

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日

2014 年 11 月 13 日 (13.11.2014)

(10) 国际公布号
W O 2014/180451 A 2

- (51) 国际分类号： 无分类
- (21) 国际申请号： PCT/CN20 14/08 1079
- (22) 国际申请日： 2014 年 6 月 30 日 (30.06.2014)
- (25) 申报语言： 中文
- (26) 公布语言： 中文
- (30) 优先权： 2013 10171 187.7 2013 年 5 月 10 日 (10.05.2013) CN
- (71) 申请人：浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号 Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人：宋开臣 (SONG, Kaichen); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号 Zhejiang 310058 (CN)。于晋龙 (YU, Jinlong); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号 Zhejiang 310058 (CN)。叶凌云 (YE, Lingyun); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号 Zhejiang 310058 (CN)。
- (74) 代理人：杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国

浙江省杭州市西湖区玉古路 147 号黄鸿年科技综合大楼 215 室邱启旺 Zhejiang 310013 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, ML, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

[见续页]

(54) Title: OPTICAL CARRIER MICROWAVE GYROSCOPE METHOD FOR DETECTING ANGULAR VELOCITY

(54) 发明名称：一种检测角速度的光载微波陀螺方法

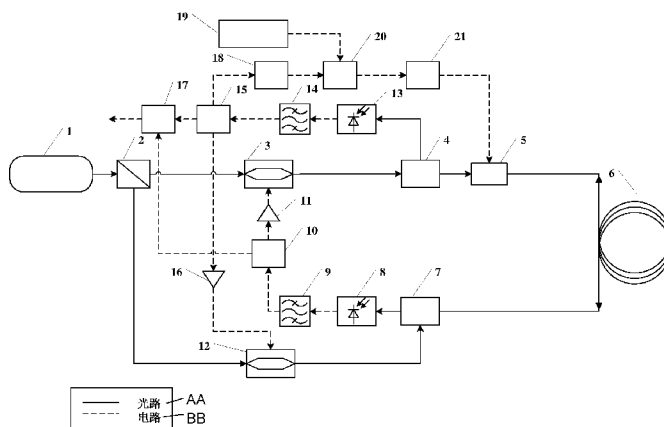


图 1 / FIG. 1

AA Optical circuit
BB Electrical circuit

(57) Abstract: The present invention discloses an optical carrier microwave gyroscope method for detecting angular velocity. The present invention achieves a bi-directional photoelectric oscillator, using phase-locked frequency multiplier technology in fiber-optic rings to produce microwaves which are highly stable in both the clockwise and counterclockwise directions, used in the method for measuring rotational angular velocity. The core lies in the use of frequency-locking technology, taking one direction of microwave oscillation frequency and locking same into a highly stable standard time reference source, thus stabilizing the relative cavity length of the other direction of the photoelectric oscillator, eliminating the temperature drift and spurious optical noise of fiber-optic-ring-shaped cavities, and greatly enhancing the signal to noise ratio of a bi-directional oscillation differential frequency signal brought about by the Sagnac effect. Said optical carrier microwave gyroscope method for detecting angular velocity is highly accurate and easy to implement.

(57) 摘要：

[见续页]

**本国际公布:**

- 不包括国际检索报告，在收到该报告后将重新公布(细则 48.2(g))。

- 包括关于请求恢复一项或多项优先权要求的信息(细则 26 之二.3 和 48.20)(vii)。

本发明公开了一种检测角速度的光载微波陀螺方法。本发明实现一种双向光电振荡器，利用锁相倍频技术在光纤环中产生顺逆双向高稳定度的微波，用于测量旋转角速度的方法。其核心在于采用锁频技术，将一个方向的微波振荡频率锁定到高稳定度标准时间参考源上，稳定了另一个方向光电振荡器的相对腔长，消除了光纤环形腔的温度漂移和光学寄生噪声，极大地提高了由萨格纳克效应(Sagnac effect)引起的双向振荡差频信号的信噪比。本发明检测角速度的光载微波陀螺方法具有测量精度高、易实现等特点。

一种检测角速度的光载微波陀螺方法

技术领域

本发明属于高精度陀螺技术领域，尤其涉及一种检测角速度的光载微波陀螺方法。

背景技术

在惯性导航领域，通常是采用陀螺仪检测载体旋转角速度。陀螺仪被广泛应用于空间飞行器、飞机、导弹、潜艇、舰船等制导控制，在军事、工业、科学等领域里的精密测量有重要作用。常见的高精度陀螺仪主要有三种类型：机械陀螺、激光陀螺和光纤陀螺。激光陀螺和光纤陀螺皆为光学陀螺仪，虽然稳定度还不及机械陀螺，但是具有结构紧凑、灵敏度高等特点，目前占据高精度陀螺的大部分市场份额。

光学陀螺检测角速度的原理是基于萨格纳克效应（Sagnac effect）。在闭合光路中，由同一光源发出的沿顺时针（CW）和逆时针方向（CCW）传输的两束光由于转动而产生不同的光程差，从而产生相位差或频率差。干涉式光纤陀螺检测角速度的方法是通过检测顺时针方向（CW）和逆时针方向（CCW）传输的两束光的相位差来确定闭合光路的旋转角速度。传统干涉式光纤陀螺检测角速度的方法由于光功率利用率低，温度误差、寄生噪声等限制，其精度难以进一步提升。谐振式光学陀螺检测角速度的方法是通过检测顺时针方向（CW）和逆时针方向（CCW）两束光谐振频率差来确定旋转角速度。传统谐振式光学陀螺主要是激光陀螺和谐振式光纤陀螺。激光陀螺是最早最成熟的光学陀螺，也是目前精度最高的光学陀螺，但是这种检测角速度的方法缺点是存在闭锁效应，系统维护成本高，生产难度大。谐振式光纤陀螺检测角速度的方法其优点主要是需要的光纤长度短，易于微型化，但是对光源要求很高，需要窄带线宽的强相干光源，目前实现的谐振式光纤陀螺测量精度较低，难以达到实用化。

发明内容

本发明的目的在于克服现有光学陀螺检测角速度方法的不足，提供一种检测角速度的光载微波陀螺方法。

本发明检测旋转角速度的方法包括以下步骤：一种检测角速度的光载微波陀螺方法，其特征在于，该方法在检测角速度的光载微波陀螺上实现，所述检测角速度的光载微波陀螺包括第一激光器、光分束器、第一电光调制器、第一

光耦合器、频率调节器、光纤环形腔、第二光耦合器、第一光电探测器、第一电滤波器、第一微波功分器、第一电放大器、第二电光调制器、第二光电探测器、第二电滤波器、第二微波功分器、第二电放大器、差频检测电路、分频器、标准时间源、鉴相器、低通滤波器等部分；该方法包括以下步骤：

步骤 1：第一激光器输出的光经过光分束器，分为两束光，一束光沿顺时针方向 (CW) 送入第一电光调制器，经过调制后的光送入第一光耦合器，从第一光耦合器输出的光经过频率调节器后进入光纤环形腔，从环形腔出射的光再经过第二光耦合器送入第一光电探测器，将光信号转换成电信号，之后送入第一电滤波器，滤波后的微波电信号送入第一微波功分器，第一微波功分器有两路输出，第一路输出经过电放大器连接到第一电光调制器，形成一个正反馈振荡回路，第二路输出作为顺时针方向谐振微波输出，用 RF#1 表示。

步骤 2、光分束器分出的另一束光沿逆时针方向 (CCW) 送入第二电光调制器，再经过第二光耦合器进入光纤环形腔，从环形腔出射的光再经过频率调节器和第一光耦合器送入第二光电探测器，将光信号转换成电信号，之后送入第二电滤波器，滤波后的微波电信号送入第二微波功分器，第二微波功分器有三路输出，第一路输出经过第二电放大器连接到第二电光调制器，形成另一个正反馈振荡回路，第二路输出作为作为顺时针方向谐振微波输出，用 RF#2 表示，第三路输出经过分频器分频后同标准时间源一同送入鉴相器，鉴相输出经过低通滤波器后连接到频率调节器，用于调节谐振频率，从而形成一个单向锁频回路。

步骤 3、差频检测电路检测出步骤 1 获得的顺时针方向的谐振微波输出 RF#1 和步骤 2 获得的逆时针方向的谐振微波输出 RF#2 的频率差，即拍频，记为 Δf 。

步骤 4、通过以下公式，即可获得旋转角速度 Ω_r ，

$$\Omega_r = \frac{\lambda L}{4S} \Delta f ;$$

其中， S 为环形光路包围的面积， λ 为微波振荡中心频率对应的波长， L 为环形腔周长。

本发明的有益效果为：本发明结合光电振荡器技术和传统谐振光学陀螺技术，构建了基于萨格纳克效应 (Sagnac effect) 原理的检测角速度的光载微波陀螺方法。该方法通过在长光纤环中光电振荡获得高度稳定的微波振荡代替传统的光波振荡，并用于旋转角速度的测量。这种方法的巨大优势是微波振荡信号的频率稳定度极高，可以达到 10^{-13} ，并且可以将一个方向振荡频率锁定到稳定度更高的标准时间参考源上，比如原子钟，从而稳定了另一个方向光电振荡器的相对腔长，消除了光纤环形腔的温度漂移和光学寄生噪声。同时，微波信号

的差频检测的精度可以远远高于光学差频检测，前者可以通过放大倍频等多种方法检测频率差，提高信噪比，而后者是通过光电探测器进行检测，因而受限于光功率的大小，信噪比难以提高。本发明提供的角速度检测方法具有测量精度高、易实现等特点，可以满足高精度陀螺应用的要求。

附图说明

图 1 是一种应用本发明检测角速度的光载微波陀螺方法的系统组成框图；

图 2 是另一种应用本发明检测角速度的光载微波陀螺仪方法的系统组成框图；

图中，第一激光器 1、光分束器 2、第一电光调制器 3、第一光耦合器 4、频率调节器 5、光纤环形腔 6、第二光耦合器 7、第一光电探测器 8、第一电滤波器 9、第一微波功分器 10、第一电放大器 11、第二电光调制器 12、第二光电探测器 13、第二电滤波器 14、第二微波功分器 15、第二电放大器 16、差频检测电路 17、分频器 18、标准时间源 19、鉴相器 20、低通滤波器 21、第二激光器 22。实线部分表示光路连接，是光通路；虚线部分表示电路连接，是电通路。

具体实施方式

本发明的测量原理简述如下：

本发明中采用激光器、电光调制器、光耦合器、光纤环形腔、光电探测器、电滤波器、电放大器等构成两个双向正反馈环路，利用调制及滤波选频得到稳定、频谱干净的双向射频/微波信号，用于敏感旋转角速度。同时，采用锁相环技术，通过反馈调节控制谐振频率，将其中一个方向的环路振荡的射频/微波信号锁定到高精度标准时间参考源上。

本发明基于光电振荡技术，属于双向光电振荡方法。光电振荡器的振荡环路起振模式的间隔即基频 f_b 由环路对光信号的延时决定，即 $f_b = 1/\tau$ ，其中 τ 为延时量，由 $\tau = nL/c$ 确定，其中 n 为光纤折射率， L 为环路长度， c 为光速。所以，当光程发生变化时，起振模式的间隔发生变化，输出的谐振微波频率发生变化。当陀螺仪以角速度 Ω_r 旋转时，顺时针方向 (CW) 和逆时针方向 (CCW) 传播的光由于萨格纳克效应 (Sagnac effect) 导致光程差：

$$\Delta L = L_{CW} - L_{CCW} = \frac{4S}{c} \Omega_r$$

其中 L_{CW} ， L_{CCW} 为顺逆时针方向的光程， S 为环形光路包围的面积， c 为光速， Ω_r 为旋转角速度。

萨格纳克效应 (Sagnac effect) 引起的顺逆时针双向光电振荡输出的谐振微波的频率差为：

$$\Delta f = \frac{4S}{\lambda L} \Omega_r$$

其中 λ 为微波振荡中心频率对应的波长， L 为环形腔周长。

所以通过检测正反向振荡输出的射频/微波信号拍频可以实现旋转角速度的测量。

下面结合附图 1 说明一种具体的实施方式。本发明检测角速度的光载微波陀螺方法在检测角速度的光载微波陀螺上实现，所述检测角速度的光载微波陀螺包括第一激光器 1、光分束器 2、第一电光调制器 3、第一光耦合器 4、频率调节器 5、光纤环形腔 6、第二光耦合器 7、第一光电探测器 8、第一电滤波器 9、第一微波功分器 10、第一电放大器 11、第二电光调制器 12、第二光电探测器 13、第二电滤波器 14、第二微波功分器 15、第二电放大器 16、差频检测电路 17、分频器 18、标准时间源 19、鉴相器 20、低通滤波器 21 等部分。

该方法包括以下步骤：

1、第一激光器 1 输出的光经过光分束器 2，分为两束光，一束光沿顺时针方向（CW）送入第一电光调制器 3，经过调制后的光送入第一光耦合器 4，从第一光耦合器 4 输出的光经过频率调节器 5 后进入光纤环形腔 6，从环形腔出射的光再经过第二光耦合器 7 送入第一光电探测器 8，将光信号转换成电信号，之后送入第一电滤波器 9，滤波后的微波电信号送入第一微波功分器 10，第一微波功分器 10 有两路输出，第一路输出经过电放大器 11 连接到第一电光调制器 3，形成一个正反馈振荡回路，第二路输出作为顺时针方向谐振微波输出，用 RF#1 表示。

2、光分束器 2 分出的另一束光沿逆时针方向（CCW）送入第二电光调制器 12，再经过第二光耦合器 7 进入光纤环形腔 6，从环形腔出射的光再经过频率调节器 5 和第一光耦合器 4 送入第二光电探测器 13，将光信号转换成电信号，之后送入第二电滤波器 14，滤波后的微波电信号送入第二微波功分器 15，第二微波功分器 15 有三路输出，第一路输出经过第二电放大器 16 连接到第二电光调制器 12，形成另一个正反馈振荡回路，第二路输出作为作为顺时针方向谐振微波输出，用 RF#2 表示，第三路输出经过分频器 18 分频后同标准时间源 19 一同送入鉴相器 20，鉴相输出经过低通滤波器 21 后连接到频率调节器 5，用于调节谐振频率，从而形成一个单向锁频回路。

3、差频检测电路 17 检测出步骤 1 获得的顺时针方向的谐振微波输出 RF#1 和步骤 2 获得的逆时针方向的谐振微波输出 RF#2 的频率差，即拍频，记为 Δf 。

4、通过以下公式，即可获得旋转角速度 Ω_r 。

$$\Omega_r = \frac{\lambda L}{4S} \Delta f ;$$

其中， S 为环形光路包围的面积， λ 为微波振荡中心频率对应的波长， L 为环形腔周长。

附图 2 是第二种应用本发明检测角速度的光载微波陀螺方法的系统，与第一种实施方式的区别是，顺逆时针方向输入的光由两个独立的激光器提供，其余部分的连接关系和工作过程相同。

本技术领域的人员根据本发明所提供的文字描述、附图以及权利要求书能够很容易在不脱离权利要求书所限定的本发明的思想和范围条件下，可以做出多种变化和改动。凡是依据本发明的技术思想和实质对上述实施例进行的任何修改、等同变化，均属于本发明的权利要求所限定的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种检测角速度的光载微波陀螺方法，其特征在于，该方法在检测角速度的光载微波陀螺上实现，所述检测角速度的光载微波陀螺包括第一激光器（1）、光分束器（2）、第一电光调制器（3）、第一光耦合器（4）、频率调节器（5）、光纤环形腔（6）、第二光耦合器（7）、第一光电探测器（8）、第一电滤波器（9）、第一微波功分器（10）、第一电放大器（11）、第二电光调制器（12）、第二光电探测器（13）、第二电滤波器（14）、第二微波功分器（15）、第二电放大器（16）、差频检测电路（17）、分频器（18）、标准时间源（19）、鉴相器（20）、低通滤波器（21）等部分；该方法包括以下步骤：

步骤 1：第一激光器 1 输出的光经过光分束器（2），分为两束光，一束光沿顺时针方向（CW）送入第一电光调制器（3），经过调制后的光送入第一光耦合器（4），从第一光耦合器（4）输出的光经过频率调节器（5）后进入光纤环形腔（6），从环形腔出射的光再经过第二光耦合器（7）送入第一光电探测器（8），将光信号转换成电信号，之后送入第一电滤波器（9），滤波后的微波电信号送入第一微波功分器（10），第一微波功分器（10）有两路输出，第一路输出经过电放大器（11）连接到第一电光调制器（3），形成一个正反馈振荡回路，第二路输出作为顺时针方向谐振微波输出，用 RF#1 表示；

步骤 2、光分束器（2）分出的另一束光沿逆时针方向（CCW）送入第二电光调制器（12），再经过第二光耦合器（7）进入光纤环形腔（6），从环形腔出射的光再经过频率调节器（5）和第一光耦合器（4）送入第二光电探测器（13），将光信号转换成电信号，之后送入第二电滤波器（14），滤波后的微波电信号送入第二微波功分器（15），第二微波功分器（15）有三路输出，第一路输出经过第二电放大器（16）连接到第二电光调制器（12），形成另一个正反馈振荡回路，第二路输出作为顺时针方向谐振微波输出，用 RF#2 表示，第三路输出经过分频器（18）分频后同标准时间源（19）一同送入鉴相器（20），鉴相输出经过低通滤波器（21）后连接到频率调节器（5），用于调节谐振频率，从而形成一个单向锁频回路；

步骤 3、差频检测电路（17）检测出步骤 1 获得的顺时针方向的谐振微波输出 RF#1 和步骤 2 获得的逆时针方向的谐振微波输出 RF#2 的频率差，即拍频，记为 Δf ；

步骤 4、通过以下公式，即可获得旋转角速度 Ω_r ，

$$\Omega_r = \frac{\lambda L}{4S} \Delta f ;$$

其中， S 为环形光路包围的面积， λ 为微波振荡中心频率对应的波长， L 为环形腔周长。

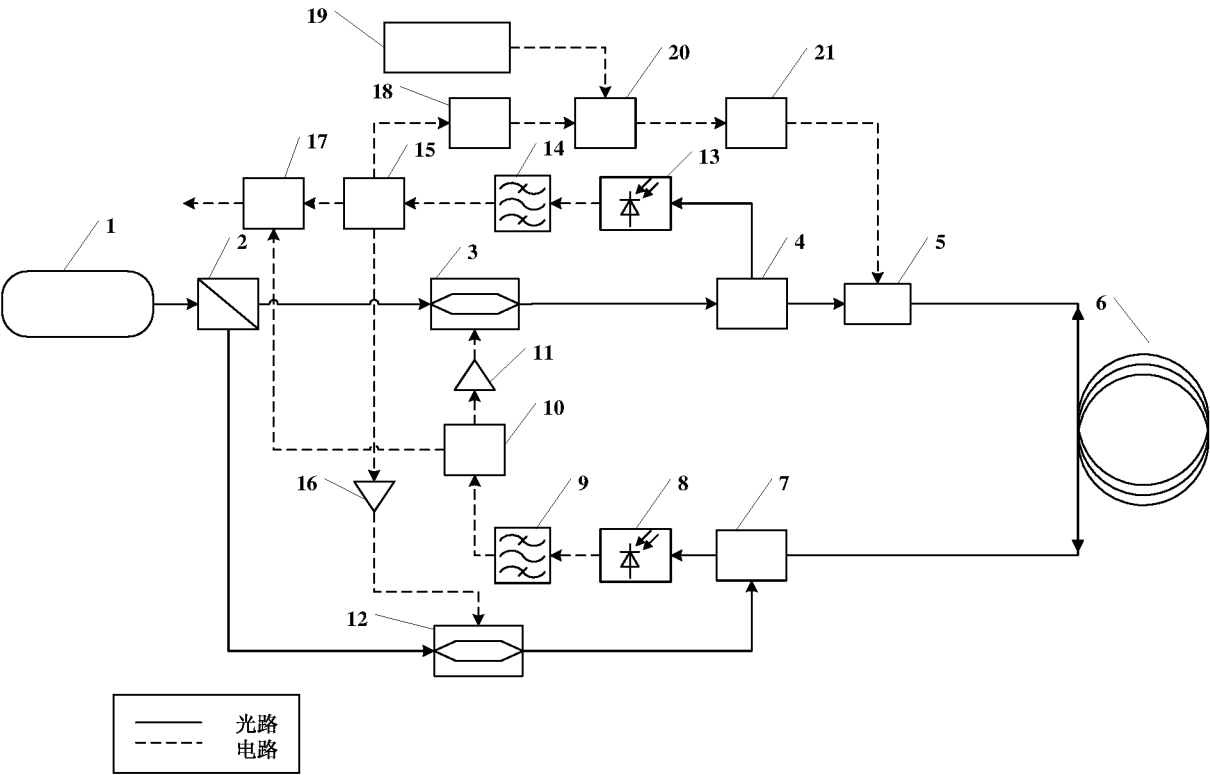


图 1

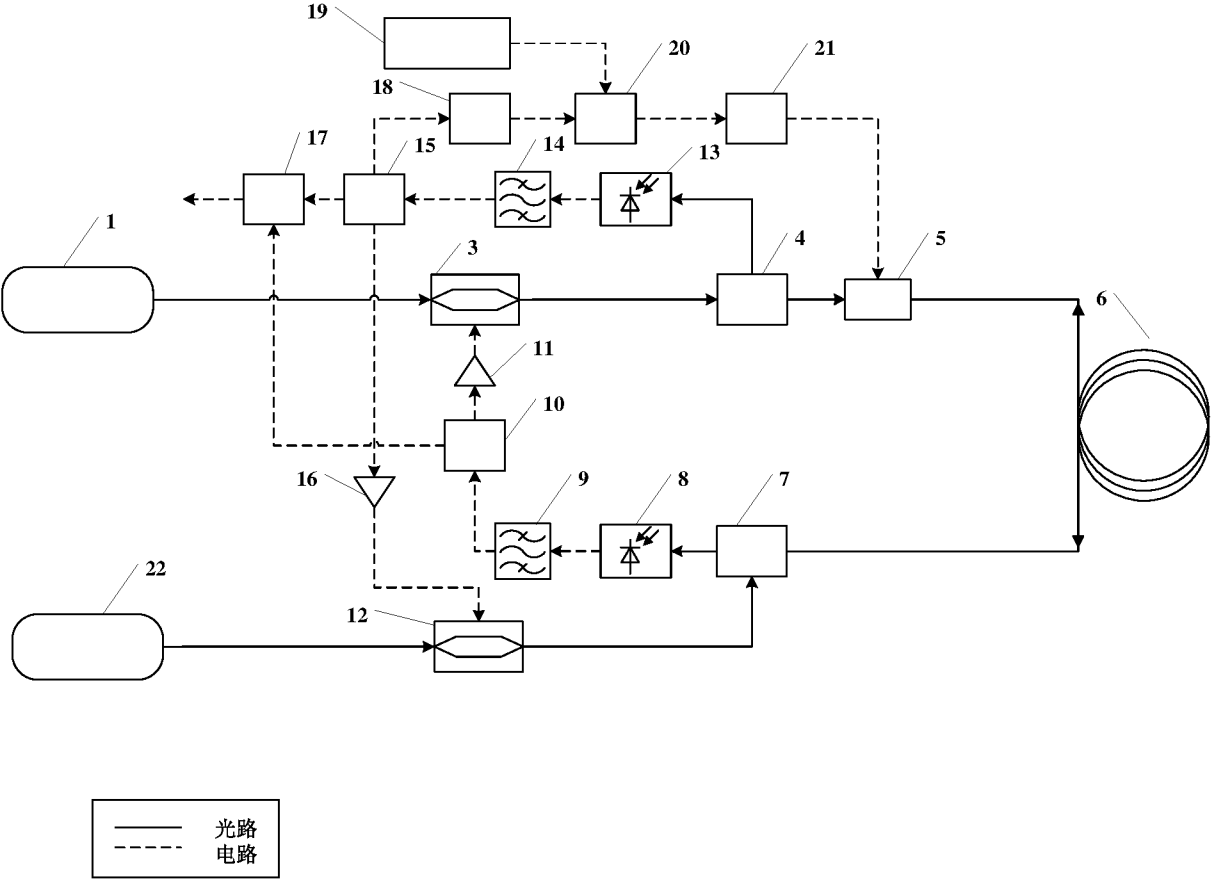


图 2