

电动汽车电子控制系统关键技术研究

张娜 何斌

西安明德理工学院 陕西西安 710100

DOI:10.12238/ems.v7i9.15245

[摘要] 随着全球对环境保护和可持续发展的关注度不断提高,电动汽车作为一种清洁、高效的交通工具,正逐渐成为汽车行业发展的主流方向。电动汽车的电子控制系统是其核心组成部分,对车辆的性能、安全性和可靠性起着决定性作用。本文深入研究了电动汽车电子控制系统的关键技术。通过对这些关键技术的研究,旨在为电动汽车的进一步发展提供技术支持和理论依据,推动电动汽车产业的快速发展。

[关键词] 电动汽车; 电子控制系统; 电池管理系统; 电机驱动系统

引言

在全球能源危机和环境污染问题日益严峻的背景下,电动汽车作为一种可持续的交通解决方案,受到了广泛关注。与传统燃油汽车相比,电动汽车具有零尾气排放、能源利用效率高、噪音低等优点,能够有效减少对环境的污染和对化石能源的依赖^[1]。电动汽车的电子控制系统是其核心技术之一,它如同人的大脑和神经系统,负责协调和控制车辆的各个部件,实现车辆的高效运行。随着电子技术、计算机技术和控制技术的不断发展,电动汽车电子控制系统的性能得到了显著提升,但同时也面临着更高的要求和挑战。因此,深入研究电动汽车电子控制系统的关键技术,对于提高电动汽车的性能、推动电动汽车产业的发展具有重要意义。

1、电动汽车电子控制系统概述

1.1 系统架构

电动汽车电子控制系统通常由多个子系统组成,包括电池管理系统(BMS)、电机驱动系统(MDS)、整车控制系统(VCU)、充电系统、辅助控制系统等。这些子系统通过控制器局域网(CAN)总线进行通信,实现信息共享和协同工作^[2]。其中,电池管理系统负责监测和管理电池的状态,确保电池的安全和高效运行;电机驱动系统将电池的电能转换为机械能,驱动车辆行驶;整车控制系统则根据驾驶员的操作意图和车辆的状态信息,对各个子系统进行协调和控制,实现车辆的稳定行驶和各种功能。

1.2 功能特点

电动汽车电子控制系统具有以下功能特点:一是精确控制,能够根据车辆的运行状态和驾驶员的需求,对电机的转速、转矩、电池的充放电等进行精确控制,提高车辆的性能和能源利用效率;二是实时监测,通过各种传感器实时监测车辆的电池状态、电机状态、车辆行驶状态等信息,及时发现故障并采取相应的措施,保障车辆的安全运行;三是能量

回收,在车辆制动过程中,能够将部分动能转化为电能并储存在电池中,提高能源利用效率,延长车辆的续航里程;四是智能化,随着人工智能、大数据等技术的应用^[3],电动汽车电子控制系统能够实现自动驾驶、智能充电等智能化功能,提升用户的驾驶体验。

2、电池管理系统关键技术

2.1 电池状态监测

准确监测电池的状态是电池管理系统的基础功能。电池状态监测主要包括电池电压、电流、温度的监测。通过高精度的传感器实时采集这些参数,并将其传输给电池管理系统的控制器进行处理。在电压监测方面,采用高精度的电压传感器,能够精确测量电池单体和电池组的电压,误差控制在极小范围内,以便及时发现电池的过压、欠压等异常情况。电流监测则通过霍尔电流传感器实现,能够准确测量电池的充放电电流,为电池的能量计算和状态评估提供重要依据。温度监测对于电池的安全和寿命至关重要,在电池组中布置多个温度传感器,实时监测电池的温度分布,防止电池因过热而发生热失控等危险。

2.2 剩余电量 (SOC) 估计

剩余电量估计是电池管理系统的关键技术之一,其准确性直接影响到电动汽车的续航里程预测和驾驶安全性。目前,常用的 SOC 估计方法有安时积分法、开路电压法、神经网络法、卡尔曼滤波法等^[4]。安时积分法简单易行,但存在累计误差,需要定期校准。开路电压法精度较高,但需要电池处于静置状态,实际应用中存在一定局限性。神经网络法能够通过学习大量的电池数据,建立电池模型,对 SOC 进行较为准确的估计,但需要大量的训练数据和较高的计算资源。卡尔曼滤波法结合了电池的模型和测量数据,能够有效减少噪声的影响,提高 SOC 估计的精度,在实际应用中得到了广泛采用。为了进一步提高 SOC 估计的准确性,还可以将多种方

法结合使用，取长补短。

2.3 电池均衡技术

由于电池在生产制造过程中存在个体差异，以及在使用过程中的不一致性，导致电池组中各个电池单体的电压、容量和内阻等参数会出现不均衡现象。这种不均衡会影响电池组的性能和寿命，甚至可能引发安全问题。因此，电池均衡技术是电池管理系统的重要组成部分。电池均衡技术分为主动均衡和被动均衡。被动均衡通过在电池单体上并联电阻，将电压较高的电池的能量以热能的形式消耗掉，从而实现电池组的电压均衡。被动均衡结构简单、成本低，但能量消耗大，均衡速度慢。主动均衡则是通过能量转移的方式，将能量较高的电池的能量转移到能量较低的电池中，实现电池组的均衡。主动均衡具有能量利用率高、均衡速度快等优点，但电路结构复杂，成本较高。近年来，一些新型的主动均衡技术不断涌现，如基于电感的均衡技术、基于电容的均衡技术、基于双向 DC/DC 变换器的均衡技术等。这些技术在提高均衡效率、降低成本和复杂度方面取得了一定的进展。

3、电机驱动系统关键技术

3.1 电机控制策略

电机控制策略直接影响电机的性能和效率。目前，常用的电机控制策略有矢量控制、直接转矩控制、模型预测控制等。矢量控制通过将电机的定子电流分解为励磁电流和转矩电流，分别进行控制，实现了对电机转矩和磁通的解耦控制，能够提高电机的动态性能和控制精度。直接转矩控制则是直接对电机的转矩和磁通进行控制，具有响应速度快、控制简单等优点，但存在转矩脉动较大的问题。模型预测控制是一种基于模型的先进控制策略，通过预测电机的未来状态，并根据优化目标选择最优的控制策略，能够提高电机的控制性能和效率，但计算量较大，对控制器的性能要求较高。为了进一步提高电机的控制性能，一些新型的控制策略不断涌现，如自适应控制、模糊控制、神经网络控制等。这些智能控制策略能够根据电机的运行状态和环境变化，自动调整控制参数，提高电机的鲁棒性和适应性。

3.2 功率变换器技术

功率变换器是电机驱动系统的重要组成部分，其作用是将电池的直流电转换为电机所需的交流电。常用的功率变换器有电压源型逆变器和电流源型逆变器。电压源型逆变器具有结构简单、控制方便等优点，在电动汽车中应用广泛。电流源型逆变器则具有电流控制性能好、适用于高性能调速系统等优点，但结构相对复杂，成本较高。随着电力电子技术的发展，新型的功率器件不断涌现，如绝缘栅双极型晶体管、

碳化硅器件、氮化镓器件等。这些新型功率器件具有开关速度快、导通电阻小、耐高温等优点，能够提高功率变换器的效率和功率密度。

4、整车控制系统关键技术

4.1 驾驶员意图识别

准确识别驾驶员的操作意图是整车控制系统的重要任务之一。驾驶员意图识别主要通过采集加速踏板、制动踏板、转向盘等传感器的信号，并对这些信号进行分析和处理来实现。如，通过分析加速踏板的开度和变化率，可以判断驾驶员的加速意图；通过分析制动踏板的压力和行程，可以判断驾驶员的制动意图；通过分析转向盘的转角和转速，可以判断驾驶员的转向意图。为了提高驾驶员意图识别的准确性，还可以结合车辆的行驶状态、驾驶员的驾驶习惯等信息进行综合判断。例如，利用机器学习算法对大量的驾驶数据进行学习和训练，建立驾驶员意图识别模型，能够更准确地识别驾驶员的操作意图。同时，通过与智能驾驶辅助系统相结合，还可以实现对驾驶员意图的提前预判，提高车辆的安全性和驾驶舒适性。

4.2 动力分配与协调控制

整车控制系统需要根据驾驶员的意图和车辆的行驶状态，对电机驱动系统、电池管理系统、制动系统等进行动力分配和协调控制，以实现车辆的最佳性能。在动力分配方面，需要综合考虑车辆的动力性、经济性和安全性等因素。例如，在车辆加速时，根据加速踏板的开度和电池的剩余电量，合理分配电机的输出功率，既要保证车辆的加速性能，又要避免电池过度放电；在车辆制动时，根据制动踏板的压力和车辆的速度，合理分配电机制动和机械制动的比例，实现制动能量的回收和车辆的安全制动。在协调控制方面，需要确保各个子系统之间的协同工作，避免出现冲突和故障。当电池管理系统检测到电池温度过高时，整车控制系统需要及时调整电机的输出功率，降低电池的放电电流，同时启动热管理系统对电池进行散热；当电机驱动系统出现故障时，整车控制系统需要及时切换到备用模式或采取相应的保护措施，确保车辆的安全行驶。为了实现高效的动力分配与协调控制，整车控制系统通常采用分层控制的结构。上层控制器负责根据驾驶员意图和车辆状态制定总体控制策略，中层控制器负责将总体控制策略分解为各个子系统的控制指令，下层控制器则负责具体执行各个子系统的控制任务。通过这种分层控制的方式，能够提高整车控制系统的灵活性和可靠性，便于系统的集成和扩展。

4.3 车辆状态监测与故障诊断

实时监测车辆的状态并及时进行故障诊断是保障车辆安全运行的重要措施。整车控制系统通过 CAN 总线实时采集车辆各个子系统的信息，包括电池状态、电机状态、制动系统状态、转向系统状态等，并对这些信息进行分析和处理。当检测到车辆出现异常情况时，整车控制系统能够及时进行故障诊断，确定故障的类型和位置，并采取相应的措施进行处理。例如，当检测到电池电压异常时，整车控制系统能够判断是电池单体故障还是电池管理系统故障，并及时发出警报，提醒驾驶员进行维修；当检测到电机转速异常时，整车控制系统能够判断是电机本身故障还是电机驱动系统故障，并采取相应的保护措施，防止故障进一步扩大。为了提高车辆状态监测与故障诊断的准确性和效率，通常采用多种故障诊断方法相结合的方式。例如，采用基于模型的故障诊断方法，通过建立车辆各个子系统的数学模型，对实际测量值与模型预测值进行比较，判断是否存在故障；采用基于数据驱动的故障诊断方法，通过对大量的历史数据进行分析和挖掘，建立故障诊断模型，实现对故障的快速诊断。同时，通过与远程监控系统相结合，还可以实现对车辆状态的远程监测和故障诊断，便于及时为用户提供技术支持和服务。

5、创新技术探索

5.1 基于人工智能的控制系统优化

随着人工智能技术的快速发展，将其应用于电动汽车电子控制系统的优化成为当前的研究热点之一。人工智能技术能够对大量的车辆运行数据进行学习和分析，从而实现对控制系统的智能化优化。例如，利用深度学习算法对电池的充放电数据、电机的运行数据、车辆的行驶数据等进行学习，建立更加准确的电池模型、电机模型和车辆模型，为控制系统提供更精确的控制依据。通过强化学习算法，让控制系统在不同的工况下进行自主学习和优化，寻找最优的控制策略，提高车辆的性能和能源利用效率。在电池管理系统中，利用人工智能技术可以实现对电池剩余寿命(SOH)的更准确预测。通过对电池的历史充放电数据、温度数据、电压数据等进行深度学习，建立电池 SOH 预测模型，能够提前预测电池的老化程度，为电池的更换和维护提供科学依据，避免因电池突然失效而导致的安全事故。在电机驱动系统中，利用人工智能技术可以实现对电机的智能故障诊断和预测性维护。通过对电机的振动数据、电流数据、温度数据等进行实时监测和分析，利用机器学习算法建立电机故障诊断模型，能够及时发现电机的潜在故障，并提前进行维护，提高电机的可靠性

和使用寿命。

5.2 分布式电子控制系统架构

传统的电动汽车电子控制系统通常采用集中式架构，即所有的控制功能都由一个中央控制器来实现。这种架构存在着布线复杂、可靠性低、扩展性差等缺点。随着车辆功能的不断增加和智能化程度的不断提高，分布式电子控制系统架构逐渐成为发展趋势。分布式电子控制系统架构将车辆的控制功能分散到各个子系统中，每个子系统都有自己的控制器，通过高速网络进行通信和协同工作。这种架构具有布线简单、可靠性高、扩展性好等优点。例如，在分布式电池管理系统中，每个电池模块都配备一个本地控制器，负责监测和管理本模块内电池单体的状态，然后通过网络将数据传输给中央控制器进行统一管理。这样可以减少布线长度，降低故障风险，同时便于对电池组进行模块化设计和扩展。在分布式电机驱动系统中，每个电机都有自己的独立控制器，能够根据车辆的行驶需求和电机的实际状态进行实时控制，提高电机的响应速度和控制精度。同时，分布式架构还便于实现车辆的智能化升级和功能扩展，只需在相应的子系统中增加新的控制器或软件模块，即可实现新的功能，而无需对整个控制系统进行大规模改造。

结论

电动汽车电子控制系统的关键技术涵盖电池管理系统、电机驱动系统、整车控制系统等多个方面，这些技术的不断发展和创新是推动电动汽车产业进步的核心动力。本文所探讨的基于人工智能的控制系统优化、分布式电子控制系统架构、无线电能传输技术以及新型传感器技术等创新方向，为电动汽车电子控制系统的发展提供了新的思路和方法。尽管这些创新技术在实际应用中仍面临诸多挑战，但随着技术的不断突破和完善，将极大提升电动汽车的性能、安全性和用户体验，加速电动汽车的普及和推广。

[参考文献]

- [1] 陆响珺. 电动汽车电子控制系统的关键技术分析 [J]. 内燃机与配件, 2024 (22)
- [2] 周宁. 汽车电子控制系统的关键技术分析 [J]. 内燃机与配件, 2017 (01)
- [3] 苏皓. 汽车电子控制系统的关键技术分析 [J]. 科技传播, 2016 (16)
- [4] 何伟丽; 刘光. 实时汽车电子辅助制动控制系统的关键技术研究与实现 [J]. 电子制作, 2014 (17)