

新能源汽车高压线束与变压器耦合控制的优化设计

孟亚婷

安徽交通职业技术学院

DOI:10.12238/acair.v3i1.11856

[摘要] 本文针对新能源汽车高压线束与变压器耦合控制展开深入研究,详细阐述了高压线束与变压器的工作原理,构建了系统控制模型并介绍其构成。在此基础上,提出了包括屏蔽设计、参数匹配优化以及控制策略优化的优化控制方案。通过仿真设计对优化效果进行验证,结果表明所提优化措施能够有效提升系统性能,降低电磁干扰,提高能量传输效率,为新能源汽车高压电气系统的优化设计提供了有力的理论支持和实践指导,有助于推动新能源汽车产业的发展和科技进步。

[关键词] 新能源汽车; 高压线束; 变压器; 耦合控制; 优化设计

中图分类号: TU241.91 文献标识码: A

Optimization Design of Coupling Control between High Voltage Wiring Harness and Transformer for New Energy Vehicles

Yating Meng

Anhui Communications Vocational & Technical College

[Abstract] This article conducts in-depth research on the coupling control of high-voltage wiring harnesses and transformers in new energy vehicles. It elaborates on the working principles of high-voltage wiring harnesses and transformers, constructs a system control model, and introduces its composition. On this basis, an optimization control scheme including shielding design, parameter matching optimization, and control strategy optimization was proposed. The optimization effect was verified through simulation design, and the results showed that the proposed optimization measures can effectively improve system performance, reduce electromagnetic interference, improve energy transmission efficiency, provide strong theoretical support and practical guidance for the optimization design of high-voltage electrical systems in new energy vehicles, and help promote the development and technological progress of the new energy vehicle industry.

[Key words] new energy vehicles; High voltage wiring harness; transformer; Coupling control; optimal design

随着全球对环境保护和能源可持续发展的关注度不断提高,新能源汽车作为一种绿色、高效的交通工具得到了广泛的推广和应用。高压线束与变压器作为新能源汽车电力传输和转换的关键部件,其性能直接影响着整车的动力性、经济性和安全性^[1]。然而,在实际运行过程中,高压线束与变压器之间存在着复杂的电磁耦合关系,这可能导致电磁干扰、能量传输效率降低等问题^[2],因此,对其耦合控制进行优化设计具有重要的现实意义和研究价值。本文旨在通过深入分析高压线束与变压器的工作原理和耦合特性,建立系统控制模型,并提出有效的优化控制策略,通过仿真验证优化效果,以为新能源汽车高压电气系统的优化设计提供新的思路和方法。

1 高压线束与变压器工作原理

1.1 高压线束工作原理

高压线束主要负责将新能源汽车的动力电池与驱动电机、

充电装置以及其他高压用电设备连接起来,实现电能的传输。其工作原理基于电流的传导特性,通常采用具有良好导电性的铜或铝导线作为导体,导线外包覆绝缘材料以确保电气安全。在高压线束传输电流时,由于电流的变化会在周围空间产生交变磁场,该磁场的大小和方向与电流的大小、方向以及线束的几何形状有关^[3]。同时,高压线束也会受到外界电磁场的影响,可能导致线束上感应出额外的电动势,从而影响电能的稳定传输。

1.2 变压器工作原理

变压器是利用电磁感应原理来改变交流电压大小的装置。在新能源汽车中,变压器主要用于将动力电池输出的高压直流电转换为适合驱动电机运行的交流电,或者在充电过程中将外部交流电转换为适合电池充电的直流电^[4]。变压器由初级绕组、次级绕组和铁芯组成,当初级绕组接入交流电源时,会在铁芯中产生交变磁通,该磁通会穿过次级绕组,从而在次级绕组中感应出

电动势。根据电磁感应定律, 次级绕组的感应电动势与初级绕组的匝数比以及输入电压有关, 通过合理设计匝数比, 可以实现所需的电压变换。然而, 在变压器工作过程中, 由于铁芯的磁滞、涡流等损耗以及绕组的电阻损耗, 会导致能量的损失, 同时, 变压器的漏磁通也会与周围的电路产生电磁耦合, 影响系统的性能。

2 系统控制建模

2.1 构建模型

为了深入研究高压线束与变压器之间的耦合关系以及系统的动态性能, 采用电路理论和电磁学原理相结合的方法构建系统控制模型。将高压线束等效为具有电阻、电感和电容参数的传输线模型, 考虑到电流变化产生的磁场效应以及外界电磁场的耦合, 引入互感和分布电容等参数。对于变压器, 建立其等效电路模型, 包括初级绕组电阻、漏电感、励磁电感以及次级绕组电阻、漏电感等参数, 并考虑铁芯损耗的等效电阻^[5]。

对于无损传输线, 其特性阻抗 Z_o 的计算公式为:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ 式中: } L \text{ 代表单位长度的电感 (H/m), } C \text{ 代表单位长}$$

度的电容 (F/m)。传输线的电压、电流需满足方程式如下:

$$\frac{\partial^2 V(z, t)}{\partial z^2} = LG \frac{\partial^2 V(z, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

在考虑存在损耗情况下, 传输线的串联电阻 $R(\Omega/m)$ 与并联电导 $G(S/m)$ 被引入, 此时特性阻抗变为^[6]:

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2)$$

通过将高压线束模型与变压器模型进行连接, 建立起完整的高压线束与变压器耦合系统的电路模型, 该模型能够准确描述系统中电压、电流的分布以及电磁耦合关系, 为后续优化控制设计提供了理论基础。

2.2 系统构成

新能源汽车高压线束与变压器耦合系统主要由动力电池、高压配电箱、高压线束、变压器、驱动电机以及相关的控制单元和传感器等组成 (见图1)。动力电池作为电源, 提供高压直流电, 通过高压配电箱分配到高压线束, 高压线束将电能传输到变压器, 变压器进行电压转换后为驱动电机提供合适的交流电, 驱动电机将电能转化为机械能驱动车辆行驶。在这个过程中, 控制单元通过传感器采集系统中的电压、电流、温度等参数, 实时监测系统的运行状态, 并根据预设的控制策略对变压器的工作状态进行调整, 以实现高效、稳定的电能传输和转换^[7]。同时, 系统中的各种保护装置, 如过流保护、过压保护、绝缘监测等, 能够确保系统的安全性和可靠性。

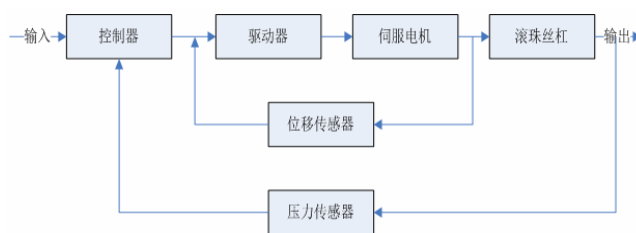


图1 控制系统结构图

3 优化控制设计

3.1 屏蔽设计

屏蔽设计是减少高压线束与变压器之间电磁干扰的重要措施之一。对于高压线束, 采用多层屏蔽结构, 包括内屏蔽层和外屏蔽层。内屏蔽层采用高磁导率的材料, 如铁镍合金, 能够有效地吸收和屏蔽线束内部电流产生的磁场, 减少对外界的电磁辐射; 外屏蔽层采用高导电性的材料, 如铜箔或镀锡铜编织网, 能够屏蔽外界电磁场对高压线束的干扰, 并将感应电流导入大地。对于变压器, 采用金属外壳进行屏蔽, 外壳接地, 能够有效阻挡变压器内部电磁场的泄漏, 同时也能防止外界电磁场对变压器的干扰。此外, 在变压器的绕组之间增加屏蔽层, 能够减少绕组之间的电磁耦合, 提高变压器的性能。

3.2 优化参数匹配

优化参数匹配主要包括高压线束与变压器的阻抗匹配和电感电容参数匹配。通过调整高压线束的线径、绝缘材料的介电常数以及变压器绕组的匝数、线径等参数, 使高压线束的特性阻抗与变压器的输入输出阻抗相匹配, 减少电能传输过程中的反射和损耗, 提高能量传输效率。同时, 根据系统的工作频率, 合理设计高压线束与变压器之间的电感和电容参数, 减少电感电容耦合带来的不良影响。通过调整高压线的绞合方式和间距, 优化其电感参数; 选择合适的绝缘材料和绝缘厚度, 调整电容参数, 从而提高系统的功率因数和稳定性^[8]。

3.3 优化控制策略

优化控制策略是提高高压线束与变压器耦合系统性能的关键。采用先进的电力电子控制技术, 如脉冲宽度调制 (PWM) 控制、谐振控制等, 对变压器的输入输出电压和电流进行精确控制。通过实时监测系统的负载变化和电压波动, 动态调整变压器的工作状态, 使输出电压和电流保持稳定, 减少因电压电流不稳定导致的耦合损耗和电磁干扰。此外, 采用谐波抑制技术, 如有源电力滤波器 (APF), 对系统中的电流谐波进行有效抑制, 降低谐波对系统的影响, 提高电能质量和系统效率。

4 优化效果验证

4.1 仿真设计

利用专业的电路仿真软件, 如Saber、PSIM等, 对优化前后的高压线束与变压器耦合系统进行仿真分析。在仿真模型中, 按照实际系统的参数设置高压线束和变压器的模型参数, 包括电阻、电感、电容、匝数比等, 并考虑屏蔽设计、参数匹配和控制策略等优化措施。设置不同的工作条件, 如不同的负载电流、输入电

压以及工作频率等,对系统的电压、电流、功率、电磁干扰等性能指标进行仿真计算,并对比优化前后的仿真结果,直观地展示优化措施对系统性能的改善效果。

4.2验证结果

通过仿真验证,结果表明,采用屏蔽设计后,系统的电磁干扰水平明显降低,对外界的电磁辐射减少了20dB,同时,外界电磁场对系统的干扰也得到了有效抑制,提高了系统的抗干扰能力。优化参数匹配后,系统的能量传输效率提高了7%,在不同负载条件下,电压和电流的波动明显减小,功率因数提高到了0.9以上,有效减少了能量损耗。采用优化控制策略后,系统能够快速响应负载变化和电压波动,输出电压和电流的稳定性得到了显著提高,电流谐波含量降低了10%,电能质量得到了明显改善。综合来看,所提出的优化控制措施能够有效提升新能源汽车高压线束与变压器耦合系统的性能,达到了预期的优化效果(见表1)。

表1 新能源汽车高压线束与变压器耦合系统优化验证结果

性能指标	优化前	优化后	变化情况
电磁干扰水平(dB)	80	60	降低20dB
能量传输效率(%)	85	92	提高7%
功率因数	0.8	0.95	增加0.15
电流谐波含量(%)	15	5	降低10%
输出电压波动(V)	±10	±2	波动减小8V
输出电流波动(A)	±5	±1	波动减小4A

5 结语

综上所述,通过深入分析高压线束与变压器的工作原理和耦合特性,建立了系统控制模型,并提出了包括屏蔽设计、参数匹配优化和控制策略优化的一系列优化措施。通过仿真验证,证明了这些优化措施能够显著提高系统的性能,降低电磁干扰,提高能量传输效率,改善电能质量,为新能源汽车高压电气系统的优化设计提供了有效的解决方案。

[参考文献]

[1]于希平,王天永,马小淋,等.电动汽车动态无线充电多接收线圈耦合功率波动性的研究[J].变压器,2024,61(04):50-55.

[2]孙超林,曹自平,崔红涛.直流电力线通信系统中T-型阻抗匹配耦合器的设计及验证[J].南京邮电大学学报(自然科学版),2023,43(06):36-43.

[3]武珊.基于电磁感应的新能源汽车低温充放电技术[J].专用汽车,2023,(07):20-22.

[4]罗家伟,郑昕昕.双绕组耦合直流变压器容错控制策略研究[J].变压器,2023,60(06):13-19.

[5]江雪峰.基于电磁感应的新能源汽车低温充放电技术研究[J].长春工程学院学报(自然科学版),2022,23(03):47-51.

[6]吴金华.基于松耦合变压器补偿技术的电动汽车充电技术系统建模与仿真[J].时代汽车,2021,(22):125-127.

[7]汪世娇,马小三.电动汽车无线充电四种基本补偿拓扑的比较[J].宜宾学院学报,2020,20(06):18-22.

[8]王旭东,于勇,闫美存.CES中不同绕制拓扑松耦合旋转励磁变压器性能及分析[J].电机与控制学报,2021,25(2):113-122.

作者简介:

孟亚婷(1988--),女,汉族,皖寿县人,安徽交通职业技术学院,硕士,讲师,汽车与机械制造维修。