



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104348070 B

(45)授权公告日 2018.01.16

(21)申请号 201410455842.6

(22)申请日 2014.09.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104348070 A

(43)申请公布日 2015.02.11

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

(72)发明人 张文艳 刘波 刘晓庆 王东

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司
31002

代理人 邓琪

(51)Int.Cl.
H01S 1/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 103560380 A,2014.02.05,
US 2008/0024787 A1,2008.01.31,
US 5917179 A,1999.06.29,

J.Kim and F.X.Kartner.Balanced optical-microwave phase detectors for optoelectronic phase-locked loops.《OPTICS LETTERS》.2006,第31卷(第24期),第3659-2661页.

Yan Gao, et al..Novel tunable microwave photonic notch filter using a 3×3 coupler based Sagnac loop.《OPTICS COMMUNICATIONS》.2008,第281卷第1476-1479段.

审查员 何理

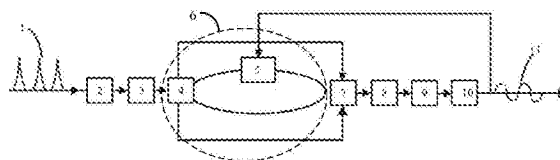
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种平衡光学微波再生系统

(57)摘要

本发明提供一种平衡光学微波再生系统,包括依次连接至一提供激光脉冲信号的外围信号源的一鉴相模块和一射频处理模块,所述鉴相模块包括依次连接的一光隔离器、一萨格奈克光纤环和一平衡探测器,所述萨格奈克光纤环包括一3×3光纤耦合器和一相位调制器,所述3×3光纤耦合器的第一输入端与所述光隔离器连接,第二输入端与所述平衡探测器的第一光输入端口连接,第三输入端与所述平衡探测器的第二光输入端口连接,第二输出端与所述相位调制器的第一光接口连接,第三输出端与所述相位调制器的第二光接口连接。本发明结构简单、噪声低、稳定性高、抖动精度高、成本低且操作方便。



1. 一种平衡光学微波再生系统,包括依次连接至一提供激光脉冲信号的外围信号源的一鉴相模块和一射频处理模块,其特征在于,

所述鉴相模块包括依次连接的一光隔离器、一萨格奈克光纤环和一平衡探测器,所述萨格奈克光纤环包括一 3×3 光纤耦合器和一相位调制器,其中,

所述 3×3 光纤耦合器的第一输入端与所述光隔离器连接,以使所述激光脉冲信号经过所述光隔离器进入所述 3×3 光纤耦合器,并在所述 3×3 光纤耦合器中分成三路脉冲出射激光束;

所述 3×3 光纤耦合器的第二输出端与所述相位调制器的第一光接口连接,其第三输出端与所述相位调制器的第二光接口连接,以使其中两路所述脉冲出射激光束分别自所述 3×3 光纤耦合器的所述第二输出端和所述第三输出端进入所述相位调制器后,再自所述相位调制器分别传输至所述 3×3 光纤耦合器的所述第三输出端和所述第二输出端,并在所述 3×3 光纤耦合器中发生干涉以形成干涉光;

所述 3×3 光纤耦合器的第二输入端与所述平衡探测器的第一输入口连接,其第三输入端与所述平衡探测器的第二输入口连接,以使所述干涉光分别通过所述 3×3 光纤耦合器的第二输入端和第三输入端进入所述平衡探测器的两个光输入端口,并经所述平衡探测器光电转换成一射频信号,所述射频信号直接从所述平衡探测器输出至所述射频处理模块,以通过所述射频处理模块产生一高频微波信号;

所述射频处理模块包括依次连接至所述平衡探测器的一信号处理电路、一高频振荡器和一放大电路,所述放大电路输出所述高频微波信号并反馈连接至所述相位调制器的射频输入接口。

2. 根据权利要求1所述的平衡光学微波再生系统,其特征在于,所述鉴相模块还包括一连接在所述光隔离器和所述 3×3 光纤耦合器的第一输入端之间的光纤环形器。

3. 根据权利要求1所述的平衡光学微波再生系统,其特征在于,所述 3×3 光纤耦合器的所述第二输入端通过一光纤适配器连接至所述平衡探测器的第一光输入端口,所述第三输入端通过另一光纤适配器连接至所述平衡探测器的第二光输入端口。

4. 根据权利要求1所述的平衡光学微波再生系统,其特征在于,所述高频振荡器为压控振荡器或介质振荡器。

5. 根据权利要求1所述的平衡光学微波再生系统,其特征在于,所述信号处理电路为二阶有源滤波电路或者由反相加法电路、反比例电路和二阶无源滤波电路组成的电路。

一种平衡光学微波再生系统

技术领域

[0001] 本发明属于微波光子学技术领域,尤其涉及了一种平衡光学微波再生系统。

背景技术

[0002] 同步系统通过锁定自由电子激光装置各个环节与参考信号的相位,保证束流动力学品质和激光束、电子束到达时间的稳定性,以满足自由电子激光产生的物理要求,是保证自由电子激光装置束流品质和实验成败的关键部分之一。因此,对于规模为数百米甚至数千米的自由电子激光装置来说,激光与微波高精度和高稳定度的同步尤为重要。

[0003] 激光与微波的同步一般是通过从激光脉冲信号中提取微波信号来实现的。目前,常用的激光与微波同步方法有直接同步法、射频鉴相法以及平衡光学微波鉴相法这三种。

[0004] 直接同步法利用光电探测器将激光脉冲信号转换成电信号,然后直接用滤波器获取激光脉冲信号的高次谐波频率,以产生微波频率。然而受限于光电探测器的带宽以及幅相转换和非线性效应,会造成高次谐波频率的不稳定性,这种方法仅能应用在要求不是很严格的场合。

[0005] 射频锁相法使用锁相环技术,利用鉴相之后的相差电平通过反馈回路去控制压电振荡器,使得压电振荡器的输出与主振荡器激光脉冲信号频率锁相。射频鉴相法由于其稳频回路中光电探测器和微波混频器会引入较大的噪声,虽然相比直接同步法,其同步精度会高很多,但是其同步精度只能达到200飞秒左右。

[0006] 平衡光学微波鉴相法采用萨格奈光纤环和同步探测方法在光域里进行精确的相位检测,能克服直接同步法和射频鉴相法由光电探测器引起的幅度-相位噪声,从而减小输出微波信号的时间抖动性,其同步精度可以达到几飞秒量级。然而,现有平衡微波鉴相法采用基于 2×2 光纤耦合器的锁相环技术,由于 2×2 光纤耦合器在萨格奈光纤环中输入路径和输出路径一样,存在固有的非互易性,且这种锁相环需要使用相移 $\pi/2$ 的偏置光路,因此结构复杂,且会引入额外的噪声。

发明内容

[0007] 针对现有平衡光学微波鉴相方法的不足,本发明的目的在于提供一种紧凑型的、超稳定度的、超高精度的平衡光学微波再生系统。

[0008] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种平衡光学微波再生系统,包括依次连接至一提供激光脉冲信号的外围信号源的一鉴相模块和一射频处理模块,其中:

[0010] 所述鉴相模块包括依次连接的一光隔离器、一萨格奈克光纤环和一平衡探测器,所述萨格奈克光纤环包括一 3×3 光纤耦合器和一相位调制器,其中,

[0011] 所述 3×3 光纤耦合器的第一输入端与所述光隔离器连接,以使所述激光脉冲信号经过所述光隔离器进入所述 3×3 光纤耦合器,并在所述 3×3 光纤耦合器中分成三路脉冲出射激光束;

[0012] 所述 3×3 光纤耦合器的第二输出端与所述相位调制器的第一光接口连接,其第三输出端与所述相位调制器的第二光接口连接,以使其中两路所述脉冲出射激光束分别自所述 3×3 光纤耦合器的所述第二输出端和所述第三输出端进入所述相位调制器后,再自所述相位调制器分别传输至所述 3×3 光纤耦合器的所述第三输出端和所述第二输出端,并在所述 3×3 光纤耦合器中发生干涉以形成干涉光;

[0013] 所述 3×3 光纤耦合器的第二输入端与所述平衡探测器的第一输入口连接,其第三输入端与所述平衡探测器的第二输入口连接,以使所述干涉光分别通过所述 3×3 光纤耦合器的第二输入端和第三输入端进入所述平衡探测器,并经所述平衡探测器光电转换成一射频信号后输出至所述射频处理模块,以通过所述射频处理模块产生一高频微波信号。

[0014] 优选地,所述射频处理模块包括依次连接至所述平衡探测器的一信号处理电路、一高频振荡器和一放大电路,所述放大电路输出所述高频微波信号并反馈连接至所述相位调制器的射频输入接口。

[0015] 进一步地,所述鉴相模块还包括一连接在所述光隔离器和所述 3×3 光纤耦合器的第一输入端之间的光纤环形器。

[0016] 进一步地,所述 3×3 光纤耦合器的所述第二输入端通过一光纤适配器连接至所述平衡探测器的第一光输入端口,所述第三输入端通过另一光纤适配器连接至所述平衡探测器的第二光输入端口。

[0017] 优选地,所述高频振荡器为压控振荡器或介质振荡器。

[0018] 优选地,所述信号处理电路为二阶有源滤波电路或者由反相加法电路、反相比例电路和二阶无源滤波电路组成的电路。

[0019] 综上所述,本发明采用了基于 3×3 光纤耦合器和平衡探测器的平衡光学微波再生系统,由于 3×3 光纤耦合器在萨格奈光纤环中输入路径和输出路径不一样,不存在固有的非互易性,因此其输出噪声更小,从而引起的抖动更小;另外,由于 3×3 光纤耦合器在零相位时第二、第三输出端输出的结果相同,且这两个端口的输出斜率是相反的,因此不需要在萨格奈克光纤环中使用 $\pi/2$ 的偏置光路,即 3×3 光纤耦合器输出的高频微波信号可直接作为相位调制器的射频反馈输入,简化了系统的复杂性;同时,由于本发明还使用了平衡探测器,因此不需要额外使用两个光电探测器和混频器来实现两路光信号的相减,结构上少了很多部件,降低了整个系统的体积和重量,而且还降低了由光电探测器、混频器幅相转换引入的噪声以及偏置电路引入的噪声,提高了系统的抖动精度;结构简单,操作方便,进一步提高了系统的稳定性,为在自由电子激光装置中的推广应用提供了一种有效手段。由此可见,本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0020] 1) 结构简单、噪声低、抖动精度高、稳定性高、成本低且操作方便;

[0021] 2) 体积小、重量轻、在大规模自由电子激光装置中使用便携性好;

[0022] 3) 不仅能用于激光与微波的同步系统中,还能够提取出高精度的高频微波信号用于其他射频系统中。

附图说明

[0023] 图1是本发明的平衡光学微波再生系统的结构框图;

[0024] 图2是本发明的鉴相模块的结构框图,其中示出了激光脉冲信号的传播方向;以及

[0025] 图3是本发明的平衡光学微波再生系统的结构示意图。

[0026] 其中:1激光脉冲信号、2光隔离器、3光纤环形器、4 3×3 光纤耦合器、5相位调制器、6萨格奈克光纤环、7平衡探测器、8信号处理电路、9高频振荡器、10放大电路、11高频微波信号。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图,给出本发明的较佳实施例,并予以详细描述。

[0028] 如图1-3所示,本发明的平衡光学微波再生系统包括依次光连接至一提供激光脉冲信号的外围信号源(未示出)的一鉴相模块和一射频处理模块。其中,外围信号源在此采用波长为1550nm、频率为238MHz的锁模光纤激光器。

[0029] 下面分别对鉴相模块和射频处理模块作详细说明:

[0030] 鉴相模块包括沿激光脉冲信号1的传播方向依次光连接的一光隔离器2、一光纤环形器3、一萨格奈克光纤环6和一平衡探测器7,其中,萨格奈克光纤环6由一 3×3 光纤耦合器4和一相位调制器5组成。

[0031] 具体如图2所示,光隔离器2是有方向的,激光脉冲信号1只能沿着光隔离器2中的箭头所指的方向传播,不可以逆传。此处的光纤环形器3是一个三端口的光纤环形器,激光脉冲信号在其中的传播方向也是单向的,即,激光脉冲信号只能从其第一端口进入、第二端口输出,或从第二端口进入、第三端口输出,如果 3×3 光纤耦合器4的第一输出端后面倾斜放置一个反射镜(未示出),则自其第一输出端输出的脉冲出射激光束将通过该第一输出端返回到光纤环形器3的第二端口,然后从光纤环形器3的第三端口输出,从而可以在该第三端口监测到 3×3 光纤耦合器4的输入能量变化。当然,除了图2中所示的三端口的光纤环形器3外,本发明也可采用四端口、五端口的光纤环形器实现。此外,本领域技术人员应该理解, 3×3 光纤耦合器4具有三个输入端和三个输出端,激光脉冲信号在 3×3 光纤耦合器4里面可以双向传输,即,激光脉冲信号可以从三个输入端进入、从三个输出端输出,也可以从三个输出端进入、从三个输入端输出。当激光脉冲信号1从 3×3 光纤耦合器4的任何一个输入端进入时,将在其中分成三路脉冲出射激光束分别从其三个输出端输出。相位调制器5在此具有两个光接口和一个射频输入接口。

[0032] 再次参阅图2,鉴相模块的各组成元件之间的连接关系如下:光纤环形器3的第一端口与光隔离器2的输出端连接,第二端口与 3×3 光纤耦合器4的第一输入端连接,第三端口留作测试备用。 3×3 光纤耦合器4的第一输入端连接至光纤环形器3的第二端口,第二输入端连接至平衡探测器7的第一光输入端口,第三输入端连接至平衡探测器7的第二光输入端口,第一输出端未使用,第二输出端连接至相位调制器5的第一光接口,第三输出端连接至相位调制器5的第二光接口,以使 3×3 光纤耦合器4的第二输出端输出的脉冲出射激光束经过相位调制器5后传输至其第三输出端, 3×3 光纤耦合器4的第三输入端输出的脉冲出射激光束经过相位调制器5后传输至其第二输出端,即,从 3×3 光纤耦合器4的第二、第三输出端输出的脉冲出射激光束分别沿顺时针和逆时针方向在萨格奈克光纤环6中传输(如图2中箭头所示),然后返回 3×3 光纤耦合器4的第三、第二输出端;返回至 3×3 光纤耦合器4的两路脉冲出射激光束在 3×3 光纤耦合器4中发生干涉,干涉光再分别从 3×3 光纤耦合器4的第二、第三输入端进入平衡探测器7的两个光输入端口,经平衡探测器7进行光电转换成射频

信号直接从平衡探测器7的射频输出端口输出。

[0033] 需要说明的是,3×3光纤耦合器4除了按照图1所示与平衡探测器7为自由空间光连接以外,也可以通过光纤适配器(未示出)进行光连接。

[0034] 返回参阅图1,射频处理模块包括依次电连接至平衡探测器7的射频输出端口的一信号处理电路8、一高频振荡器9和一放大电路10,放大电路10输出一高频微波信号11并反馈连接至相位调制器5的射频输入接口。其中,高频振荡器9可以采用压控振荡器或介质振荡器,在本实施例中优选采用的是压控振荡器,其中心频率与高频微波信号11的频率一致,均为激光脉冲信号1的整数倍,即 $238 \times N$ (N为整数) MHz,其中N一般为12,也可以取N为24、48等。在本实施例中,N取12,高频微波信号频率即为2856MHz。

[0035] 优选地,信号处理电路8可以采用现有的二阶有源滤波电路或者由反相加法电路、反比例电路和二阶无源滤波电路组成的电路,当然也可以采用已知的其它形式的电路。

[0036] 本发明的平衡光学微波再生系统的具体工作原理如下:

[0037] 首先,外围信号源锁模光纤激光器发射出的波长为1550nm、频率为238MHz的激光脉冲信号1依次经过光隔离器2、光纤环形器3后沿着光传播方向传输,并由3×3光纤耦合器4的第一输入端进入3×3光纤耦合器4。其中,光隔离器2在此主要起到使激光脉冲信号1只能沿一个方向(即箭头所指的方向)传播的作用,以防止其反射回激光器对激光器造成损坏。而在此设置光纤环形器3是为了方便测量从3×3光纤耦合器4的第一输入端返回至光纤环形器3的第三端口的光能量,是为了留一个备用测试端口。

[0038] 然后,激光脉冲信号1分别从其第二、第三输出端按光能量等比分配输出,经过相位调制器5后再分别返回至3×3光纤耦合器4的第三、第二输出端;返回至3×3光纤耦合器4的两路激光脉冲信号在3×3光纤耦合器4中发生干涉,干涉光再分别从3×3光纤耦合器4的第二、第三输入端进入平衡探测器7的两个光输入端口。本领域技术人员应该理解,如果从3×3光纤耦合器4的第二输入端和第三输入端输出的两路干涉光能量不一致时,则需要在能量较大的一路接入一可调光衰减器(未示出),以确保两路干涉光的能量一致;如果从3×3光纤耦合器的第二输入端和第三输入端输出的两路干涉光的能量一致时,则不需要接入可调光衰减器。

[0039] 平衡探测器7接收到两路干涉光后进行光电转换,转换成射频信号后直接从平衡探测器7的射频输出端口输出。该射频信号即为从3×3光纤耦合器4的第二、第三输入端输出的两路干涉光相减的相差信号。

[0040] 该相差信号经信号处理电路8滤掉高频分量后输出一直流信号,该直流信号作为高频振荡器9的控制电压。高频振荡器9输出的信号频率将随着控制电压的变化而变化,即,相差信号的微小变化会改变高频振荡器9的输出信号频率,具体地说,当两路干涉光强度、相位完全一样时,相差信号为输出为0V的直流,此时高频振荡器9产生2856MHz的高频微波信号;当相差信号为大于0V的直流时,高频振荡器9产生频率大于2856MHz的高频微波信号;当相差信号为小于0V的直流时,高频振荡器9产生频率小于2856MHz的高频微波信号。由于从高频振荡器9输出的高频微波信号能量一般较小,且里面还带有238MHz的高次谐波,因此还需要通过放大电路10滤波放大后变成高精度的高频微波信号11。高频微波信号11分成两路,一路直接输出供给自由电子激光装置或其他射频系统使用,另一路作为锁相环的反馈信号用于相位调制器5的射频输入。当锁相环环路锁定后,即使有由于激光脉冲引入的强度

噪声,平衡探测器7引入的幅度-相位噪声等造成两路光信号的相位偏差,本发明都可以输出超稳定、超高精度的高频微波信号11。

[0041] 以上所述的,仅为本发明的较佳实施例,并非用以限定本发明的范围,本发明的上述实施例还可以做出各种变化,例如放大电路可以使用市场上现有商品也可以自己设计。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰,皆落入本发明的权利要求保护范围。

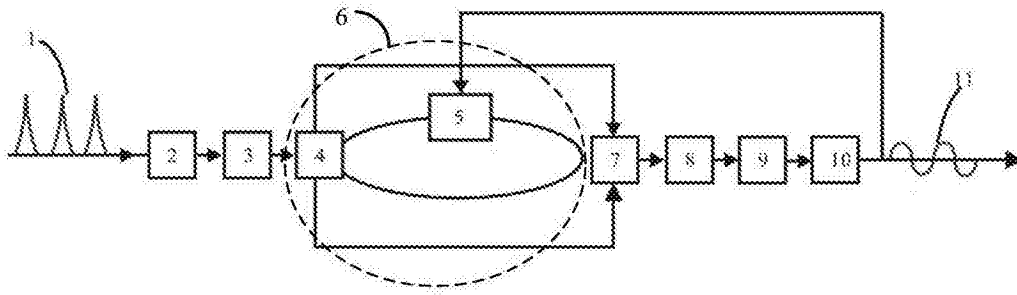


图1

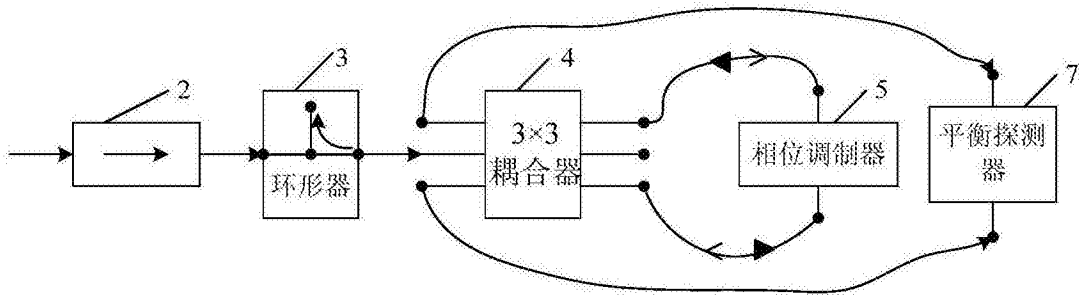


图2

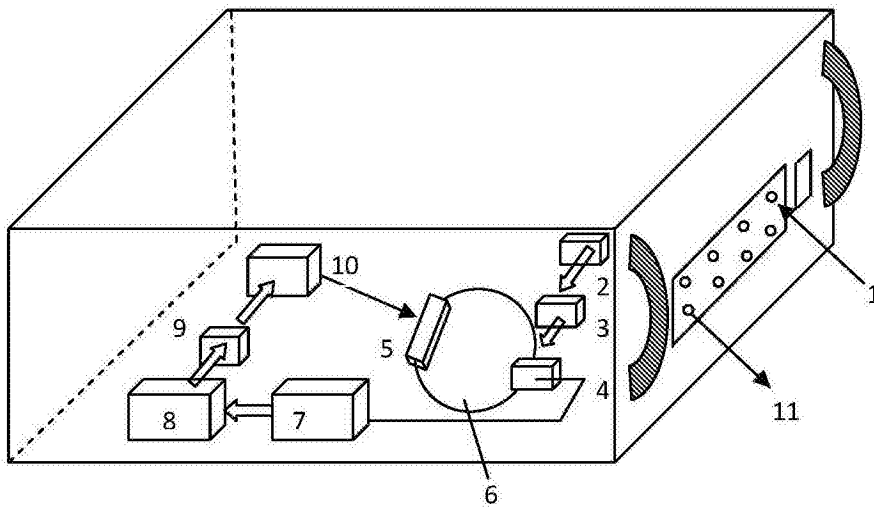


图3