



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107645341 A

(43)申请公布日 2018.01.30

(21)申请号 201710994560.7

(22)申请日 2017.10.23

(71)申请人 南京航空航天大学

地址 210000 江苏省南京市江宁区将军大道29号

申请人 韩国科学技术院

(72)发明人 潘时龙 魏娟 金正元

(74)专利代理机构 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 11467

代理人 杨楠

(51)Int.Cl.

H04B 10/532(2013.01)

H04B 10/556(2013.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

微波光子鉴相方法、装置及微波光子锁相方法、装置

(57)摘要

本发明公开了一种微波光子鉴相方法,用于检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差。利用偏振调制器将所述微波信号调制于所述光脉冲信号之上,生成由偏振态相互垂直的两个光脉冲序列分量所构成的偏振调制信号;然后将偏振调制信号中两个光脉冲序列分量的相位差调整为90°;接着利用主轴方向与所述两个光脉冲序列分量的偏振方向间夹角均为45°的偏振分束器将偏振调制信号分为两路,最后对这两路信号进行平衡光电探测,得到电压与所要检测相位差呈正比的电信号。本发明还公开了一种微波光子鉴相装置、一种微波光子锁相方法及装置。相比现有技术,本发明具有结构简单、紧凑,探测精度高,实现成本低等优点。



1. 一种微波光子鉴相方法,用于检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差,其特征在于,利用偏振调制器将所述微波信号调制于所述光脉冲信号之上,生成由偏振态相互垂直的两个光脉冲序列分量所构成的偏振调制信号;然后将偏振调制信号中两个光脉冲序列分量的相位差调整为 90° ;接着利用主轴方向与所述两个光脉冲序列分量的偏振方向间夹角均为 45° 的偏振分束器将偏振调制信号分为两路,最后对这两路信号进行平衡光电探测,得到电压与所要检测相位差呈正比的电信号。

2. 一种微波光子锁相方法,其特征在于,利用权利要求1所述方法检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差,并利用检测结果作为反馈信息对微波信号或光脉冲信号进行反馈控制,实现微波信号与光脉冲信号之间的相位同步。

3. 一种微波光子鉴相装置,用于检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差,其特征在于,该装置包括:

偏振调制器,将所述微波信号调制于所述光脉冲信号之上,生成由偏振态相互垂直的两个光脉冲序列分量所构成的偏振调制信号;

偏振控制器,用于将偏振调制信号中两个光脉冲序列分量的相位差调整为 90° ;

偏振分束器,其主轴方向与所述两个光脉冲序列分量的偏振方向间夹角均为 45° ,用于将偏振控制器输出的偏振调制信号分为两路;

平衡光电探测器,其两个信号输入端分别与偏振分束器的两个输出端连接,用于输出电压与所要检测相位差呈正比的电信号。

4. 一种微波光子锁相环,其特征在于,包括微波源、光源、反馈控制器以及如权利要求3所述微波光子鉴相装置;微波光子鉴相装置的偏振调制器的微波信号输入端、光信号输入端分别与所述微波源、光源连接,反馈控制器的反馈信号输入端、控制信号输出端分别与所述微波光子鉴相装置的输出端、微波源或光源的控制端连接。

微波光子鉴相方法、装置及微波光子锁相方法、装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微波光子鉴相方法,用于检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差。

背景技术

[0002] 在时间频率计量及标准、大型科学设备(例如自由电子激光器)同步、雷达、组网、通信及信号测量仪器等许多科学研究及工程应用中超低相噪微波信号源有重要作用。过去30年间出现了多种类型的微波源,其中,蓝宝石振荡器及光电振荡器性能优越,为世界领先水平的微波源。近年来,随着固态及光纤锁模激光器的发展,光脉冲的时间抖动可以到亚百as量级,基于锁模激光器产生超低相噪的微波信号成为研究热点。而基于锁模激光器产生超低相噪微波信号主要有以下两类方法:第一类是光脉冲直接通过光电探测器拍频得到一组从直流到光电探测器截止频率且间隔为光脉冲重复频率的电频率谱,通过电域滤波及放大即可得到所需低相噪微波信号。然而,由于光电探测器的非线性及饱和效应,在光电探测过程中,光脉冲的强度噪声将会转化为相位噪声,因此限制了产生的微波信号的噪声。第二类是通过构建微波光子鉴相器实现微波信号与光脉冲的相位差的探测,最终实现光脉冲频率稳定度到微波信号稳定度的传递。就目前的研究进展来看,微波光子鉴相器均是基于Sagnac环干涉仪两输出端口的幅度不平衡与相位差成比例的基本原理。在具体实现中,有两种主流结构,一种是平衡微波光子鉴相器,另一种是光纤环微波光子鉴相器。第一种平衡微波光子鉴相器需要多个窄带电滤波器、分频器、移相器及放大器等微波器件,系统复杂;在Sagnac环中需要实现光脉冲重复频率一半的微波信号对正反向传输的光脉冲在相位调制器中实现相反的相位调制,因此对相位调制器在Sagnac环中的位置有严格的要求,操作繁琐。而另一种光纤环微波光子鉴相器则需要在Sagnac环中加入 $\pi/2$ 偏置单元,以在环内正反向传输的光脉冲之间引入固定的 $\pi/2$ 相位差,同样使得系统复杂、造价成本高。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于克服现有微波光子鉴相技术的不足,提供一种结构简单、紧凑,探测精度高,实现成本低的微波光子鉴相方法。

[0004] 本发明具体采用以下技术方案解决上述技术问题:

[0005] 一种微波光子鉴相方法,用于检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差,利用偏振调制器将所述微波信号调制于所述光脉冲信号之上,生成由偏振态相互垂直的两个光脉冲序列分量所构成的偏振调制信号;然后将偏振调制信号中两个光脉冲序列分量的相位差调整为 90° ;接着利用主轴方向与所述两个光脉冲序列分量的偏振方向间夹角均为 45° 的偏振分束器将偏振调制信号分为两路,最后对这两路信号进行平衡光电探测,得到电压与所要检测相位差呈正比的电信号。

[0006] 根据相同的发明思路还可以得到以下技术方案:

[0007] 一种微波光子锁相方法,利用上述方法检测微波信号与光脉冲信号之间的相位

差,并利用检测结果作为反馈信息对微波信号或光脉冲信号进行反馈控制,实现微波信号与光脉冲信号之间的相位同步。

[0008] 一种微波光子鉴相装置,用于检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差,该装置包括:

[0009] 偏振调制器,将所述微波信号调制于所述光脉冲信号之上,生成由偏振态相互垂直的两个光脉冲序列分量所构成的偏振调制信号;

[0010] 偏振控制器,用于将偏振调制信号中两个光脉冲序列分量的相位差调整为 90° ;

[0011] 偏振分束器,其主轴方向与所述两个光脉冲序列分量的偏振方向间夹角均为 45° ,用于将偏振控制器输出的偏振调制信号分为两路;

[0012] 平衡光电探测器,其两个信号输入端分别与偏振分束器的两个输出端连接,用于输出电压与所要检测相位差呈正比的电信号。

[0013] 一种微波光子锁相装置,包括微波源、光源、反馈控制器以及如上所述微波光子鉴相装置;微波光子鉴相装置的偏振调制器的微波信号输入端、光信号输入端分别与所述微波源、光源连接,反馈控制器的反馈信号输入端、控制信号输出端分别与所述微波光子鉴相装置的输出端、微波源或光源的控制端连接。

[0014] 相比现有技术,本发明技术方案具有以下有益效果:

[0015] 本发明采用偏振调制器,在其输出端口得到的光脉冲序列包含相位调制系数相反且偏振态相互垂直的两部分分量,从而避免了Sagnac光纤环的使用,降低了结构复杂度及操作复杂度;本发明采用偏振调制,可以通过调节偏振控制器在两个光脉冲分量之间引入 90° 的固定相位差,避免了额外的 $\pi/2$ 偏置单元,大幅降低了实现成本。本发明可实现光脉冲与微波信号相位差的高精度探测,并可利用现有商用器件搭建,结构简单,使用方便。

附图说明

[0016] 图1为本发明微波光子鉴相装置的结构示意图;

[0017] 图2为利用本发明实现10GHz压控振荡源与250MHz锁模光脉冲源同步的系统结构示意图;

[0018] 图3为10GHz压控振荡源在与250MHz锁模光脉冲锁定前后的相噪曲线图,其中虚线为未锁定前相位噪声曲线,实线为锁定后相位噪声曲线。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明:

[0020] 图1显示了微波光子鉴相装置的基本结构。如图1所示,该装置由一个偏振调制器、一个偏振控制器、一个偏振分束器、一个平衡光电探测器构成。待测光脉冲作为载波进入到偏振调制器中,被分为偏振态相互垂直的两个光脉冲序列分量,并分别受到待测微波信号相反的相位调制。偏振调制器的输出通过偏振控制器后进入到偏振分束器,调节偏振控制器使得偏振调制器输出的两个光脉冲序列分量间固定相位差为 90° 且两偏振态的偏振方向与偏振分束器的主轴成 45° 角。两个偏振态相互垂直的光脉冲序列分量在偏振分束器中干涉,偏振分束器的两路输出分别连接平衡光电探测器的两输入口,输出的电信号与光脉冲和微波信号之间的相位差成线性关系,以此实现了光脉冲与微波信号之间相位误差的探

测。

[0021] 为了便于公众理解,下面对本发明的实现原理进行进一步详细说明。

[0022] 若待测微波信号表示为 $\sin(\omega_m t)$,其中 ω_m 表示待测微波信号的角频率,那么待测光脉冲序列进入偏振调制器被待测微波信号调制后的输出光脉冲信号可以表示为

$$[0023] \quad \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \propto \begin{bmatrix} \exp j \left[2\pi(f_{ceo} + n f_{rep})t + \beta \sin(\omega_m t + \theta_e) \right] \\ \exp j \left[2\pi(f_{ceo} + n f_{rep})t - \beta \sin(\omega_m t + \theta_e) + \varphi \right] \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0024] 其中 E_x 和 E_y 分别表示偏振态垂直的两光脉冲序列, f_{ceo} 是光脉冲序列的载波包络偏移频率, f_{rep} 是光脉冲的重复频率, β 是偏振调制器的调制系数, θ_e 是光脉冲与微波信号之间的相位差, φ 是 E_x 和 E_y 之间的固定相位差。偏振调制器的输出进入偏振控制器,通过调节偏振调制器使得 E_x 和 E_y 的偏振方向分别与偏振分束器的主轴为 45° 角且 E_x 和 E_y 之间的固定相位差 φ 为 90° ,偏振控制器的输出进入偏振分束器。由于 E_x 和 E_y 的偏振方向分别与偏振分束器的主轴为 45° 角,那么偏振分束器的两输出端口的信号 E_1 和 E_2 即可表示为

$$[0025] \quad \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} \propto \begin{bmatrix} \cos[\beta \sin(\omega_m t + \theta_e) - \varphi/2] \exp j \left[2\pi(f_{ceo} + n f_{rep})t + \varphi/2 \right] \\ \sin[\beta \sin(\omega_m t + \theta_e) - \varphi/2] \exp j \left[2\pi(f_{ceo} + n f_{rep})t + \varphi/2 + \pi/2 \right] \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0026] 信号 E_1 和 E_2 分别输入平衡光电探测器的两个输入端口进行光电探测,那么平衡光电探测器的输出电信号为

$$[0027] \quad V_d = GRP_{in} \cos[2\beta \sin(\omega_m t + \theta_e) - \varphi] \quad (3)$$

[0028] 其中 G 为平衡光电探测器的跨导增益, R 为平衡光电探测器的响应度, P_{in} 为偏振分束器输出端口的平均光功率。由于 φ 被调节为 90° ,当待测光脉冲正好位于待测微波信号的过零点时,即待测光脉冲与待测微波信号之间的相位差 θ_e 等于0,那么平衡光电探测器的输出电信号 V_d 等于0。而当待测光脉冲与待测微波信号之间存在相位差时(即 $\theta_e \neq 0$),平衡光电探测器的输出信号

$$[0029] \quad V_d \approx 2BGRP_{in} \theta_e \quad (4)$$

[0030] 即平衡光电探测器输出的电信号与待测光脉冲与待测微波信号之间的相位差 θ_e 成线性关系。

[0031] 综上可知,本发明提供的微波光子鉴相装置可以实现高精度的光脉冲与微波信号之间相位差的测量,并且结构简单、紧凑,系统成本低,操作简便。

[0032] 本发明微波光子鉴相装置可广泛应用于微波光子锁相装置、微波光子稳相传输系统等诸多方面。例如,在进行微波光子锁相时,利用上述方法检测微波信号与光脉冲信号之间的相位差,并利用检测结果作为反馈信息对微波信号或光脉冲信号进行反馈控制,即可实现微波信号与光脉冲信号之间的相位同步。

[0033] 为了验证本发明的性能,进行了以下实验,利用本发明实现了微波振荡源与锁模激光源的同步。

[0034] 本实验的系统结构如图2所示。锁模激光源产生重复频率为250MHz的光脉冲序列,接入到偏振调制器的光输入口,而压控振荡器产生10GHz的微波信号加载在偏振调制器的射频输入口。在偏振调制器的光输出口得到的光脉冲序列包含两部分分量,他们偏振态相互垂直并且被10GHz微波信号以相反的调制系数进行了相位调制。偏振调制器的光输出接

到偏振控制器,光脉冲序列经过偏振控制器调节偏振方向及两垂直偏振态间的相位差后,进入到光偏振分束器,光脉冲序列中两偏振态相互垂直的两部分分量的偏振方向均与偏振分束器的主轴成 45° ,那么在偏振分束器的两输出口得到干涉信号相位互补,偏振分束器的两输出口分别与平衡光电探测器的两输入口连接,平衡光电探测器输出的电信号与250MHz锁模光脉冲和10GHz微波振荡信号间的相位差成线性关系。平衡光电探测器输出的电压信号经过比例积分控制器整理后用于控制10GHz压控振荡器,锁定后,10GHz压控振荡器与250MHz锁模光源实现了同步,压控振荡器输出稳定的10GHz微波信号。在锁定前后,10GHz微波信号的相位噪声如图3所示。

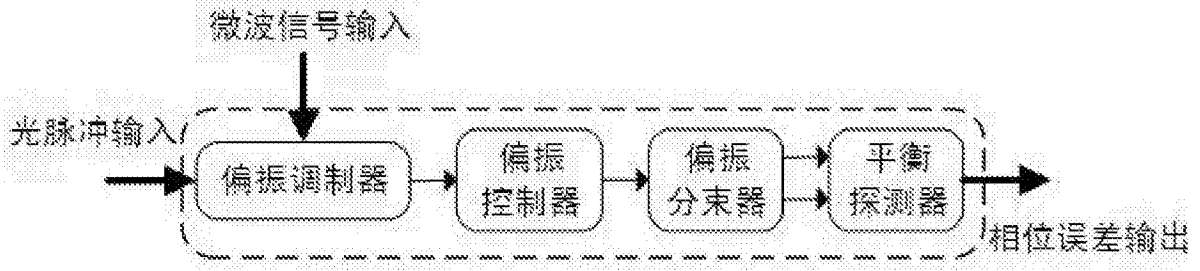


图1

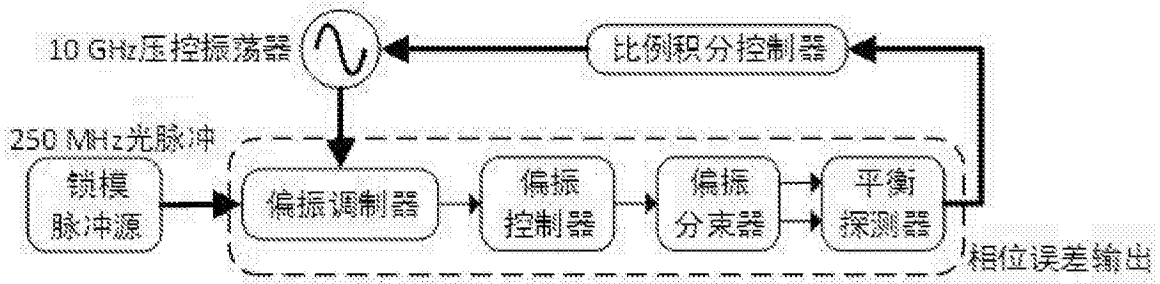


图2

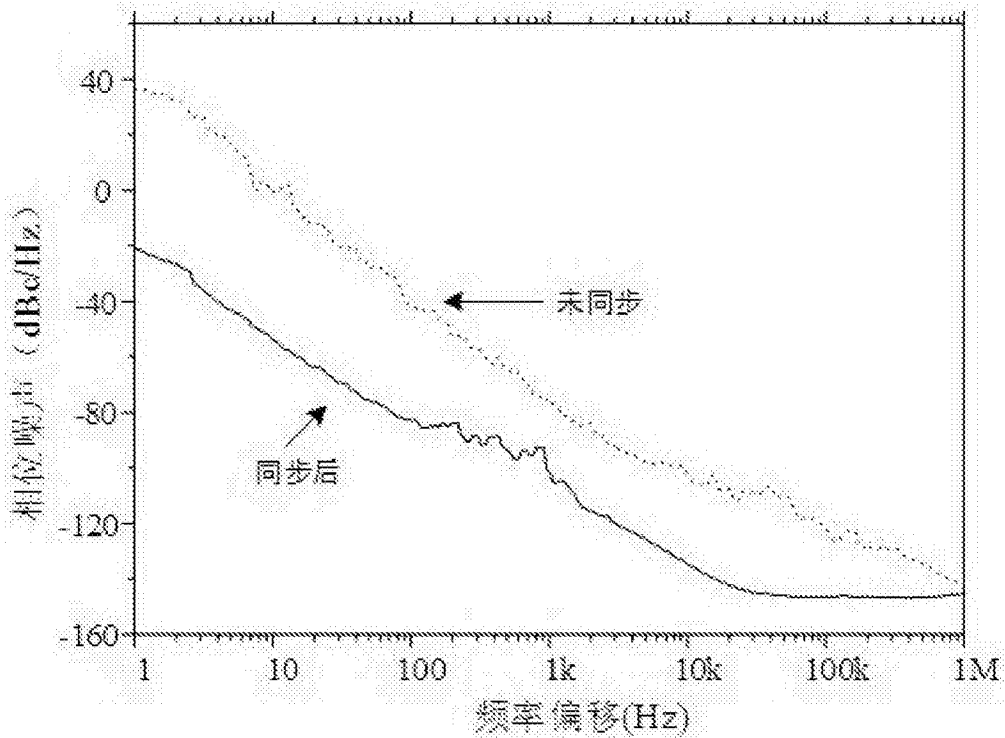


图3