬件设计

2.1 STM32F407VET6 最小系统设计

本项目选用 STM32F407 作为核心控制单元,它能够达到高达 168 MHz 的运行频率,并配备了多种外设接口,为控制系统的设计提供了坚实的硬件基础[8]。

在最小系统设计中,一般将 BOOT0 引脚接地,而 BOOT1 引脚的状态(接地或接高)则根据实际需求来定,以便实现从主闪存启动。

此外,对于未使用的输入引脚,建议通过上拉或下拉电阻确保它们处于确定状态,避免因浮空而导致的系统不稳定性。

2.1.1 电源电路设计

控制器的电源是整个系统稳定性的关键,该电路需提供稳定的 3.3V 电压,以满足微控制器内核(VDDA)和 I/O 端口(VDD)的需求,同时也考虑到可能需要的 5V 供电给外围设备。在选择电源解决方案时,使用低噪声线性稳压器 ASM1117 用于 3.3V 转换,高效的开关电源模块 TPS5430 从 12V 降至 5V,以确保为整个系统提供平滑的电源。

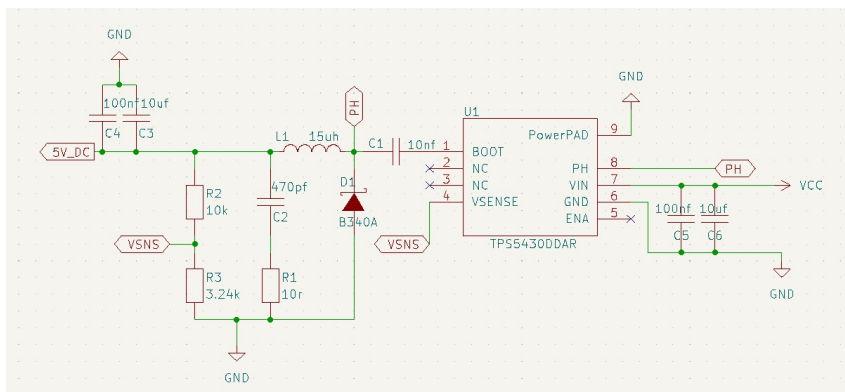


图 2-1 5V 电源

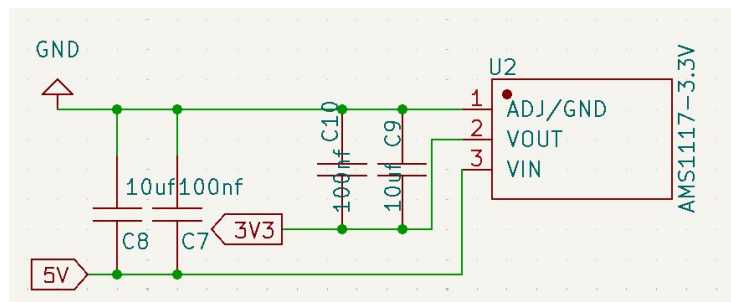


图 2-2 3.3V 电源

2.1.2 复位电路设计

复位电路的设计对于保证微控制器能够正确启动和恢复正常操作至关重要。一个好的复位电路应当能够在电源上电时自动产生复位信号，并且在检测到异常情况（如电压跌落）时也能触发复位。此外，还可以加入手动复位按钮，以便于开发调试阶段使用。复位电路通常由电阻、电容及复位芯片组成，确保复位信号的稳定性与可靠性。

STM32F407VET6 具有一个 NRST 引脚用于复位。通常需要在此引脚上连接一个按键和一个上拉电阻（约 $10k\Omega$ ），以便手动复位。

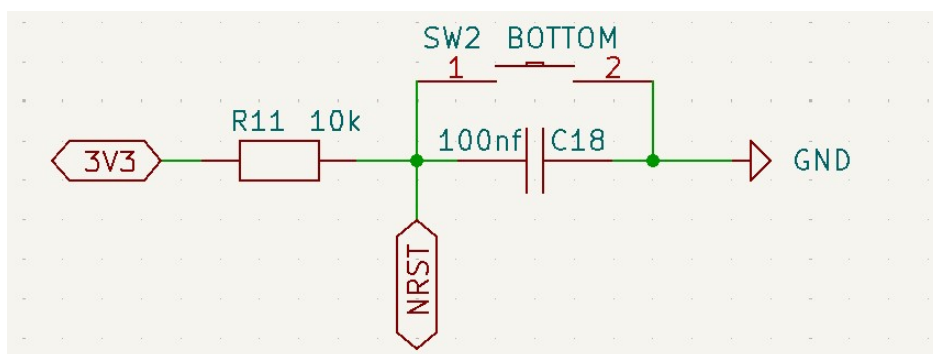


图 2-3 复位电路

2.1.3 时钟电路设计

STM32F407VET6 支持诸多时钟源选项，。为达到最佳性能表现，本设计选用外部 8MHz 晶振配合内部锁相环(PLL)技术来生成所需的系统时钟频率。时钟电路的设计需特别注意晶振的选择与布局，尽量减少信号干扰，同时也要考虑负载电容的匹配问题，以保证时钟信号的质量和稳定性。

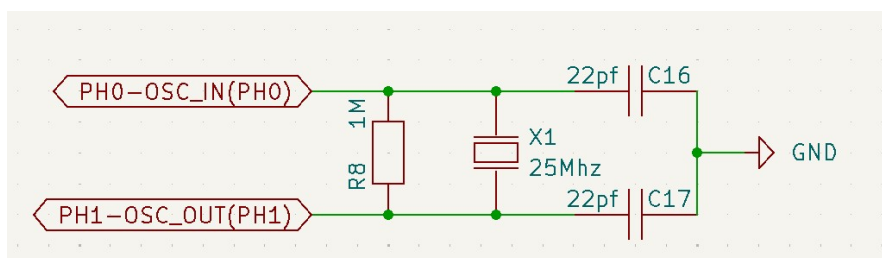


图 2-4 外部高速晶振

2.2 输入输出接口设计

在核心控制单元的设计中，输入输出（I/O）接口是实现与外部设备进行数据交换的关键部分。通过合理的 I/O 接口设计，可以提升系统的扩展性、兼容性和交互性能。本节将详细介绍通信接口设计和控制信号输出接口的设计思路与实现方法。

2.2.1 通信接口设计

为了满足不同应用场景下的数据交互需求，STM32F407VET6 微控制器支持多种通信协议，包括 UART、SPI、I2C、CAN 以及 USB 等。这些接口不仅为系统内部模块间的数据传输提供了便利，也使得与其他外部设备的连接更加灵活多样。

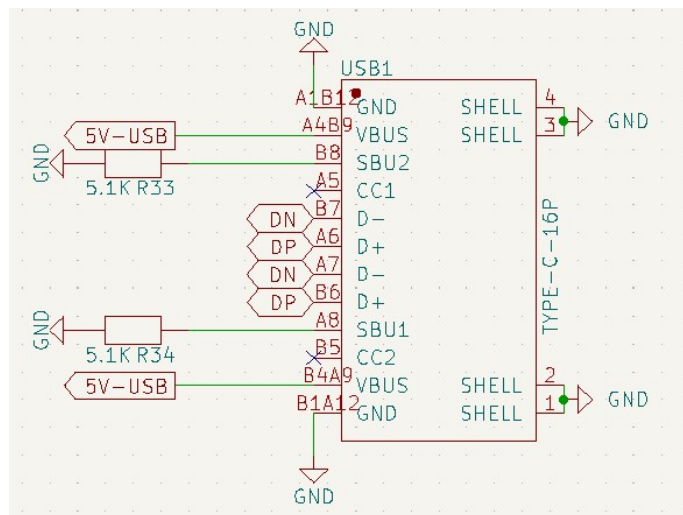


图 2-5 USB 接口

2.2.2 控制信号输出接口

除了通信接口之外，控制信号输出接口也是核心控制单元的关键部分。此接口主要用于向功率驱动电路发送 PWM（脉宽调制）信号，实现对 BLDC 电机速度和方向的精确控制。此外，通过 GPIO（通用输入输出）端口还可以输出其他类型的控制信号，例如使能信号和故障指示信号。设计时应重视信号完整性，采取适当的滤波和隔离措施以减少干扰，并注重接口保护设计，避免因过压或过流造成的损害。精心设计的控制信号输出接口能够大幅提升系统的稳定性和响应速度。

3. 驱动电路硬件设计

3.1 EG2133 驱动芯片介绍

EG2133 是一款专为无刷直流电机（BLDC）设计的专用驱动芯片，它集成了多种保护功能，例如过流保护、欠压锁定等功能，可以显著提高系统的安全性和稳定性。该芯片具有高集成度和高效性能的特点，其优化的栅极驱动设计可以显著减少开关损耗，提高整体效率。

3.2 功率驱动电路设计

3.2.1 MOSFET 选型与参数计算

功率驱动电路的关键组件是 MOSFET（金属氧化物半导体场效应晶体管），其选型直接关系到整个驱动系统的性能表现。在选型过程中，需考虑 MOSFET 的最大漏源电压（ V_{ds} ）、最大连续漏电流（ I_d ）、导通电阻（ $R_{ds(on)}$ ）以及开关速度等关键参数。为了确保系统能够在不同的工作条件下稳定运行，还需要进行热分析以确定所需的散热措施。根据具体的负载要求，通过计算所需的最大电流和电压来选定合适的 MOSFET 型号，并进行相应的参数配置。

3.2.2 驱动电路原理图设计

驱动电路的设计基于 EG2133 驱动芯片，结合所选 MOSFET 的具体参数进行布局。首先，根据 EG2133 的数据手册设计外围电路，包括电源滤波电容的选择、栅极电阻的设置等，以确保信号传输的稳定性和可靠性。其次，绘制完整的驱动电路原理图，明确各元件之间的连接关系及电气特性。特别地，对于 MOSFET 的栅极驱动部分，需注意防止自激振荡现象的发生，通常可以通过添加适当的阻尼电阻或使用专门的栅极驱动 IC 来解决这一问题。

自举电路是一种在高边 NMOS 管栅极驱动中常见的电路结构。该电路以自举电容为核心，通过电荷转移的方式，将充至一定电压的自举电容下极板接至高边 NMOS 管源极而上极板接至高边 NMOS 管的栅极，使高边 NMOS 管能够开启^[9]。

4. 位置检测电路设计

4.1 AS5600 传感器工作原理

AS5600 是一款采用霍尔效应原理设计的磁性旋转编码器，专门用于精确测量旋转角度。它通过检测磁场变化来确定转子的位置，并能提供最高达 12 位分辨率的角度信息。该传感器兼容 I²C 和 SPI 接口，便于与微控制器（如 STM32F407VET6）进行高效的数据交换，简化了系统集成步骤。此外，AS5600 还配备了低功耗模式，可以在不牺牲性能的前提下大幅延长电池供电设备的操作时间。因此，无论是在工业自动化、消费电子领域，还是其他需要精确角度测量的应用场景中，AS5600 都展示了出色的灵活性和可靠性，成为提升产品性能并优化能耗的理想组件。

4.2 位置检测电路设计

4.2.1 传感器接口电路设计

为了确保 AS5600 能够准确地向 STM32F407VET6 传输位置信息，需要设计一个合适的接口电路。首先，根据 AS5600 的数据手册配置 I²C 或 SPI 接口，包括选择适当的上拉电阻值以保证信号完整性。其次，考虑到电磁干扰可能对信号传输造成的影响，应在设计中加入滤波电容，特别是在电源引脚附近添加去耦电容以稳定电压。最后，还需注意布线时尽量缩短信号线长度，减少外界噪声干扰，确保数据传输的准确性。

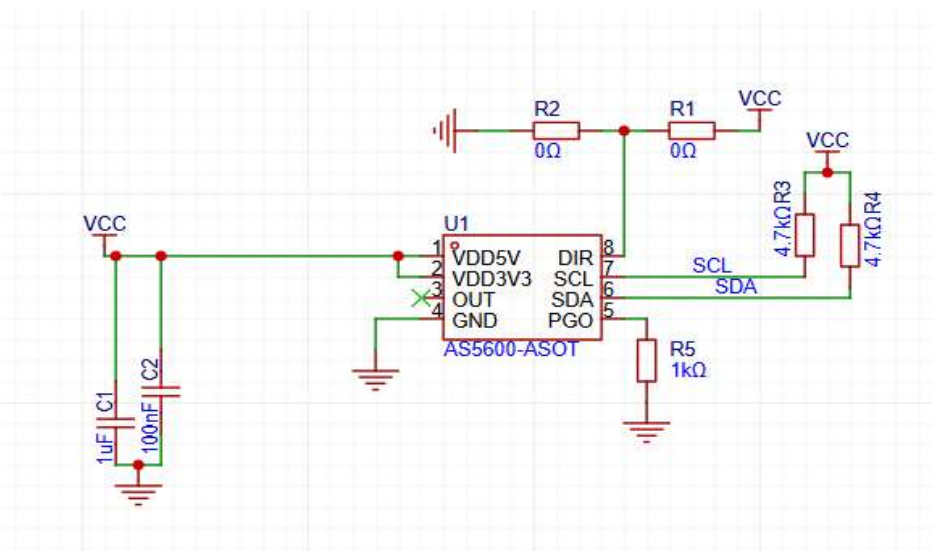


图 4-1 AS5600 电路

4.2.2 数据处理与传输电路设计

对于控制系统来说，理解控制对象的特性至关重要。这些特性通常需要通过信号处理电路和传感器来采集，并在处理后将数据传输到核心控制芯片。最终，利用相应的控制算法实现特定的控制策略^[10]。

在利用 AS5600 提供的高精度位置信息时，STM32F407VET6 通过一套精心设计的数据处理与传输方案来实现高效的电机控制。AS5600 直接通过 I²C 或 SPI 接口提供数字信号，无需经过 ADC 转换，确保了数据的高保真度和快速获取。

为了加速数据传输并减轻 CPU 负担，采用了 DMA（直接存储器访问）技术，使数据能够迅速从 AS5600 传输至 STM32 的内存中，从而实现了数据流的高效管理，同时释放了 CPU 资源用于更复杂的任务处理。

接下来，通过优化算法实时计算电机的实际转速和位置误差。根据这些精确的计算数据，系统动态调节 PWM 信号的占空比，从而实现精准的速度和位置控制。此闭环反馈机制确保了电机运行的高度稳定性和快速响应能力。

在整个操作过程中，系统持续监控关键参数，如电流、温度等，以实时检测异常情况。一旦发现任何潜在问题，系统立即采取保护措施，例如切断电源，防止电机及其他组件受损，确保系统的安全可靠运行。

5. 其他辅助电路设计

5.1 电源管理电路设计

在高性能三相有感无刷电机驱动器的设计中，除了核心控制单元和功率驱动电路之外，辅助电路同样扮演着至关重要的角色。这些辅助电路涵盖了电源管理、过流过压保护以及温度监控等功能模块。它们相互配合，不仅保障了系统的稳定运行，还显著增强了系统的安全性。通过精密的电源管理来维持电压和电流的稳定性，利用过流过压保护机制防止电气故障对系统造成损害，并借助温度监控实时跟踪系统热状态以避免过热风险，这些精心设计的辅助功能模块是保障整个驱动系统高效、可靠运作的关键所在。

5.2 保护电路设计

5.2.1 过流保护机制

在确保系统各组件稳定运行的过程中，电源管理电路起着基础性的作用。它不仅需要为 STM32F407VET6 微控制器、EG2133 驱动芯片及 AS5600 位置传感器等提供稳定的电压供给，还需充分考虑各模块对电源的特定需求差异。因此，在设计电源管理电路时，选取适合的稳压器非常关键。针对低噪声需求高的组件，如传感器和微控制器，推荐使用低压差线性稳压器（LDO）；对于功率需求较高的部分，应选择效率更高的开关模式电源（SMPS）。这样既能满足各个组件的电压和电流要求，又能优化系统的电磁兼容性（EMC）表现。

为了进一步提升系统的可靠性，实施电源冗余设计是至关重要的。通过建立主电源和备用电源之间的自动切换机制，可以在主电源失效时立即启用备用电源，确保系统持续稳定运行，避免因电源故障引起的中断或硬件损坏。

在电源管理中加入过流保护机制同样重要。过流保护能够实时监测电路中的电流水平，并在检测到异常高电流时立即采取措施，比如切断电源或触发报警信号，以避免电路损坏或潜在的安全风险。这种多层次的设计策略，不仅保证了各组件的正常工作，还大幅提升了整个系统的安全性与稳定性。

5.2.2 过压保护措施

选择一个低阻值且功率耗散能力足够的精密电阻串联在电机回路中。该电阻用于监测通过电机的实际电流大小。其阻值需根据预期的最大电流来确定，同时确保不会对电路的整体效率产生显著影响。

当电流超过预设的安全阈值时，比较器能够迅速检测到这一变化，并立即向 STM32F407VET6 微控制器发送信号。基于此信号，微控制器可以执行相应的保护动作，如降低 PWM 占空比或切断电源供应，从而避免系统因过流而受损。

此外，为了进一步提升系统的鲁棒性，在设计时还应考虑以下几个方面：

在电流检测点附近添加适当的滤波电容，以减少瞬态电流波动对检测结果的影响，确保比较器接收到的信号更加稳定可靠。

除了硬件上的保护措施外，还可以在软件中实现额外的监控逻辑。如定期检查电流水平并在发现异常时记录日志或触发警报，以便后续分析和故障排查。

5.3 温度监控与保护电路设计

由于 BLDC 电机及其驱动器在运行过程中会产生大量热量，因此必须配备有效的温度监控与保护机制。首先，在关键发热区域安装 NTC（负温度系数）热敏电阻作为温度检测元件，实时监控系统的温度变化。然后，利用 ADC 将模拟温度信号转换为数字信号，并传输给 STM32F407VET6 进行处理分析。如果检测到温度超出安全范围，应立即发出警报并启动散热风扇进行降温。

6. 功能与性能验证

为了验证驱动板硬件电路设计是否正确。控制算法（FOC）是否能正常运行。测试驱动器在不同负载和转速下的稳定性与效率。确保安全保护机制有效（过流、欠压、过温等）。评估驱动器对电机响应的准确性与实时性。

6.1 实验设备

本次实验所需设备主要包括：三相无刷电机、自主研发的三相无刷电机驱动板、可调直流电源或匹配电压的电池组、示波器用于观测 PWM 波形及霍尔信号、万用表用于测量电压和电流、负载装置用于模拟实际工况、编码器模块用于反馈转子位置、主控单元运行控制程序，以及散热片和风扇等辅助散热装置，确保系统在测试过程中稳定运行。

6.2 实验步骤与测试内容

6.2.1 通电前准备与初步检查

确认电源、驱动板、电机、控制器之间的接线正确可靠，接地良好。在未上电状态下检测各供电模块是否存在短路或反接现象。确保控制程序已下载至主控芯片，并能正常启动。

6.2.2 空载功能测试

PWM 信号输出测试是空载测试的核心部分之一，旨在验证 PWM 信号生成模块的功能。利用示波器观察三相 PWM 输出波形，确保 PWM 频率适合所使用的电机类型。调整占空比，观察其变化是否符合预期。检查是否存在适当的死区时间，防止上下桥臂同时导通造成短路。三相 PWM 应保持对称，避免某一相的异常导致电机不平衡运转。



图 6-1 示波器截图

6.2.3 闭环控制测试

闭环控制测试采用位置闭环的模式进行测试，位置闭环控制测试是为了验证驱动器

能否根据给定的位置指令精确地控制电机转子到达指定位置。这种类型的测试对于需要精确定位的应用（如机器人关节、精密机床等）至关重要。

在测试过程中，通过串口调试软件向上位机发送目标角度指令，驱动器接收指令后解析并执行相应的控制动作，驱动电机快速响应并定位至设定位置。实验重点考察系统的定位精度、响应速度以及运行稳定性。

测试结果表明，驱动器能够准确解析上位机发送的角度指令，电机在接收到指令后能够迅速启动并稳定运行至目标位置，展现出良好的动态响应能力和控制精度，满足基本的高精度定位需求。

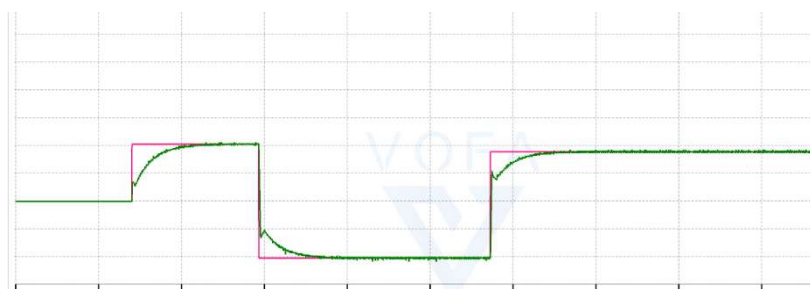


图 6-2 设定角度与实际角度波形

6.3 实验总结

本次三相无刷电机驱动器的验证实验，围绕硬件功能、控制逻辑及系统稳定性等方面展开。通过空载与带载测试，验证了驱动板能够正常输出 PWM 信号并实现电机平稳运行；示波器观测结果显示换向逻辑正确，死区设置合理，有效防止上下桥臂直通。闭环控制测试中，系统具备良好的速度响应能力和稳态精度，满足基本控制需求。同时，过流、欠压等保护功能也进行了模拟测试，初步验证其可靠性。整体来看，该驱动器在实验环境下表现稳定，达到了预期设计目标，为后续优化和实际应用奠定了基础。

7. 参考文献

- [1] 顾伟康.一体化无刷直流电机控制研究和实现[D].东南大学,2015.
- [2] 黄龙亮,胡鹏飞,陈玉洁,等.基于 ARM 的无刷直流电机容错控制系统研究[J].自动化应用,2024,65(12):103-104+108.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.12.033.
- [3] 王飞.BLDC 驱动电路设计及应用[D].西安电子科技大学,2017.
- [4] 谭加尼.基于 STM32 的无刷直流电机控制器研制 [D]. 武汉工程大学,2020.DOI:10.27727/d.cnki.gwhxc.2020.000290.
- [5] 敬心灵.基于 STM32 的无刷直流电机矢量控制系统研究 [D]. 常州大学,2022.DOI:10.27739/d.cnki.gjsgy.2022.000412.
- [6] 马鸿德.BLDC 电机控制器的研究与设计[D].中国海洋大学,2015.
- [7] 王聪.基于 STM32 的无刷直流电机控制系统研究[J].微处理机,2022,43(02):11-15.
- [8] 赵国清,武涵.基于 STM32 的无感无刷直流电机控制系统设计[J].自动化应用,2024,65(05):142-148+152.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.05.042.
- [9] 方思鹏.无刷直流电机高性能驱动电路的设计与实现 [D]. 电子科技大学,2023.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2023.003895.
- [10] 张平稳.高速无刷直流电机控制系统硬件电路设计 [J]. 自动化应用 ,2019,(09):44-45+48.DOI:10.19769/j.zdhy.2019.09.017.

8. 致谢

首先，我们要感谢实验室为我们提供了一个卓越的学习环境，这为我们的学习和实验奠定了坚实的基础。

特别需要感谢的是我的指导老师，您的深刻见解、宝贵建议以及对科研工作的激情极大地鼓舞了我们，帮助我们克服了诸多挑战。您不仅在学术上给予了细致入微的指导，还在项目的各个关键节点提供了至关重要的支持与鼓励。

同时，我们也想表达对重庆电子科技职业大学的感激之情，感谢学校提供的优良科研条件和资源支持。让我能够全身心投入到这项工作中直至完成。

NO: 5d87fc6a33md8q81 | 2025-04-13 18:25:56

- 题目: 三项有感无刷电机驱动器硬件设计
- 作者: 汤红辉
- 检测所属单位: 重庆电子科技职业大学

📄 论文字符数: 12022 📄 论文页数: 20 📊 表格数量: 0 🖼️ 图片数量: 9

检测结果

全文总相似比: **15.15%** (全文总相似比=复写率+他引率+自引率+专业术语)

复写率: 9.07% 自引率: 0.0% 他引率: 6.08% 专业术语: 0.0%

其他指标

去除本人引用相似率: 15.15% 去除专业术语相似率: 15.15% 自写率: 84.85%

典型相似文章: 无

检测范围 | 1989-01-01 ~ 2025-04-13

- 中文科技期刊论文全文数据库
- 博士/硕士学位论文全文数据库
- 外文特色文献数据全库
- 中文主要报纸全文数据库
- 中国专利特色数据库
- 中国主要会议论文特色数据库
- 古籍文献/图书资源
- IPUB原创作品
- 互联网数据资源/互联网文档资源
- 港澳台文献资源
- 年鉴资源
- 维普优先出版论文全文数据库

相似片段

总相似片段 51 = 相似片段 35 + 引用片段 16

期刊: 13 综合: 2 外文: 0 博硕: 14 互联网: 22



重庆电子科技职业大学
CHONGQING POLYTECHNIC UNIVERSITY
OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

全日制学生毕业设计 成绩评定书

题 目 三项有感无刷电机驱动器硬件设计

学 院 智慧健康学院

专业班级 嵌入式技术应用 2202

学生姓名 汤红辉 学号 2203080517

指导教师 刘祥明/王玺伟 职称 讲师/工程师

2025 年 5 月 18 日

重庆电子科技职业大学

毕业设计（论文）成绩评定总表

姓 名	汤红辉	学号	2203080517	专业	嵌入式技术应用
题 目	三项有感无刷电机驱动器硬件设计				
指导教师	刘祥明/王玺伟		职称	讲师/工程师	
学 生 总 成 绩	设计成绩 (百分制)	指导教师评分：85 评阅教师评分：85 答辩评分：80			
	折合比例	指导教师评分(40%)；评阅教师评分(30%)；答辩评分(30%)			
	实得成绩	总分： 83.5 ；			
	总 评 等 级	毕业设计总评等级（五级制）： 学院分管领导(签字)： 学院(签章) 年 月 日			

重庆电子科技职业大学

毕业设计（论文）指导教师成绩评定表

姓 名	汤红辉	学号	2203080517	专业	嵌入式技术应用
题 目	三项有感无刷电机驱动器硬件设计				
指导教师	刘祥明/王玺伟		职 称	讲师/工程师	
指导教师意见	论文选题符合要求，论述较得当，结构较合理，逻辑清晰。但在创新深度还不够，格式上也有些许不足，总体符合高职学生毕业论文要求，同意答辩				
	指导教师评分： 85 指导教师(签字)： 刘祥明 王玺伟				

重庆电子科技职业大学

毕业设计（论文）评阅教师成绩评定表

姓 名	汤红辉	学号	2203080517	专业	嵌入式技术应用
题 目	三项有感无刷电机驱动器				
指导教师	刘祥明/王玺伟		职 称	讲师/工程师	
评 阅 教 师 意 见	<p>该生论文《三项有感无刷电机驱动器》内容正确，有一定的独创性，分析问题严密，学生宿舍管理系统方案制定合理，实现方法较正确，实现了学生宿舍管理系统大部分功能，文字表述较准确，有较强解决问题能力。总体符合毕业设计要求，同意答辩。</p>				
	<p>评阅教师评分： 85 ；是否同意答辩： 是 评阅教师(签字)： 贺晓辉</p>				

重庆电子科技职业大学

毕业设计（论文）答辩记录及成绩评定表

姓 名	汤红辉	学号	2203080517	专业	嵌入式 2202
题 目	三项有感无刷电机驱动器硬件设计				
答 辩 时 间	2025 年 5 月 8 日	答辩地点	致远楼 424	答辩人数	51
答辩小组组长	余永洪		答辩记录人	刘静	
答辩小组成员	余永洪、陈甫、刘静				
答 辩 小 组 评 语	<p>本课题通过对其结构及工作原理的研究,设计一种基于 STM32F407 的无刷直流电机控制系统 I77,如何利用 STM32F407VET6 的高级处理能力来实现复杂的控制算法。</p> <p>该生论文选题具有一定的实际意义,研究目的和意义明确,研究方法正确,实现了系统设计的部分功能。通过答辩建议成绩为良好。</p> <p>答辩成绩: <u>80</u></p> <p>答辩小组成员签字:</p> <p>余永洪 陈甫 刘静</p> <p>答辩小组组长(签字):</p> <p>余永洪</p>				

答辩记录：（应包括设计论文内容表述、答辩小组成员所提问题及学生对问题的回答）

为进一步挖掘无刷直流电机的应用潜力，通过对其结构及工作原理的研究，设计一种基于 STM32F407 的无刷直流电机控制系统 I77。本研究旨在结合 STM32F407VET6 微控制器、EG2133 驱动芯片和 AS5600 位置传感器的优势，设计一款高性能的三相有感无刷电机驱动器。通过优化硬件设计和软件算法，提高驱动器的效率、可靠性和控制精度，以满足日益增长的高性能电机驱动需求。我们将深入研究如何利用 STM32F407VET6 的高级处理能力来实现复杂的控制算法，同时通过 EG2133 驱动芯片确保功率输出的稳定性和安全性，并通过 AS5600 位置传感器提供精确的位置反馈，进一步提升系统性能。此外，本研究还将探讨如何降低成本、简化设计复杂度，使所设计的驱动器更易于在实际应用中推广使用。通过本研究，我们希望能够为行业提供一种更加经济、高效且可靠的解决方案，从而促进 BLDC 电机驱动技术的进一步普及和发展。

提问 1：这个软件的优点有哪些？

回答 1：比较容易上手，有效的节约成本

提问 2：里面有一些内容还是需要完善

回答 2：好的

提问 3：应用如何？

回答 3：做一个人形机器人参加比赛，已经验证过了

答辩记录人：刘 静

2025 年 5 月 8 日