

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.02.015

温度对电动自行车用电机空载转速的影响

陈立群¹, 王海荣²

(1. 博世(宁波)轻型电动车电机有限公司, 浙江 宁波 315336;
2. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:整车厂经常以电机的空载转速是否满足要求作为产品测试和进料检验的重要的接受标准,因此,对电机空载转速与温度变化关系的研究是十分必要的。目前,电动自行车驱动用电机主要以永磁无刷直流电机为主,相对于电励磁的电机,温度对永磁电机的影响更为明显。针对不同温度下的电机空载转速特性,分析计算永磁无刷直流电机空载转速与温度变化的关系;并进行实验验证,实测值与分析计算结果具有良好的一致性。研究结果表明:随着温度的升高,电动自行车用无刷直流电机的空载转速逐渐升高。该研究结论对电动自行车永磁无刷直流电机的设计、研究以及电动自行车的生产具有参考指导意义。

关键词:无刷直流电机;空载转速;温度;钕铁硼

中图分类号:TM306 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)02-0058-03

Influence of Temperature on the No-Load Speed of Motors Used in Electric Bicycle

CHEN Liqun¹, WANG Hairong²

(1. Bosch (Ningbo) E-Scooter Motor Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315336, China;
2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: OEMs often use whether no-load speed of motor meets the requirements for product testing and incoming inspection as the important acceptance criteria, therefore it is necessary to study the relationship between no-load speed of the motor and temperature. Now the motors driving for electrical bicycle are permanent magnet brushless DC motors primarily, and the influence of temperature on the permanent magnet motors is more apparent compared with the electrically excited motor. The influence on no-load speed of the motor under different temperature was studied based on the method of calculating no-load speed in the motor. The calculated results kept good concordance with the experimental results. The research result shows that no-load speed of the permanent magnet brushless DC motor increases with the temperature increasing. The conclusions have reference and guide significance for researchers and engineers engaging the motor design.

Key words: brushless DC motor; no-load speed; temperature; Nd-Fe-B magnet

电动自行车以蓄电池作为辅助能源,在减少能源消耗、保护环境方面具有巨大优势,由于电动自行车所带的能源有限,要求其驱动电机重量轻、体积小、效率高;另外,考虑到爬坡和载重的情况下,需要电动自行车用驱动电机具有较大的功率、力矩和过载能力。与相同功率的其他类型电机相比,永磁无刷直流电机最

适合作为电动自行车用驱动电机^[1-3]。

在电动自行车行业,整车厂经常以电机的空载转速是否满足要求作为产品测试和进料检验的重要的接受标准。这就要求电机设计者、电机测试人员以及整车厂的技术人员能够准确了解环境温度对电机空载转速的影响。以确保电机在不同季节、不同区域及不同

收稿日期:2013-08-28;修回日期:2013-10-09

作者简介:陈立群(1980),男,福建泉州人,博世(宁波)轻型电动车电机有限公司项目总监,主要从事电动自行车用永磁无刷直流电机的研究、优化和零部件设计开发等工作。E-mail:kevin.chen@bosch-escooter.com

环境温度下对空载转速进行折算以科学评价电机性能。文中从电机空载转速的设计实验入手,辅以转速计算原理分析,从中找出随温度变化影响电机转速的途径及机理,分析其空载转速随温度变化的规律,得出温度与电机空载转速的对应关系。最后,实验研究了温度对永磁材料性能的影响及目前电动自行车常用的钕铁硼永磁无刷直流电机空载转速随温度的变化情况^[4,6]。

1 不同温度时电机空载转速的计算

1.1 电机空载转速与温度关系的推导

永磁无刷直流电机空载转速的计算公式为

$$n_0 = \frac{U_N - 2\Delta U}{C_e \Phi_0} \quad (1)$$

式中, U_N 为外加额定电压/V; ΔU 为开关器件导通电压降/V; C_e 为电动势常数,对于指定的电机来说为常数; Φ_0 为空载时每极气隙磁通/Wb。

其中

$$\Phi_0 = k B_r A_m \quad (2)$$

式中, k 是一个无量纲系数, A_m 为永磁体产生的每极磁通的截面积/cm²,其具体意义和算法可由文献[7]得到;对于设计好的电机来说 k 和 A_m 均为常数,且不随温度变化; B_r 为永磁体剩磁/T,由文献[8]和[9],可知其值随温度变化的关系,此处直接引用其结论。

剩磁 B_r 与温度的关系如式(3)所示

$$B_r = [1 + (t - 20)\alpha_{B_r}] \cdot (1 - \frac{\eta}{100}) B_{r20} \quad (3)$$

式中, α_{B_r} 为 B_r 的温度系数; t 为实际温度; B_{r20} 为温度20℃时永磁体的剩磁; η 为不可逆损失率/%。

由式(1) - (3)可推导出空载转速与温度的关系如式(4)所示

$$n_0 = \frac{U_N - 2\Delta U}{C_e k A_m [1 + (t - 20)\alpha_{B_r}] \cdot (1 - \frac{\eta}{100}) B_{r20}} \quad (4)$$

1.2 计算算例

永磁无刷直流电机在设计工作温度(20℃)的数据如下

$P_N = 350$ W; $U_N = 48$ V; $\Delta U = 0.7$ V; $C_e = 104.27$, 永磁材料为钕铁硼。

对于钕铁硼永磁材料来说,其温度系数较高。从手册中查出其性能, $B_{r20} = 1.253$ T, B_r 的温度系数 $\alpha_{B_r} = -0.13$ %/K。

通过计算得出在20~50℃,其剩余磁感应强度和永磁无刷电机控制转速的变化的结果如表1所示。

表1 温度对永磁体剩磁和电机空载转速的影响

Table 1 Influence of temperature on remnant flux in permanent magnet and no-load speed of motor

温度/℃	剩磁/T	电机空载转速/(r·min ⁻¹)
20	1.253	394.4
30	1.240	398.5
40	1.227	402.7
50	1.214	407.1

由表1可以看出,永磁无刷直流电机的空载转速随着温度的升高而上升。此样机,随温度的升高,计算所得空载转速的平均增量为0.43 r/(min·℃)左右。

2 实验验证

为了对计算结果进行验证,选取某款钕铁硼永磁材料和某型电动自行车用永磁无刷直流电机进行设计实验。

2.1 钕铁硼永磁材料磁性能与温度影响关系的实验

磁钢样品来自电动自行车用永磁无刷直流电机的常用磁钢,取5件样本分别进行测试。将磁钢样品置于25℃,45℃和65℃的环境温度中,磁钢样品放置3小时至温度达到上述设定值之后取出,用磁通计测量磁钢样品的磁通。5块磁钢样品分别重复上述实验。实验结果如图1所示。

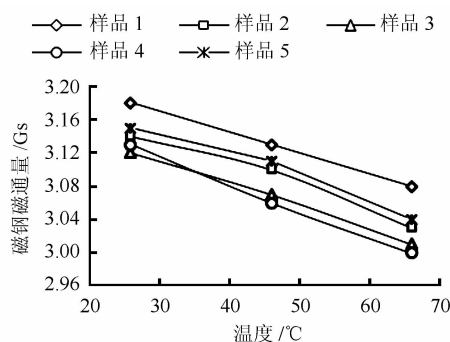


图1 磁钢磁性能与温度的关系

Figure 1 Relation between magnetic properties and temperature

2.2 永磁无刷直流电机空载转速与温度关系的实验

将电动自行车用样机分别放置于20℃,30℃,35℃,45℃和50℃的环境温度中,样机放置3个小时,以保证电机各部分温度尽可能相同。3小时后取出样机,对样机做空载实验,测得其空载转速,电机停止运转后立即用温度测试仪测量电机磁钢温度。取5台样机分别重复上述实验。实验装置图2所示,实验结果如图3所示。

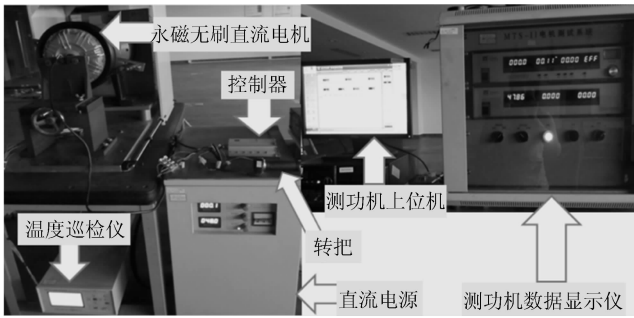


图2 样机的实验平台

Figure 2 Experimental platform of the motor

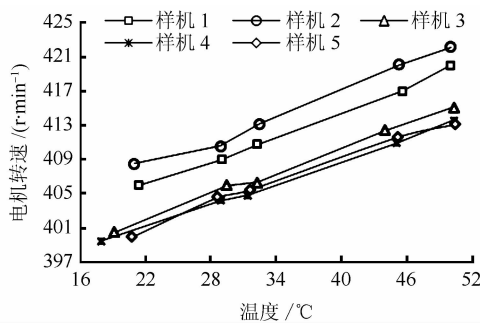


图3 样机空载转速与温度的关系

Figure 3 Relation between the no-load speed of prototype and temperature

由图3可知,随着温度的升高,永磁无刷电机的空载转速逐渐升高。这是因为,永磁体剩磁随着温度升高会逐渐降低,电机磁路的饱和度降低。文中所测量的样机,随温度的升高,空载转速的平均增量为0.46

r/(min·°C)左右。这与理论计算值吻合良好,满足工程精度。

3 结论

1) 磁钢磁性能随着温度的升高而降低,应当避免永磁体长期工作于高温环境中。

2) 永磁无刷电机的空载转速随着环境温度的升高而增加,这是永磁电机区别于电励磁电机的特点之一。在永磁电机设计时必须考虑温度对电机性能的影响,这个规律对电动自行车行业的生产和控制具有参考指导意义。

参考文献:

[1] 袁海林. 永磁无刷电动机的市场和前景[C]//中国电子元件行业协会微特电机与组件分会. 第十二届中国小电机技术研讨会论文集. 上海:微特电机,2007:13-23.

[2] 吴世华,曾庆初,宋立伟,等. 永磁材料对无刷直流电机性能影响的研究[J]. 中国科技论文在线,2009,4(8):604-607.

[3] 王艾萌,李和明. 永磁材料及温度对内置式永磁电机性能及转矩脉动的影响[J]. 华北电力大学学报,2008,35(3):24-27.

[4] 陆伟. 无刷直流电动机在电动自行车上的应用[J]. 苏州大学学报,2002,22(2):73-76.

[5] 王兴华,励庆孚,王曙鸿. 永磁无刷直流电机空载气隙磁场和绕组反电势的解析计算[J]. 中国电机工程学报,2003,23(3):126-130.

[6] 李维清,陈志勇,王兴华. 电动自行车用无刷直流电动机及其驱动系统[J]. 微电机,2003,36(1):10-11.

[7] 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.

[8] 周涛增,董清飞. 超强永磁体-稀土铁系永磁材料[M]. 2版. 北京:冶金工业出版社,2004.

[9] 程福秀,林金铭. 现代电机设计[M]. 北京:机械工业出版社,1993.

(上接第57页)

今后在独立光伏发电系统的能量管理模式上提供了一种新型的控制策略。

参考文献:

[1] SIRA-RAMÍREZ H, ORTEGA R, GARCÍA-ESTEBAN M. Adaptive passivity-based control of average dc-to-dc power converter models [J]. International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 1998, 12(1):63-80.

[2] TOFIGHI A, KALANTAR M. Interconnection and damping assignment and Euler-Lagrange passivity-based control of photovoltaic/battery hybrid power source for stand-alone applications[J]. Journal of Zhejiang University: Science C, 2011, 12(9):774-786.

[3] TOFIGHI A, KALANTAR M. Power management of PV/battery hybrid power source via passivity-based control [J]. Renewable Energy, 2011, 36(9):2440-2450.

[4] TOFIGHI A, KALANTAR M. Adaptive passivity-based control of PEM fuel cell/battery hybrid power source [J]. Przegląd Elektrotechniczny, 2011, 87(4):164-171.

[5] BECHERIF M, AYAD M Y, HENNI A, et al. Hybridization of solar

panel and batteries for street lighting by passivity based control[C]. IEEE Energy Conference and Exhibition, 2010 International. Manama, Bahrein:IEEE,2010:664-669.

[6] KIM I S, KIM M B, YOUN M J. New maximum power point tracker using sliding-mode observer for estimation of solar array current in the grid-connected photovoltaic system[J]. Industrial Electronics, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(4):1027-1035.

[7] 严仰光. 双向直流变换器[M]. 南京:江苏科学技术出版社,2004:41-48.

[8] 张超,何湘宁. 短路电流结合扰动观察法在光伏发电最大功率点跟踪控制中的应用[J]. 中国电机工程学报,2006,26(20):98-102.

[9] 唐亚平,林海浩,钟英杰. 二级复合抛物面聚光器(CPC)性能仿真及光伏发电实验研究[J]. 轻工机械,2011,29(1):57-61.

[10] 曹莹. 家用太阳能光伏发电系统设计[J]. 机电工程,2011,28(1):115-117.

[11] TREMBLAY O, DESSAINT L A. Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications [J]. World Electric Vehicle Journal, 2009(3):13-16.