

组合式磁极永磁驱动电机选型与优化

张 伟

山东海成石化工程设计有限公司 山东 淄博 255000

摘要: 为有效降低永磁电机齿槽转矩, 改善电机运行性能, 本文在对比常见永磁驱动电机转子磁路结构的基础上, 提出了一种表贴径向与 V 形内置的永磁组合式磁极转子磁路结构。并对比了该转子磁路结构下 12 槽、15 槽以及 18 槽三种不同定子结构的电机磁感应强度分布情况, 确定了最优极槽分配方案。

关键词: 永磁驱动电机、组合式磁极、极槽配合

永磁驱动电机转子磁路结构不同, 驱动电机的运行特性、气隙磁通密度的分布和电枢反电动势波形等不同, 合理的转子磁路结构设计对提高驱动电机功率密度和最大输出转矩有着十分重要的意义^[1]。

一、电机转子磁路结构选型

目前比较常见的永磁同步电机转子磁路结构为表贴式与 V 型内置式^[2]。表贴式转子磁路结构的永磁体常呈瓦片形布置在转子铁芯的外表面上, 提供径向磁通, 具有结构简单、制造成本低、转动惯量小等优点, 但永磁体容易在定子电励磁磁场作用下易出现退磁现象^[3-4]; V 型内置式永磁转子结构每极由两片径向充磁的永磁钢 V 形布置组成, 在永磁钢用量相同的情况下, 可以提供更大的输出转矩, 减小电机体积, 但该种布置形式的永磁电机转矩脉动最大, 电机运行不平稳^[5-6]。

为综合表贴式与 V 型内置式永磁同步电机的优点, 本设计提出了一种表贴径向与 V 形内置的永磁组合式磁极转子磁路结构。利用有限元软件分别对三种不同转子结构的永磁同步电机进行仿真。空载状态下表贴式永磁同步电机磁场分布更加均匀, 但定子轭部磁通密度过大, 超过 2.2T, 磁场达到饱和; 内置式与组合式磁极结构的永磁同步电机在 V 型永磁体外侧磁通均达到饱和, 但组合式磁极结构在该处的磁通密度较小, 说明与内置式结构相比, 组合式磁极更有利于增强主气隙磁场强度, 提高永磁体利用率。

图 1 ~ 图 3 分别空载下三种不同结构的永磁同步电机气隙磁感应强度、反电动势波形以及齿槽转矩波形对比图。从图中可以看出, 表贴式与组合式磁极结构的永磁同步电机的气隙磁感应强度波形基本重合; 表贴式永磁同步电机反电动势幅值最大, 但波形曲线较为曲折, 组合式磁极永磁同步电机反电动势幅值波形更接近正弦波; 内置式永磁同步电机由于漏磁, 气隙磁感应强度与反电动势幅值相对略低, 使得该种结构齿槽转矩最小。通过以上分析发现, 在空载状态下, 组合式转子磁路结构永磁同步电机同时具有表贴式结构气隙磁感应强度大, 内置式结构齿槽转矩小的优点。

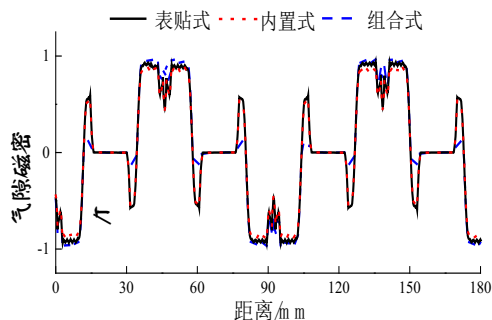


图 1 空载下三种不同转子结构的永磁同步电机气隙磁感应强度波形对比图

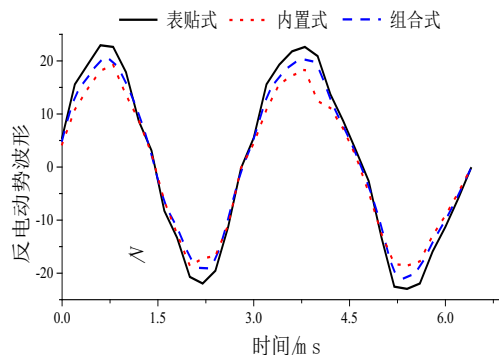


图 2 空载下三种不同转子结构的永磁同步电机反电动势波形对比图

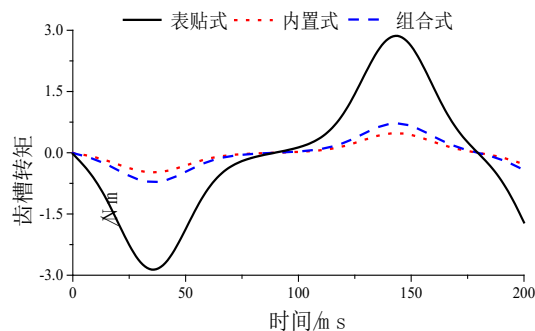


图 3 空载下三种不同转子结构的永磁同步电机齿槽转矩波形对比图

综合以上分析,组合式磁极永磁驱动电机的V字形内置结构可以有效降低永磁体的使用量降低,减小转矩脉动,表贴永磁钢隐极式结构增强了永磁体抗不可逆退磁能力,气隙磁通由二者共同提供,有效改善磁密波形,减轻磁密波形在波峰、波谷的凹陷现象。

二、组合式磁极永磁驱动电机极槽配合方案确定

合理选择极槽配合能有效优化组合式磁极永磁驱动电机性能,增大电机气隙磁感应强度,降低齿槽转矩^[7]。本设计分别对相同转子结构的12槽、15槽以及18槽的永磁驱动电机进行有限元仿真。

图4为三种不同定子结构的永磁电机气隙径向磁密分布图,从图中可以看出,12槽定子结构的永磁电机气隙径向磁密最大,15槽定子结构的永磁电机气隙径向磁密最大值与18槽相近,但曲线波动程度略小;同时12槽定子结构的永磁电机气隙径向磁密最大值处凹陷情况最轻。

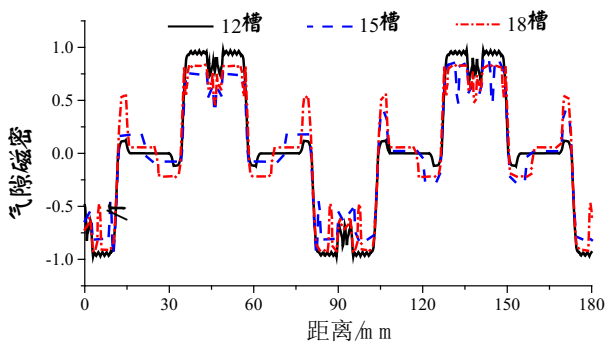


图4 三种定子结构的电机气隙径向磁密分布图

三种定子结构的电机齿槽转矩波形如图6所示,从图中可以看出,三种定子结构的电机齿槽转矩波形曲线基本相似,18槽结构的电机齿槽转矩最小,约为12槽结构的94%。

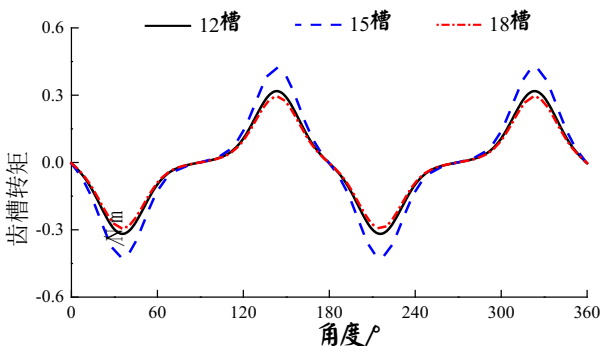


图6 三种定子结构的电机齿槽转矩波形图

综合以上分析,12槽定子结构的电机径向气隙磁密最大且在最大值处凹陷情况最轻,齿槽转矩仅比18槽结构略大,考略到可以通过磁极偏移的方法有效降低电机齿槽转矩,本设计采用12槽的定子结构。

结论:

本设计对比不同转子磁路拓扑结构的优缺点,提出了表贴径向与V形内置的永磁组合式磁极转子磁路结构,该结构可以有效改善磁密波形,削弱齿槽转矩,降低噪声与振动,改善电机的运行性能。同时,本设计通过有限元仿真对比了12槽、15槽以及18槽结构的磁场分布情况,12槽定子结构的永磁电机气隙径向磁密最大且径向磁密最大值处凹陷情况最轻,最终确定12槽方案。

参考文献

- [1] 唐任远. 现代永磁电机: 理论与设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997
 - [2] 王秀和等. 永磁电机 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007, 08: 272-276.
 - [3] 徐增福. 电动汽车用永磁同步电动机设计及关键技术研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2012.
 - [4] 吴鑫, 周扬忠, 庄恒泉, 陈焱. 表贴式永磁同步电机空载磁场的解析计算 [J]. 微特电机, 2020, 48(04): 7-12.
 - [5] 何松, 马涛, 于永军, 司纪凯, 李开鑫, 谭金龙. 基于不同永磁体结构优化设计的一种混合式永磁同步电机的电磁参数特性对比分析 [J]. 青海电力, 2020, 39(03): 18-24.
 - [6] 刘玥汐, 项渝, 叶才勇, 秦岭. 内置式永磁同步电机方案对比研究 [J]. 防爆电机, 2021, 56(04): 1-4.
 - [7] 左昱昱, 储建华, 邱国平. 电机槽极配合与电机运行质量特性研究 () [J]. 微特电机, 2021, 49(06): 56-57.
- 作者介绍:
张伟、男、汉族、1983.4.3、籍贯: 山东省淄博市、学历: 本科、职称: 工程师、毕业院校: 中国石油大学(华东)、研究方向: 电机电器、邮箱: zhangwei53@163.com