



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112636823 A

(43) 申请公布日 2021. 04. 09

(21) 申请号 202011426295.0

(22) 申请日 2020.12.09

(71) 申请人 中国电子科技集团公司第三十研究所

地址 610000 四川省成都市高新区创业路6号

(72) 发明人 王恒 徐兵杰 黄伟 皮晓迪 邹新海

(74) 专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理有限公司 51214

代理人 贾年龙

(51) Int. Cl.

H04B 10/079 (2013.01)

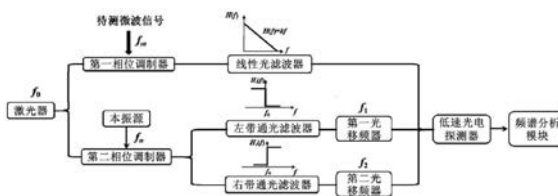
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于光子辅助的微波频率测量方法与装置

(57) 摘要

本发明涉及微波光子领域,公开了一种基于光子辅助的微波频率测量方法与装置,本方法中,激光器输出的光载波分为两路,上路光载波形成第一相位调制光信号,并经过幅值整型后形成幅值线性整型光信号;下路光载波形成第二相位调制光信号;第二相位调制光信号分为两分支,上分支经过左带通滤波器后得到左边带相位调制信号,再经过第一移频器得到第一移频信号;下分支经过右带通滤波器后得到右边带相位调制信号,再经过第二光移频器得到第二移频信号;幅值线性整型光信号、第一光移频信号和第二光移频信号合束后转换为电信号,最后对电信号进行分析,获得待测频率。本发明提供的装置及方法不仅提升了微波频率测量的范围,而且实现多频率的实时测量。



CN 112636823 A

1. 一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,包括:

激光器输出的光载波分为第一路光载波和第二路光载波,所述第一路光载波经过第一相位调制器时,加载待测的微波信号,形成第一相位调制光信号,通过线性光滤波器对所述第一相位调制光进行线性幅值整形,形成幅值与频率具有线性映射关系的幅值线性整形光信号;

所述第二路光载波经过第二相位调制器,在本振源的配合下,加入本振信号,形成第二相位调制光信号;

所述第二相位调制光信号分为两分支,所述第一分支第二相位调制光信号先经过左带通滤波器进行左带通滤波得到左边带相位调制信号,再通过第一光移频器得到第一光移频信号;

所述第二分支第二相位调制光信号先经过右带通光滤波器进行右带通滤波得到右边带相位调制信号,再经过第二光移频器得到第二光移频信号;

将所述幅值线性整形光信号、所述第一光移频信号和所述第二光移频信号进行合束,合束后再经过低速光电探测器光电转换为电信号,然后利用所述频谱分析模块对电信号进行分析,得到第一光移频信号和第二光移频信号的幅值之比,最后通过线性光滤波器的线性映射关系获得待测微波信号的频率。

2. 根据权利要求1所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,在形成幅值与频率具有线性映射关系的幅值线性整形光信号步骤中,其幅值线性整形光信号的公式如下:

$$E_s = A_s \sum_{k=1}^1 J_k(m_s) H(f_0 + kf_m) \exp(j2\pi f_0 t + j2\pi k f_m t)$$

其中, f_0 为光载波的频率, A_s 为第一路光载波的幅值, f_m 为待测微波信号的频率, m_s 对应于所述第一相位调制器的调制系数, t 为时间。

3. 根据权利要求2所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,所述第一光移频信号的公式如下:

$$E_{r1} = A_r \sum_{p=-\infty}^0 J_p(m_r) \exp(j2\pi f_0 t + j2\pi p f_n t + j2\pi f_1 t)$$

其中, A_r 为第一路光载波的幅值, m_r 为第二相位调制器的调制系数, f_1 为所述第一光移频器的移频频率,所述 f_n 为本振信号的频率。

4. 根据权利要求3所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,所述第二光移频信号的公式如下:

$$E_{r2} = A_r \sum_{q=0}^{+\infty} J_q(m_r) \exp(j2\pi f_0 t + j2\pi q f_n t + j2\pi f_2 t)$$

其中, A_r 为第一路光载波的幅值, m_r 为第二相位调制器的调制系数, f_2 为所述第二光移频器的移频频率,所述 f_n 为本振信号的频率。

5. 根据权利要求4所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,所述电信号的公式如下:

$$\begin{aligned}
i(t) &= R(E_s + E_{r_1} + E_{r_2})(E_s^* + E_{r_1}^* + E_{r_2}^*) \\
&= R \left[A_s \sum_{k=-1}^1 J_p(m_s) H(f_0 + kf_m) \right]^2 + R \left[A_{r_1} \sum_{p=-\infty}^0 J_p(m_r) \right]^2 + R \left[A_{r_2} \sum_{q=0}^{+\infty} J_p(m_r) \right]^2 \\
&\quad + 2RA_{r_1}A_s \sum_{k=-1}^1 \sum_{p=-\infty}^0 J_k(m_s) J_p(m_r) H(f_0 + kf_m) \cos(2\pi kf_m t - 2\pi pf_n t - 2\pi f_1 t) \\
&\quad + 2RA_s A_{r_2} \sum_{k=-1}^1 \sum_{q=0}^{+\infty} J_k(m_s) J_q(m_r) H(f_0 + kf_m) \cos(2\pi kf_m t - 2\pi qf_n t - 2\pi f_2 t) \\
&\quad + 2RA_{r_1}A_{r_2} \sum_{p=-\infty}^0 J_p(m_r) \sum_{q=0}^{+\infty} J_q(m_r) \cos(2\pi pf_n t + 2\pi f_1 t - 2\pi qf_n t - 2\pi f_2 t)
\end{aligned}$$

6. 根据权利要求5所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,所述第一光移频信号和第二光移频信号的幅值之比的公式如下:

$$\frac{A(f_l = f_m - nf_n + f_1)}{A(f_r = f_m - nf_n - f_2)} = \frac{H(f_0 - f_m)}{H(f_0 + f_m)}$$

其中, $A(f_1)$ 和 $A(f_2)$ 分别为第一光移频信号和第二光移频信号的幅值, $H(f)$ 表示线性映射关系。

7. 根据权利要求4所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,所述 f_1 、 f_2 均为低频频率。

8. 根据权利要求4所述的一种基于光子辅助的微波频率测量方法,其特征在于,对于多频率测量时,每一个待测频率对应于两个低频边带信号,两个低频边带信号的频差为第一光移频器移频频率与第二光移频器移频频率之和。

9. 一种基于光子辅助的微波频率测量装置,其特征在于,包括:激光器、第一相位调制器、线性光滤波器、第二相位调制器、左带通光滤波器、第一光移频器、右带通光滤波器、第二光移频器、低速光电探测器、本振源和频谱分析模块;

其中,所述激光器分别与第一相位调制器和第二相位调制器相连,将光载波分别输入第一相位调制器和第二相位调制器;

所述第一相位调制器连接至线性光滤波器,所述第二相位调制器分别连接至左带通光滤波器和右带通光滤波器,所述左带通光滤波器连接至第一光移频器,所述右带通光滤波器连接至第二光滤波器,所述线性光滤波器、第一光移频器和第二光移频器都连接至低速光电探测器,所述光电探测器最后连接至频谱分析模块,所述本振源连接在第二相位调制器上。

一种基于光子辅助的微波频率测量方法与装置

技术领域

[0001] 本发明属于微波光子领域,具体涉及一种基于光子辅助的微波频率测量方法与装置。

背景技术

[0002] 微波频率的测量对现代电子战中快速预警和拦截敌方未知信号有着重要的研究意义,传统的微波频率测量技术主要借助于电子器件,然而随着微波频段的提升,电子器件面临着带宽瓶颈的问题,无法满足高带宽、高精度和多频率微波频率测量。光子技术由于具有宽带、高精度、多维的信号处理能力而运用于微波频率测量以显著提升微波频率测量带宽。然而当前大部分的基于光子辅助的微波频率测量技术,例如频率-幅度映射测频法、频率-时间映射测频法和频率-频率映射测频法等测量带宽都局限在20GHz以内的频率范围和测量精度仅为GHz量级且不均匀,即使能实现宽带范围内微波频率测量的扫频法仍很难适用于多频率微波信号的实时频率测量。因此,现有的光子辅助的微波频率测量方法面临着技术不成熟,实现难度大的问题,无法满足高带宽、高精度和多频率微波信号的频率实时测量需求。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是:针对上述存在的问题,提供了一种基于光子辅助的微波频率测量方法与装置,具有宽带、高精度、多频率的实时测量优点,减小了微波频率测量的接收带宽需求。

[0004] 本发明采用的技术方案如下:

[0005] 一方面,本发明提供一种基于光子辅助的微波频率测量方法,包括如下内容:

[0006] 激光器输出频率为 f_0 的光载波分为两路,第一路光载波在第一相位调制器中加载了频率为 f_m 的待测微波信号形成小信号近似条件下的第一相位调制光信号 $f_0 - f_m, f_0, f_0 + f_m$,然后由线性光滤波器进行线性幅值整型,形成具有 $H(f)$ 映射关系的幅值线性整型光信号。

[0007] 第二路光载波在第二相位调制器中加载了由本振源输出频率为 f_n 的本振信号形成边带为 $f_0 - nf_n, \dots, f_0 - f_n, f_0, f_0 + f_n, \dots, f_0 + nf_n$ 第二相位调制光信号,其中 n 为正整数。

[0008] 第二相位调制光信号分为两分支,第一分支经过左带通光滤波器进行以 f_0 为中心的左带通滤波得到左边带相位调制信号 $f_0 - nf_n, \dots, f_0 - f_n, f_0$,再经过第一光移频器得到第一光移频信号 $f_0 - nf_n + f_1, \dots, f_0 - f_n + f_1, f_0 + f_1$,其中 f_1 为所述第一光移频器的移频频率。

[0009] 第二分支经过右带通光滤波器进行以 f_0 为中心的右带通滤波得到右边带相位调制信号 $f_0, f_0 + f_n, \dots, f_0 + nf_n$,再经过第二光移频器得到第二光移频信号 $f_0 + f_2, f_0 + f_n + f_2, f_0 + nf_n + f_2, \dots$,其中 f_2 为所述第二光移频器的移频频率。

[0010] 幅值线性整型光信号、第一光移频信号和第二光移频信号合束后经过所述低速光电探测器光电转换为电信号,然后利用所述频谱分析模块对电信号进行分析,得到两个低

频边带 f_l 和 f_r 的幅值之比为:

$$[0011] \quad \frac{A(f_l = f_m - nf_n + f_1)}{A(f_r = f_m - nf_n - f_2)} = \frac{H(f_0 - f_m)}{H(f_0 + f_m)}$$

[0012] 最后通过所述线性光滤波器的幅值与频率的线性映射关系 $H(f)$ 获得待测频率 f_m 。

[0013] 另一方面,本发明还提供一种基于光子辅助的微波频率测量装置,包括:激光器、第一相位调制器、线性光滤波器、第二相位调制器、左带通光滤波器、第一光移频器、右带通光滤波器、第二光移频器、低速光电探测器、本振源和频谱分析模块;

[0014] 其中,所述激光器分别与第一相位调制器和第二相位调制器相连,将光载波分别输入第一相位调制器和第二相位调制器;

[0015] 所述第一相位调制器连接至线性光滤波器,所述第二相位调制器分别连接至左带通光滤波器和右带通光滤波器,所述左带通光滤波器连接至第一光移频器,所述右带通光滤波器连接至第二光滤波器,所述线性光滤波器、第一光移频器和第二光移频器都连接至低速光电探测器,所述光电探测器最后连接至频谱分析模块,所述本振源连接在第二相位调制器上。

[0016] 与现有技术相比,采用上述技术方案的有益效果为:

[0017] 本发明通过测量频差为 f_1+f_2 的两个低频边带的幅值之比来获得待测宽带微波信号的频率,极大节省了微波频率测量系统的带宽需求;

[0018] 本发明利用相位调制器的非线性效应产生的等频率间隔的光频梳,不仅提升了微波频率测量的范围,而且实现多频率的实时测量。

附图说明

[0019] 图1是本发明一种基于光子辅助的微波频率测量装置图。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明做进一步描述。

[0021] 如图1所示,本实施例一方面提供一种基于光子辅助的微波频率测量装置,包括光纤连接的激光器、第一相位调制器、线性光滤波器、第二相位调制器、左带通光滤波器、第一光移频器、右带通光滤波器、第二光移频器、低速光电探测器,以及包括电连接的本振源和频谱分析模块。

[0022] 其中,所述激光器分别与第一相位调制器和第二相位调制器相连,将光载波分别输入第一相位调制器和第二相位调制器;

[0023] 所述第一相位调制器连接至线性光滤波器,所述第二相位调制器分别连接至左带通光滤波器和右带通光滤波器,所述左带通光滤波器连接至第一光移频器,所述右带通光滤波器连接至第二光滤波器,所述线性光滤波器、第一光移频器和第二光移频器都连接至低速光电探测器,所述光电探测器最后连接至频谱分析模块,所述本振源连接在第二相位调制器上。

[0024] 另一方面,本实施例还提供一种基于光子辅助的微波频率测量方法,如下:

[0025] 所述激光器输出频率为 f_0 的光载波分为上下两路,上路光载波进入第一相位调制

器进行相位调制,其中所述第一相位调制器上加载的微波信号为待测微波信号,在小信号近似条件下形成第一相位调制光信号,然后由所述线性光滤波器进行线性幅值整型,形成幅值与频率具有 $H(f)$ 线性映射关系的幅值线性整型光信号:

$$[0026] \quad E_s = A_s \sum_{k=-1}^1 J_k(m_s) H(f_0 + kf_m) \exp(j2\pi f_0 t + j2\pi k f_m t)$$

[0027] 式中 f_0 为光载波的频率, A_s 为上路光载波的幅值, f_m 为待测微波信号的频率, m_s 对应于所述第一相位调制器的调制系数, t 为时间。

[0028] 下路的光载波进入所述第二相位调制器进行相位调制,其中所述第二相位调制器上加载所述本振源输出频率为 f_n 的本振信号,形成的第二相位调制光信号分为上下两分支。上分支的第二相位调制光信号经过所述左带通光滤波器进行滤波,然后由第一光移频器频移 f_1 ,得到的第一光移频信号为:

$$[0029] \quad E_{r1} = A_r \sum_{p=-\infty}^0 J_p(m_r) \exp(j2\pi f_0 t + j2\pi p f_n t + j2\pi f_1 t)$$

[0030] 式中 A_r 为上路光载波的幅值, m_r 为第二相位调制器的调制系数。下分支的第二相位调制光信号经过所述右带通光滤波器进行滤波,然后由第二光移频器频移 f_2 ,得到的第二光移频信号为:

$$[0031] \quad E_{r2} = A_r \sum_{q=0}^{+\infty} J_q(m_r) \exp(j2\pi f_0 t + j2\pi q f_n t + j2\pi f_2 t)$$

[0032] 上述式中频率 f_1 、 f_2 均为低频频率。

[0033] 三路光信号合束后经过所述低速光电探测器进行探测,得到的电信号为:

$$[0034] \quad \begin{aligned} i(t) &= R(E_s + E_{r1} + E_{r2})(E_s^* + E_{r1}^* + E_{r2}^*) \\ &= R \left[A_s \sum_{k=-1}^1 J_k(m_s) H(f_0 + kf_m) \right]^2 + R \left[A_{r1} \sum_{p=-\infty}^0 J_p(m_r) \right]^2 + R \left[A_{r2} \sum_{q=0}^{+\infty} J_q(m_r) \right]^2 \\ &\quad + 2RA_{r1}A_s \sum_{k=-1}^1 \sum_{p=-\infty}^0 J_k(m_s) J_p(m_r) H(f_0 + kf_m) \cos(2\pi k f_m t - 2\pi p f_n t - 2\pi f_1 t) \\ &\quad + 2RA_s A_{r2} \sum_{k=-1}^1 \sum_{q=0}^{+\infty} J_k(m_s) J_q(m_r) H(f_0 + kf_m) \cos(2\pi k f_m t - 2\pi q f_n t - 2\pi f_2 t) \\ &\quad + 2RA_{r1}A_{r2} \sum_{p=-\infty}^0 J_p(m_r) \sum_{q=0}^{+\infty} J_q(m_r) \cos(2\pi p f_n t + 2\pi f_1 t - 2\pi q f_n t - 2\pi f_2 t) \end{aligned}$$

[0035] 利用所述频谱分析模块对电信号进行分析,得到两个低频边带 f_1 和 f_r 的幅值之比为:

$$[0036] \quad \frac{A(f_l = f_m - n f_n + f_1)}{A(f_r = f_m - n f_n - f_2)} = \frac{H(f_0 - f_m)}{H(f_0 + f_m)}$$

[0037] 式中 n 为正整数且由 f_m 与 f_n 决定, $A(f_1)$ 和 $A(f_r)$ 分别为两个左右低频边带 f_1 和 f_r 的幅值。最后通过所述线性光滤波器设置的幅值与频率的线性映射关系 $H(f)$ 获得待测频率 f_m 。对于多频率微波信号的测量,利用所述频谱分析模块测量低频边带频率,将频率差为 $f_1 + f_2$ 两个低频边带作为求解一个待测频率所需的两个低频边带。

[0038] 下面提供一个实施实例。

[0039] 设置所述激光器输出的光载波频率 $f_0=193.4\text{THz}$,待测微波信号为具有三个频率成分的微波信号,分别为 $f_{m1}=2.52\text{GHz}$ 、 $f_{m2}=9.82\text{GHz}$ 和 $f_{m3}=20.47\text{GHz}$,所述本振源输出的本振信号频率 $f_n=2\text{GHz}$,所述第一光移频器的移频频率 $f_1=0.08\text{GHz}$,所述第二光移频器的移频频率 $f_2=0.05\text{GHz}$,所述线性光滤波器设置的幅值与频率的线性映射关系为 $H(f)$ 。由图1所示,经过光域处理的三路光载波信号合束后由所述低速光电探测器进行光电转换形成电信号,最后由所述频谱分析模块对电信号的低频成分进行分析,将频率差为 0.13GHz (f_1+f_2) 的两个低频边带作为一组,测量得到下列三组低频边带的幅值之比为:

$$[0040] \quad \frac{A(f_{l1}=f_{m1}-n_1f_n+f_1)}{A(f_{r1}=f_{m1}-n_1f_n-f_2)} = \frac{A(0.6\text{GHz})}{A(0.47\text{GHz})} = \frac{H(f_0-f_{m1})}{H(f_0+f_{m1})}$$

$$[0041] \quad \frac{A(f_{l2}=f_{m2}-n_2f_n+f_1)}{A(f_{r2}=f_{m2}-n_2f_n-f_2)} = \frac{A(0.1\text{GHz})}{A(0.23\text{GHz})} = \frac{H(f_0-f_{m2})}{H(f_0+f_{m2})}$$

$$[0042] \quad \frac{A(f_{l3}=f_{m3}-n_3f_n+f_1)}{A(f_{r3}=f_{m3}-n_3f_n-f_2)} = \frac{A(0.55\text{GHz})}{A(0.42\text{GHz})} = \frac{H(f_0-f_{m3})}{H(f_0+f_{m3})}$$

[0043] 根据上述幅值之比利用所述线性光滤波器的幅值与频率的线性映射关系 $H(f)$ 获得待测频率 $f_{m1}=2.52\text{GHz}$ 、 $f_{m2}=9.82\text{GHz}$ 和 $f_{m3}=20.47\text{GHz}$ 。

[0044] 本发明通过测量频差为 f_1+f_2 的两个低频边带的幅值之比来获得待测宽带微波信号的频率,极大节省了微波频率测量系统的带宽需求;

[0045] 本发明利用相位调制器的非线性效应产生的等频率间隔的光频梳,不仅提升了微波频率测量的范围,而且实现多频率的实时测量。

[0046] 本发明并不局限于前述的具体实施方式。本发明扩展到任何在本说明书中披露的新特征或任何新的组合,以及披露的任一新的方法或过程的步骤或任何新的组合。如果本领域技术人员,在不脱离本发明的精神所做的非实质性改变或改进,都应该属于本发明权利要求保护的范围。

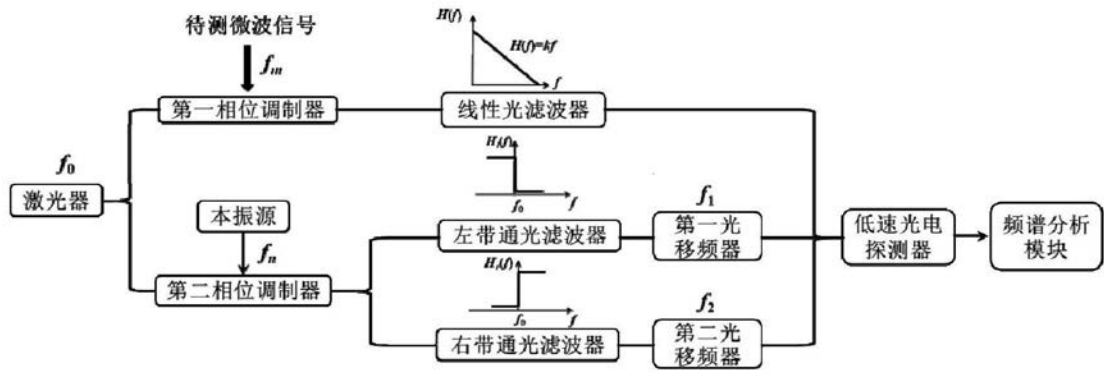


图1