

引用本文:魏莉,吴宇昌,位燕辉.基于时分复用的四通道光纤旋转连接器设计与性能测试[J].光通信技术,2023,47(2):64-67.

基于时分复用的四通道光纤旋转连接器设计与性能测试

魏莉,吴宇昌,位燕辉

(武汉理工大学 机电工程学院,武汉 430070)

摘要:针对高速旋转设备分布式测量需求,设计了一种单通道光纤旋转连接器(FROJ),并进行了性能测试。以此单通道 FROJ 为基础,采用磁光开关通过时分复用方式设计了四通道 FROJ,在静态和动态条件下分别测试了其插入损耗。实验结果表明:该四通道 FROJ 的插入损耗小于 4.5 dB,旋转变化量小于 2 dB,在转速不超过 600 r/min 时可以实现光信号的可靠传输。

关键词:光纤旋转连接器;磁光开关;时分复用;多通道光信号传输;分布式测量

中图分类号:TN253 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2023)02-0064-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.02.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and performance test of four-channel optical fiber optic rotary joint based on time division multiplexing

WEI Li, WU Yuchang, WEI Yanhui

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aim at the distributed measurement requirements of high-speed rotating equipment, a single-channel fiber optic rotary joint(FROJ) is designed and its performance is tested. Based on single-channel FROJ, four-channel FROJ is designed by magneto-optical switch, and its insertion loss is tested under static and dynamic conditions. The experimental results show that the insertion loss of the four-channel FROJ is less than 4.5 dB, the rotation variation is less than 2 dB, and the reliable optical signal transmission can be realized when the speed does not exceed 600 r/min.

Key words: fiber optic rotary joint, magneto-optic switch, time-division multiplexing, multi-channel optical signal transmission, distributed measurement

0 引言

随着光纤传感技术的蓬勃发展,光纤布喇格光栅(FBG)传感器在不同场合得到了广泛应用^[1]。为了满足光纤传感信号实时传输和检测的要求,需要将信号从旋转平台传递到静止平台,这部分功能可通过光纤旋转连接器(FORJ)实现。

FORJ 具有通信速率高、抗电磁干扰、寿命长、无摩擦、可在易燃易爆的环境中使用等优点^[2]。由于 FORJ 结构形式的不同,FORJ 可分为有源/无源 FORJ、

同轴/离轴 FORJ、单模/多模 FORJ、单通道/多通道 FORJ 等^[3-6]。其中,单通道 FORJ 结构简单、转速高,更适合于高速旋转场合光信号的传输,能实现光纤直接耦合^[7],是目前应用最广泛的 FORJ,但其传输信号容量有限。传统的多通道 FORJ 可以实现光信号的多通道传输,虽然能满足涡轮叶片多点、分布式状态的检测,但其结构复杂、转速低、传输损耗大。

光时分复用和波分复用技术的应用和发展为光信号多通道传输开辟了新的途径。目前,人们已经采用单通道 FORJ 与波分复用技术相结合的手段实现了光信号的大容量传输^[8],但缺点是不能在多个不同部位进行分布式测量。而基于时分复用技术的 FBG 传感器不仅解决了上述问题,而且不同的 FBG 传感器之间不会产生串扰。因此,本文采用单通道 FORJ 结合时分复用技术的方式来实现四通道光信号的传输。

收稿日期:2022-06-29。

作者简介:魏莉(1977—),女,硕士,副教授,主要研究方向为机械装备状态监测技术与应用和光纤光栅传感技术,参与了国家自然科学基金项目、国家 863 项目等多个光纤光栅领域的科研项目研究工作。



1 单通道 FORJ 设计

1.1 单通道 FORJ 结构

对于单通道 FORJ 而言,一般要求其插入损耗小于 2 dB,旋转 FORJ 时插入损耗的变化量(下文简称旋转变量)小于 1 dB。此外,还有最大转速、工作温度、冲击、振动等其它相关技术指标要求。为适应高速和较大振动的场合,本文设计了一种能承受较大轴向载荷的单通道 FORJ(结构如图 1 所示),其部分参数设置如下:选择接触角、极限转速分别为 15° 、20 000 r/min 的角接触球轴承;推力球轴承选择 P4 级,极限转速为 16 000 r/min。

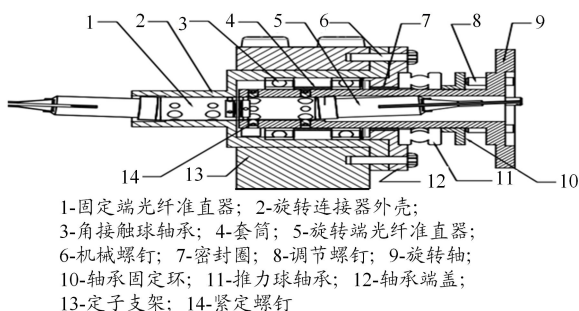


图 1 单通道 FORJ 内部结构图

1.2 单通道 FORJ 性能测试

单通道 FORJ 的主要性能指标包括插入损耗和旋转变量。本文搭建的单通道 FORJ 实验测试平台如图 2 所示。

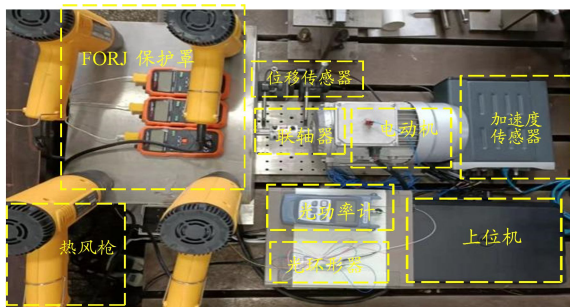


图 2 单通道 FORJ 测试图

静态环境下,在 FORJ 连接轴圆周方向等距布置 12 个标记点,沿顺时针或逆时针方向手动旋转该 FORJ,记录对应标记点处 FORJ 的损耗值,得到单通道 FORJ 在旋转一周内的损耗结果如图 3 所示。可以看出,该单通道 FORJ 的插入损耗在 1.6 dB 上下浮动,旋转变量小于 0.5 dB,均优于国内外水平^[9]。

动态环境下,在 0~4 000 r/min 范围内设置转速增量为 400 r/min,获得单通道 FORJ 的转速和插入损耗值之间的关系如图 4 所示。可以看出,当转速在

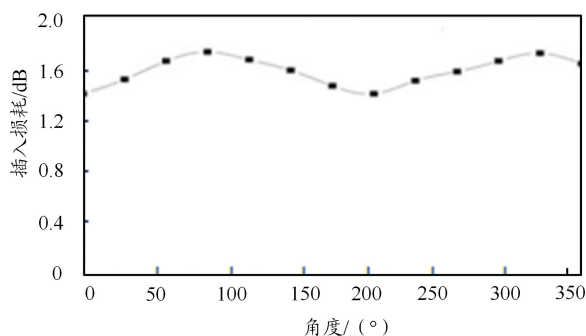


图 3 FORJ 静态损耗图

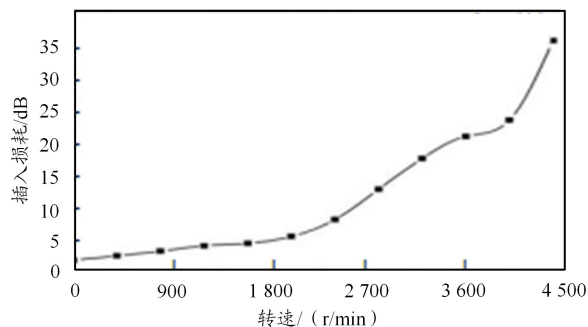


图 4 单通道 FORJ 动态损耗图

2 000 r/min 以下工作时,插入损耗较低;当转速为 2 000~4 000 r/min 时,插入损耗缓慢增加,但仍可以传输信号;当转速超过 4 000 r/min 时,插入损耗急剧增大,导致信号传输中断。

除了测试上述插入损耗、旋转变量以及转速和插入损耗值之间的关系外,本文对所设计的单通道 FORJ 工作温度、冲击和振动进行了测试。测试结果表明:该单通道 FORJ 在 4 000 r/min 以下可以实现光信号的持续传输;在实验温度为 200 $^\circ\text{C}$ 时能完成信号的有效检测;当承受 26 g 的加速度载荷时,旋转轴能在较大径向振幅下有效工作。

2 四通道 FORJ 设计

四通道 FORJ 由 4 个单通道 FORJ (1 个单通道 FORJ 只包含定子、转子部分)、1 个磁光开关、1 个叶片、1 个电动机、1 个控制系统组成,其通过磁光开关的四通道切换功能和单通道 FORJ 在相对旋转设备之间的光信号传输功能完成光信号的四通道传输。四通道 FORJ 原理框图、整体结构分别如图 5、图 6 所示。

2.1 磁光开关的基本工作原理

磁光开关一种是基于法拉第磁效应的光开关,通过外加磁场的变化来改变磁光晶体对入射偏振光偏振面的作用,从而达到光路切换的效果。与传统的

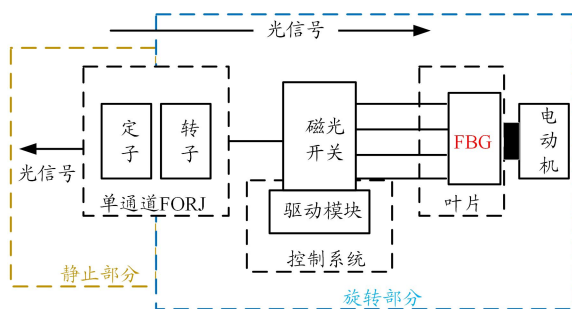


图5 四通道 FROJ 原理框图

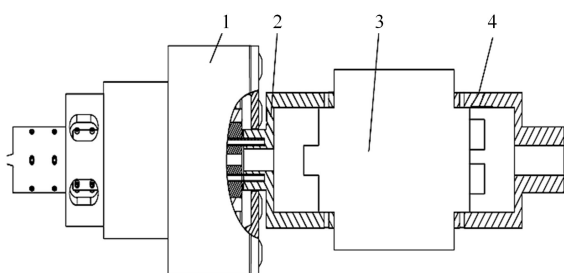
1-单通道FORJ；2-中间连接轴；
3-控制系统的封装结构；4-电机连接轴

图6 四通道 FORJ 整体结构方案

机械光开关相比,磁光开关优势明显,其具有偏振灵敏度低、无运动件、插入损耗小、响应速度快、集成化程度高、串扰小、体积小等优点,切换速度达到了 μs 级。

为了实现光信号在4个通道之间高速切换,本文根据时分复用技术的特点,选用具有4个通道的 M1×4 磁光开关^[10],通过各个光纤光栅反射信号的延时来区分各个光纤光栅传感器的位置,从而实现四通道的性能。M1×4 磁光开关实物图如图7所示。

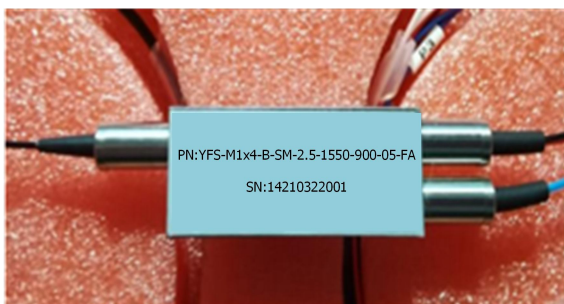


图7 M1×4 磁光开关实物图

2.2 叶片结构与原理

叶片一般为薄壁件,有围带、拉金等结构。本次实验用叶片验证所设计的四通道 FORJ 在旋转机械信息检测上的合理性。考虑到实验条件和成本,在分析时可以简化为自由叶片,类似于等截面悬臂梁模型。本文简化后的等截面直叶片模型如图8所示,叶根部分开有螺纹孔和凸台结构,方便叶片的安装和固定;坐

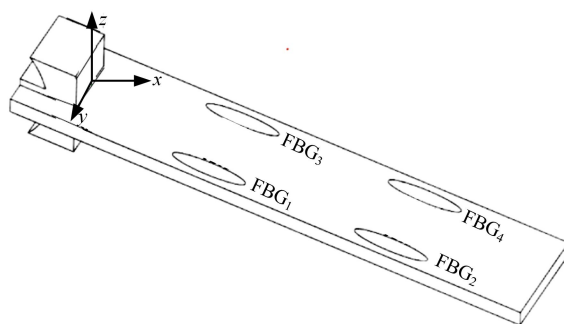


图8 叶片实验模型

表2 叶片相关参数

序号	参数	值	序号	参数	值
1	长/mm	48	5	弹性模量/GPa	210
2	宽/mm	10	6	密度/(kg/m^3)	7 850
3	材料	45 钢	7	热膨胀系数	$1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
4	厚度/mm	1.5	8	泊松比	0.3

标系用于对叶片变形方向进行识别。本文采用的叶片相关参数如表2所示。

2.3 控制系统设计

本文选择 STC89C52RC 微处理器实现对系统的整体控制,具体控制措施如下:使用串口通信方式将单片机串口的逻辑门电路(TTL)电平转换为计算机端口的通用串行线(USB)电平,采用红外遥控方式完成对磁光开关的远程通道选择,设定发光二极管(LED)的显示状态判定选定的通道信息。

为了使磁光开关、控制系统保持稳定,并且固定驱动板电源,本文对控制系统采用封装结构,可避免因为动不平衡造成的失稳现象,其内部结构如图9所示。

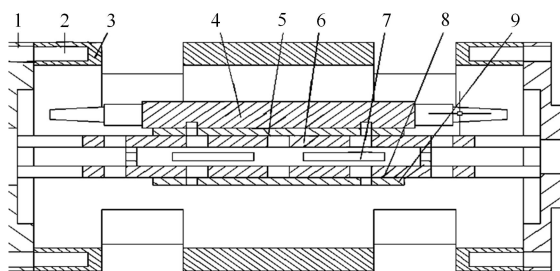
1-封装外壳连接轴；2-螺钉；3-封装外壳；4-磁光开关；
5-驱动板；6-支撑固定板1；7-电源封装壳；
8-支撑固定板2；9-质量块

图9 四通道 FORJ 控制系统内部结构

3 四通道 FORJ 性能测试

本文搭建了四通道 FORJ 插入损耗测试实物图,如图10所示。测试操作步骤如下:打开变频器、电动

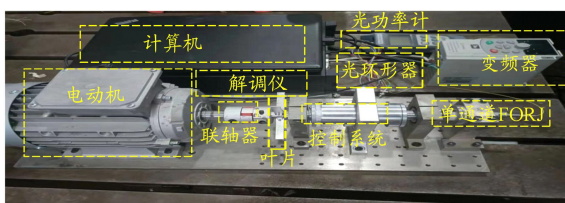


图 10 四通道 FORJ 插入损耗测试实物图

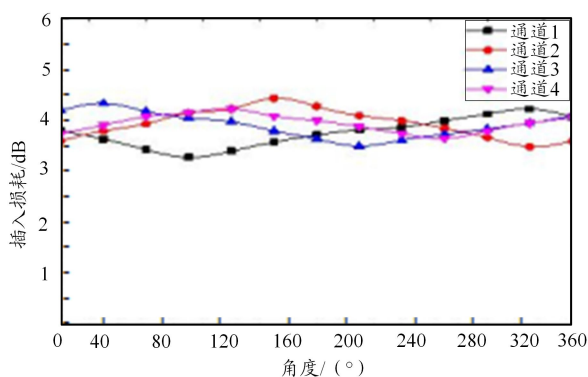


图 11 四通道 FORJ 静态损耗测试结果

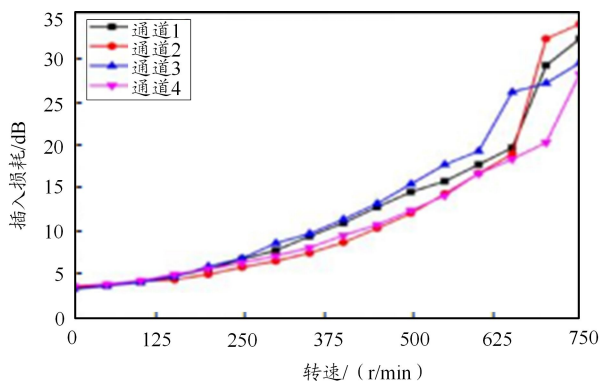


图 12 四通道 FORJ 动态损耗测试结果

机等设备,使用红外遥控切换四通道的选通状态,测试四通道 FORJ 在静态和动态条件下的插入损耗。

静态条件下,四通道 FORJ 的各通道损耗情况如图 11 所示。可以看出,插入损耗小于 4.5 dB,旋转变化量小于 2 dB,能达到国内现有四通道 FORJ 的平均水平,可以满足对信号的测量需求。

动态条件下,使用红外遥控器控制磁光开关的 4 个通道,每间隔 5 s 切换一次通道,并且设置转速增量为 50 r/min,得到四通道 FORJ 各通道转速和损耗的对

应关系如图 12 所示。可以看出,通道 1~通道 4 的插入损耗分别在 650、650、600、700 r/min 转速时插入损耗发生了突变,导致光信号传输中断。因此,该四通道 FORJ 的许用转速设为 600 r/min。

4 结束语

本文基于单通道 FORJ 结构设计了一种四通道 FORJ 结构,并验证了其性能。实验结果表明:所设计的四通道 FORJ 可以在低于 600 r/min 的转速下工作,插入损耗小于 4.5 dB,旋转变量小于 2 dB,达到国内现有四通道 FORJ 的平均水平,满足了对信号的测量需求。设计过程中,由于只对磁光开关及控制系统的封装进行了简单平衡处理,导致四通道 FORJ 在旋转条件下有动不平衡问题发生;实验过程中会预留一段多余的光纤,加大了布线成本和难度;布线的不合理影响了传输信号的质量。这些问题将在今后的研究中得以改进。

参考文献:

- [1] 徐明,李超.四通道单模光纤旋转连接器的研制[J].光电工程,2013,40(1):90-93.
- [2] 贺正权,李育林,胡宝文,等.光纤旋转连接器的最新发展及其应用[J].激光与光电子学进展,2013,50(1):67-71.
- [3] 张尹馨,黄战华,贾大功,等.低耦合损耗的光电混合光纤旋转连接器[J].光子学报,2008,37(9):1173-1176.
- [4] 贾大功,张以谟,井文才.无源光纤旋转连接器的发展[J].仪器仪表学报,2003,24(z1):199-202.
- [5] 米磊.单通道光纤旋转连接器的研究[D].西安:中国科学院研究生院(西安光学精密机械研究所),2010.
- [6] 张群,钱建国,刘一.一种光纤旋转连接器的设计改进[J].现代雷达,2020,42(2):80-84.
- [7] 张伯英,张宏.单通道光纤旋转连接器:CN201464674U[P].2010-05-12.
- [8] 郭华春.光纤旋转连接器结构概述[J].无线通信,2018,8(6):227-233.
- [9] 魏莉,李恒春.单通道单模光纤高速旋转连接器的研制[J].光通信技术,2021,45(7):37-40.
- [10] 吴倩.基于时分复用技术的光纤分布式宽频声波传感技术研究[D].成都:电子科技大学,2020.