



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115308715 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 08

(21) 申请号 202211066865.9

(22) 申请日 2022.09.01

(71) 申请人 陕西科技大学

地址 710021 陕西省西安市未央区大学园

(72) 发明人 罗道斌 胡广东 李方明 郭晓凡

吴圣博 洪鹏程 侯瑞宁

(74) 专利代理机构 北京中巡通大知识产权代理

有限公司 11703

专利代理师 齐书田

(51) Int. Cl.

G01S 7/481 (2006.01)

G01S 7/483 (2006.01)

G01S 17/95 (2006.01)

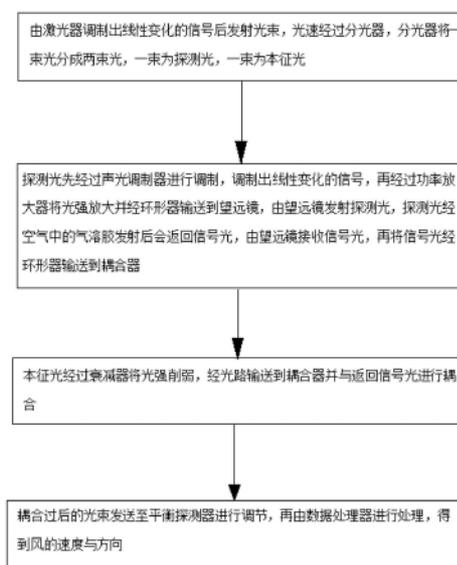
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种稀疏调制测风雷达的方法和系统

(57) 摘要

本发明提供一种稀疏调制测风雷达的方法和系统,激光器调制出优良信号后发射光束,光速经过分光器,分光器将一束光分成两束光,一束为探测光,一束为本征光;探测光先经过声光调制器进行调制,调制出优良信号,功率放大器将光强放大并经环形器输送到望远镜,由望远镜发射探测光,探测光经空气中的气溶胶发射后会返回信号光,由望远镜接收信号光,再将信号光经环形器输送到耦合器;本征光经过衰减器将光强削弱,并与信号光进行耦合;耦合过后的光束发送至平衡探测器进行调节,再由数据处理器进行处理,通过对光源进行内外调制来获取风的速度及方向,本申请能够消除系统回波干扰的影响,并有效地减小或消除了近距盲区;减小探测带宽,提高信噪比。



1. 一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1:由激光器调制出线性变化的信号后发射光束,光速经过分光器,分光器将一束光分成两束光,一束为探测光,一束为本征光;

S2:探测光先经过声光调制器进行调制,调制出线性变化的信号,再经过功率放大器将光强放大并经环形器输送到望远镜,由望远镜发射探测光,探测光经空气中的气溶胶发射后会返回信号光,由望远镜接收信号光,再将信号光经环形器输送到耦合器;

S3:本征光经过衰减器将光强削弱,经光路输送到耦合器并与返回信号光进行耦合;

S4:耦合过后的光束发送至平衡探测器进行调节,再由数据处理器进行处理,得到风的速度与方向。

2. 根据权利要求1所述一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,所述步骤S2中优良信号的调制包括稀疏内调制和稀疏外调制;

所述稀疏内调制为在激光源处进行激光信号的调制;

所述稀疏外调制为对激光器发射的激光用频移器进行调制。

3. 根据权利要求2所述一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,所述稀疏内调制通过压电陶瓷驱动对外腔式半导体激光器的腔长负反馈粗调节,同时向外腔式半导体激光器内注入电流改变腔内增益介质的折射率,用于腔内光学长度的反馈细调节。

4. 根据权利要求2所述一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,所述稀疏内调制和稀疏外调制的风速度计算过程为:

发射信号的频率随时间周期性上下线性变化,上升时间与下降时间相同,频率平均值为 f_c ,从环形器出射照射到被测目标再散射回接收端所用的传输延时为 τ ,信号频率的变化范围为带宽 B ;

接收到的回波信号与本振信号的频率之间产生的频率差为 df ;

频率差由因距离延时 τ 引入的频率变化量 f_r 和多普勒频移 f_d 构成,在频率上升沿产生的频率差 Δf_1 和频率下降沿产生的频率差 Δf_2 与 f_r 之间各相差 f_d ;

由距离引入的差频量 f_r 和多普勒频移 f_d 就可以通过相干解调的方式由 Δf_1 和 Δf_2 计算得出:

$$R = 2CT * fd / (4B);$$

$$v = fd * c / (2fc \cos \theta);$$

式中: γ 代表发射信号的频率变化速率, R 代表激光雷达与被测目标的距离, c 代表光速, v 代表目标速度在激光雷达与被测目标连线上的投影, f_c 代表发射信号光载波的中心频率, θ 为发射激光与待测粒子运动方向之间的夹角。

5. 根据权利要求1所述一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,所述稀疏内调制的风方向计算过程为:

在 t_1 时间线性调频,在 t_2 不调频;则在 t_1 时间,中频频率 $f_{IF} = f_L + f_d$,其中 $f_L = \frac{2BR}{T_{fm}c}$, B 是调制带宽, R 是探测距离, T_{fm} 是线性调频的时间, c 表示光速;

采用调焦镜头,探测距离为镜头聚焦位置与雷达的间距,因此 f_L 是个已知量,若 $f_{IF} > f_L$,则为正风向,反之为负风向,完成稀疏内调制风向的判断。

6. 根据权利要求2所述一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,所述稀疏外调制的

风方向计过程为：

当处于 t_2 时间，中频频谱会出现移频器产生的干扰频和风速信号，仅判断风信号频率与干扰频率的大小获得风向，移频器为 f_N ，判断风信号频率与 f_N 的大小若大于 f_N 则径向风为正，反之为负。

7. 根据权利要求2所述一种稀疏调制测风雷达的方法，其特征在于，所述稀疏外调制采用基于电光调制器的调谐方式，包括以下步骤：

将激光器发射的激光传送至电光调制器中，将电压加到电光晶体上，电光晶体的折射率将发生变化，通过晶体的激光特性的变化，对光信号相位、幅度、强度以及偏振状态进行调制；输出一个线性的光频信号。

8. 根据权利要求2所述一种稀疏调制测风雷达的方法，其特征在于，所述稀疏外调制采用基于循环移频结构的调谐方式，包括以下步骤：

结合循环移频环路与扫频调谐的光源进行光源调制，将激光器发射的激光传送至循环移频环路与扫频调谐装置中，由循环移频环路与扫描调谐装置对接收的激光进行调制，得到一个线性的光频信号。

9. 一种稀疏调制测风雷达的系统，其特征在于，基于权利要求1-7所述任一项一种稀疏调制测风雷达的方法，包括种子源和与种子源分别连接的分束器和衰减器；

所述分束器输出端依次连接有AOM、EDFA和环形器，所述环形器还连接有望远镜；所述衰减器的输出端和环形器输出端分别接入耦合器，所述耦合器输出端依次连接平衡探测器和示波器。

一种稀疏调制测风雷达的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明属于测风雷达技术领域,具体涉及一种稀疏调制测风雷达的方法和系统。

背景技术

[0002] 激光雷达向探测空域发射高纯度频谱光束,雷达系统接受来自气溶胶颗粒的后向散射,由于气溶胶具有很低的后向散射系数,一般采用一级或者多级光放大器来获得高发射功率;为识别风向,一般还需要设置移频器;相干混频光信号经平衡探测变成交流电信号,再经模/数转换后经处理单元识别产生的多普勒频率获得风场信息。

[0003] 测风雷达一般有脉冲体制和连续体制,雷达信号的收发的类型又可以分为收发同置和收发分置;收发同置存在系统本身的干扰;如镜片、光纤端面的回波与本征混频后会在中频频谱中形成一个固定的干扰频率(干扰频的影响主要体现在两方面(1)影响测量风速的下限;(2)会降低有效信号的信噪比;因此脉冲体制雷达一般通过距离门滤除该项干扰,也因此而产生测量距离盲区,而连续体制雷达采用锁相环电路等对干扰进行抑制但会影响风速测量下限,所以亟需提供一种稀疏调制测风雷达。

[0004] 频率调制连续波激光雷达的指标主要受限于光源的性能参数:在接收端的相干检测方法都比较成熟;由于高速模数转换器、数字信号处理等技术的快速发展,后端数据的采集和处理目前也不是整体指标的瓶颈;所以如何产生性能优越的光调频信号成为了FMCW激光雷达研究者们关注的重点。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的问题,本发明提供一种稀疏调制测风雷达的方法和系统,能够提高检测的稳定性和可靠性。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种稀疏调制测风雷达的方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] S1:由激光器调制出线性变化的信号后发射光束,光速经过分光器,分光器将一束光分成两束光,一束为探测光,一束为本征光;

[0009] S2:探测光先经过声光调制器进行调制,调制出线性变化的信号,再经过功率放大器将光强放大并经环形器输送到望远镜,由望远镜发射探测光,探测光经空气中的气溶胶发射后会返回信号光,由望远镜接收信号光,再将信号光经环形器输送到耦合器;

[0010] S3:本征光经过衰减器将光强削弱,经光路输送到耦合器并与返回信号光进行耦合;

[0011] S4:耦合过后的光束发送至平衡探测器进行调节,再由数据处理器进行处理,得到风的速度与方向。

[0012] 进一步,所述步骤S2中优良信号的调制包括稀疏内调制和稀疏外调制;

[0013] 所述稀疏内调制为在激光源处进行激光信号的调制;

[0014] 所述稀疏外调制为对激光器发射的激光用频移器进行调制。

[0015] 进一步,所述稀疏内调制通过压电陶瓷驱动对外腔式半导体激光器的腔长负反馈粗调节,同时向外腔式半导体激光器内注入电流改变腔内增益介质的折射率,用于腔内光学长度的反馈细调节。

[0016] 进一步,所述稀疏内调制和稀疏外调制的风速度计算过程为:

[0017] 发射信号的频率随时间周期性上下线性变化,上升时间与下降时间相同,频率平均值为 f_c ,从环形器出射照射到被测目标再散射回接收端所用的传输延时为 τ ,信号频率的变化范围为带宽 B ;

[0018] 接收到的回波信号与本振信号的频率之间产生的频率差为 df ;

[0019] 频率差由因距离延时 τ 引入的频率变化量 f_R 和多普勒频移 f_d 构成,在频率上升沿产生的频率差 Δf_1 和频率下降沿产生的频率差 Δf_2 与 f_R 之间各相差 f_d ;

[0020] 由距离引入的差频量 f_R 和多普勒频移 f_d 就可以通过相干解调的方式由 Δf_1 和 Δf_2 计算得出:

[0021] $R = 2CT * fd / (4B)$;

[0022] $v = fd * c / (2fc \cos\theta)$;

[0023] 式中: γ 代表发射信号的频率变化速率, R 代表激光雷达与被测目标的距离, c 代表光速, v 代表目标速度在激光雷达与被测目标连线上的投影, f_c 代表发射信号光载波的中心频率, θ 为发射激光与待测粒子运动方向之间的夹角。

[0024] 进一步,所述稀疏内调制的风方向计算过程为:

[0025] 在 t_1 时间线性调频,在 t_2 不调频;则在 t_1 时间,中频频率 $f_{IF} = f_L + f_d$,其中 $f_L = \frac{2BR}{T_{fm}c}$,

B 是调制带宽, R 是探测距离, T_{fm} 是线性调频的时间, c 表示光速;

[0026] 采用调焦镜头,探测距离为镜头聚焦位置与雷达的间距,因此 f_L 是个已知量,若 $f_{IF} > f_L$,则为正风向,反之为负风向,完成稀疏内调制风向的判断。

[0027] 进一步,所述稀疏外调制的风方向计过程为:

[0028] 当处于 t_2 时间,中频频谱会出现移频器产生的干扰频和风速信号,仅判断风信号频率与干扰频率的大小获得风向,移频器为 f_N ,判断风信号频率与 f_N 的大小若大于 f_N 则径向风为正,反之为负。

[0029] 进一步,所述稀疏外调制采用基于电光调制器的调谐方式,包括以下步骤:

[0030] 将激光器发射的激光传送至电光调制器中,将电压加到电光晶体上,电光晶体的折射率将发生变化,通过晶体的激光特性的变化,对光信号相位、幅度、强度以及偏振状态进行调制;输出一个线性的光频信号。

[0031] 进一步,所述稀疏外调制采用基于循环移频结构的调谐方式,包括以下步骤:

[0032] 结合循环移频环路与扫频调谐的光源进行光源调制,将激光器发射的激光传送至循环移频环路与扫频调谐装置中,由循环移频环路与扫描调谐装置对接收的激光进行调制,得到一个线性的光频信号。

[0033] 一种稀疏调制测风雷达的系统,包括种子源和与种子源分别连接的分束器和衰减器;

[0034] 所述分束器输出端依次连接有AOM、EDFA和环形器,所述环形器还连接有望远镜;所述衰减器的输出端和环形器输出端分别接入耦合器,所述耦合器输出端依次连接平衡探

测器和示波器。

[0035] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0036] 本发明提供一种稀疏调制测风雷达的方法和系统,由激光器调制出线性变化的信号后发射光束,光速经过分光器,分光器将一束光分成两束光,一束为探测光,一束为本征光;探测光先经过声光调制器进行调制,调制出线性变化的信号,再经过功率放大器将光强放大并经环形器输送到望远镜,由望远镜发射探测光,探测光经空气中的气溶胶发射后会返回信号光,由望远镜接收信号光,再将信号光经环形器输送到耦合器;本征光经过衰减器将光强削弱,经光路输送到耦合器,与信号光进行耦合;耦合过后的光束发送至平衡探测器进行调节,再由数据处理器进行处理,得到风的速度与方向;本申请能够消除系统回波干扰的影响,并有效地减小或消除了近距盲区;同时能够减小探测带宽,提高信噪比;本申请在连续波调制下的内调频模式可以不使用移频器实现风向鉴别,能降低系统成本。

附图说明

[0037] 图1为本发明一种稀疏调制测风雷达的方法的流程图;

[0038] 图2为本发明一种稀疏调制测风雷达的系统示意图;

[0039] 图3为本发明三角波形式频率调制下发射信号与接收回波信号的时频域关系示意图;

[0040] 图4为本发明经相干检测所得拍信号的时频关系图;

[0041] 图5为本发明稀疏内调制系统结构;

[0042] 图6为本发明控制器给予光源调制信号;

[0043] 图7为本发明稀疏外调制系统结构;

[0044] 图8为本发明风信号频率与移频器判断流程图。

具体实施方式

[0045] 下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0046] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范畴。

[0047] 需要说明的是,本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0048] 本发明提供一种稀疏调制测风雷达的方法,如图1所示,包括以下步骤:

[0049] S1:由激光器调制出线性变化的信号后发射光束,光速经过分光器,分光器将一束光分成两束光,一束为探测光,一束为本征光;

[0050] S2:探测光先经过声光调制器进行调制,调制出线性变化的信号,再经过功率放大器将光强放大并经环形器输送到望远镜,由望远镜发射探测光,探测光经空气中的气溶胶发射后会返回信号光,由望远镜接收信号光,再将信号光经环形器输送到耦合器;

[0051] S3:本征光经过衰减器将光强削弱,经光路输送到耦合器并与返回信号光进行耦合;

[0052] S4:耦合过后的光束发送至平衡探测器进行调节,再由数据处理器进行处理,得到风的速度与方向。

[0053] 优选的,所述步骤S2中优良信号的调制包括稀疏内调制和稀疏外调制;

[0054] 所述稀疏内调制为在激光源处进行激光信号的调制;

[0055] 所述稀疏外调制为对激光器发射的激光用频移器进行调制。

[0056] 进一步的,所述稀疏内调制通过压电陶瓷驱动对外腔式半导体激光器的腔长负反馈粗调节,同时向外腔式半导体激光器内注入电流改变腔内增益介质的折射率,用于腔内光学长度的反馈细调节。

[0057] 优选的,所述稀疏内调制和稀疏外调制的风速度计算过程为:如图3所示,发射信号的频率随时间周期性上下线性变化,上升时间与下降时间相同,频率平均值为 f_c ,从环形器出射照射到被测目标再散射回接收端所用的传输延时记为 τ ,信号频率的变化范围记为带宽 B ;由于信号频率随时间线性变化和被测目标相对位移产生的多普勒效应,接收到的回波信号与本振信号的频率之间产生了频率差 df ,如图4所示,频率差由因距离延时 τ 引入的频率变化量 f_R 和多普勒频移 f_d 构成,在频率上升沿产生的频率差 Δf_1 和频率下降沿产生的频率差 Δf_2 与 f_R 之间各相差 f_d ,则由距离引入的差频量 f_R 和多普勒频移 f_d 就可以通过相干解调的方式由 Δf_1 和 Δf_2 计算得出:

$$[0058] \quad R = 2CT * f_d / (4B);$$

$$[0059] \quad v = f_d * c / (2\lambda \cos\theta);$$

[0060] 式中: λ 代表发射信号的波长, R 代表激光雷达与被测目标的距离, c 代表光速, v 代表目标速度在激光雷达与被测目标连线上的投影, θ 为发射激光与待测粒子运动方向之间的夹角;由此,可解调出被测目标的距离 R 与相对速度 v 。

[0061] 将稀疏调装置安装在种子源处,由种子源发射连续激光,最后根据测量效果选出最合适的调制激光装置。

[0062] 优选的,针对连续体制测风雷达,采用稀疏调频模式,系统结构如图5所示,由激光器发出的调频光,经分束器为两路,一路作为本征光 E_L ,另一路作为探测光 E_S 经过放大器传输之环形器,并经过镜头输出探测气溶胶粒子,器后向散射经过镜头接收经过环形器后,与本光在耦合器混频;混频光信号经过平衡探测器将其交流成分传置处理单元,从而获得风信号的探测;环形器或镜头端面的回波也会与本征光相干。

[0063] 控制器给予光源调制信号,如图6所示,即在 t_1 时间线性调频,在 t_2 不调频;则在 t_1 时间,中频频率 $f_{IF} = f_L + f_d$,其中 $f_L = \frac{2BR}{T_{fm}c}$, B 是调制带宽, R 是探测距离, T_{fm} 是线性调频的时间, c 表示光速, f_L 表示本振光频率;采用调焦镜头,探测距离为镜头聚焦位置与雷达的间

距,因此 f_L 是个已知量,从而获得风速,但是风速结果将受到距离的耦合,影响测风精度,因此在线性调频阶段只看风的方向,即 $f_{IF} > f_L$ 为正风向,反之为负风向,实现风向的判断;在非调频时间段检测风信号频率获得风速,从而实现风速风向的测量。

[0064] 在调频体制下,由于系统回波的距离远小于探测距离,系统回波干扰都在低频,采用高通滤波器可以有效消除其影响。

[0065] 优选的,如图7所示,由激光器发出的单模激光,经分束器为两路,一路作为本征光 E_L ,另一路作为探测光 E_S ,探测光经过由控制器控制的光开关,光开关周期调制,即在 t_1 时间内光直径通过合束器,在 t_2 时间内光先通过移频器再通过合束器;然后经过放大器传输之环形器,并经过镜头输出探测气溶胶粒子,器后向散射经过镜头接收经过环形器后,与本光在耦合器混频;混频光信号经过平衡探测器将其交流成分传置处理单元,从而获得风信号的探测;当然,环形器或镜头端面的回波也会与本征光相干,控制器输出控制光开关的同步信号,当处于 t_2 时间,中频频谱会出现移频器产生的干扰频和风速信号;当处于 t_1 时间,由于 E_S 和 E_L 是零拍频,中频频谱只有风信号;因此在 t_2 时间仅判断风信号频率与干扰频率的大小获得风向,如移频器为 f_N ,判断风信号频率与 f_N 的大小若大于 f_N 则径向风为正,反之为负;进一步,在 t_1 时间获得风信号的频率数值,根据关系 $v_r = \frac{1}{2} f_d \lambda$ 得到径向风速,其中 f_d 表示多普勒频率, λ 表示发射光波长。

[0066] 为判断风信号频率与 f_N 的大小关系,采用处理单元如图8所示,滤波范围设置为 $B < f_N$,若频率小于 f_N 则中频频谱存在风信号,反之频谱中不存在,因此,在 t_2 时间,只需检测带宽内是否存在信号,若存在则风向为负,若不存在风向为正;进一步在 t_1 时间检测风素,从而实现风速、风向测量,既抑制了干扰频的影响,相同指标下减小带宽,获得高信噪比,并有效地减小或消除了近距盲区。

[0067] 优选的,所述稀疏外调制采用基于电光调制器的调谐方式,包括以下步骤:

[0068] 将激光器发射的激光传送至电光调制器中,将电压加到电光晶体上,电光晶体的折射率将发生变化,通过晶体的激光特性的变化,对光信号相位、幅度、强度以及偏振状态进行调制,得到一个线性的光频信号。

[0069] 优选的,所述稀疏外调制采用基于循环移频结构的调谐方式,包括以下步骤:

[0070] 结合循环移频环路与扫频调谐的光源进行光源调制,将激光器发射的激光传送至循环移频环路与扫频调谐装置中,由循环移频环路与扫描调谐装置对接收的激光进行调制,得到一个线性的光频信号。

[0071] 本发明提供一种稀疏调制测风雷达的系统,如图2所示,包括种子源和与种子源分别连接的分束器和衰减器;

[0072] 所述分束器输出端依次连接有AOM、EDFA和环形器,所述环形器还连接有望远镜;所述衰减器的输出端和环形器输出端分别接入耦合器,所述耦合器输出端依次连接平衡探测器和示波器。

[0073] 所述AOM为声光调制器,EDFA为功率放大器;

[0074] 进一步的,连续相干雷达系统由激光发射模块和信号接收模块组成。激光发射模块包括激光器、分束器、声光调制器(AOM)、功率放大器(EDFA)、环形器、望远镜;信号接收模块包括耦合器、平衡探测器、采集卡、数据处理器。

[0075] 连续相干多普勒激光测风雷达工作时,由种子源产生中心频率为 f_0 的连续激光,经过分束器分成两部分光后,一部分作为本振光通过衰减器输入耦合器用于拍频;另一部分首先经过AOM将连续光进行调频,产生 f_m 的调制频率,然后,移频后的光经过EDFA后功率放大,再经过环形器后通过望远镜扩束发散到大气中,发射激光与大气中气溶胶粒子产生后向散射由同一望远镜接收,散射的回波信号由光多普勒效应产生频移,频移量 f_d ,最后与本振光在耦合器处相干拍频,经过平衡探测器转换成电信号,由模数采集转换为数字信号,通过信号处理单元计算出多普勒频移。根据激光脉冲的飞行时间,可以计算出在不同距离分辨单元处的风速。

[0076] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例技术方案的范围。

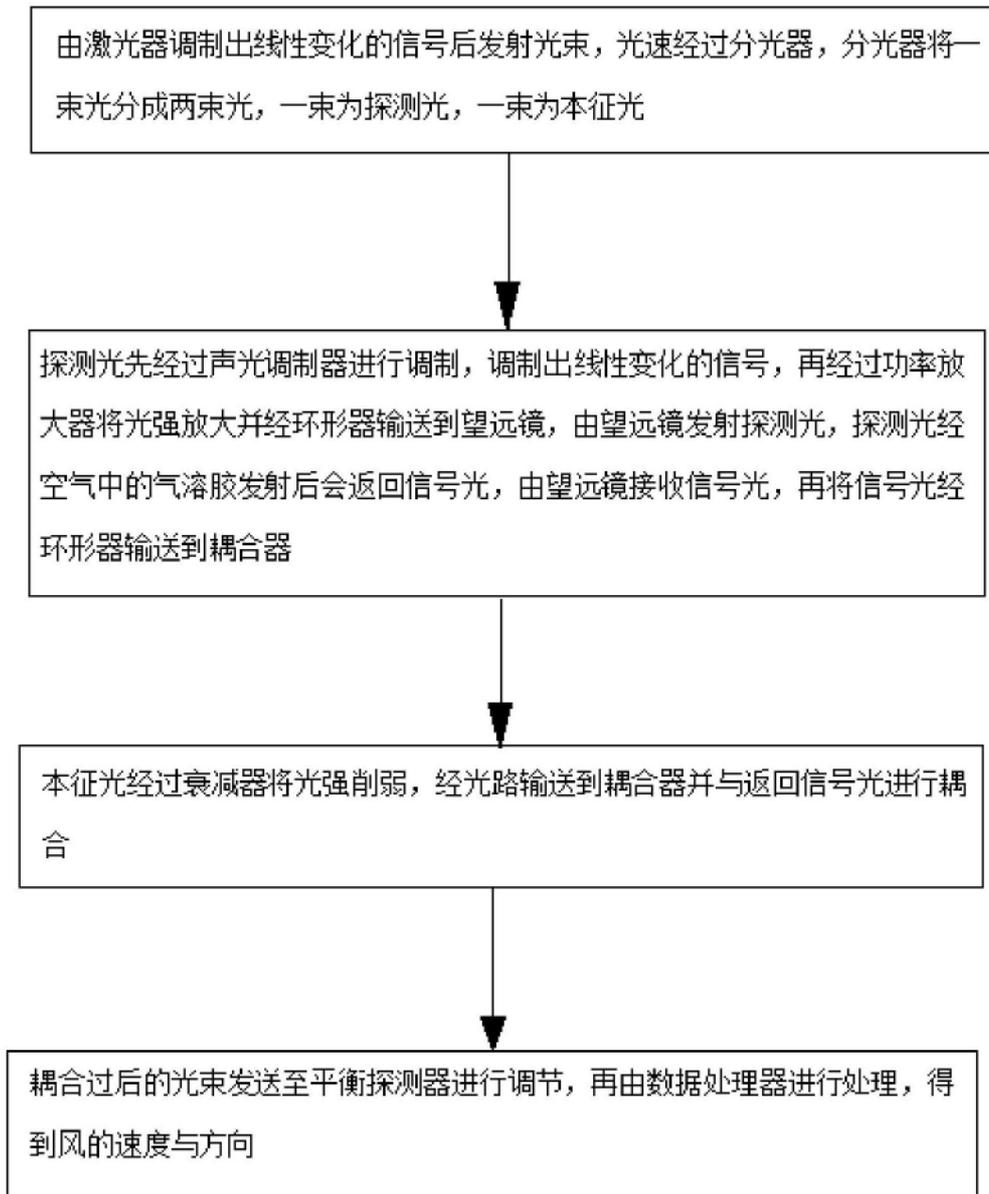


图1

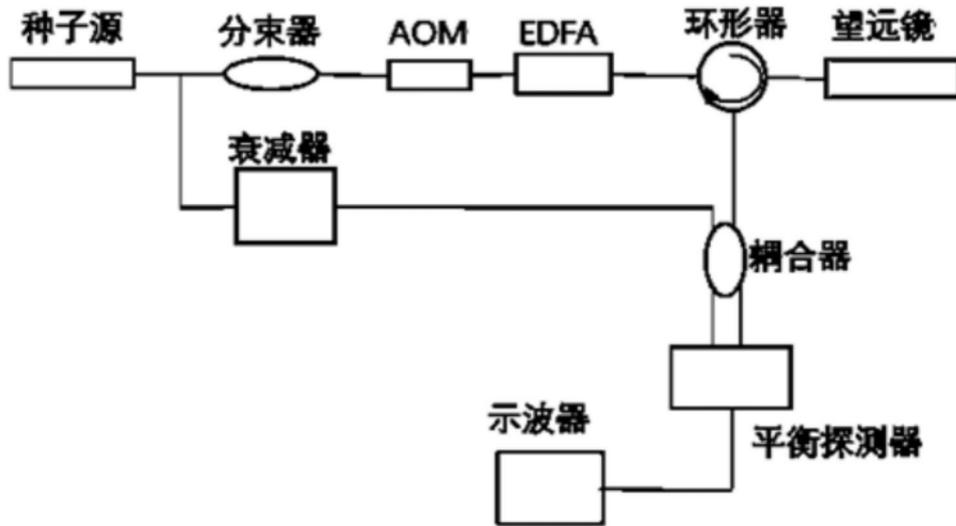


图2

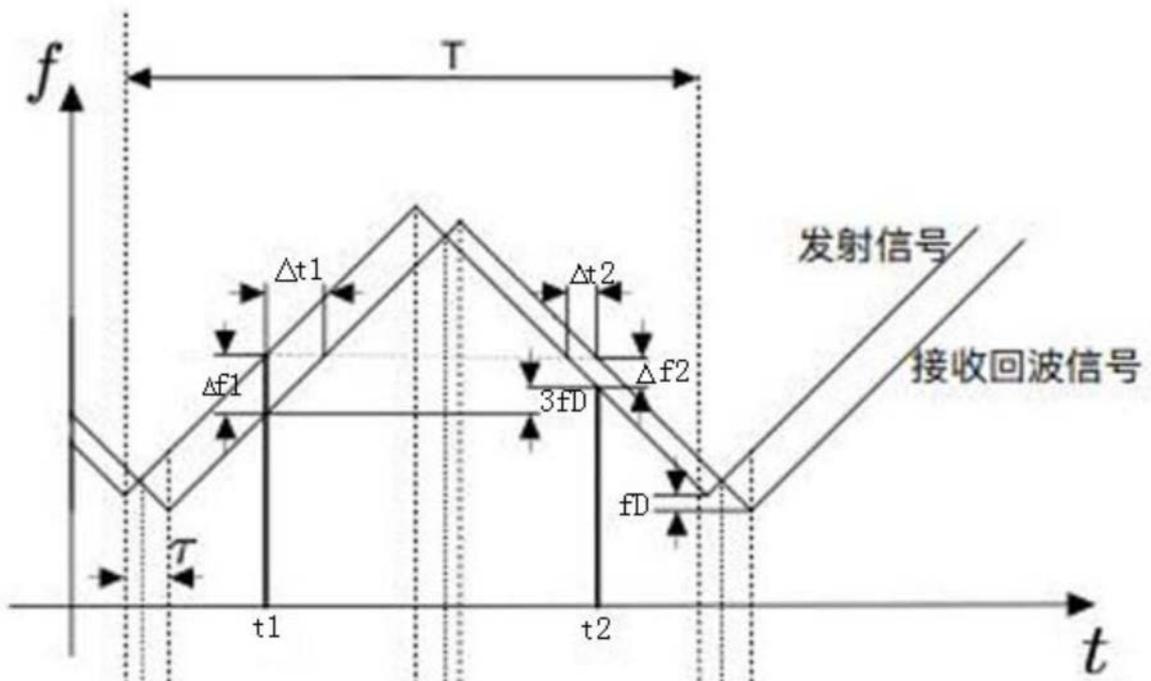


图3

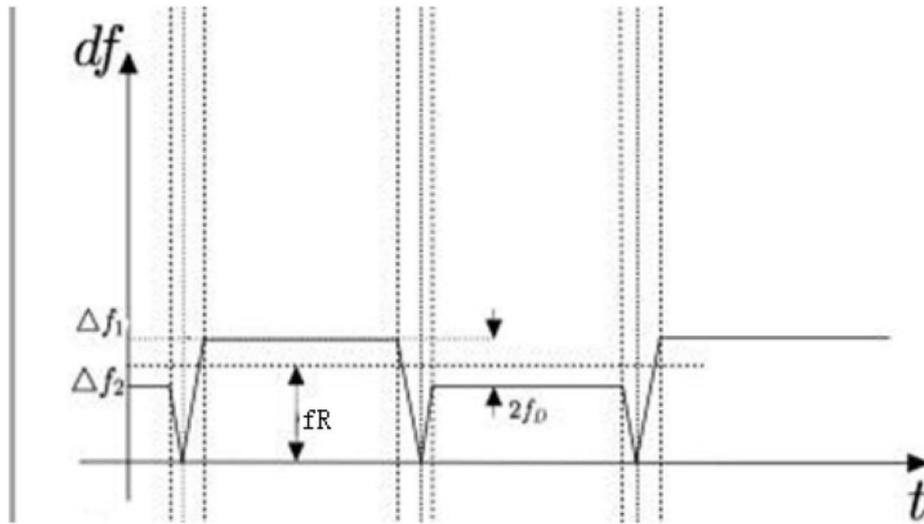


图4

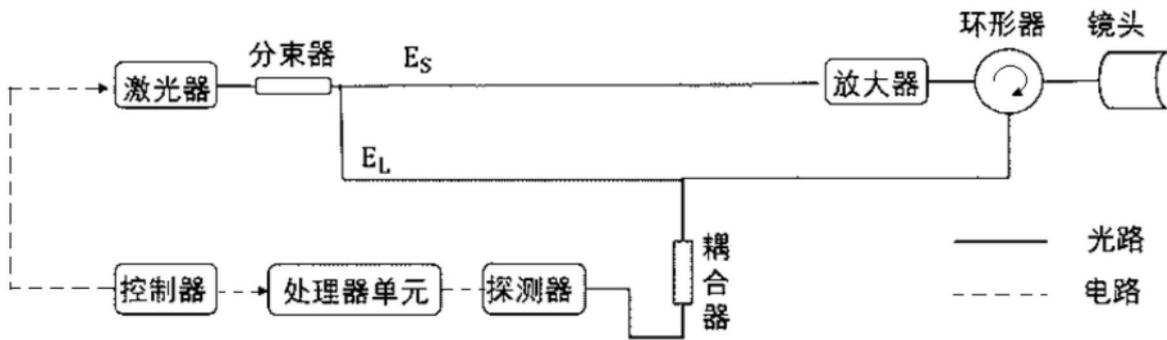


图5

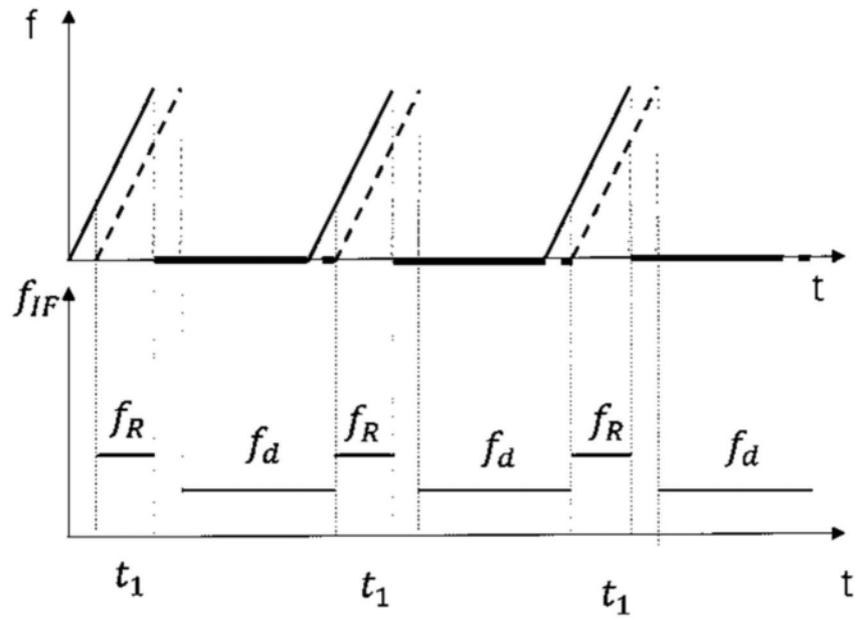


图6

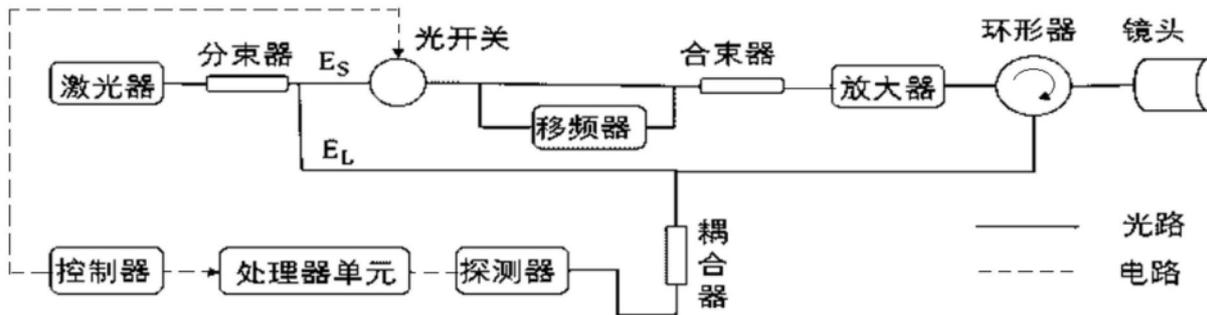


图7

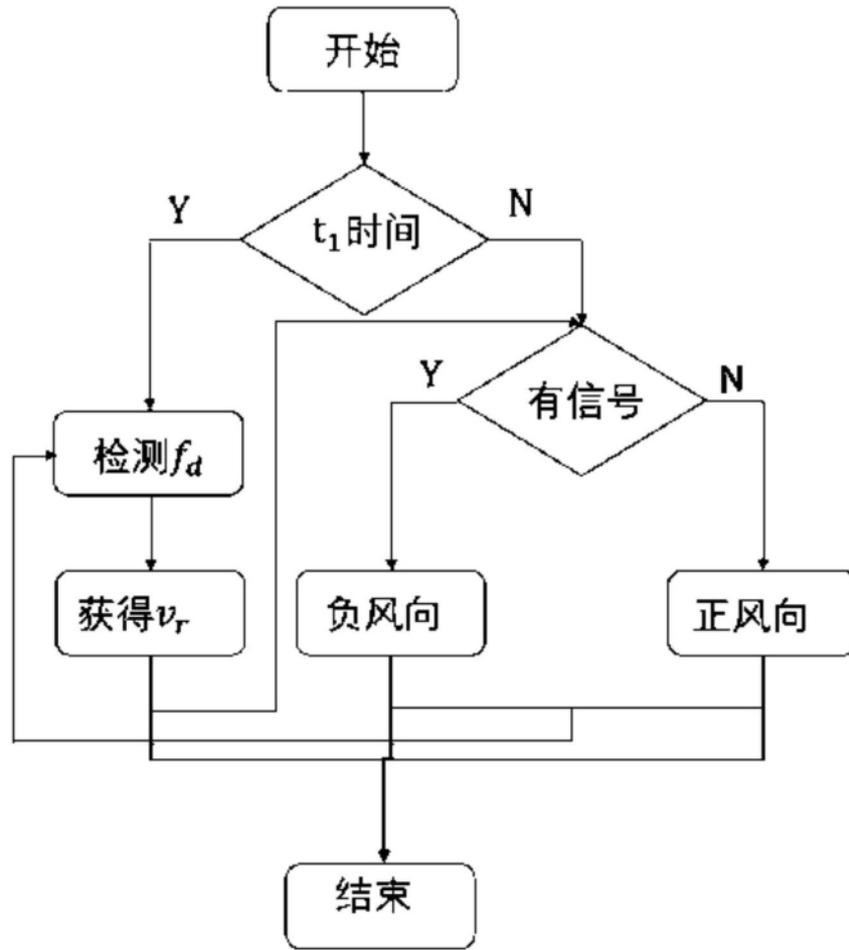


图8