

一种直流永磁电机温升模型的验证与研究

张蕊,王辉,柏仓

湖南大学电气与信息工程学院,长沙 410082

摘要 电机损耗不仅会使电机效率降低,而且会使电机发热,电机各部件温度高于环境温度的差值,被称为电机的温升。电机的损耗越大,发热越快,温升越高,进而加速电机的绝缘老化损坏,降低电机的使用寿命。因此,对电机进行温升预测显得尤为重要。本文研究了一种直流永磁电机温升模型,该模型中提出温升与电机运行时间呈指数函数关系。根据电机温升公式,拟合出电机温升曲线,并通过与电机碳刷部位实测温升曲线的对比,验证了该电机温升模型的准确性,从而可将该模型应用于电机温升的实时监测。由于车窗升降电机属于反复短时工作电机,本文着重研究了短时工作制下电机的升温与降温模型,通过升温降温曲线的拟合来实时监测电机的温升。

关键词 永磁直流电机;温升曲线;温升模型

中图分类号 TM343

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)03-0063-03

Validation of a Temperature Rise Model of DC Permanent Magnet Motor

ZHANG Rui, WANG Hui, BAI Cang

Institute of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

Abstract Since the energy loss of a motor not only reduces its efficiency, but also leads to temperature rise in the motor, as represented by the difference between the motor temperature and the ambient temperature. The temperature rise will accelerate the aging and damage of the motor insulation component and reduce the life of the motor. Therefore, the prediction of the motor temperature rise is very important. In this paper, a temperature rise model for DC permanent magnet motors is proposed, where an exponential relation is assumed between the temperature rise and the time. The motor temperature rise curve is obtained by fitting the relation with the measured data, and compared with the measured temperature rise curve in the carbon brush of the motor, which verifies the accuracy of the fitting temperature rise curve. This model can be applied to monitor the motor real-time temperature rise. As the window lift motor works as a repeated short-term motor, this paper studies the short-term working system with the motor heating and cooling model.

Keywords permanent magnet DC motor; temperature rise curve; temperature rise forecast

0 引言

车窗升降电机是一款小型永磁直流电机,车窗上外力或人为因素等会导致电机的负载发生急剧变化,加上电机本身冷却系统故障、铁心故障、绕组故障、绝缘故障等都有可能使电机运行出现异常。对电机来说,上述异常运行的大部分直观表现是电机温度升高(各种影响因素使电机温度升高的速度不同),加上环境温度升高以及电机自身由于长期运行而

产生的热量,会造成绝缘老化,缩短电机使用寿命,甚至将电机烧毁。若能快速准确地测量出电机的温度并加以控制,则可在很大程度上保证电机的正常运行并避免电机由于超过允许温升而造成严重后果。因此,对车窗升降电机进行实时的温升预测十分重要^[1]。

随着微电子技术的发展,产生了电子式及智能型电动机保护器。但电子式产品的保护功能大多有断相、电压不平衡、

收稿日期:2009-09-11

作者简介:张蕊,硕士研究生,研究方向为电力电子与电气传动,电子信箱:zhangrui119@126.com;王辉(通信作者),教授,研究方向为电力电子、控制科学与控制工程,电子信箱:hwang1960@163.com

短路、过载、漏电等缺点,一般仅适合于长期连续工作制下运行的电动机保护,而车窗升降电机属于反复短时工作制运行状态。本文着重研究了短时工作制下电机的升温与降温模型,通过升温降温曲线的拟合来实时监测电机的温升,具有较强的应用价值。

应车窗电机防夹功能的需求,为了实现该项目中对电机温升的实时预测,防止电机因超过允许温升而影响工作效率,可以采用电机温升计算公式对电机温升进行预测^[2]。本文将由模型进行 Matlab 仿真得到的温度曲线与对碳刷部位实际测得的温度曲线进行对比,验证了该温升模型的正确性。

1 电机温升模型

电机中各部件发热大小不同,散热能力也相差较大,即使同一部件,各点的温升也是不一样的。直流永磁电机碳刷部分温度最高,本文以此处温度为研究对象。

正常运行的电机,在恒定环境温度中,当负荷一定时,发热过程如下^[1]:设电机单位时间内发出的热量为 Q (J/s);电机温度升高 1°C 所需热量,即电机的热容量为 C (J/ $^{\circ}\text{C}$);电机每秒散发到周围环境的热量,即电机的散热系数为 A (J/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}$));电动机高于环境的温度值,即电机的温升为 τ ($^{\circ}\text{C}$);则 Qdt 为在 dt 时间内电机散发的热量; $Cd\tau$ 为在 dt 时间内电机温度升高 $d\tau$ 所需热量; $A\tau dt$ 为在同一时间内电机散发到周围环境的热量。由电机热平衡原理,电机热平衡方程式为

$$Cd\tau + A\tau dt = Qdt \quad (1)$$

整理得到

$$\frac{C}{A} \frac{d\tau}{dt} + \tau = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

令 $T=C/A$ 为发热时间常数,单位 s; $\tau_{\infty}=Q/A$ 为稳态温升,单位 $^{\circ}\text{C}$,则电机热平衡方程式可化为

$$T \frac{d\tau}{dt} + \tau = \tau_{\infty} \quad (3)$$

微分方程(3)的解为

$$\tau = \tau_{\infty}(1 - e^{-t/T}) + \tau_0 e^{-t/T} \quad (4)$$

式(4)中 τ_0 为电机的初始温升,即 $t=0$ 时的温升。

根据式(4),得出电机温升与时间关系曲线(图1)^[3]。

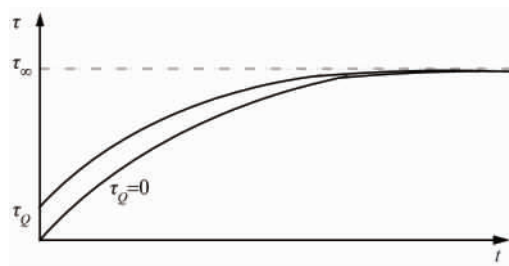


图1 电机发热温升曲线

Fig. 1 Motor heating temperature curve

根据电机温升曲线可以看出电机温升不是瞬时的,而是有一段过程。当电机刚开始运行时,由于电机温度与环境温度相差较小,由热传递原理可知,此时电机产生的热量散发

到周围环境中较少,大部分被电机吸收,故此时电机温升较快,曲线上升较陡;随着电机的运行,与周围环境温差增大,电机散发到周围环境的热量较多,故此时电机的温升速度减缓,曲线上升较为平缓,直到电机发热量等于电机散热量,此时有 $A\tau dt = Qdt$ 。即此时的 $d\tau=0$,由式(3)可知此时的温升为稳态温升 τ_{∞} 。这就是温升曲线为指数曲线的物理意义^[4-5]。

同理,散热也有类似的曲线,散热函数为

$$\tau = (\tau_0 - \tau_{\infty})e^{-t/T_2} + \tau_{\infty} = \tau_{\infty}(1 - e^{-t/T_2}) + \tau_0 e^{-t/T_2}$$

其中 $\tau_{\infty} < \tau_0$, T_2 为散热时间常数。

2 重复短时工作永磁直流电机温升模型的分析

由于电机工作在重复短时工作制下,设第 $k-1$ 次预测后电机的温升预测值为 $\tau_{Q(k-1)}$,则分如下情况讨论^[6]。

1) 若第 k 次预测时, $i_k > i_{k-1}$ (负载加大)则说明电机的温升会升高,电机的温升为

$$\tau_{Q(k)} = \tau_{\infty(k)}(1 - e^{-t/T_{1(k)}}) + \tau_{Q(k-1)}e^{-t/T_{1(k)}}$$

2) 若第 k 次预测时, $i_k < i_{k-1}$ (负载减小),则

① 若此时电机温升 τ 未达到 i_k 稳态温升的 τ_{∞} ,则电机温升将继续升高,电机温升为

$$\tau_{Q(k)} = \tau_{\infty(k)}(1 - e^{-t/T_{1(k)}}) + \tau_{Q(k-1)}e^{-t/T_{1(k)}}$$

② 若此时的电机温升已经超过 i_k 的稳态温升 $\tau_{\infty(k)}$ (由于稳态温升是随电流 i 而改变的,所以当电流为 i_k 时的稳态温升为 $\tau_{\infty(k)}$),则说明电机的温升会下降,电机的温升为

$$\tau_{Q(k)} = (\tau_{Q(k-1)} - \tau_{\infty(k)})e^{-t/T_{2(k)}} + \tau_{\infty(k)}$$

此时初始温升 $\tau_{Q(k-1)} > \tau_{\infty(k)}$,故温升曲线为冷却曲线图2中的曲线1。

3) 若第 k 次预测时, $i_k = 0$,则说明电机电源断开,温升会下降,电机的温升为

$$\tau_{Q(k)} = \tau_{Q(k-1)}e^{-t/T_{2(k)}}$$

此时温升曲线为冷却曲线图2中的曲线2。

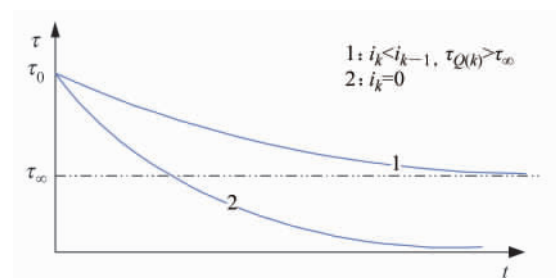


图2 电机冷却温升曲线图

Fig. 2 Motor cooling temperature curve

3 试验分析

应用采样仪器 Cronos 采集预先埋置于车窗升降永磁直流电机碳刷部位的热电偶的温度信号,该线路具有时钟和温度显示功能,能直观反映出电机在不同运行状态下该处各时

间点的温度,并绘制成温度-时间曲线。再应用 Matlab 对这几组温升和时间数据进行指数函数曲线拟合,得到一组温升与时间拟合曲线。通过将 Cronos 实测温度曲线与 Matlab 拟合温度曲线对比,验证该电机温度模型的准确性,从而通过将时间代入该温升预测模型求得任意时刻电机的温度。

3.1 升温试验

样机采用额定电压为 15V, 额定转矩为 9N·m 的永磁直流电机在环境温度为 80℃的条件下进行试验,通过测温线路测得几组温升时间关系数据。当时间为 0,72.5,131.9,206.5,306.6,441.3,589.8,697.3,758.3s 时,电机温度分别为 100,113.1,119.4,125.4,132.7,141.6,148.7,154.2,155.4℃。

用 Matlab 对表 1 中数据进行指数拟合,得到电机升温曲线如图 3 中绿线所示。而通过 Cronos 采集热电偶传过来的温度信号,用 Cronos 配套软件 Famos 描绘出电机碳刷部位温度时间曲线如图 3 中黑线所示。

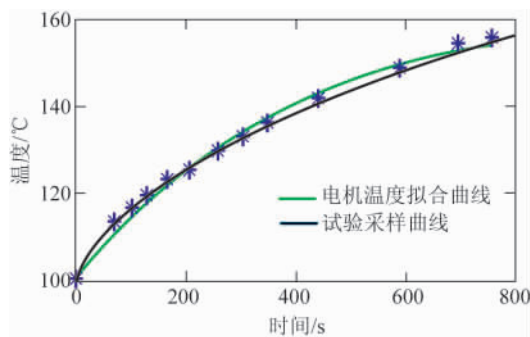


图 3 升温时电机温度与电机碳刷部位温度试验采样图
 Fig. 3 Temperature fitting curve and sampling data at the motor brush when temperature rises

3.2 降温试验

温度下降时,电机温度与时间的关系数据是:当时间为 0,13.4,37.4,67.4,102.8,254.8,453.1,727.2s 时,电机温度分别为 160,157.8,153.6,150.3,147.1,136.8,135.4℃。用 Matlab 对这组数据进行指数拟合,得出电机的降温温度曲线如图 4 中绿线所示。而通过 Cronos 采集热电偶传过来的温度信号,用 Cronos 配套软件 Famos 描绘出电机碳刷部位温度时间曲线如图 4 中黑线所示。

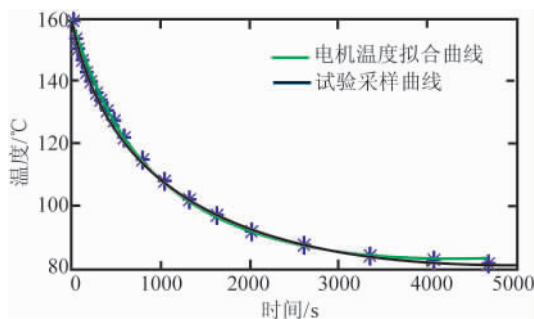


图 4 降温时电机温度与电机碳刷部位温度试验采样图
 Fig. 4 Temperature fitting curve and sampling data at the motor brush when temperature drops

4 结论

通过对升温 and 降温时电机碳刷部位实测温度曲线和 Matlab 仿真的温度曲线进行对比,验证了电机温升满足指数变化规律,即验证了第 1 节中所提出的电机温升模型的正确性,通过模型可以预测出任意时刻电机的温升。

参考文献 (References)

- [1] 胡永志. 谈电机的温升及处理[J]. 水泥技术, 1995, 3: 31-34.
Hu Yongzhi. *Cement Technology*, 1995, 3: 31-34.
- [2] 张培铭, 张冠生, 郭忠鹏. 重复短时工作制下电动机温升模型及其智能保护[J]. 电气开关, 1993, 4: 42-45.
Zhang Peiming, Zhang Guansheng, Guo Zhongpeng. *Electric Switch*, 1993, 4: 42-45.
- [3] 黄玉寿. 电机温升试验的曲线拟合[J]. 电机技术, 1989, 4: 18-19.
Huang Yushou. *Motor Technology*, 1989, 4: 18-19.
- [4] 唐勇, 常黎, 周建中. 基于改进 BP 算法的水电机组轴瓦温度预测[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2002, 4: 78-80.
Tang Yong, Chang Li, Zhou Jianzhong. *Journal of Central China University: Sciences and Technology Edition*, 2002, 4: 78-80.
- [5] 阎树田, 易湘斌. 航空电机温升智能预测研究[J]. 微电机, 2002, 6: 89-91.
Yan Shutian, Yi Xianbin. *Micromotor*, 2002, 6: 89-91.
- [6] 于文军, 刘芬, 章平谊. 电机温升估算公式的推导和应用[J]. 防爆电机, 1999, 2: 41-42.
Yu Wenjun, Liu Fen, Zhang Pingyi. *Explosion-proof Motor*, 1999, 2: 41-42.
- [7] Fuh K H, Wang S B. Force modeling and forecasting in creep feed grinding using improved BP neural network[J]. *Mach Tools Manufacture*, 1997, 37(8): 1167-1178.
- [8] Thorsen O V, Dalva M. Failure identification and analysis for high voltage induction motor in petrochemical industry [J]. *IEEE Trans Industry Applications*, 1999, 35(4): 810-818.
- [9] Benbouzid M E, Vieira M, Theys C. Induction motors' faults detection and localization using stator current advanced signal processing techniques[J]. *IEEE Trans Power Electronics*, 1999, 14(1): 14-20.

(责任编辑 杨书卷)

欢迎向“学术聚焦”栏目推荐会议文集

《科技导报》“学术聚焦”栏目旨在围绕当前某一与科技相关的热点问题展开讨论,客观、简洁、集中地发表原创性科技成果或专家的创新言论。每期将从科学会议、学术沙龙的众多科研报告中精选 10 篇左右,从中提炼成一篇 4 500 字左右的综述性文章,以反映研究者的重要研究成果和主要学术观点。欢迎科技会议、学术沙龙、学术论坛组织者及时提供会议论文集、主要报告材料。栏目责任编辑: 陈广仁博士; 投稿邮箱: chenguangren@cast.org.cn。