

48 V 系统电源转换方案对比分析

吕佳文 赵目龙 于继成 廖波 高航

(中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013)

【欢迎引用】吕佳文, 赵目龙, 于继成, 等. 48 V 系统电源转换方案对比分析[J]. 汽车文摘, 2025(2): 40-43.

【Cite this paper】LÜ J W, ZHAO M L, YU J C, et al. Comparison Analysis on 48 V System Power Conversion Schemes[J]. Automotive Digest (Chinese), 2025(2): 40-43.

【摘要】为了提高汽车稳定性与可靠性, 保障汽车安全高效运行, 对比分析了 5 种代表性 48 V 电源系统方案: PWM 控制器电源方案、开关电源降压转换器电源方案、开关电源控制器电源方案、LLC 变压器电源方案和入口防护电源方案。从集成度、复杂度、成本等多方面深入对以上方案进行对比, 系统地分析了其优缺点和应用场景, 以满足不同使用环境下不同车辆功能要求, 为汽车研发人员根据实际产品应用需求选择合适的电源转换方案与车型进行匹配提供参考。

关键词: 48 V 系统; 电源方案; 集成度; 带载能力

中图分类号: U469.72+2 文献标志码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20240210

Comparison Analysis on 48 V System Power Conversion Schemes

Lü Jiawen, Zhao Mulong, Yu Jicheng, Liao Bo, Gao Hang

(Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【Abstract】To enhance the stability and reliability of automobiles while ensuring their safe and efficient operation, a comparative analysis is conducted on 5 representative 48 V power system solutions: PWM controller, switching power supply buck converter, switching power supply controller, LLC transformer, and entry protector power supply scheme. The solutions are thoroughly compared in terms of integration, complexity, cost, and other relevant factors. A systematic evaluation of their advantages, disadvantages, and application scenarios is performed to address the functional requirements of different vehicles in various operating environments. This analysis serves as a valuable reference for automotive researchers and developers in selecting the appropriate power conversion scheme and aligning it with vehicle models based on actual product application needs.

Key words: 48 V system, Power supply scheme, Integration, Load capacity

1 引言

目前, 能源短缺和环境污染等问题日益严重, 各国车辆油耗法规日趋严苛, 要求汽车产品必须不断降低油耗水平^[1-2], 我国也出台了一系列政策措施降低汽车排放, 减少环境污染, 其中包括推广应用不同拓扑结构的混合动力系统等^[3]。在此背景下, 48 V 电源系统作为一种有效的节能技术, 可以满足数量更多、功率更大的负载(如空调系统、额外动力辅助、制动能量回收)的供电需求^[4-6], 也可以在车辆启动或者急加速时为车辆提供额外动力, 为驾乘人员提供更好的驾驶体验, 并有效降低整车油耗^[7-14]。国外车企对 48 V 电源系统的研究和应用较为成熟, 48 V 轻混系统、微混

系统等均已在不同车型中应用^[15-16], 尤其在新能源汽车中得到了很好的市场反馈。例如, 丰田普锐斯的 48 V 系统实现了高效的能量回收与分配, 大幅提升了汽车的燃油经济性。特斯拉纯电皮卡 Cybertruck 应用 48 V 电源系统, 显著提高了整车的电池效率。在电气架构层面, 特斯拉的 48 V 电源系统优化了整车的电力分配, 为汽车的智能化功能提供了更稳定的电力支持。德系汽车企业, 如奔驰、宝马、奥迪, 也非常重视 48 V 混动系统的研究^[7-10]。国内车企比亚迪曾推出 48 V 微混系统, 由于国内在该领域的技术研究投入相对有限, 48 V 电源系统未能成为各大车企的重点研究对象^[20-21]。

本文对比分析了 5 种 48 V 电源系统的电源方案,

这些方案均满足 ISO 21780《道路车辆-48 V 供电电压-电气要求和实验》相关要求^[17-19]。本文旨在为汽车研发人员根据实际的应用场景按需选择 48 V 电源系统方案提供参考,以提高车辆汽车域控制器稳定性与可靠性,降低整车能耗,保障汽车安全高效运行。

2 48 V 电源系统供电方案

2.1 PWM 控制器电源方案

第 1 种 48 V 电源系统供电方案基于脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, PWM)控制器实现,主要由开关电源降压转换器(Converter)、微控制单元(Microcontroller Unit, MCU)、脉冲宽度调制控制器、高低边金属氧化物半导体型场效应管(Metal Oxide Semiconductor, MOS)等部件组成,如图 1 所示。

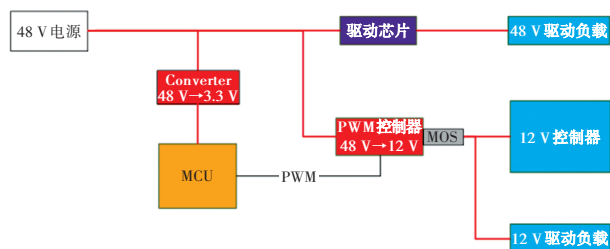


图1 PWM控制器电源方案示意

一级开关电源降压转换器一般采用小封装的集成MOS开关电源,其主要作用是将蓄电池的高压电转换成MCU工作电压(如3.3 V),此处的MCU只需提供频率信号输出,功率一般为1 W。此处的开关电源降压转换器只需满足耐压值 >60 V,输出电流需求较小,一般1 A的输出能力即可满足需求。MCU工作后输出高低边驱动信号以驱动脉冲宽度调制控制器,脉冲宽度调制控制器将MCU的驱动信号进行处理后,驱动外置的上下MOS,形成外置MOS的开关电源(DCDC)结构。输出的12 V电压继续给后面的控制器以及供电需求为12 V的负载供电。

该方案采用外置MOS,一般可以级联输出,输出电流能力很大,MOS需要满足耐压值 >60 V以上耐压,额定通流能力大于实际的负载电流需求,并需考虑实际应用过程中极端场景带来的参数缩减,因此需满足一定比例的降额。该方案不需要脉冲宽度调制控制器产生特定频率的时钟信号,相比于开关电源降压转换器具有更好的成本优势。例如安森美(ONSEMI)的开关电源控制器NCV51511,可通过级联输出0~50 A的电流。但是,由于该方案需要外部MCU或者其他主芯片进行驱动,需要专门引入MCU提供时钟信号和驱动信号,而且需要配置高压开关

电源转换器满足MCU的工作需求。引入MCU和高级供电芯片可能会导致资源浪费,增加重新印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)布局的工作负担,使供电系统设计非常繁琐。因此,在采用该方案时需重点考虑额外引入MCU带来的影响。对于已有MCU的控制器系统,并且负载电流需求较大时,可以优先考虑该方案。

2.2 开关电源降压转换器(Converter)电源方案

第 2 种 48 V 电源系统供电方案基于降压芯片实现,与第 1 种供电方案不同,该方案不需要外部引入MCU提供驱动信号和时钟信号,也不需要提供一级MCU供电电源。该方案的主要结构如图 2 所示,主要组成部分为开关电源降压转换器,此类芯片内部集成MOS、脉冲宽度调制发生器、比较器和放大器,只需要外部提供供电和使能,可以直接将蓄电池的高压转换成低压输出,为后级负载供电。

该方案由于内部集成了MOS,相比于其他电源方案占用空间最小、集成度最高、应用便利性强且耐压值很高。目前,德州仪器(TI)的电源芯片LM5013-Q1耐压值可以达到100 V。但是该方案也有缺点,由于MOS集成在芯片内部,芯片散热能力有限,输出电流有限(约3 A)。该方案更适用于小功率的控制器供电,如果电源轨可以分开供电,可以选用多个开关电源降压转换器组合供电,以满足多路小电流用电需求。

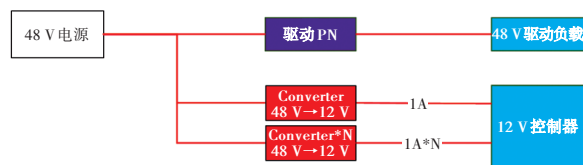


图2 开关电源降压转换器电源方案示意

2.3 开关电源控制器(Controller)电源方案

第 3 种 48 V 供电方案基于开关电源控制器实现,该方案与方案 2 的主要区别是开关电源控制器需要外部配置上下MOS以构成开关电源降压拓扑。该方案的主要结构如图 3 所示,主要部件包括开关电源控制器,其内部包含频率发生器、比较器、放大器,作用为存在输入电压和使能时,此类芯片可以输出高低边驱动信号,外部增加MOS后可以正常工作,输出12 V工作电压。此类芯片频率一般可调,以应对电磁干扰带来的影响。

与方案 2 相比,该方案集成度稍有降低,但是通过搭配参数合理的MOS,可以极大提高输出电流的能力,只要开关电源控制器的驱动电压足够让MOS完全导通,并选用通流能力大的MOS,输出电流可以达到

20 A。而且,此方案的耐压值也比较高,德州仪器的电源芯片 LM5146-Q1 耐压值高达 100 V,但该方案更适合为控制器供电,无法为有大电流需求的负载驱动供电。

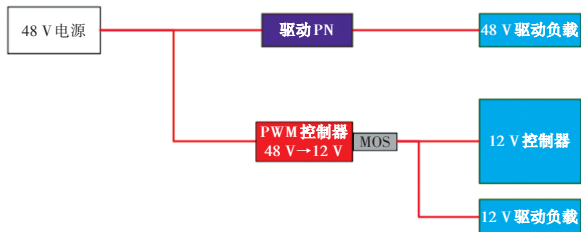


图3 开关电源控制器电源方案示意

2.4 LLC 变压器电源方案

第4种48 V供电方案基于电感-电感-电容(LLC)谐振转换器结构实现,该方案采用LLC拓扑结构,主要由开关电路、谐振电路、变压器和整流电路组成,如图4所示。开关电路主要由MOS等开关器件组成,谐振电路由侧漏感、励磁电感、一次侧谐振电容组成,变压器用于电压变换和电气隔离,整流电路将交流电转换成直流电。开关电路通过将MOS交替导通和截止,将直流电压转换成高频率的方波。该电源方案的工作原理为开关电路控制外部MOS快速的导通和关闭,产生高频率的方波电压,方波电压通过LLC构成的谐振电路,输出正弦波的输出电流,并通过变压器传到次级侧,最后通过蒸馏和滤波,转换成稳定的电压输出。

该拓扑结构通过控制MOS的软开,可以极大地降低开关损耗,提高电源系统转换效率,输出功率可达1 000 W。芯源系统有限公司的LLC降压模组 MPC12308,输出电流超过80 A,输出功率为1 000 W。该系统可以实现12 V系统部分大功率功能驱动,例如座椅加热、水暖等。但是,该电源系统需要引入大量的分立器件,提高了控制器的制作成本,并给PCB布局带来很大困难。而且,该系统一般耐压值较低,根据实际情况可能需要增加前级防护电路,或使整个控制器体积更大。

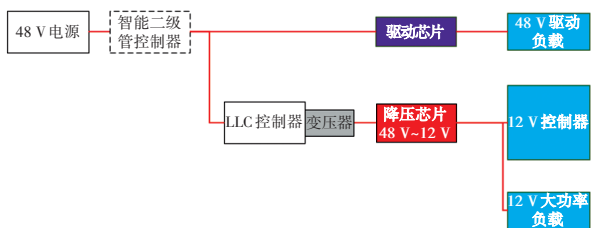


图4 LLC 变压器电源方案示意

2.5 入口防护电源方案

第5种48 V供电方案基于入口防护器件实现,主要部分为智能二极管控制器和低耐压的开关电源降

压芯片,如图5所示。智能二极管具备极高的耐压值,能够有效承担高强度的浪涌电压与瞬态电压。此类二极管控制器在汽车电子供电系统中发挥着至关重要的作用,它不仅能够对输入电压进行实时监测,还能在电压异常时迅速做出响应,保护后端电路的安全稳定运行。同时,该类芯片还具备精准的过压检测功能。当输入电压高于预先设定的限定值时,能够立即中断通路,从而确保后端的芯片不会因过压而被烧坏。芯源系统有限公司的MPQ5858-AEC1芯片耐压值高达80 V,并且过压保护的限定也能够根据实际应用场景进行灵活调整。该方案通过引入具备过压保护功能的智能二极管,能够大幅提升后端电源芯片选型的自由度。一些耐压值为60 V以上的电源芯片均可满足汽车电子系统的需求。然而,该方案所增加的智能二极管控制器在一定程度上增大了控制器成本,并且也增加了电源系统的占用面积。

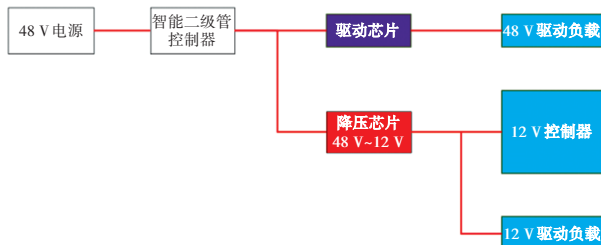


图5 入口防护电源方案示意

3 48 V 电源系统供电方案对比分析

本文介绍的5种电源系统,由于其各自的工作原理存在差异,导致它们在体积、成本、带载能力等诸多方面均呈现出很大差异,5种电源方案的特点以及推荐使用场景对比分析如表1所示。方案1具有较大的带载能力、复杂度高、集成度低,需要配合MCU才能实现功能,适用于使用MCU作为系统主控的底盘域控制器使用;方案2在集成度和成本方面表现突出,但是带载能力很弱,适用于电流需求小的控制器使用;方案3在集成度和成本方面表现出色,相比于方案2,带载能力得到很大提升,适用于低功率的车身域控制器使用;方案4的负载度最高、集成度最低,但是可以输出最大的功率,适用于带有高功率的发热负载的底盘域控制器;方案5结构简单,提高了电源芯片选型的自由度,但是同样增加了控制器的成本,适用于内部存在多个一级电源芯片的控制器。

4 结束语

本文对比分析了5种48 V电源系统的电源方案,这

表1 5种48 V系统电源方案对比分析

方案	PWM控制器电源方案	开关电源降压转换器电源方案	开关电源控制器电源方案	LLC变压器电源方案	入口防护电源方案
复杂性	困难	容易	容易	困难	中等
集成度	低	高	较高	低	中等
带载能力	强	弱	一般	强	一般
成本	中等	低	低	高	低
场景	存在外部MCU驱动,负载电流需求较大(0~50 A)	适合小巧控制器,功能简单,负载电流需求很小(0~3 A)	适合小巧控制器供电,负载电流需求中等(0~20 A)	需要驱动高功率负载,例如暖风、座椅加热等超大功率负载(0~200 A)	后级芯片耐压值较低,需要防护电路保护

些电源方案具有高度的灵活性。具体而言,不同的工作原理会对电源系统的设计架构、电路组成以及性能表现产生较大影响。若项目对空间要求较为严格,那么体积较小的电源系统可能更为合适;若成本控制是关键因素,则需要权衡不同方案的成本差异。在实际应用过程中,研发人员需要根据不同应用场景下不同车型的用电需求,在多种电源方案中灵活选择最契合项目需求的解决方案,提高汽车域控制器稳定性与可靠性,从而确保新能源汽车电源系统高效、稳定运行。

参 考 文 献

- [1] 史天泽, 赵福全, 郝瀚, 等. 汽车48 V系统的节能效果、应用成本与实施策略[J]. 汽车技术, 2018(7): 1-11.
- [2] 王震, 哈迪, 张威威, 等. 48 V微混系统降低油耗策略分析[J]. 汽车技术, 2017(2): 1-4.
- [3] 李改改. 48 V混动汽车动力系统及控制策略研究[D]. 西安: 长安大学, 2023.
- [4] 谢世坤, 郭军团, 徐国昌, 等. 48 V启停用镍氢电池包设计与分析[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2023(5): 93-98.
- [5] 雷志豪, 武珊. 燃油车48 V混动系统P0架构混动模式性能优化策略研究[J]. 专用汽车, 2023(8): 9-11.
- [6] 梅鹏, 张新塘, 王桀, 等. 混合动力商用车48 V动力系统设计及仿真[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019(3): 495-501.
- [7] 董学锋, 王军雷, 梁金广. 基于多种混合动力系统构型的48 V技术应用现状与展望[J]. 汽车技术, 2019(1): 31-37.
- [8] 张新典. 48 V P0轻混动力系统模糊控制策略设计及油耗仿真[J]. 铜陵职业技术学院学报, 2023(3): 77-83+94.
- [9] 曹领帝, 李文轩, 邹玉峰, 等. 48 V启停锂离子电池开发进展与技术挑战[J]. 电源技术, 2022(11): 1221-1226.
- [10] 俞晓峰, 万亚坤, 宋帅, 等. 48 V轻混电池系统性能的研究[J]. 蓄电池, 2022(3): 101-105+150.
- [11] 李彬, 黄祖朋, 韦映竹, 等. 48 V系统车型电安全标准现状及发展趋势[J]. 时代汽车, 2021(8): 29-30.
- [12] 伍庆龙, 张天强, 杨钊. 48 V汽车发动机起停功能分析及设计研究[J]. 汽车文摘, 2021(2): 35-40.
- [13] 张天强, 伍庆龙. 混合动力汽车操作模式分析及设计展望[J]. 汽车文摘, 2019(9): 27-30.
- [14] 覃浩峰. 浅析48 V车载电气系统的检修[J]. 汽车知识, 2024(3): 95-97.
- [15] 赵玲玲. 研发布局量产在即48 V电气系统来袭[J]. 驾驶园, 2016(9): 50-51.
- [16] 李勇. 浅谈48 V轻混系统及其前景展望[J]. 内燃机与配件, 2021(21): 182-183.
- [17] 马汶锴, 胡月. 汽车48 V系统电气要求及试验方法[J]. 汽车工程师, 2021(11): 38-41.
- [18] 朱礼铭, 张华春. 浅谈汽车48 V系统可靠性试验方法研究[J]. 汽车电器, 2019(8): 30-31.
- [19] 张华春, 卢生林. 再谈汽车48 V系统可靠性试验方法[J]. 汽车电器, 2021(8): 83-84.
- [20] 忻文. 48 V汽车电子电气系统架构的未来[J]. 汽车与配件, 2014(20): 28-30.
- [21] 张昶, 付磊. 48 V系统技术发展概述[J]. 汽车文摘, 2019(1): 10-15.

(责任编辑 明慧)