基于重复控制器的磁悬浮轴承转子振动抑制研究

蔡凯文

陈良亮：

1. 参考文献年份太老，缺少近二十年的研究综述。

答：考虑到早年论文的引用量较高，所以重点关注了年份稍老的论文。应该添加近十年的研究现状综述，这样研究思路才完整。

1. 应该从整机性能角度评测加入奇数次重复控制器效果，比如电机效率、发热等。

答：由于磁悬浮轴承用于替代传统机械轴承，所以我们把轴承当作一个整体进行研究，而没有考虑电机。

1. 论文第三章和第四章中提到了实验介绍，第五章也有实验平台介绍，这二者之间是什么关系？

答：第三章、第四章和第五章均是同一个实验平台下的进行的实验。为了使各部分详略得当，因此把实验分布到不同章节中了。

1. 如果本文提出的ZORC确实新颖，应该申请专利。

答：好的，后面会申请专利。

1. 个人成果中的几篇文章各是第几作者？

答：TIE是一作，Shock and Vibration是二作，会议是一作，专利是二作。

王晓琳：

1. 研究对象的额定频率是833Hz，那为什么选择在250Hz处测试提出的零相移奇数次重复控制器？

答：转子从0Hz升速至额定转速833Hz时，转子的共振频率发生在200~300Hz处。所以选择在振动最恶劣的频率处测试提出的零相移奇数次重复控制器。

1. 低通滤波器截止频率不高，是否对电机高速旋转有影响？

答：低通滤波器用于保持插入的重复控制器的稳定，并不会干扰基础PID控制器的在高速段的控制。

1. 零相移低通滤波器如何实现的？是否存在纯微分问题？

答：由于延时环节的存在，所以低通滤波器可以预知下一时刻的输入，因此可以通过使用下一时刻和上一时刻的输入来实现零相移低通滤波器。不存在纯微分问题。

1. 为什么可以简化相位补偿器设计？

答：因为当使用简化的相位补偿器设计参数时，系统稳定的充要条件已经满足。

黄旭珍：

1. 振动力建模的时候，为什么振动可以都考虑成正弦信号？

答：因为X和Y方向是正交的，转子绕旋转中心旋转时，不平衡质量引起的位移振动，体现在X和Y方向上显示为正弦信号。

1. 论文第三章和第四章应该给出更加详细的实验步骤。

答：好的，不足的参数将补充上去。

魏佳丹

1. 为什么磁悬浮轴承中的谐波只有奇数次，请从物理概念上解释。

答：单端的一个自由度上的一对磁极的磁力分别可以通过泰勒级数展开为位移的函数，将位移通过傅里叶级数展开。因为合磁力在0度和180度时大小相同、方向相反，根据这个约束条件可以解得位移的傅里叶级数的偶数项的次数均为零，因此位移中只有奇数次谐波。

1. 应该给出两种滤波器对比的相频曲线。

答：因为根据论文中给出的公式，已经可以得出零相移低通滤波器没有相移，因此没有额外给出相频曲线。

1. 是否应该考虑ADC采样延时、数字控制延时？

答：是的，更完善的研究应该是考虑了ADC采样延时和数字控制延时。

黄文新：

1. 为什么提交的是盲审论文？

答：因为武汉疫情隔离，本人存储资料的笔记本电脑不在手边，返校后将提交修改后的终稿论文。

1. 应该考虑从动态过程的角度分析零相移奇数次重复控制器性能。

答：是的，后续应该研究升速过程中的闭环控制特性。

1. 各自由度之间是否有耦合问题？

答：精确的转子数学模型是考虑了陀螺效应的。此样机的转子时细长结构，陀螺效应较弱，因此可以不考虑各自由度之间的耦合。

1. 文中现场动平衡使用的是增重方法来校正，为什么不用去重？

答：本文振动抑制方法的预期应用步骤是：1.传统动平衡机上进行去重动平衡，2.装机后进行现场动平衡，3.运转后进行在线振动抑制。现场动平衡是在装机之后进行，此时拧螺丝的方法进行增重校正更为简单。

于立：

1. 是否要考虑电机引起的不平衡单边磁拉力？

答：是的，电机引起的不平衡单边单边磁拉力与其他振动来源相比，比重较小；且限于本人研究精力有限，因此没有考虑。