

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.06.012

混合式永磁同步电机弱磁性能的研究

陈敏祥¹, 王 帅¹, 王宗培²

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 珠海运控电机有限公司, 广东 珠海 519000)

摘要:针对传统永磁同步电机弱磁性能不佳的问题,提出了应用混合式结构来改善永磁同步电机弱磁性能。研究了传统永磁同步电机的结构,得出了传统永磁同步电机弱磁困难的原因是电枢磁势和转子励磁磁势的不对等。分析了混合式永磁同步电机的结构,得出了其转子永磁体用量少,励磁磁势较小;气隙很小同步电感大,短路电流与额定电流的比值小。介绍了应用短路电流与额定电流的比值来判断永磁同步电机弱磁性能的方法,分析得出了混合式结构弱磁性能要好于传统永磁同步电机。采用了基于直轴电流负向控制的附加闭环方法进行弱磁控制,对传统永磁同步电机和混合式永磁同步电机的弱磁性能进行了对比实验,混合式结构的弱磁扩速倍数为传统式结构的2.63倍。研究结果表明,混合式结构可以有效提升永磁同步电机弱磁性能。

关键词:混合式永磁同步电机;短路电流;弱磁控制

中图分类号:TH39;TM341

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)06-0613-05

Field weakening performance of hybrid permanent magnet synchronous motor

CHEN Min-xiang¹, WANG Shuai¹, WANG Zong-pei²

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Zhuhai Motion Control Motor Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

Abstract: Aiming at solving the problem of the poor field weakening performance of traditional permanent magnet synchronous motor, hybrid permanent magnet synchronous motor was presented. Through studying structure of traditional permanent magnet synchronous motor, the cause of field weakening difficult of traditional permanent magnet synchronous motor was armature potential far less than rotor excitation magnetic potential was obtained. Permanent magnet expenditure of hybrid permanent magnet synchronous motor was less, so its rotor excitation magnetic potential was smaller. The air gap of hybrid permanent magnet synchronous motor was smaller and synchronous inductance was bigger, so the ratio of short circuit current and rated current was smaller. Judging field weakening performance of permanent magnet synchronous motor by the ratio of short circuit current and rated current was introduced, and better field weakening performance using hybrid structure was obtained. Additional closed loop method based on direct axis current negative control was adopt to conduct field weakening experiment of traditional permanent magnet synchronous motor and hybrid permanent magnet synchronous motor. The field weakening speed expansion ratio of hybrid structure motor was 2.63 times that of the traditional structure. The results indicate that the field weakening performance of permanent magnet synchronous motor can be effectively improved by using hybrid structure.

Key words: hybrid permanent magnet synchronous motor; short circuit current; field weakening control

0 引言

相比较于其他结构形式的电机来说,永磁同步

电动机具有结构简单、体积小、效率高、功率因数高等优点,因此已经被广泛应用于要求响应速度快、振动小、精度高的场合。永磁同步电机伺服控制系统

收稿日期:2016-12-10

作者简介:陈敏祥(1963-),男,浙江杭州人,博士,副教授,主要从事微特电机及其控制、新一代直流电机及控制、风力发电系统、电动汽车驱动电机、发电机及其控制方面的研究。E-mail:hxmotor2000@aliyun.com

是通过检测转子位置、电枢电流、直流母线电压,进行计算后控制电机同步旋转的系统。由于电机端电压达到极限值后会引引起电流调节器的饱和,为了继续扩展永磁同步电机的速度范围,在基准速度以上实现恒功率高速运行,需要对永磁同步电机进行弱磁控制。

永磁同步电机的转子磁场是由永磁材料所产生,转子磁场无法直接进行削弱。通常采用的矢量控制永磁电机伺服系统,属于恒转矩驱动系统,在弱磁过程中需要控制直轴电流向负向变化。本研究通过实验验证传统永磁同步电机弱磁困难,弱磁性能不佳,难以实现宽广恒功率驱动范围的弱磁控制。针对传统永磁同步电机弱磁效果不佳,国内外学者提出了多种改善弱磁控制的磁系统改进结构^[1-3]。

本研究提出混合式永磁同步电机可以有效改善弱磁性能,首先分析传统永磁同步电机弱磁困难的原因,通过分析混合式永磁同步电机的结构,以证明其弱磁性能要明显好于传统永磁同步电机,并通过实验进行验证。

1 混合式永磁同步电机结构

混合式永磁同步电机的定子结构与普通永磁同步电机类似,即由硅钢冲片和对称分布的相绕组构成。转子包括两部分,一部分是沿转子轴向分布的圆筒形永磁体磁钢,其外面是两块互相错开半个转子齿距的软铁磁轭^[4-5]。

混合式永磁同步电机转子结构示意图如图 1 所示。

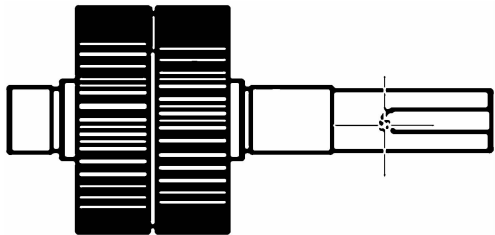


图 1 混合式永磁同步电机转子结构示意图

传统的永磁同步电机转子上有若干对永磁磁极,由永磁体位置的不同可以分为表贴式和内置式。沿圆周方向看,永磁体磁极为 N 极、S 极交替排列。而混合式永磁同步电机由于永磁体是轴向充磁,其一端全为 N 极,另一端全为 S 极。又由于两块软铁磁轭互相错开半个齿距,所以将两端合起来看,转子磁极仍然为沿圆周方向 N 极、S 极交替排列^[6]。

转子冲片示意图如图 2 所示。

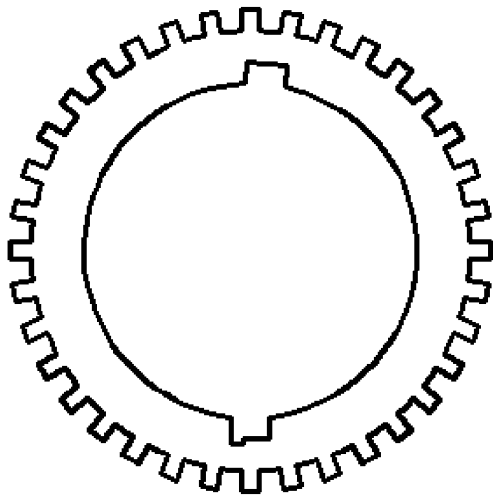


图 2 混合式永磁同步电机转子冲片示意图

所以混合式永磁同步电机的数学模型与控制方法与传统永磁同步电机类似。

2 永磁同步电机弱磁性能分析

永磁同步电机电压调节器达到饱和时,电机转速为转折速度,要想继续增大电机转速,必须控制减小直轴电流,使之向负向变化,调节器即脱离饱和状态,转子的速度范围便会得到逐步扩展。因为负向直轴电流产生的磁动势会削弱永磁体产生的磁场,所以将这一过程称为弱磁控制。因此,分析永磁同步电机的弱磁性能,主要是分析对直轴电流的控制性能以及直轴电流负向变化的扩展范围。

2.1 传统永磁同步电机弱磁性能分析

传统永磁同步电动机励磁由永磁体提供,而永磁体的磁导率近似与空气相同,所以其气隙较大,磁导很小,磁阻很大。要求提供相同气隙磁密的情况下,永磁体磁势要求较大。而永磁同步电机的定子电枢绕组的通流能力受到电机设计发热限制,因此实际中电机的电枢磁势远小于永磁体励磁磁势。而永磁体励磁磁势近乎恒定不变,电枢磁势对于励磁磁势的削弱作用十分有限,速度的扩展范围受到很大的限制。所以传统永磁同步电机弱磁性能不佳的原因是电枢磁势与永磁体励磁磁势的不对等。

为了对上述分析进行量化表示,本研究采用珠海运控电机有限公司生产的 192BL(3)550-15 型交流永磁同步电动机的数据来进行说明。

根据上述对传统永磁同步电机弱磁性能不佳原因的分析,本研究重点对比电枢磁势与励磁磁势。该电机转子永磁体高度 $h_m = 0.7 \text{ cm}$, 35SH 的矫顽力大约为 $H_c = 11\,000 \text{ Oe} = 8\,753.5 \text{ A/cm}$,于是得每极励磁磁

恒功率与恒转矩运行示意图如图 5 所示。

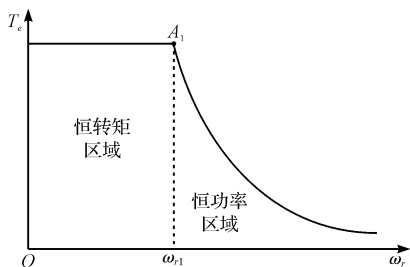


图 5 恒转矩与恒功率运行

注: ω_{r1} —转折速度

4 实验结果分析

为了验证混合式结构对于永磁同步电机弱磁性能的提升作用,本研究首先进行了传统永磁电机的弱磁扩速实验。实验应用珠海运控电机有限公司生产的 D200-20 型号的永磁同步电机,该电机最大去磁电流 10 A,短路电流 30.6 A。采用上述控制方法,当电机转折速度为 1 050 r/min 时,可弱磁扩速到 1 600 r/min,弱磁扩速倍数约为 1.52 倍。弱磁曲线如图 6 所示。

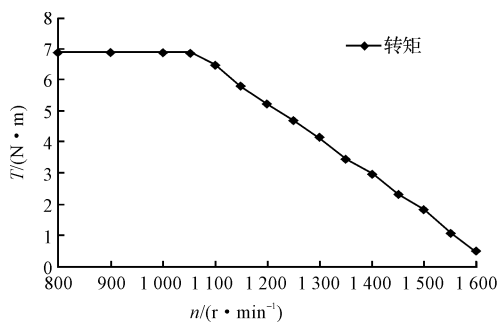


图 6 D200-20 型电动机弱磁曲线

弱磁 i_d 曲线如图 7 所示。

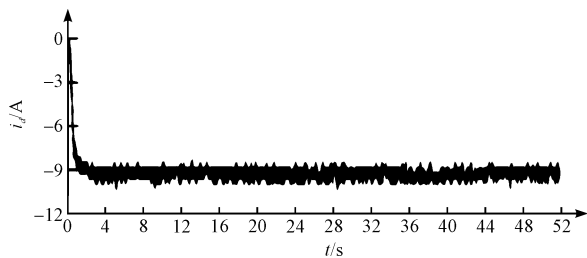


图 7 D200-20 型电动机弱磁 i_d 曲线

转速曲线如图 8 所示。

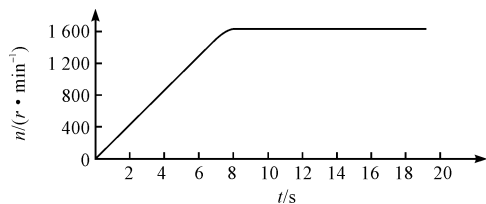


图 8 D200-20 型电动机转速曲线

由图 7、图 8 可见,转速到达 1 600 r/min 时直轴电流 i_d 已经到达电流极限,但还是远小于电机短路电流,所以无法进行深度弱磁。且电机转矩随转速的上升下降速度很快,也可说明电机弱磁性能不佳。

然后进行了混合式永磁电机的弱磁扩速实验。实验应用珠海运控电机有限公司生产的 110 HPM 型混合式永磁同步电机,该电机短路电流 1.3 A,额定电流大于短路电流,取电流极限为 1.4 A。该电机采用上述控制方法,当电机转折速度为 100 r/min 时,可弱磁扩速到 400 r/min,弱磁扩速倍数约为 4 倍,为传统式结构的 2.63 倍,弱磁曲线如图 9 所示。

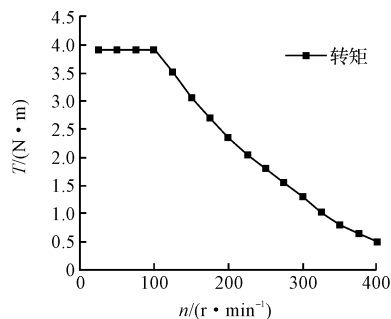


图 9 110HPM 型电动机弱磁曲线

弱磁 i_d 曲线如图 10 所示。

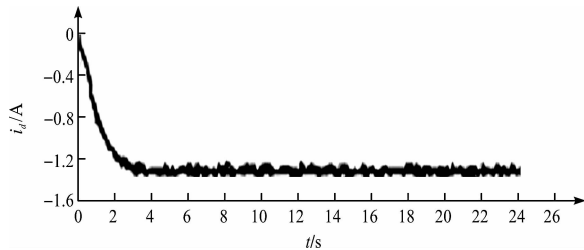


图 10 110HPM 型电动机弱磁 i_d 曲线

(下转第 638 页)

本文引用格式:

陈敏祥,王 帅,王宗培.混合式永磁同步电机弱磁性能的研究[J].机电工程,2017,34(6):613-616,638.

CHEN Min-xiang, WANG Shuai, WANG Zong-pei. Field weakening performance of hybrid permanent magnet synchronous motor[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(6):613-616,638.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>