

# 新能源汽车空调制冷智能控制系统研发与应用

刘晓强<sup>1</sup>, 司恩旭<sup>1</sup>, 洪恺岐<sup>2</sup>, 张俊哲<sup>1</sup>, 王秋阳<sup>1</sup>, 孔祥慧<sup>3</sup>

(1. 辽宁石油化工大学创新创业学院, 辽宁抚顺, 113001;

2. 辽宁石油化工大学信息与控制工程学院, 辽宁抚顺, 113001;

3. 辽宁石油化工大学石油天然气工程学院, 辽宁抚顺, 113001)

**摘要:** 为了降低新能源汽车空调制冷系统的能源消耗和提高系统平稳高效运行的能力, 从软件和硬件两方面设计和研发了一套新能源汽车空调制冷智能控制系统。在软件系统设计方面, 涵盖了主程序、电机启动程序、电流检测程序、无位置传感器控制程序、压缩机控制算法程序等多个程序设计部分。硬件电路设计包含最小控制系统电路、驱动电路、转子位置检测电路等。最后, 从软件和硬件两个维度展开工作, 并以压缩机为核心构建整个空调制冷系统, 有效控制电机转速波动, 提升抗干扰能力和动态控制性能, 促进新能源汽车空调制冷智能控制系统领域的发展。

**关键词:** 新能源汽车; 空调; 压缩机; 电机转速控制

**中图分类号:** TP 2      **文献标志码:** A      **文章编号:**

## Research and Application of Intelligent Control Systems for New Energy Vehicle Air Conditioning Cooling

Liu Xiaoqiang<sup>1</sup>, Si Enxu<sup>1</sup>, Hong Kaiqi<sup>2</sup>, Zhang Junzhe<sup>1</sup>, Wang Qiuyang<sup>1</sup>, Kong Xianghui<sup>3</sup>

(1. School of Innovation and Entrepreneurship, Liaoning Petrochemical University, Fushun Liaoning, 113001;

2. School of Information and Control Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun Liaoning, 113001;

3. School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun Liaoning, 113001)

**Abstract:** In order to reduce the energy consumption of the air-conditioning and refrigeration system of new energy vehicles and improve the ability of the system to run smoothly and efficiently, a set of intelligent air-conditioning and refrigeration control system for new energy vehicles was designed and developed from both software and hardware aspects. In terms of software system design, it covers multiple program design parts such as main program, motor start program, current detection program, position sensorless control program, compressor control algorithm program, etc. The hardware circuit design includes the minimum control system circuit, the drive circuit, the rotor position detection circuit, etc. Finally, the work is carried out from the two dimensions of software and hardware, and the entire air-conditioning and refrigeration system is built with the compressor as the core, which effectively controls the speed fluctuation of the motor, improves the anti-interference ability and dynamic control performance, and promotes the development of the intelligent control system of air conditioning and refrigeration of new energy vehicles.

**Key words:** new energy vehicles; air conditioning; compressor; motor speed control

**基金项目:** 辽宁石油化工大学创新创业训练计划(项目编号: 202410148001)

**作者简介:** 刘晓强(2004-), 男, 汉族, 本科生, 河南鹤壁人, 就读于辽宁石油化工大学自动化专业, 主要从事新能源汽车空调系统变频控制

**通信联系人:** 孔祥慧(1983-), 女, 辽宁抚顺人, 硕士, 教授, 主要从事新能源汽车空调系统变频控制等研究. E-mail: 737321816@qq.com

## 0 引言

在全球温室气体排放加剧的背景下,新能源汽车成为节能减排的重要选择。其空调系统作为关键耗电来源,能效提升至关重要。传统 PID 控制算法(Proportion Integral Differential, PID)虽广泛应用,但复杂场景下效果欠佳。先进控制算法如遗传算法等更适合复杂非线性对象,具有更好稳定性和鲁棒性。因此,面向高效节能和智能化的新能源汽车空调制冷智能控制系统研发对系统稳定运行具有重要意义。

在国外新能源汽车空调制冷智能控制系统的发展比较成熟,代表性的如 Eltoun 等人<sup>[1]</sup>提出了一种新颖的混合控制方法,通过同时控制直流无刷电机参考电流和逆变器直流母线电压来控制电机转速,可以有效减少电机的转矩波动;Naseri 等人<sup>[2]</sup>提出了一种具有梯形反电动势的三相四开关逆变器供电无刷直流电机驱动器的有效控制策略;Wan 等人<sup>[3]</sup>提出了一种带换相时间的无刷直流电机换相转矩脉动抑制策略。国内在该领域的发展也很迅速,代表性的如康鹏等人<sup>[4]</sup>提出了一种基于改进灰狼算法优化 PID 参数的无刷直流电机控制策略,通过增强算法搜索能力,提高了电机响应速度与控制精度,实现了无超调且稳态响应时间短的控制效果;唐一融等人<sup>[5]</sup>提出了一种适用于低开关频率的强鲁棒效率优化控制策略,用于提升三电平变频驱动的直线感应电机系统的运行效率和鲁棒性;马尔旦 吐尔逊等人<sup>[6]</sup>针对电机转速和转矩控制的需求,通过软硬件的精密配合,实现了对电机运行状态的精确调控;张家辉等人<sup>[7]</sup>研究了一种融合自适应滤波与模型预测控制的策略,通过实时反馈系统扰动信息至预测模型,实现了新能源汽车电机驱动系统的稳定高效控制;王雷等人<sup>[8]</sup>提出了一种基于多策略融合算法的无刷直流电机控制方法,通过优化模糊规则,结合混沌映射与智能算法,实现了高效调速控制。

综上,国内外对于新能源汽车空调制冷智能控制系统技术的研究具有多样化,但智能化控制程度不高。因此,本文从软硬件入手提升新能源汽车空调制冷智能控制系统的智能化控制,增强乘客舒适度,满足高品质乘车需求,助力汽车智能化发展。

## 1 软件系统的设计与开发

软件部分主要是包括主程序部分、控制器算法部分、位置检测算法部分等程序设计。该部分主要是使用 STM32CubeMX 软件对芯片进行初始化设置,再由 Keil 软件完成控制算法等其他工作。

### 1.1 压缩机主程序设计

软件系统主程序包括芯片初始化(时钟、引脚、定时器)、外设配置初始化(ADC、PWM、采集检测、通讯程序)、基于预测算法的控制程序,以及通讯模块实现按键调速与数据上传。调制方式采用 HPWM\_LON 调制,下桥臂为常开的输出方式,这样能减轻散热压力又能减少转速波动。且硬件电路板上已经设计的电压放大器和电压比较器便可以直接实现检测悬空相的电压值与模拟中性点的电压值进行比较,并计算得出换相时刻的功能,因此不需要再次将输入引脚设置为 ADC 模数转换的功能。

### 1.2 电机启动子程序

由于直流无刷电机在无位置传感器情况下启动不能确定转子位置,所以只能通过转子定

位-外同步加速-切换自同步的三段式进行启动电机。首先使三相桥上桥臂和不同相的下桥臂先导通一段时间,使转子旋转到该导通时刻扭矩为零的位置,并更换上下桥臂再次定位。然后进行换相操作,设置一定的换相频率和占空比并逐步提高,通过升频升压法提高转子的转速。等转子有了一定转速并且能稳定检测到一段时间的换相过零点,就能保证顺利的进行自同步切换。

### 1.3 电流检测程序

电流检测程序是通过检测三相桥逆变电路的下端流通的电流并进行数模转换,作为电流环的反馈值,然后经过电流环控制器输出占空比控制电机的有效电压。电流采集是在 PWM 信号导通时刻进行采集,并采用一阶惯性滤波去除尖峰电流,保证电流采集的信号平稳。

### 1.4 无位置传感器控制程序

在无位置传感器直流无刷电机控制中,针对空调压缩机内部空间局限及高温环境,采用反电动势过零点检测实现换相控制。该方法通过电压比较器监测悬空相反电动势,转化为高低电平信号输入控制芯片。测速策略上,鉴于空调压缩机高转速需求,选择 T 法测速,即在单个电周期内计数 PWM 周期数,以确保转速测量的实时性与精度,覆盖全转速范围,优化控制效果。

### 1.5 压缩机控制算法程序

本文旨在优化新能源汽车空调制冷智能控制系统的性能,通过设计两种预测函数控制策略以达成最佳运行状态。策略的核心在于内环采用 PI 电流环,确保电流快速响应与精确控制,同时防止电机过载。速度环则分别采用预测函数控制(Predictive Functional Control, PFC)和多模态切换预测函数控制(Multiple Models Predictive Function Control, MMPFC)两种方法进行对比研究。PFC 控制通过阶跃响应测试建立预测模型,并直接应用于控制;而 MMPFC 则通过构建多预测模型,灵活应对负载变化,有效减轻模型失配问题,提升系统整体运行效能与鲁棒性。

## 2 硬件电路的设计与开发

第一章主要阐述了新能源汽车空调制冷智能控制系统的主程序设计、电机启动程序、电流检测程序等软件设计。如下为硬件电路部分的设计,主要包括最小控制系统电路、驱动电路、转子位置检测电路等。利用 Altium Designer 软件进行硬件电路原理图设计、电子元器件封装库设计、硬件印刷电路板设计、三维视图预览、电路仿真验证等工作。

### 2.1 最小控制系统电路

直流无刷电机驱动板最小控制系统采用 STM32F407VET6 作为主控,芯片具备多定时器、PWM 输出及高精度 ADC,便于电机精确控制,更好完成电机控制的工作。STM32CubeMX、HAL/LL 库及 RTOS 等开发工具简化开发流程。其灵活管脚配置支持 PWM 控制、按键输入及电机状态监测,有效构建高效、安全的控制系统。

### 2.2 驱动电路

直流无刷电机驱动电路由三相桥逆变电路与驱动电路模块构成,采用 MOSFET 作为功率驱动管,实现直流到交流的转换,为电机提供能量。IR2136S 驱动芯片与推挽电路结合,

放大控制信号，精准控制 MOSFET 开关，调整占空比以控制电机电压。NCEP01T18T 型 MOSFET 高开关频率、短开通/关断时间，适用于高频场景。驱动系统通过 PWM 信号调节，实现电机转速灵活控制，满足多样化应用需求。

### 2.3 转子位置检测电路

在无刷电机无位置传感器控制中，转子位置检测常基于悬空相反电动势，通过合成虚拟中性点，利用电压比较器直接对比反电动势与中性点，实现过零点检测，减少控制芯片负担，提升系统效率与响应速度。

## 3 系统搭建与测试

### 3.1 空调控制系统的搭建

为了测试不同的算法控制下电机的转速情况，我们搭建了一个新能源汽车空调系统实验平台如图 1 所示，在该实验平台上我们进行了单独 PFC 控制和多模态切换 PFC 控制两种控制算法下的电机转速性能实验。

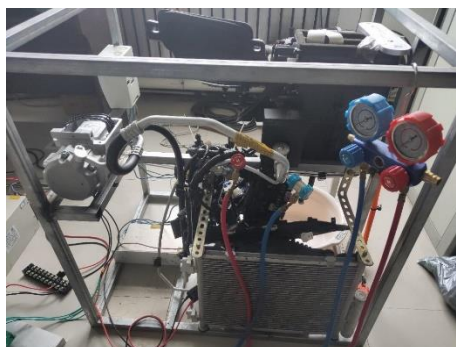


图 1 新能源汽车空调系统实验平台

Fig. 1 Experimental platform for air conditioning system of new energy vehicles

### 3.2 测试结果及分析

实验采用单独 PFC 控制和多模态切换 PFC 控制进行对比，以评估两种控制算法在不同转速情况下的性能表现。在低转速情况下两种控制算法差距不大。从图 2 可以看出，在高转速情况下，单独 PFC 控制的稳态波动相对较大。这意味着该算法在高速运行时，对电机转速的精确控制能力有所下降，无法将转速波动控制在较小的范围内，可能会影响空调系统的性能和稳定性。从图 3 可知，高转速情况下 MMPFC 可以控制的稳态波动相较于 PFC 控制情况下更小。这显示出 MMPFC 算法在高速运行时具有更好的控制精度，能够更有效地抑制电机转速的波动，使电机转速更加稳定，从而有助于提高新能源汽车空调制冷智能控制系统在高速运行时的性能和可靠性。

综合上述分析可知，在高转速和抗干扰能力方面，MMPFC 算法表现出明显的优势，更适合新能源汽车空调制冷智能控制系统。

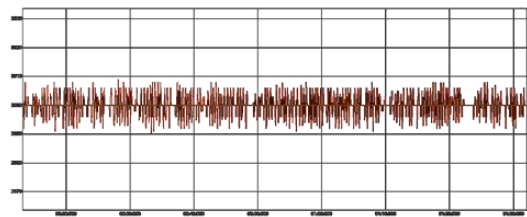


图 2 PFC 稳态高速运行转速波动情况图  
Fig. 2 PFC speed fluctuation at high steady speed

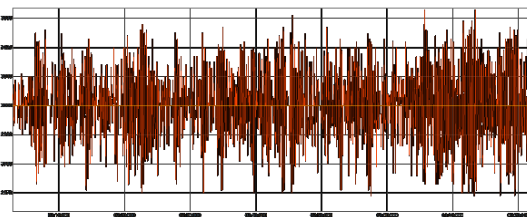


图 3 MMPFC 稳态高速运行转速波动情况  
Fig. 3 MMPFC speed fluctuation at high steady speed

4 结束语

本文基于 STM32F407 芯片设计了新能源汽车空调压缩机控制系统，将预测函数控制算法应用到控制系统，通过软件程序和硬件电路实现新能源汽车的空调制冷系统的智能控制。从测试结果看出使用的控制算法能够对电机转速的控制可以很稳定的跟踪设定值，具有良好的发展前景。

[参考文献] (References)

[1] Eltoun M A M, Hussein A, Abido M A. Hybrid fuzzy fractional-order PID-based speed control for brushless DC motor[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2021, 46(10): 9423-9435.

[2] Naseri F, Farjah E, Schaltz E, et al. Predictive control of low-cost three-phase four-switch inverter-fed drives for brushless dc motor applications[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2021, 68(3): 1308-1318.

[3] Wan Z X, Song H, Chong Z, Liao Y. Coordinated suppression commutation torque ripple for brushless DC motor with commutation time[J]. IET Electric Power Applications, 2022, 17(2): 206-216.

[4] 康鹏, 金婕, 严伟, 基于改进 GWO-PID-无刷直流电机控制策略[J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 147-152.

[5] 唐一融, 徐伟, 葛健, 等. 三电平变频驱动的直线感应电机系统低开关频率强鲁棒效率优化控制策略[J]. 电工技术学报, 2024, 3: 1-15.

[6] 马尔旦 吐尔逊, 百合提努尔, 巴图尔 卡吾力. 新能源汽车电机驱动控制系统设计及仿真分析[J]. 科学技术创新, 2024, 11: 213-216.

[7] 张家辉, 王峰, 李建新, 等. 新能源汽车及电机驱动的控制技术探究[J]. 汽车知识, 2024, 24(8): 20-22.

[8] 王雷, 崔玉鑫, 高亨, 等. 基于多策略融合算法的无刷直流电机控制研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2024, 62(8): 118-123.