

Analysis of Improved PID Control Based on Magnetic Bearing

Zhehao Wu Miaocan Fu Yuyu Wang Xu Li

School of Electrical and Electronic Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing, 400050, China

Abstract

Aiming at the kinematic problems existing in the application of traditional PID in the control of magnetic bearings, the paper proposes an improved PID control strategy. When performing PID control, the net difference is k ($k < 1$) times the traditional PID net difference, the selection of k value is the key, because the difference of k value will cause the rotor centroid to fluctuate to different degrees near the center point. Based on the description of K value selection test, the paper also describes in detail the use of improved PID to control the system under the premise of selecting parameter K , and test the rotor movement under different PID, so as to obtain the best control parameters, so that the rotor can operate stably under different working conditions, optimize the control system, further improve its speed, reduce loss and improve efficiency.

Keywords

magnetic bearing; net difference; PID control

基于磁悬浮轴承的改进 PID 控制分析

吴哲昊 傅妙灿 王零语 李旭

重庆理工大学电气与电子工程学院, 中国·重庆 400050

摘要

针对传统 PID 运用在磁悬浮轴承控制上存在的运动学问题, 论文提出一种改进 PID 控制策略。在进行 PID 控制时, 净差量选取传统 PID 净差量的 k ($k < 1$) 倍, k 值选取是关键, 因为随着 k 值的不同, 会导致转子质心在中心点附近不同程度的波动。论文在叙述 k 值选取测试的基础上, 还详细叙述了在选定参数 k 前提下, 使用改进 PID 对系统进行控制, 测试在不同 PID 之下转子运动情况, 从而得出最佳控制参数, 使转子在不同工况下稳定运行, 优化控制系统, 进一步提高其转速, 降低损耗, 提高效率。

关键词

磁悬浮轴承; 净差量; PID 控制

1 引言

对于磁悬浮轴承来讲, 传统 PID 控制, 往往是以中心点为控制目标参考量, 故净差量也是基于中心点, 实际上这样是存在运动学上的问题^[1]。例如, 在控制重力方向时, 径向轴承上端给力克服重力, 如果想让轴承到达中心点, 应考虑在其还未到达中心点前就撤销上端的力, 让转子凭借惯性到达中心点。但传统 PID 控制显然没有考虑到这个问题, 使其到达中心点后才撤销上端的力, 这样实际转子已经偏离中心点往上了, 很容易造成转子的碰壁, 这是在转子高速运转中

所不允许的。于是论文在进行 PID 控制时, 净差量选取的是传统 PID 净差量的 k ($k < 1$) 倍, k 值选取是关键, 因为随着 k 值的不同, 会导致转子质心在中心点附近不同程度的波动, 所以绘制不同 k 值下转子质心的波动图, 找出最佳 k 值是关键^[3-4]。

2 K 值选取测试

根据前文改进 PID 控制策略, 对实物进行了测试, 通过纪录显示屏上传感器的实时数据, 描绘了在不同 k 值下转子轴心运动轨迹图, 并记录下转子的运动状态。在进行多次 k 的调试后, 选取了 $k=0.5$ 和 $k=0.429$ 时, 前轴位移传感器的示数 (以上端和左端示数为基准), 每组纪录 40 组数据, 通过推算得到相应的轴心的坐标, 据此绘制轴心轨迹图。如图

【作者简介】吴哲昊 (1999-), 男, 中国浙江长兴人, 重庆理工大学电气与电子工程学院在校学生, 从事电力电子与电力传动研究。

1 (a)、(b) 所示分别为 $k=0.5$ 与 $k=0.429$ 时, 前轴轴心轨迹图。

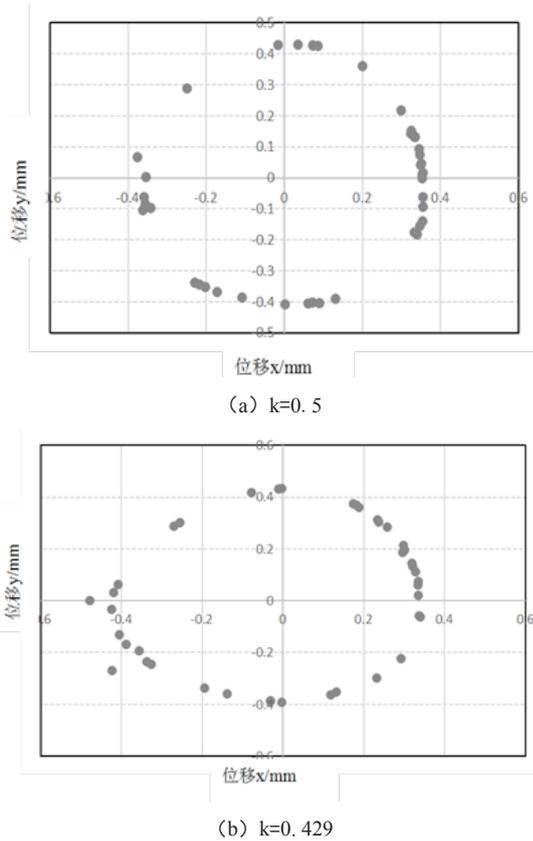


图 1 前轴轴心轨迹图

由此可见, $k=0.429$ 时, 转子轴心轨迹更形似圆形, 更聚拢中心点。在实验过程中发现, $k=0.5$ 时, 转子悬浮过程中存在明显的不平衡振动, $k=0.429$ 时这种振动有明显的减小。同时通过多次数据对比, 当 $k > 0.5$ 时, 转子偏向上端, $k < 0.5$ 时, 转子偏向下端, 但在 0.429 时, 悬浮最稳定。

从前轴轴心轨迹图可以看出, 轴心的轨迹可以看成是一个半径为 0.4 的圆, 由于轴承最大气隙为 0.6mm , 所以转子基本实现了与磁悬浮轴承的隔离, 当转子高速旋转起来, 由于离心力的作用, 转子轴心的轨迹实际会更聚集于中心点^[3]。

3 改进 PID 控制测试

在选定参数 k 前提下, 使用改进 PID 对系统进行控制, 测试在不同 PID 之下转子运动情况, 通过串口输出每个控制周期上下端气隙的实时数据, 选择上下端气隙之差作为衡量标准, 当其为负值时表明转子在中心点以下, 正值表明在中心点上方, 为 0 时转子处于中心点^[5-7]。如图 2(a)、(b)、(c)、(d) 所示分别为不同 PID 参数下转子的运动轨迹, 横坐标为控制的周期, 纵坐标为上下端气隙之差。

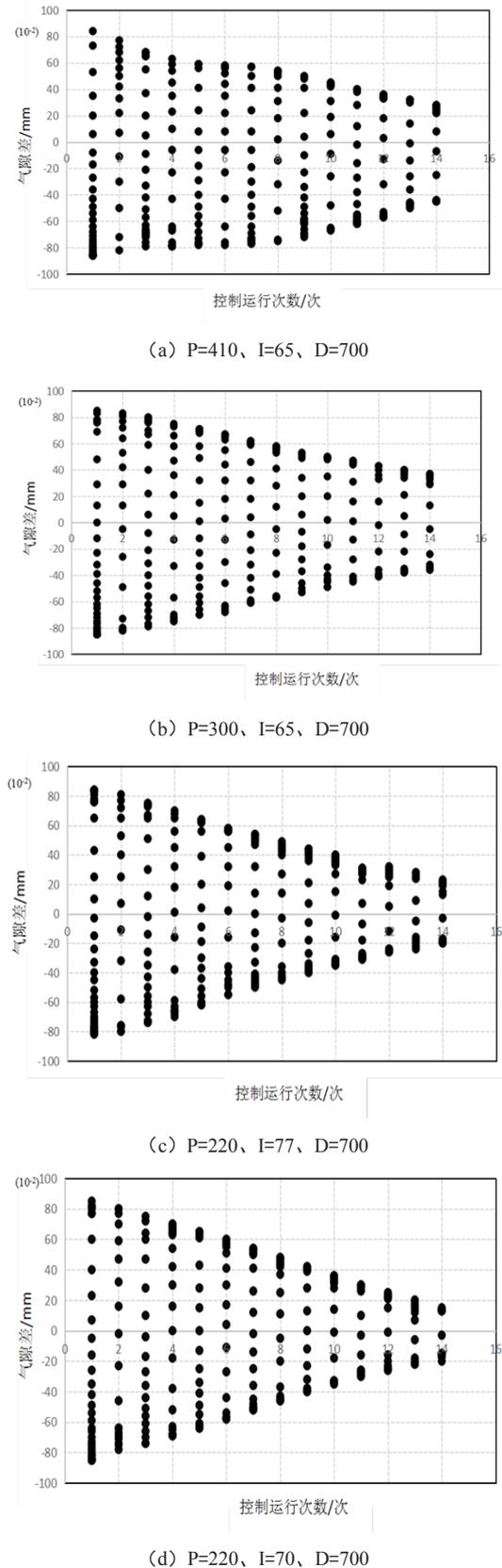


图 2 不同 PID 参数下转子运动轨迹

从转子的轨迹图来看, 改进 PID 控制是起到控制效果的, 在后面的控制周期中转子在竖直方向上上下的幅度减小, 最

终在中心点附近运动^[5]。在实测过程中发现参数P对控制效果起着明显的作用,在P=410控制下,转子运动的幅度很大,具有碰壁的风险,于是将P值减小,当P=300时,转子运动幅度明显减小,最终发现P=220时,效果最好,小于220,转子无法启动。目前当I值在70时,系统较稳定^[7-9]。

4 结语

通过测试发现:不同k值,转子质心在中心点附近有不同程度的波动,通过不同k值波动图对比,得出当k=0.429时,转子悬浮最稳定,转子轴心轨迹更聚集于中心点。此外,在选定k值的情况下,改变PID参数,经过对比发现在P=220、I=70、D=700时,控制效果最好,系统也较稳定。

参考文献

- [1] 马建伟. 满意PID控制设计理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 杨阔凯. 磁悬浮轴承控制方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2019.

- [3] 施佳余, 吴国庆, 茅靖峰. 磁悬浮轴承系统控制方法研究[J]. 机械设计与制造, 2015(12):265-268.
- [4] 杨国良, 张广路, 李惠光. 垂直轴磁悬浮风电系统神经模糊PID悬浮控制[J]. 电气制造, 2010(07):52-56.
- [5] Lin F J, Teng L T, Shieh P H. Intelligent Sliding-Mode Control Using RBFN for Magnetic Levitation System[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007(03):1752-1762.
- [6] 张维煜, 朱焜秋, 袁野. 磁悬浮轴承应用发展及关键技术综述[J]. 电工技术学报, 2015(12):12-20.
- [7] 曹牧年. 风力发电机主动磁悬浮轴灰色PID控制研究[J]. 工业控制计算机, 2015(04):29-30.
- [8] Jan Kumbemuss, Chen Jian, Junhua Wang, et al. A Novel Magnetic Levitated Bearing System for Vertical Axis Wind Turbines(VAWT) [J]. Apply Energy, 2011(04):8-12.
- [9] 范凌鹤. 小型风力发电机用永磁悬浮轴承的设计与应用[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017.