



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112468233 A

(43) 申请公布日 2021.03.09

(21) 申请号 202011319870.7

(22) 申请日 2020.11.23

(71) 申请人 长沙军民先进技术研究有限公司
地址 410000 湖南省长沙市高新开发区尖山路39号长沙中电软件园总部大楼G0219

(72) 发明人 黄德翼 柳祚前 梁迅 王琴
朱岳衡 杨子军 冯蕾 唐宇

(74) 专利代理机构 长沙市护航专利代理事务所
(特殊普通合伙) 43220
代理人 莫晓齐

(51) Int. Cl.
H04B 10/25 (2013.01)
H04B 10/556 (2013.01)
G01H 9/00 (2006.01)

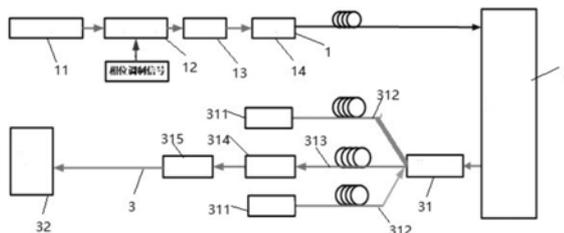
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统

(57) 摘要

本发明提供了一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,包括激光调制装置、光纤水听器系统及拾取信号幅度后处理模块,光纤水听器系统包括光纤水听器及光纤水听器阵列,光纤水听器阵列分别与激光调制装置和拾取信号幅度后处理模块连接,激光调制装置施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号,保障光纤水听器阵列工作所需光功率,光纤水听器阵列拾取与激光调制装置施加的相位调制幅度和频率相关的信号,光纤水听器阵列拾取的信号在所述拾取信号后处理模块中进行光功率放大及预处理。本发明在激光器输出端增加相位调制,综合系统参数合理的配置相位调制幅度和频率,从而有效提高系统最大入纤功率和传输距离,同时保持较低的相位噪声。



1. 一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,包括激光调制装置(1)、光纤水听器系统及拾取信号幅度后处理模块(3),所述光纤水听器系统包括光纤水听器及光纤水听器阵列(2),所述光纤水听器阵列(2)分别与激光调制装置(1)和拾取信号幅度后处理模块(3)连接,所述激光调制装置(1)施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号,保障所述光纤水听器阵列(2)工作所需光功率,所述光纤水听器阵列(2)拾取与所述激光调制装置(1)施加的相位调制幅度和频率相关的信号,光纤水听器阵列(2)拾取的信号在所述拾取信号后处理模块(3)中进行光功率放大及预处理。

2. 根据权利要求1所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述激光调制装置(1)包括可依次光连接的窄线宽激光光源(11)、相位调制器(12)、声光调制器(13)及掺铒光纤放大器(14),所述掺铒光纤放大器(14)与所述光纤水听器阵列(2)通过光纤连接,所述窄线宽激光光源(11)产生单频激光,单频激光经由所述相位调制器(12)通过对应幅度和频率调制产生多频激光,多频激光经所述声光调制器(13)产生脉冲光信号,经所述掺铒光纤放大器(14)放大后经光纤传输后进入所述光纤水听器阵列(2)。

3. 根据权利要求1所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述拾取信号幅度后处理模块(3)包括铟纤放大模块(31)及光电信号处理模块(32),经相位调制幅度和频率的激光经过所述光纤水听器阵列(2)后进入所述铟纤放大模块(31)进行功率放大,放大后的信号光经所述光电信号处理模块(32)将光信号转换成电信号。

4. 根据权利要求3所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述铟纤放大模块(31)为双向泵浦,对信号光进行远程放大,包括两个大功率激光器(311)、两个泵浦功率传输光纤(312)、传输光纤(313)、尾端拉曼放大器(314)、前置光纤放大器(315),两个所述大功率激光器(311)经过两个所述泵浦功率传输光纤(312)进行双向远程泵浦,对信号光进行远程放大,放大后的信号光再经过所述传输光纤(313)进行传输,再经过所述尾端拉曼放大器(314)在所述传输光纤(313)尾端进行反向泵浦,再经过所述前置光纤放大器(315)进行功率放大后进入所述光电信号处理模块(32)。

5. 根据权利要求2所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号参数获取方法为:

步骤S1、将拾取的信号转换成输出电流信号波形,获得对应波形幅度及频率算法;

步骤S2、根据电流信号波形特征及光纤水听器探头的两臂的光程差获得激光调制频率算法;

步骤S3、由于相位调制对光纤水听器系统带来的附加噪声的来源是多频光边带之间的拍频导致拾取信号幅度减小带来的,对应获得相位调制器(12)施加的调制幅度算法;

步骤S4、根据步骤S2中调制频率算法及步骤S3中调制幅度算法确定调制幅度及调制频率。

6. 根据权利要求5所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述步骤S1具体为:对激光施加单频余弦调制,拾取的信号经光电转换器将光信号转换为电流信号,对其进行贝塞尔函数展开后的电流信号由 $\omega_m/2$ 及其多次谐波项构成,其中, ω_m 表示调制频率;

光电转换器的输出电流信号可表示为：

$$I = \alpha J_0(C) \cos[B \cos(\omega_m(t + \Delta t)) + \varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)]$$

$\sigma J_0(C)$ 代表拾取的信号幅度,其中 $C = 2A \sin(\omega_m \Delta t / 2)$, A 表示调制幅度,系统相位噪声包含在 $\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)$ 项中,可知相位调制对该相位噪声项并未造成影响;

当光纤水听器的光程差一定,拾取的信号幅度会随调制幅度 A 与调制频率 ω_m 相应发生变化;

通过相位调制信号频率与光纤水听器探头的两臂光程差之间的匹配,即 $\omega_m \Delta t = 2k\pi$, k 为正整数时, $C = 0$, $J_0(C) = 1$ 拾取信号幅度 $\sigma J_0(C)$ 取极大值,拾取信号幅度增加会导致信噪比增强,从而有效抑制了相位调制带来的相位噪声。

7. 根据权利要求6所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述步骤S2具体为:

光纤水听器系统拾取的信号幅度与相位调制幅度和调制频率有关;

当光纤水听器探头的两臂光程差一定,拾取信号幅度会随调制幅度 A 与调制频率 ω_m 相应发生变化,满足匹配条件 $\omega_m \Delta t = 2k\pi$, $k = 1$ 时,光纤水听器探头的两臂光程差 $L = 2n_1 l$, l 为光纤水听器探头的臂差,则有相位调制频率:

$$f_m = 2\pi / \omega_m = 2\pi / (2k\pi / \Delta t) = k / \Delta t = kc / L$$

其中 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 为光在真空中的传播速度。

8. 根据权利要求7所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述步骤S3具体为:

相位调制对光纤水听器系统带来的附加噪声的来源是多频光边带之间的拍频导致拾取信号幅度减小带来的,拾取的信号幅度与 $J_0(C)$ 成正比,其中 $C = 2A \sin(\omega_m \Delta t / 2)$;

当施加单频相位调制时, C 随调制频率变化在 $0 \sim 2A$ 之间取值,导致拾取信号幅度发生相应变化;

当满足匹配条件时需对相位调制器(12)施加的调制幅度为:

$$V = AV_\pi / \pi$$

A 为相位调制幅度, V_π 为相位调制器(12)的半波电压。

9. 根据权利要求8所述的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其特征在于,所述步骤S4具体为:

计算确定调制幅度及调制频率,当满足匹配条件时,调制频率大于自然布里渊增益线宽,布里渊散射阈值由调制产生的最大边带功率决定;

通过合理设计调制参数,取调制幅度为 A 的整数倍。

一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤水听器技术领域,特别涉及一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统。

背景技术

[0002] 随着相位调制技术、光纤放大技术、干涉型光纤传感技术、阵列复用技术及大规模组阵技术的发展,新型光纤水听器系统正在向远程化,阵列规模化方向发展,所以光功率可远程传输和系统具备较低的相位噪声是保障远程光纤水听器系统从近海走向远海应用的关键。但是随着系统传输距离的增加,光纤中非线性效应如受激布里渊散射(SBS)在远程传输系统中最易发生,它会导致前向传输光功率大量损耗,严重影响远程光纤水听器系统的拾取信号幅度,导致系统相位噪声提高。

[0003] 目前在远程光传输系统中抑制SBS广泛采用相位调制方法,相位调制方法是指用相位调制器直接调制激光相位产生多频激光以抑制SBS,但是单纯的相位调制在抑制SBS的同时带来附加相位噪声,这限制了相位调制在干涉型光纤水听器系统中的应用。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,在激光器输出端增加相位调制,综合系统参数合理的配置相位调制幅度和频率,从而有效提高系统最大入纤功率和传输距离,同时保持较低的相位噪声的抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其目的是为了解决背景技术中远程光纤水听器系统从近海走向远海应用的技术问题。

[0005] 为了达到上述目的,本发明的实施例提供的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,包括激光调制装置、光纤水听器系统及拾取信号幅度后处理模块,所述光纤水听器系统包括光纤水听器及光纤水听器阵列,所述光纤水听器阵列分别与激光调制装置和拾取信号幅度后处理模块连接,所述激光调制装置施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号,保障所述光纤水听器阵列工作所需光功率,所述光纤水听器阵列拾取与所述激光调制装置施加的相位调制幅度和频率相关的信号,光纤水听器阵列拾取的信号在所述拾取信号后处理模块中进行光功率放大及预处理。

[0006] 优选地,所述激光调制装置包括可依次光连接的窄线宽激光光源、相位调制器、声光调制器及掺铒光纤放大器,所述掺铒光纤放大器与所述光纤水听器阵列通过光纤连接,所述窄线宽激光光源产生单频激光,单频激光经由所述相位调制器通过对应幅度和频率调制产生多频激光,多频激光经所述声光调制器产生脉冲光信号,经所述掺铒光纤放大器放大后经光纤传输后进入所述光纤水听器阵列。

[0007] 优选地,所述拾取信号幅度后处理模块包括铒纤放大模块及光电信号处理模块,经相位调制幅度和频率的激光经过所述光纤水听器阵列后进入所述铒纤放大模块进行功率放大,放大后的信号光经所述光电信号处理模块将光信号转换成电信号。

[0008] 优选地,所述铒纤放大模块为双向泵浦,对信号光进行远程放大,包括两个大功率激光器、两个泵浦功率传输光纤、传输光纤、尾端拉曼放大器、前置光纤放大器,两个所述大功率激光器经过两个所述泵浦功率传输光纤进行双向远程泵浦,对信号光进行远程放大,放大后的信号光再经过所述传输光纤进行传输,再经过所述尾端拉曼放大器在所述传输光纤尾端进行反向泵浦,再经过所述前置光纤放大器进行功率放大后进入所述光电信号处理模块。

[0009] 优选地,所述施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号参数获取方法为:

[0010] 步骤S1、将拾取的信号转换成输出电流信号波形,获得对应波形幅度及频率算法;

[0011] 步骤S2、根据电流信号波形特征及光纤水听器探头的两臂的光程差获得激光调制频率算法;

[0012] 步骤S3、由于相位调制对光纤水听器系统带来的附加噪声的来源是多频光边带之间的拍频导致拾取信号幅度减小带来的,对应获得相位调制器(12)施加的调制幅度算法;

[0013] 步骤S4、根据步骤S2中调制频率算法及步骤S3中调制幅度算法确定调制幅度及调制频率。

[0014] 优选地,所述步骤S1具体为:对激光施加单频余弦调制,拾取的信号经光电转换器将光信号转换为电流信号,对其进行贝塞尔函数展开后的电流信号由 $\omega_m/2$ 及其多次谐波项构成,其中, ω_m 表示调制频率;

[0015] 光电转换器的输出电流信号可表示为:

$$[0016] \quad I = \alpha J_0(C) \cos[B \cos(\omega_1(t + \Delta t)) + \varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)]$$

[0017] $\alpha J_0(C)$ 代表拾取的信号幅度,其中 $C = 2A \sin(\omega_m \Delta t / 2)$, A 表示调制幅度,系统相位噪声包含在 $\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)$ 项中,可知相位调制对该相位噪声项并未造成影响;

[0018] 当光纤水听器的光程差一定,拾取的信号幅度会随调制幅度 A 与调制频率 ω_m 相应发生变化;

[0019] 通过相位调制信号频率与光纤水听器探头的两臂光程差之间的匹配,即 $\omega_m \Delta t = 2k\pi$, k 为正整数时, $C = 0$, $J_0(C) = 1$ 拾取信号幅度 $\alpha J_0(C)$ 取极大值,拾取信号幅度增加会导致信噪比增强,从而有效抑制了相位调制带来的相位噪声。

[0020] 优选地,所述步骤S2具体为:

[0021] 光纤水听器系统拾取的信号幅度与相位调制幅度和调制频率有关;

[0022] 当光纤水听器探头的两臂光程差一定,拾取信号幅度会随调制幅度 A 与调制频率 ω_m 相应发生变化,满足匹配条件 $\omega_m \Delta t = 2k\pi$, $k = 1$ 时,光纤水听器探头的两臂光程差 $L = 2n_1 l$, l 为光纤水听器探头的臂差,则有相位调制频率:

$$[0023] \quad f_m = 2\pi / \omega_m = 2\pi / (2k\pi / \Delta t) = k / \Delta t = kc / L$$

[0024] 其中 $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 为光在真空中的传播速度。

[0025] 优选地,所述步骤S3具体为:

[0026] 相位调制对光纤水听器系统带来的附加噪声的来源是多频光边带之间的拍频导致拾取信号幅度减小带来的,拾取的信号幅度与 $J_0(C)$ 成正比,其中 $C = 2A \sin(\omega_m \Delta t / 2)$;

[0027] 当施加单频相位调制时, C 随调制频率变化在 $0 \sim 2A$ 之间取值,导致拾取信号幅度发生相应变化;

[0028] 当满足匹配条件时需对相位调制器(12)施加的调制幅度为:

[0029] $V=AV_{\pi}/\pi$

[0030] A为相位调制幅度, V_{π} 为相位调制器(12)的半波电压。

[0031] 优选地,所述步骤S4具体为:

[0032] 计算确定调制幅度及调制频率,当满足匹配条件时,调制频率大于自然布里渊增益线宽,布里渊散射阈值由调制产生的最大边带功率决定;

[0033] 通过合理设计调制参数,取调制幅度为A的整数倍。

[0034] 采用本发明能达到的技术效果有:在激光器输出端增加相位调制,综合系统参数合理的配置相位调制幅度和频率,从而有效提高系统最大入纤功率和传输距离,同时保持较低的相位噪声。有利于光纤水听器系统在远海目标声学探测,海洋资源勘探,海底观测网、水下安防、地震波检测等领域的应用。

附图说明

[0035] 图1为本发明的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统的结构示意图;

[0036] 图2本发明的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统的相位噪声实验结果。

具体实施方式

[0037] 为使本发明要解决的技术问题、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图及具体实施例进行详细描述。

[0038] 本发明针对现有的问题,提供了一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,如图1所示,包括激光调制装置1、光纤水听器系统及拾取信号幅度后处理模块3,所述光纤水听器系统包括光纤水听器及光纤水听器阵列2,所述光纤水听器阵列2分别与激光调制装置1和拾取信号幅度后处理模块3连接,所述激光调制装置1施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号,保障所述光纤水听器阵列2工作所需光功率,所述光纤水听器阵列2拾取与所述激光调制装置1施加的相位调制幅度和频率相关的信号,光纤水听器阵列2拾取的信号在所述拾取信号后处理模块3中进行光功率放大及预处理。

[0039] 所述激光调制装置1包括可依次光连接的窄线宽激光光源11、相位调制器12、声光调制器13及掺铒光纤放大器14,所述掺铒光纤放大器14与所述光纤水听器阵列2通过光纤连接,所述窄线宽激光光源11产生单频激光,单频激光经由所述相位调制器12通过对应幅度和频率调制产生多频激光,多频激光经所述声光调制器13产生脉冲光信号,经所述掺铒光纤放大器14放大后经光纤传输后进入所述光纤水听器阵列2。

[0040] 所述拾取信号幅度后处理模块3包括铒纤放大模块31及光电信号处理模块32,经相位调制幅度和频率的激光经过所述光纤水听器阵列2后进入所述铒纤放大模块31进行功率放大,放大后的信号光经所述光电信号处理模块32将光信号转换成电信号。

[0041] 所述铒纤放大模块31为双向泵浦,对信号光进行远程放大,包括两个大功率激光器311、两个泵浦功率传输光纤312、传输光纤313、尾端拉曼放大器314、前置光纤放大器315,两个所述大功率激光器311经过两个所述泵浦功率传输光纤312进行双向远程泵浦,对信号光进行远程放大,放大后的信号光再经过所述传输光纤313进行传输,再经过所述尾端

拉曼放大器314在所述传输光纤313尾端进行反向泵浦,再经过所述前置光纤放大器314进行功率放大后进入所述光电信号处理模块32。

[0042] 所述施加参数合理的相位调制幅度和频率的信号参数获取方法为:

[0043] 步骤S1、将拾取的信号转换成输出电流信号波形,获得对应波形幅度及频率算法;

[0044] 步骤S2、根据电流信号波形特征及光纤水听器探头的两臂的光程差获得激光调制频率算法;

[0045] 步骤S3、由于相位调制对光纤水听器系统带来的附加噪声的来源是多频光边带之间的拍频导致拾取信号幅度减小带来的,对应获得相位调制器12施加的调制幅度算法;

[0046] 步骤S4、根据步骤S2中调制频率算法及步骤S3中调制幅度算法确定调制幅度及调制频率。

[0047] 所述步骤S1具体为:对激光施加单频余弦调制,拾取的信号经光电转换器将光信号转换为电流信号,对其进行贝塞尔函数展开后的电流信号由 $\omega_m/2$ 及其多次谐波项构成,其中, ω_m 表示调制频率;

[0048] 光电转换器的输出电流信号可表示为:

$$[0049] \quad I = \alpha J_0(C) \cos[B \cos(\omega(t + \Delta t)) + \varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)]$$

[0050] $\sigma J_0(C)$ 代表拾取的信号幅度,其中 $C=2A \sin(\omega_m \Delta t/2)$,A表示调制幅度,系统相位噪声包含在 $\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)$ 项中,可知相位调制对该相位噪声项并未造成影响;

[0051] 当光纤水听器的光程差一定,拾取的信号幅度会随调制幅度A与调制频率 ω_m 相应发生变化;

[0052] 通过相位调制信号频率与光纤水听器探头的两臂光程差之间的匹配,即 $\omega_m \Delta t = 2k\pi$,k为正整数时, $C=0$, $J_0(C) = 1$ 拾取信号幅度 $\sigma J_0(C)$ 取极大值,拾取信号幅度增加会导致信噪比增强,从而有效抑制了相位调制带来的相位噪声。

[0053] 所述步骤S2具体为:

[0054] 光纤水听器系统拾取的信号幅度与相位调制幅度和调制频率有关;

[0055] 当光纤水听器探头的两臂光程差一定,拾取信号幅度会随调制幅度A与调制频率 ω_m 相应发生变化,满足匹配条件 $\omega_m \Delta t = 2k\pi$,k=1时,光纤水听器探头的两臂光程差 $L = 2n_1 l$,l为光纤水听器探头的臂差,则有相位调制频率:

$$[0056] \quad f_m = 2\pi / \omega_m = 2\pi / (2k\pi / \Delta t) = k / \Delta t = kc / L$$

[0057] 其中 $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 为光在真空中的传播速度。

[0058] 所述步骤S3具体为:

[0059] 相位调制对光纤水听器系统带来的附加噪声的来源是多频光边带之间的拍频导致拾取信号幅度减小带来的,拾取的信号幅度与 $J_0(C)$ 成正比,其中 $C=2A \sin(\omega_m \Delta t/2)$;

[0060] 当施加单频相位调制时,C随调制频率变化在 $0 \sim 2A$ 之间取值,导致拾取信号幅度发生相应变化;

[0061] 当满足匹配条件时需对相位调制器(12)施加的调制幅度为:

$$[0062] \quad V = AV_\pi / \pi$$

[0063] A为相位调制幅度, V_π 为相位调制器(12)的半波电压。

[0064] 所述步骤S4具体为:

[0065] 计算确定调制幅度及调制频率,当满足匹配条件时,调制频率大于自然布里渊增

益线宽,布里渊散射阈值由调制产生的最大边带功率决定;

[0066] 通过合理设计调制参数,取调制幅度为A的整数倍,可以大大提高SBS抑制效率,从而有效的提供远程传输的入纤光功率。

[0067] 在本发明的抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统一较佳实施例中,采用的光源为单频窄线宽激光器11,波长1550.12nm,线宽小于5kHz。单频激光由相位调制器12调制产生多频激光,为了满足参数匹配条件,光纤水听器光程差 $L=1.53\text{m}$,匹配调制频率应为196MHz,相位调制器12调制电压为3.2Vpp。多频激光经声光调制器13产生脉冲光信号,然后经掺铒光纤放大器14 (EDFA) 放大后经100km光纤传输后进入光纤水听器阵列2,掺铒光纤放大器14 (EDFA) 工作波长C波段,输出光功率20dBm。

[0068] 上行光经过光纤水听器阵列2后进入铒纤放大模块31,铒纤放大模块31由两个1480nm波长的大功率激光器311经过两根100km泵浦功率传输光纤312进行双向泵浦,对信号光进行远程放大;放大后的信号光再经过100km上行传输光纤313传输,之后由1455nm泵浦光的尾端拉曼放大器314在100km传输光纤313尾端进行反向泵浦,最后经过前置光纤放大器315进行功率放大后进入光电转换器 (PIN) 将光信号转换成电信号,并经光电信号处理将模拟信号转化为数字信号,如图2所示,采用PGC解调方法获得系统的相位噪声约为-100dB/Hz@1.0kHz,在1.0kHz频点远程光纤水听器系统的相位噪声水平与短程系统相当,说明采用本发明有效的抑制了SBS及其引起的相位噪声。

[0069] 采用本发明所提供的一种抑制远程无中继传输光纤水听器系统相位噪声的系统,其技术优点体现如下:

[0070] 在激光器输出端增加相位调制,综合系统参数合理的配置相位调制幅度和频率,从而有效提高系统最大入纤功率和传输距离,同时保持较低的相位噪声。有利于光纤水听器系统在远海目标声学探测,海洋资源勘探,海底观测网、水下安防、地震波检测等领域的应用。

[0071] 以上所述是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明所述原理的前提下,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

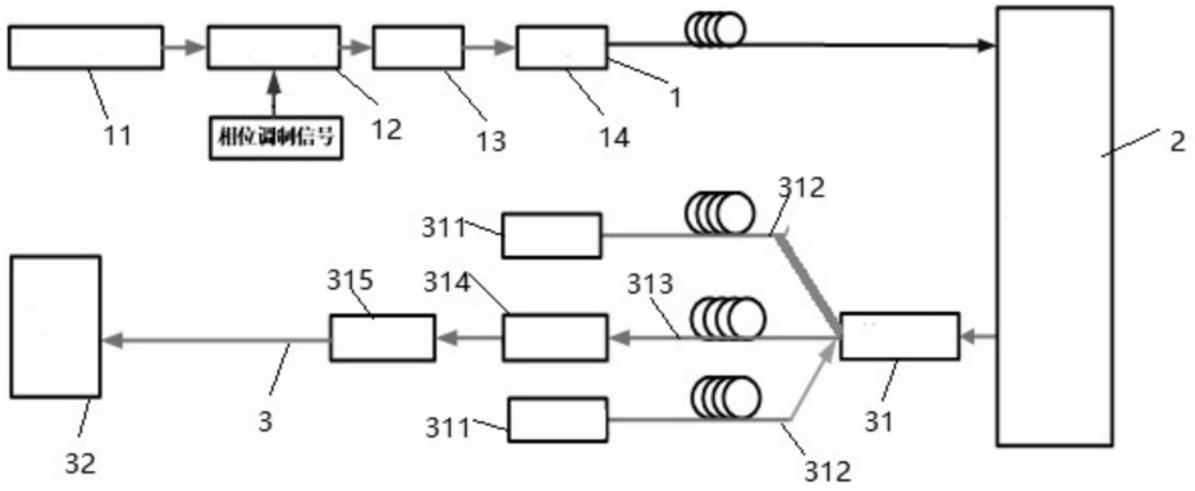


图1

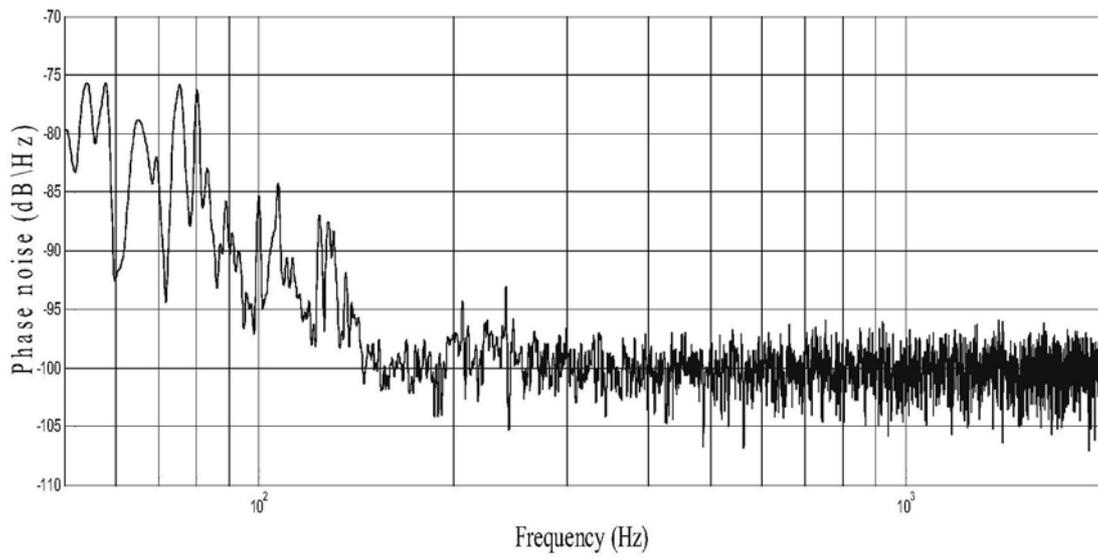


图2