

低压无刷电机驱动技术在厨房小家电中的应用与性价比评估

赵山云 曹郑

杭州九阳小家电有限公司 浙江杭州 310018

DOI : 10.12238/jpm.v6i3.7807

[摘要] 近年来,厨房小家电对节能、高效、低噪和智能化等性能要求不断提升。低压无刷电机作为一种高效、低维护且噪音低的驱动装置,逐步取代传统有刷电机在厨房小家电中的应用。本文从理论技术分析出发,结合基于最新 GaN 器件、DSP 数字控制及物联网远程监控等前沿技术,详细论述低压无刷电机在厨房小家电中的具体应用方案及性价比评估。通过实际案例数据、试验参数与成本效益分析,证明低压无刷电机方案在提升能效、降低噪音、延长设备寿命和增强智能化管理方面具有显著优势,为家电企业实现产品升级与市场竞争提供了有力支撑。

[关键词] 低压无刷电机;厨房小家电;驱动技术;性价比评估

Application and cost performance evaluation of low-voltage brushless motor drive technology in small kitchen appliances

Zhao Shan Yun Cao Zheng

Hangzhou Jiuyang Small Home Appliance Co., LTD. Hangzhou city, Zhejiang Province 310018

[Abstract] In recent years, kitchen small appliances for energy saving, high efficiency, low noise and intelligent performance requirements are constantly improving. As a kind of high efficiency, low maintenance and low noise drive device, low-voltage brushless motor has gradually replaced the application of traditional brush motor in small kitchen appliances. Based on the theoretical and technical analysis, combined with the latest GaN devices, DSP digital control and remote monitoring of the Internet of Things, this paper discusses in detail the specific application scheme and cost performance evaluation of low-voltage brushless motor in small kitchen appliances. Through the actual case data, test parameters and cost-benefit analysis, it is proved that the low-voltage brushless motor scheme has significant advantages in improving energy efficiency, reducing noise, extending equipment life and enhancing intelligent management, which provides a strong support for home appliance enterprises to achieve product upgrading and market competition.

[Key words] low-voltage brushless motor; small kitchen appliances; drive technology; cost-performance evaluation;

1 引言

厨房小家电作为现代家居生活的重要组成部分,其运行效率、使用寿命和用户体验均成为市场竞争的关键指标。传统有刷电机由于存在摩擦损耗大、噪音高、维护成本高等缺陷,逐渐无法满足高端家电市场的需求。低压无刷电机凭借结构优化、电子换向和高精度数字控制等优势,在能效、静音和智能

控制方面均表现突出。本文围绕低压无刷电机在厨房小家电中的应用,探讨其技术原理及实际应用案例,并对其性价比进行系统评估,以期对相关技术升级提供参考。

2 技术分析

2.1 低压无刷电机的技术原理

低压无刷电机(BLDC)采用全电子换向技术,避免了传统

电机中的机械电刷摩擦问题。其核心技术特点包括：

(1) 电子换向与无接触换向：

通过高精度 Hall 传感器或反电动势检测，实现对转子位置的实时监测，利用 DSP 处理器完成精准的换向控制，从而降低摩擦损耗和电磁干扰。

(2) 高效率驱动技术

借助 GaN 半导体器件的高频开关特性，实现更低的能耗和更高的功率转换效率。典型实验数据显示，新型驱动模块在低压工作下的转换效率可达到 90% 以上。

(3) 智能化控制

集成 PID、模糊控制等算法，使电机在不同负载条件下始终保持最优工作状态。同时，借助物联网模块，实现设备远程监控与故障预警。

2.2 数字控制与能量管理

在厨房小家电的应用场景中，电机系统对动态调速、过载保护以及能量回收要求较高。当前应用的 DSP 控制系统通过实时采集转速、温度、电流等参数，实现闭环调速。控制算法优化后，电机响应时间通常控制在 10ms 以内，极大提高了系统的动态稳定性和响应速度。同时，结合先进的能量管理模块，通过 GaN 半导体器件降低了转换损耗，从而在整体设计中实现了低压高效驱动。

2.3 智能互联与远程监控

新一代低压无刷电机驱动系统借助蓝牙、WiFi 等无线通信技术，与中央控制平台实现数据互联和远程管理。通过数据采集与大数据分析，用户可实时了解设备状态，进行预防性维护，降低故障率。此种技术方案在厨房小家电中，可实现个性化调速、精细能耗统计和智能预警，大幅提升产品附加值和市场竞争力。

3 应用案例及数据评估

为验证低压无刷电机技术在厨房小家电中的实际应用效果，本文选取某知名家电企业近期推出的“智能多功能料理机”作为典型案例，对其核心驱动系统的设计方案、实施过程以及应用效果进行全面评估。该设备以低压无刷电机为动力核心，通过数字控制系统、能量管理模块和无线通信模块的有机结合，实现了精准调速、低噪高效以及智能远程监控等功能。本文将从方案设计、实验数据、实测结果和用户反馈四个方面展开详细论述。

3.1 方案设计与实现

该智能料理机的设计核心在于采用一款额定电压 12V、额定功率 50W 的低压无刷电机，并通过 DSP 控制器实现高精度的闭环控制。系统设计总体架构分为以下四个模块：

(1) 低压无刷电机模块

为了确保电机在不同负载条件下仍能平稳运行，本系统选用了高精度 Hall 传感器监测转子位置的无刷电机。无刷电机相比传统有刷电机具有更高的可靠性和更长的使用寿命，同时避免了碳刷磨损导致的维护问题。该电机采用先进的电磁优化设计，使其峰值效率达到 92% 以上。

噪音控制方面，通过优化电磁结构和精细化的转子动平衡调整，将运行噪音稳定在 55dB 以内，满足低噪需求。电机还具备过流、过温和过载保护功能，当系统检测到异常负载时，可自动调节功率输出或停止运行以防止损坏。

此外，该电机适应 -10℃ 至 +60℃ 的工作环境，可广泛应用于多种工况，满足不同环境下的稳定运行需求。

(2) 数字控制系统

数字控制系统是该设备实现高精度调控的核心组件。该系统基于高性能 DSP（数字信号处理）芯片构建，能够快速处理大量信号数据，并在短时间内完成复杂的计算任务。控制系统采用了 PID 自适应调节算法与模糊控制算法，能够根据不同工作状态动态调整控制参数，从而提升调速的精准性和响应速度。系统实时采集电机的关键运行参数，包括转速、电流、温度等，并结合算法优化，确保电机在不同负载和工况下都能保持最优运行状态。响应时间控制在 10ms 以内，使得系统能够快速调整运行状态，避免突发负载变化对设备造成影响。

(3) 能量管理模块

能量管理模块采用了 GaN（氮化镓）半导体器件，以提升功率变换效率并降低能量损耗。与传统硅基半导体相比，GaN 器件具有更高的开关频率、更低的导通电阻和更优的散热性能，使得功率转换效率大幅提升。该模块采用高频软开关技术，能够在高效模式下运行，同时减少电磁干扰（EMI）和功率损耗，提高系统的整体能效。在低电压工作环境下，该模块仍能保持高效稳定的能量输出，确保电机在不同供电条件下都能正常运行。此外，优化的功率转换结构减少了电机发热，从而降低了散热系统的负担，提高设备的整体寿命。

(4) 无线通信与数据监控模块

无线通信与数据监控模块是该系统实现智能化管理的关键部分。该模块支持蓝牙和 WiFi 无线通信协议，可与云端服务器建立稳定的连接，实现实时数据传输、远程监控和智能化管理。通过无线通信，用户可以随时通过手机 APP 或 PC 端查看设备的运行状态、能耗统计、故障警报等关键信息，并进行参数调整和模式切换。此外，该模块支持远程固件升级，确保系统能够持续优化，并添加新功能，提升设备的智能化体验。为了增强系统的安全性，该模块采用了 AES 加密算法，确保数据在传输过程中不会被非法访问或篡改。

3.2 实验室测试与数据采集

在产品开发阶段，经过严格的实验室测试，设备在多种典型工作模式下进行了长时间的性能测试。下述数据为实验室多

项指标的测试结果，表 1 和表 2 详细列出了关键参数的对比数据。

表 1 低压无刷电机与传统有刷电机主要技术参数对比

参数项	低压无刷电机方案	传统有刷电机方案	优势描述
额定电压	12V	12V	保持相同供电要求
额定功率	50W	50W	动力输出相同
峰值效率	≥92%	约 80%	无刷电机转换效率更高
噪音水平	≤55dB	约 80dB	噪音降低约 30%
控制响应时间	<10ms	20~30ms	数字控制响应速度快
设备寿命	≥5000 小时	约 3000 小时	使用寿命延长约 40%

表 2 实验室能耗与温升数据对比

工作模式	传统有刷电机能耗 (Wh/次)	低压无刷电机能耗 (Wh/次)	传统有刷电机温升 (℃/10min)	低压无刷电机温升 (℃/10min)
混合模式	12.5	10.3	15	9
搅拌模式	13.2	11.0	16	10
破壁模式	14.0	11.5	18	11

测试数据显示，低压无刷电机在各工作模式下均表现出更低的能耗和温升。例如，在混合模式下，平均能耗比传统有刷电机降低约 17.6%，而温升降低约 40%。这种明显的能效和热管理优势，充分证明了低压无刷电机的技术先进性与实际应用价值。

3.3 长期运行与耐久性测试

为模拟设备在实际使用中的长期运行情况，进行了连续 5000 小时的加速寿命测试，监测电机性能变化情况。测试结果

表明：

经过 5000 小时连续运行，低压无刷电机整体故障率低于 2%，而传统有刷电机在 3000 小时后出现明显性能衰减和故障率超过 5% 的现象。在长时间运行过程中，低压无刷电机的转速波动控制在±3%以内，而传统有刷电机波动在±8%范围内。长期测试显示，低压无刷电机在连续运行情况下，设备内部最高温度较传统方案低约 15℃，有助于延长电机及电子控制部件的寿命。下表（表 3）总结了长期运行测试数据：

表 3 长期运行测试数据对比

测试指标	低压无刷电机	传统有刷电机	数据说明
连续运行时间	5000 小时	3000 小时	无刷电机设计适用于长时间稳定运行
故障率	<2%	>5%	低故障率提升产品可靠性
转速波动	±3%	±8%	稳定性更好，适用于要求高精度控制的厨房小家电
内部温度（最高值）	45℃	60℃	较低的温升有助于提高整体耐久性

数据证明，在实际应用环境中，低压无刷电机能够在提高产品性能、延长使用寿命以及降低故障率方面表现出色，具有良好的耐用性和可靠性。

3.4 用户体验与市场反馈

在完成实验室测试之后，智能料理机进入小批量市场试运行阶段，收集了来自 200 余台设备的用户反馈与现场数据。根据用户调查和实际使用记录，主要观察指标包括设备启动响应速度、操作噪音、能耗统计以及远程监控功能的稳定性。调查结果如下：

用户反映设备在启停过程中响应迅速，无明显延迟，平均响应时间约 9ms，远低于用户容忍上限。设备在工作过程中噪音控制在 50~55dB 之间，较传统设备降低约 25~30%，大大提升了厨房使用环境的舒适度。实际使用数据表明，设备在日常运行中比传统方案节能约 15%~20%，用户反映明显感觉到电费支出降低。通过手机 APP 进行实时数据监控，用户可以及时接收设备故障预警及维护建议，系统故障响应时间缩短约 40%，极大提高了用户满意度。为便于直观展示用户反馈数据，现列出表 4 中部分关键指标的汇总数据：

表 4 用户体验与反馈数据汇总

指标类别	平均数值/反馈	传统设备对比	用户满意度提升
启动响应时间	9ms	约 25ms	提升约 64%
工作噪音	50~55dB	约 80dB	降低约 30%
日常能耗	节能约 15%~20%	—	用户感知节能明显
远程预警响应时间	缩短约 40%	—	故障处理更及时
用户满意度评分	4.6/5（平均）	4.0/5	平均提高 0.6~0.8 分

调查结果显示，低压无刷电机驱动的智能料理机在所有关键指标上均表现优于传统方案，用户对设备的整体满意度得到了显著提升，同时也为企业带来了更高的市场竞争力。

综上所述，从方案设计、实验数据、耐久性测试到用户反馈，低压无刷电机在智能料理机中的应用方案具备较高的技术可行性和市场推广价值。通过详细数据与表格展示，证实了该方案在能效提升、噪音降低、运行稳定性及智能远程监控方面的综合优势，为企业技术升级及产品创新提供了充足的数据支持和实践依据。

3.5 成本与市场性价比分析

3.5.1 成本投入分析

初步设计阶段，低压无刷电机及相关数字控制模块的成本

较传统有刷电机略高，大约增加 15%~20%。但由于系统集成度提高，辅助部件成本有所下降，综合成本差距较小。主要成本构成如下：

- （1）电机及控制模块：约占整体成本的 45%
- （2）能量管理及 GaN 功率模块：约占 30%
- （3）传感器、通信模块及其他附件：约占 25%

3.5.2 运营成本与效益

由于低压无刷电机在能耗降低和维护周期延长方面具有显著优势，产品生命周期内可节约能耗费用约 25%，维修及维护成本降低约 30%。在大批量生产和规模效应的作用下，单台设备的整体成本进一步下降。如下表所示，为两种方案在生命周期内的成本效益对比：

表 5 运营成本与效益对比

成本指标	传统有刷电机	低压无刷电机	优势描述
初期制造成本	100 元（基准）	115 元（增加 15%）	初期投入略高
能耗费用（生命周期）	1000 元	750 元	节能效果明显，降低约 25%
维护成本	300 元	210 元	维修频率降低，维护成本降低 30%
综合性价比评估	—	—	总成本降低及效能提升带来更高性价比

通过综合性能及成本效益分析，低压无刷电机方案不仅在技术上具备前沿优势，同时市场推广中能够形成独特的竞争壁垒。得益于高效、低噪、长寿命和智能化控制，该方案在中高端厨房小家电市场具有明显吸引力。预计采用该方案的产品市场销售增长率可提升 10%~15%，为企业赢得更大市场份额及品牌溢价能力。

4 结束语

本文从技术原理、数字控制、能量管理到智能互联等多方面展开论述，并结合真实案例详细阐释了该技术在能效提升、噪音降低、设备寿命延长及智能化管理方面的实际效果。数据表明，低压无刷电机方案在能耗、噪音及维护成本等方面较传统有刷方案具有明显优势，长期运营效益显著。与此同时，尽管初期制造成本略有增加，但通过系统集成与规模效应，整体性价比得以显著提升，为家电企业产品升级与市场竞争提供了有力支撑。未来，随着 GaN 器件、DSP 控制技术 & 物联网应用的不断进步，低压无刷电机技术将在更多厨房小家电领域发挥核心驱动作用。企业应在技术研发与产品设计中不断优化方

案，实现智能化、绿色化和高效化的目标，促进低压无刷电机技术在厨房小家电中的更广泛应用与发展。

[参考文献]

[1]关珊珊, 黄兴国, 薛涛, 等. 可编程无刷电机控制实验系统及编程软件设计[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2024, 42(06): 1130-1135.

[2]柴进, 王燕, 雷乾勇. 基于 PLC 及机器视觉的无刷电机负载性能自动测试系统设计[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(18): 140-143.

[3]徐仕强, 张宁, 徐熙平. 基于双闭环控制的无刷电机控制系统设计[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2024, 47(03): 62-69.

[4]肖驰. 基于 STM32F4 的无刷电机滑模速度控制策略研究[J]. 信息记录材料, 2024, 25(05): 209-211+215.

[5]唐敬亮, 张正铨, 裴建岗, 等. 一种基于直流永磁无刷电机矢量控制的电传油门台设计与实现[J]. 微电机, 2023, 56(12): 48-55.