

光纤陀螺的初步探讨

张尧禹¹, 张明慧¹, 周德俭²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;

2. 驻二二八厂军代表室, 吉林, 长春 130012)

摘要: 随着科学技术的不断进步, 加工工艺的不断更新, 陀螺也从机械式陀螺向激光陀螺、光纤陀螺等更先进的技术方向发展。介绍光纤陀螺的基本工作原理, 并以集成光学型光纤陀螺的闭环检测为例, 在理论上对光纤陀螺的检测进行初步的讨论。对光纤陀螺某些关键技术及其今后的发展趋势做了阐述。

关键词: 机械式陀螺; 激光陀螺; 光纤陀螺

中图分类号: TN253 文献标识码: A

1 引言

早期的陀螺是从刚体转子的陀螺^[1]开始的, 后发展到平台罗经^[2], 比液浮陀螺, 光学陀螺^[3], 半球谐振陀螺^[4]及激光陀螺^[5], 直到现在的光纤陀螺^[6]。与机电陀螺相比, 光纤陀螺具有许多优点, 对重力加速度不敏感、启动快、搁置寿命长、无机械运动部件、动态范围宽、动态误差小、可靠性好、功耗低、体积小、重量轻、只用直流电源、成本可能要降低等。与激光陀螺相比, 光纤陀螺除了具有可靠性好、寿命长、重量轻和功耗小等优点以外, 还有其它优点, 2000V 高压电源、无克服“自锁”用机械抖动装置、无需超高精度光学加工、不必高性能气体密封等。

2 光纤陀螺的工作原理

图1为光纤陀螺的工作原理图。光源发出的光, 经过分束器1以单一模式传播, 并通过分束器2分成两束光, 绕着光纤圈分别沿着顺时针和逆时针方向传播。这两束光返回来又通过两个分束器到达探测器。探测器的输出代表着两束光返回到分束器1干涉而形成的光强。

当光纤圈不旋转时, 两个光束无传播时间之差, 故无相位和频率之差; 当光纤圈旋转时, 两个光束有传播时间之差, 故有相位和频率之差。其

相移和频移分别称之为 Sagnac 相移和 Sagnac 频移, 分别写成:

$$\Delta\varphi = (4\pi RL / \lambda c) \Omega$$

$$\delta f = (2R / n\lambda) \Omega$$

式中, λ 为光波长, c 为光速, R 为光纤圈半径, L 为光纤总长度, n 为光纤的有效折射率, Ω 为光纤圈的旋转角速率。光纤圈中发生的上述现象称之为 Sagnac 效应。

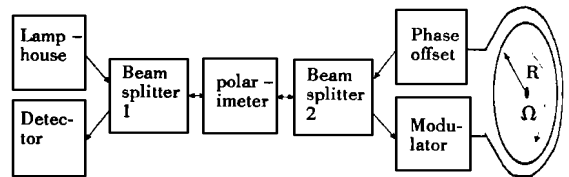


Fig. 1 Working principle of the optical fibre gyroes

Sagnac 相移和频移^[7]与旋转角速率成正比。在探测器输出中, 解调出相移或频移, 就能探测到旋转角速率。在这两束光之间施加一个相位偏置, 便可提高探测灵敏度。对相移, 采用开环检测技术, 其输出为模拟形式; 对于频移, 采用闭环检测技术, 其输出为数字形式。我们可用这样一个比喻: 传统的机电陀螺好比一部老式机电计算机, 激光陀螺则象其后兴起的电子管计算机, 而光纤陀螺就象固态电路计算机。从长远来看, 光纤陀螺必将取代机电陀螺和激光陀螺。

3 光纤陀螺的分类

光纤陀螺的分类有很多种形式, 目前主要根据其采用的光学元器件类型进行分类, 大致可分为集成光学型和全光纤型两大类^[8]。集成光学型陀螺, 除了光源、探测器和光纤圈之外, 将光信息处理所需的分束器、偏振器、偏置器、相位和频率调制器等光学元器件全部或部分集成在单一铌酸锂晶体芯片上, 以构成集成光路组件。现在已有3个、5个、8个、13个光学元器件集成的集成光路组件应用于光纤陀螺。全光纤陀螺对光信息处理所需的所有光学元器件均采用光纤器件^[9]。

对于使用环境恶劣和需要一定批量的实际应用来说, 光纤陀螺应当是小型、坚固、可靠和便宜。在这方面, 全光纤型陀螺不如集成光学型光纤陀螺。全光纤型陀螺不宜采用现代平面工艺, 而集成光学型陀螺可在平面工艺线上批量生产, 必将能大幅度降低成本和售价。显然, 光纤陀螺的集成化符合现代光电子学工艺的发展趋势, 是光纤陀螺的发展方向。

4 光纤陀螺的检测

光纤陀螺一般采用两种检测技术, 即闭环检测技术和开环检测技术^[10], 其中闭环检测技术有

动态范围宽、标度因子稳定和输出线性好等优点。所以目前广泛采用闭环检测的方式。下面以闭环检测为例, 对集成光学型光纤陀螺的检测进行分析。

图2为集成光学型光纤陀螺检测原理图。光源发出的光, 经过分束器和偏振器分成相同功率的两束光, 分别耦合入保偏光纤圈的两段, 绕着保偏光纤圈沿顺时针和逆时针方向传播。这两束光又反过来经过分束器2到偏振器处发生干涉, 又经过分束器1射入探测器。偏振器作为共用的输入/输出端, 保证系统以单一模式工作。偏置器在光纤圈中沿相反方向传播的两束光之间引放动态偏置使探测器的输出对旋转角速率的灵敏度最大。为此, 将具有一定幅度并与光波在光纤圈中的延迟时间同步的方波脉冲施加到偏置器。与旋转角速率有关的探测器输出, 经过速率解调、环型滤波和积分, 用做压控振荡器的输入, 压控振荡器的锯齿波馈送到调制器, 使光纤圈中沿相反方向传播的两束光之间产生跟踪频率调制, 以此抵消光纤圈中的 Sagnac 频移, 实现探测器的零输出。用计数器对压控振荡器的脉冲翻转数目进行计数。其中, 每一个脉冲对应于固定的正或负的角度增量, 正号或负号与锯齿波斜坡的极性有关。对于计数器输出, 用微处理机完成标度因子修正。

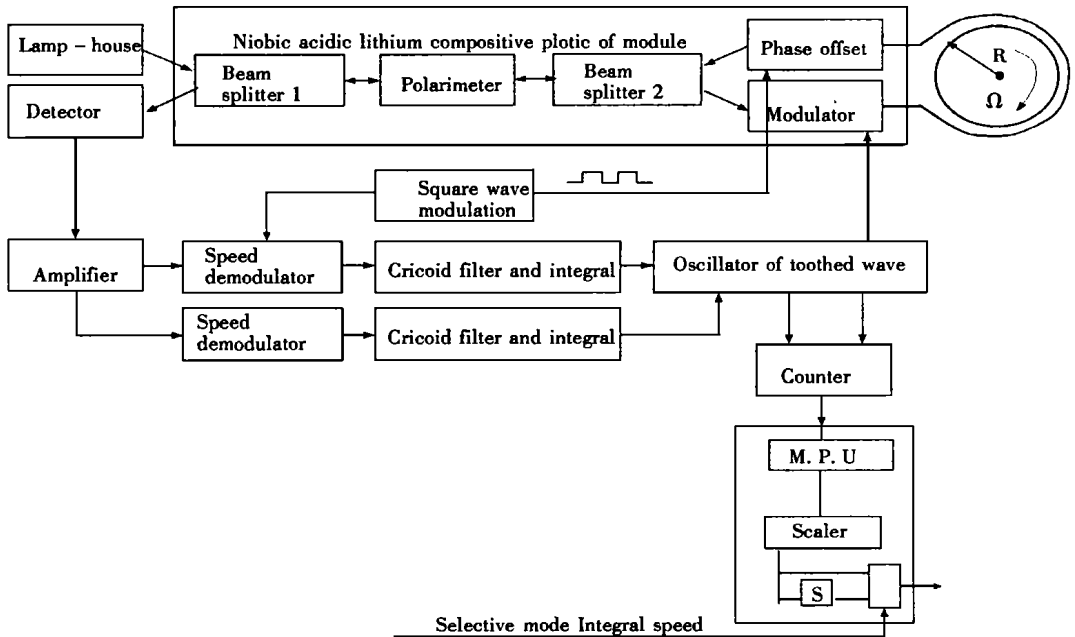


Fig. 2 Measuring principle of the integrated optical fibre gyro

最后,将与旋转角速率有关的信息输出给用户,输出为数字形式,完成检测。这种检测技术适用于高性能民用飞机,战术导弹,火炮控制及声纳等的制导工作。

5 结 束 语

光纤陀螺是一种比较先进的制导设备,其精度随科学手段的提高而提高。目前,光纤陀螺的工作波长从短波 0.85 μm 向长波 1.3 μm 和 1.5 μm 发展。采用长波长,有利于提高集成光学型陀螺的性能,其原因在于长波长不仅可以显著降低由

光纤圈中反向瑞利散射引起的噪声^[12],而且可以减少铌酸锂集成光路的加工公差和它同单模光纤的对准公差。

光纤陀螺可用于体现国防尖端科学技术水平的三大战略武器——洲际导弹,远程轰炸机和核潜艇的制导,也广泛应用于飞机和汽车的导航、火炮和雷达系统的稳定控制、石油钻井和机器人控制等国民经济和国防建设的许多重要领域,其应用前景十分光明。

随着工艺设备,加工手段,材料科学的进一步发展,光纤陀螺的研制将更趋完备,其产品也将在各个领域占有更大的市场。

参考文献:

- [1] Magnus. 贾书惠,等.陀螺[M].北京:国防工业出版社,1983.
- [2] 陆元九.陀螺及惯性导航原理[M].北京:科学出版社,1990.
- [3] 布尔加科夫.郑元熙等.陀螺仪实用理论[M].北京:国防工业出版社,1980.
- [4] 陆恺,等.陀螺仪原理及应用[M].北京:国防工业出版社,1981.
- [5] 林士谔,等.陀螺仪理论及其应用译文集[M].北京:科学出版社,1984.
- [6] 萨维特编.陀螺仪理论和设计[M].北京:科学出版社,1986.
- [7] Scarborough J B.陀螺仪理论和应用[M].北京:国防工业出版社,1985.
- [8] 麦尔金,郑元熙.陀螺系统[M].北京:工业国防出版社,1983.
- [9] 王洪兰.陀螺理论及在工程测量中的应用[M].北京:国防工业出版社,1994.
- [10] 以光衡.陀螺理论与应用[M].北京:航空航天大学出版社,1997.
- [11] 陀螺仪机械加工经验汇编组.陀螺仪机械加工经验汇编[M].北京:国防工业出版社,1966.
- [12] 斯卡尔鲍 J B.林士谔,等.陀螺仪理论和应用[M].北京:国防工业出版社,1981.

Research on optical fibre gyroes

ZHANG Yao-yu¹, ZHANG Ming-hui¹, ZHOU De-jian²

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

(2. The Military Delegates Office to 228 Factory, Changchun 130012, China)

Abstract: Along with the scientific advancement and technology updating, mechanical gyroes are being developed towards more advanced laser and optical fiber gyroes. Taking the close-loop testing of the integrated optical fiber gyroes as an example, the paper gives a discussion on the testing of the optical fiber gyroes theoretically. In addition, the working principles, some key technologies, as well as their developing trends are described in detail.

Key words: mechanical gyroes; laser gyroes; optical fibre gyroes

作者简介:张尧禹(1973-),男,辽宁省黑山县人。1996年毕业于吉林工业大学机械系,同年分配到长春光学精密机械与物理研究所光电部。2000年6月获长春光机所工学硕士学位,现攻读机械制造及其自动化专业博士。作为技术骨干参加多项国家级重大科研项目,主要从事靶场设备,瞄准系统,跟踪系统的研究工作。