

电动汽车车载充电器的控制策略

杨程喻

(广东泰坦智能动力有限公司, 广东 珠海 519085)

摘要 随着全球新能源汽车市场快速发展, 车载充电器 (OBC) 作为电动汽车充电系统的核心设备, 发挥着至关重要的作用。OBC 的主要任务是将外部电网的交流电转换为适合电池充电的直流电, 在此过程中, OBC 的控制策略直接影响充电过程的效率及安全性。为了解决电池充电过程中的问题, 现代 OBC 采用多种控制策略, 对于提高充电效果具有重要意义。本文主要分析了 OBC 车载充电器的工作原理、分类及具体的控制策略, 以期通过精确控制优化充电过程, 保障电池安全, 提升充电效率, 同时为电动车充电系统发展提供参考。

关键词 车载充电器; 交流电; 直流电; 电池充电

中图分类号: U469.72; TM910.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.008

0 引言

车载充电器的主要任务是将外部电网提供的交流电源转换为适合电动汽车动力电池充电的直流电。传统的充电方式往往只能简单地满足充电需求, 而现代的 OBC 车载充电器不仅需要满足基本的电能转换功能, 还要具备智能化、模块化性能, 以适应不同电动汽车对充电各方面的需求。因此, 研究 OBC 车载充电器的控制策略, 不仅是电动汽车技术发展的需求, 也是推动绿色交通、优化能源利用、减少环境污染的重要步骤。

1 车载充电器的工作原理及功能特性

1.1 工作原理

OBC 是电动汽车中至关重要的组成部分, 其主要任务是将交流电源通过电动汽车的充电桩转化为直流电源, 从而为电动汽车的动力电池提供充电服务^[1]。车载充电机采用隔离型设计, 电网侧与车载电池系统之间通常会设置 2 500 V 至 3 750 V 的电气隔离层, 以显著提高电气安全性, 确保在充电过程中不会发生电气事故。车载充电机的工作原理主要分为输入、转换、输出三个阶段。

首先, OBC 通过车载充电口与外部的交流充电桩连接, 获取来自电网的交流电源。充电桩是一个交流输入、交流输出的设备, 主要负责将电网的电力引导至车载充电机。车载充电机接收到交流电后, 电路中的整流器将其转化为直流电, 但这一过程需要通过多个关键组件的协同工作。整流过程的核心是将交流电流 (AC) 转换为直流电流 (DC), 此时的电流虽然是直流, 但其电压和电流强度仍未达到电池充电所需的标准^[2]。接着, 车载充电机中的 DC/DC 变换器会进一步调节电

压和电流, 以适应不同电池类型的需求。此时, OBC 控制器会根据电池的实时状态, 通过调节电流大小和电压来确保电池充电过程的安全性。车载充电机的控制系统会实时监控电池的充电状态, 避免过充、过放等危险情况发生, 从而有效延长电池的使用寿命。最后, 通过 OBC 的输出端, 稳定的直流电流被传输到电池, 完成充电。车载充电机在输出端通常会配有自动保护机制, 包括过压保护和过流保护, 确保在充电过程中出现异常时能及时切断电源, 防止电池或充电设备损坏。为了进一步提高充电安全性, OBC 通常还内置保险丝和自动熔断装置, 在出现电流过大或电压过高时自动断开电路, 避免安全隐患。

1.2 功能特性

在充电管理方面, OBC 能依据电池管理系统 (BMS) 的指令, 精准调节充电电流和电压, 并支持恒流模式 (CC) 和恒压模式 (CV) 两种充电方式, 在充电初期提供较大电流提升充电速度, 而在电池接近满电状态时自动调整为恒压模式, 降低电流, 防止过充, 减少电池损耗, 从而延长电池寿命。此外, OBC 具备智能通信能力, 可以与 BMS、整车控制器 (VCU) 及外部充电桩保持实时信息交互, 不仅接收来自上层控制系统的充电参数指令, 还能反馈充电状态, 使充电过程更加精准可控。在安全性方面, OBC 配备多重防护机制, 包括过流、过压、短路和过温保护。当系统检测到异常情况时, 能迅速采取限制功率输出或直接切断电源等措施, 防止电池损坏或安全事故发生。部分高端 OBC 还具备双向充电功能, 可以将电池中的直流电转换为交流电, 为外部设备提供电力, 支持 V2L (对负载供电)、

V2H（对家庭供电）及V2G（对电网供电）等多种应用模式。

2 车载充电器的分类

2.1 单向 OBC

单向 OBC 是一种只能实现电能单向流动的车载充电器，其主要功能是将外部电网的交流电通过整流和转换处理后输出为直流电，为电动汽车的动力电池充电。此种类型的 OBC 不具备逆向传输电能的能力，无法将车辆电池中的电能反供到电网或外部设备，因此功能较为单一^[3]。单向 OBC 由于其内部电路和控制系统相对简单，具备较低的制造成本，通常适用于对功能需求较少的经济型电动车。单向 OBC 常被应用于交流充电场景，其核心作用是完成从交流到直流的高效能量转换，并为电池提供稳定可靠的充电环境。尽管单向 OBC 在反向供电功能上有所欠缺，但其简单的结构使得系统的维护成本较低，因而在许多入门级电动车型中得到广泛应用。

2.2 双向 OBC

双向 OBC 是一种具有双向能量流动能力的车载充电器，其不仅能从电网向车辆电池传输电能，还可以将电池储存的电能通过逆变转换为交流电，反向输出给外部设备或电网。双向 OBC 的重要特性是具备逆变功能，使得车辆不仅是一个交通工具，更可以作为移动的能源载体^[4]。在家庭或野外使用中，用户能够通过双向 OBC 为各种设备供电，如车载冰箱、电热杯或其他便携式家用电器。该技术在提高车辆功能性和用户体验的同时，也为未来的能源共享和分布式供电网络提供了可能性。尽管双向 OBC 的硬件设计和控制逻辑较为复杂，但其在电动汽车领域的应用前景十分广阔，尤其是在对外供电需求日益增长的情况下有更大潜力。

2.3 集成式 OBC

集成式 OBC 是一种将车载充电器模块与其他高电压或大功率模块进行高度整合的设计方案。常见的集成方式包括 OBC 与 DC/DC 转换器的二合一设计，或 OBC 与 DC/DC、PDU（电力分配单元）的三合一集成，甚至是与电机控制器、电控系统、减速器及 BMS 等进行多合一集成。与传统独立模块设计不同，集成式 OBC 在硬件结构和控制逻辑上实现深度融合，从而在减小设备体积的同时提升整体效率。尽管集成式设计可能导致产品尺寸较大，但其模块化的构造能有效减少系统复杂性，降低整车布置难度，并为提升电动车的空间利用率提升及性能优化提供更优的解决方案。此种集成式方案尤其适用于对系统效率、紧凑性要求较高

的电动车型，代表着未来车载充电器技术发展的重要方向。

3 车载充电器的控制策略

3.1 恒流控制

恒流控制策略是 OBC 车载充电器充电初期的核心方法，其目的是在电池电压较低时提供稳定的充电电流，快速将电能注入电池。充电初期，电池处于较低的充电状态（SOC），此时电池内部阻抗较大，对充电电流的接受能力较强。恒流控制策略通过精确的电流调节算法，确保充电电流始终保持恒定，以加快充电速度，避免电流过大导致发热^[5]。为了实现恒流控制，OBC 可内置高效的电流传感器和控制模块，实时检测输出电流的变化情况，快速调整输出以维持目标电流水平。恒流控制策略在实际应用中对提高充电效率尤为重要，尤其是在快充场景中。当电池电压逐步上升接近设定值时，OBC 会切换到恒压控制阶段。恒流控制还能发挥对电池寿命的保护作用，稳定的电流能减少电池充电时的电化学反应不均匀现象，从而降低长期使用过程中对电池性能的损伤。此外，恒流阶段还会根据电池温度适当调整充电功率，防止因快速充电导致热失控问题。

3.2 恒压控制

恒压控制策略是 OBC 在充电后期采用的重要方法，用于确保电池充满电时保持电压的稳定性。随着充电进行，当电池电压逐渐接近其额定电压上限时，OBC 会切换到恒压模式，开始以稳定的电压为电池充电。在此阶段，充电器会逐步降低输出电流，以防止电池因过充而受到损害^[6]。恒压控制策略的核心是对电池电压的精确监测和调节，因此需要 OBC 具备高精度的电压检测能力，还需具备快速的响应机制。恒压控制策略实施有助于延长电池的使用寿命，尤其是对于锂电池来说，其对过压极为敏感，稍有不慎可能导致电池发生热失控甚至安全事故。通过恒压控制，OBC 能有效避免这些问题，同时保证充电完成率。该控制策略还能提高能量利用效率，在充电过程中，随着电池内阻增加，电流逐渐减小，能量损耗也随之减少，使得整个充电过程更加高效。恒压控制也可以配合温度监测系统，根据电池和环境温度的变化动态调整充电参数，进一步优化充电性能。此外，恒压控制策略还能与其他控制模块协同工作，实现多模式切换。比如当电池接近满电状态时，系统可以切换到涓流充电模式，进一步降低电流，确保电池处于最安全的充电状态。

3.3 功率因数校正（PFC）控制

PFC 控制策略的主要作用是提升电能利用效率并降

低对电网的影响。在传统的电能传输中,电流与电压的相位可能不完全一致,由此会导致电网的功率因数降低,同时引入大量谐波干扰^[7]。PFC 技术通过调整输入电流的波形,使其与输入电压的波形保持一致,从而显著提高功率因数,减少无功功率产生。高效的 PFC 控制策略是现代 OBC 不可缺少的部分,不仅能提高设备的效率,还符合国际电能质量标准。OBC 的 PFC 模块通常位于系统的前端,由主动式 PFC 电路和相关控制算法共同实现。主动式 PFC 电路通过开关管的高频切换,将输入电流整形为与电压同频的正弦波,同时控制算法会实时监测电网电压和输入电流的变化,以动态调整参数,以将功率因数提升至接近 1,从而最大程度地减少能量损失。PFC 控制不仅有助于提升充电器的能效,还能显著降低对电网的谐波污染,减轻对其他用电设备的干扰^[8]。此外,高效的 PFC 技术还能减少 OBC 运行时的发热现象,降低散热需求,从而使设备更加紧凑、可靠。对于高功率 OBC 来说,PFC 控制还能在不增加硬件负担的情况下,优化系统性能,满足现代电动汽车对高效、环保充电设备的需求。

3.4 温度与热管理控制

温度管理是 OBC 运行中至关重要的一环,温度与热管理控制旨在通过实时监测设备内部的温度,确保 OBC 在安全的温度范围内运行。在 OBC 工作过程中,整流器、DC/DC 转换器等核心组件会产生大量热量,尤其是在高功率、长时间运行时,如果温度控制不当,会导致设备过热、性能下降甚至损坏。为了实现有效的温度管理,OBC 通常配备多个温度传感器,分布在设备的电感、开关管和散热模块等关键部位^[9]。当温度传感器检测到某一部分的温度超过安全阈值时,控制系统会自动采取一系列措施来降低温度,包括降低充电功率、提高风扇速度或启动液冷系统等。除了主动散热,OBC 在硬件设计上也注重提高被动散热能力。例如高效的散热片设计、低阻抗的电路布局及耐高温材料使用等,都有助于增强设备的热管理性能,并且与其他控制模块协同工作,如在充电过程中,通过降低充电电流来减少热量产生,确保设备在高负载下依然稳定可靠运行。

3.5 智能充电与 BMS 协同控制

智能充电与 BMS 协同控制的核心在于通过与电池管理系统(BMS)的实时通信,动态调整充电过程中的电流、电压等参数,以实现高效安全的充电。BMS 是电池的“大脑”,能实时监测电池的关键状态信息,包括电压、温度、充电状态(SOC)和健康状态(SOH)。

OBC 通过与 BMS 协同工作,能根据电池当前的状态调整输出,从而避免过充、过放或温度过高等问题。智能充电策略还支持快速充电、标准充电和涓流充电模式等多模式充电,以满足不同场景的需求。在快充模式下,OBC 会根据 BMS 提供的电池状态数据,尽可能提高充电功率;在标准模式下,系统会以稳定的电流和电压进行充电,确保电池寿命;而在接近满电状态时,系统会切换到涓流模式,以小电流充电来防止过充。此外,智能充电策略还支持远程控制和数据交互。用户可以通过移动应用或云平台监控充电状态、设置充电计划,并进行诊断和故障排查,以提高用户体验,为电池维护和管理提供更多可能性,是未来 OBC 发展的重要方向。

4 结束语

车载充电器的控制策略是保证电动汽车高效、安全充电的基础,有助于提高充电过程的稳定性,提高电能转换效率,并确保设备在合适的温度范围内工作,避免因过热导致性能下降或设备损坏,最终延长电池寿命并提升充电效率。在未来发展过程中,随着技术不断进步,OBC 车载充电器的应用范围也会持续扩大,并发挥更重要的作用,为电动汽车充电提供良好的支持,同时也推动绿色能源的普及应用。

参考文献:

- [1] 吴涵超,刘立君,贾志欣,等.新能源汽车车载充电器壳体压铸工艺研究[J].特种铸造及有色合金,2024,44(06):853-857.
- [2] 李伟权,韩潇,曾彦凯,等.电动自行车安装车载充电器的架构设计思路探讨[J].中国自行车,2024(03):112-115.
- [3] 魏铃琼,陈亦文,文翌斌,等.关于电动汽车双向车载充电器的分析综述[J].电气开关,2024,62(02):17-23.
- [4] 钱晓东,高鹤.集成式车载充电器软启动控制策略研究[J].西昌学院学报:自然科学版,2023,37(02):34-39.
- [5] 娄玉萍,蒋伟.车载智能锂电池充电器的设计与实现[J].电子测试,2022,36(21):76-79.
- [6] 顾鸿赞,刘陵顺,李岩,等.一种集成车载充电器的优化直接功率控制[J].微电机,2022,55(06):61-66,98.
- [7] 唐思鸿,胡长生,张军明,等.基于 LLC 型车载充电器的功率解耦电路[J].电工技术,2022(01):25-28,33.
- [8] 易勇帆,胡锡胜,黄锐景,等.基于 RTQ7880 车载 USB 快速充电器设计[J].汽车零部件,2021(12):55-57.
- [9] 樊伟.电动汽车车载充电器的结构设计及热探析[J].科技资讯,2020,18(20):61-63.