



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110186551 A

(43)申请公布日 2019. 08. 30

(21)申请号 201910537796.7

(22)申请日 2019.06.20

(71)申请人 厦门大学

地址 361000 福建省厦门市思明区思明南路422号

(72)发明人 黄文财 陈汉桥 熊彦彬 杨惠茹 冯腾

(74)专利代理机构 厦门致群专利代理事务所
(普通合伙) 35224

代理人 黄华

(51)Int.Cl.

G01H 9/00(2006.01)

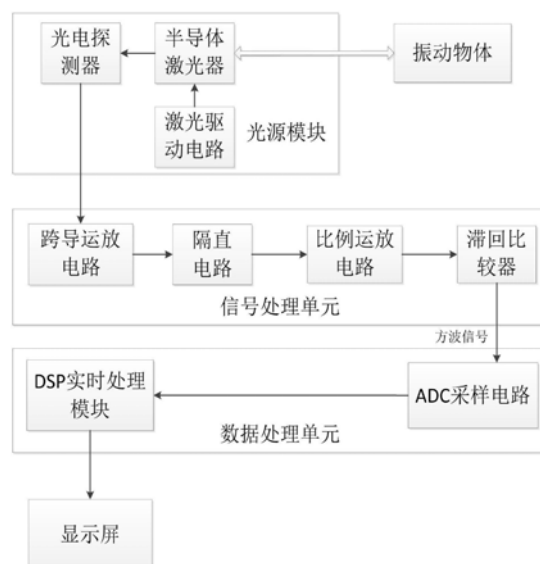
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置,包括光源单元、信号处理单元及数据处理单元,信号处理单元引入了滞回比较器处理信号,以输出所需方波信号,数据处理单元对输出的方波信号寻找翻转点,以根据相邻翻转点间的同一倾斜方向条纹数计算物体振动幅度。本发明还公开了一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法。本发明采用上下限可调的滞回比较器电路对得到的激光自混合信号进行方波变换,有效减小外界的噪声对测量稳定性和准确性的影响。采用自混合干涉原理对激光光源相干性无特定要求,激光器选择自由度大。同时,对信号的放大倍数可控,可测的最小振幅值可达纳米级,易实现宽范围实时测量。



1. 基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置, 其特征在于, 包括:

光源单元, 其用于监测待测振动物体, 以产生自混合激光强度信号并将其转换为对应的电流信号;

信号处理单元, 其包括信号前处理模块与信号后处理模块; 所述信号前处理模块将电流信号转化为电压信号并进行放大; 所述信号后处理模块包括滞回比较器, 所述滞回比较器用于实现信号处理, 使输出的方波信号中的方波在单位时间内个数最多且毛刺电平最少;

数据处理单元, 其对输出的方波信号寻找翻转点, 以根据相邻翻转点间的同一倾斜方向的条纹数计算物体振动幅度。

2. 如权利要求1所述的一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置, 其特征在于: 所述数据处理单元还根据所述翻转点的采样序数计算待测振动物体的振动信息。

3. 如权利要求1所述的一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置, 其特征在于: 所述光源单元包括半导体激光器、激光驱动电路及光电探测器; 所述信号前处理模块包括跨导运放电路、隔直电路及比例运放电路; 所述数据处理单元包括ADC采样电路及DSP实时处理模块; 所述激光驱动电路及光电探测器分别与所述半导体激光器相连, 所述光电探测器、跨导运放电路、隔直电路、比例运放电路、滞回比较器、ADC采样电路及DSP实时处理模块依次相连。

4. 如权利要求3所述的一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置, 其特征在于: 所述比例运放电路采用变阻器作为负反馈电阻, 实现可变放大倍数; 或者, 所述比例运放电路采用固定电阻作为负反馈电阻, 实现固定放大倍数。

5. 如权利要求1所述的一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置, 其特征在于: 所述滞回比较器采用可变电阻器作为反馈电阻, 实现其上下门限电压可变。

6. 基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1、信号的产生及输出: 半导体激光器的出射光打在待测振动物体表面, 部分光返回激光腔内, 产生自混合激光强度信号; 光电探测器检测自混合激光强度信号并将其转换为对应的电流信号输出;

S2、信号处理: 将电流信号转化为电压信号, 并进行信号放大; 将放大后的电压信号输入滞回比较器, 在信号幅值范围内调节滞回比较器的上下门限电压, 使输出的方波信号中的方波在单位时间内个数最多且毛刺最少;

S3、数据处理:

S31、对S2输出的方波信号进行AD采样, 并对采样后的信号计算各电平宽度;

S32、根据电平宽度寻找翻转点: 若某电平与其前后两个同极性电平的比值均超过设定阈值, 则该电平为翻转点;

S33、计算物体振动幅度: $A = \lambda * N / 4$, 其中A为物体的振幅, λ 为激光的波长, N为两相邻翻转点间的同一倾斜方向的条纹数。

7. 如权利要求6所述的基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法, 其特征在于, S3还包括步骤:

S34、计算物体振动频率: $F = 2 * f_s / (X_2 - X_1)$, 其中F为物体的振动频率, X_1 为前一个翻转点的采样序数, X_2 为后一个翻转点的采样序数, f_s 为采样率。

8.如权利要求6所述的基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法,其特征在于:S31中,对高低电平发生跳变的点进行检测,得到方波各边沿的时间坐标,通过相邻边沿的时间坐标求差得到各电平的时间宽度,获得所述电平宽度。

9.如权利要求6所述的基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法,其特征在于:S32中,所述设定阈值 ≥ 2 。

10.如权利要求6所述的基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法,其特征在于:S33中,相邻两个翻转点间的同一倾斜方向的非完整条纹相加小于半个条纹的按照0.5个条纹处理,大于0.5个条纹小于1个条纹的按照1个条纹处理。

基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学纳米测量技术领域,具体涉及一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置及方法。

背景技术

[0002] 纳米振动测量在高精密工程技术、精密加工、航空航天等许多应用中具有越来越重要的意义。目前研究学者们提出了一些有意义的微弱振动物体的振幅测量方法。其中,基于光学技术的测量手段具有非接触高精度的优点而倍受重视。

[0003] 常用的光学振动测量方法有几何光学法和光学干涉法。然而,已有报道的几何光学法大多要求复杂精密的光学调整系统;在激光干涉测量领域,由于其光学结构简单,易于准直的特点,自混合干涉方法被大量研究和应用。在自混合干涉测振动方法上,有频域分析测量方法和时域条纹计数方法。

[0004] 频域测量方法对外界的噪声敏感,对信号的信噪比要求较高,当噪声变大时,频谱将不稳定,有用频率分量易被噪声频谱掩盖,测量结果变得不准确。传统的条纹计数法分为人工计数和自动计数,人工计数方法对于被测物振动幅度较大时很耗时,而传统自动计数方法容易将阈值处的噪声电压波动当成有效条纹进行计数,产生较大计数误差。同时,条纹计数法的精度通常只能达到 $\lambda/2$,因此,这对于实现实时地简单、稳定测量和要求纳米级高精度分辨率的应用场合并不适宜。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置及方法,其结构简单紧凑、方法简单高效、测量结果稳定、准确、分辨率高,使用范围广。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置,包括:

[0008] 光源单元,其用于监测待测振动物体,以产生自混合激光强度信号并将其转换为对应的电流信号;

[0009] 信号处理单元,其包括信号前处理模块与信号后处理模块;所述信号前处理模块将电流信号转化为电压信号并进行放大;所述信号后处理模块包括滞回比较器,所述滞回比较器用于实现信号处理,使输出的方波信号中的方波在单位时间内个数最多且毛刺电平最少;

[0010] 数据处理单元,其对输出的方波信号寻找翻转点,以根据相邻翻转点间的同一倾斜方向的条纹数计算物体振动幅度。

[0011] 进一步地,所述数据处理单元还根据所述翻转点的采样序数计算待测振动物体的振动信息。

[0012] 进一步地,所述光源单元包括半导体激光器、激光驱动电路及光电探测器;所述信号前处理模块包括跨导运放电路、隔直电路及比例运放电路;所述数据处理单元包括ADC采

样电路及DSP实时处理模块;所述激光驱动电路及光电探测器分别与所述半导体激光器相连,所述光电探测器、跨导运放电路、隔直电路、比例运放电路、滞回比较器、ADC采样电路及DSP实时处理模块依次相连。

[0013] 进一步地,所述比例运放电路采用变阻器作为负反馈电阻,实现可变放大倍数;或者,所述比例运放电路采用固定电阻作为负反馈电阻,实现固定放大倍数。

[0014] 进一步地,所述滞回比较器采用可变电阻器作为反馈电阻,实现其上下门限电压可变。

[0015] 本发明还公开了一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法,包括以下步骤:

[0016] S1、信号的产生及输出:半导体激光器的出射光打在待测振动物体表面,部分光返回激光腔内,产生自混合激光强度信号;光电探测器检测自混合激光强度信号并将其转换为对应的电流信号输出;

[0017] S2、信号处理:将电流信号转化为电压信号,并进行信号放大;将放大后的电压信号输入滞回比较器,在信号幅值范围内调节滞回比较器的上下门限电压,使输出的方波信号中的方波在单位时间内个数最多且毛刺最少;

[0018] S3、数据处理:

[0019] S31、对S2输出的方波信号进行AD采样,并对采样后的信号计算各电平宽度;

[0020] S32、根据电平宽度寻找翻转点:若某电平与其前后两个同极性电平的比值均超过设定阈值,则该电平为翻转点;

[0021] S33、计算物体振动幅度: $A = \lambda * N / 4$,其中A为物体的振幅, λ 为激光的波长,N为两相邻翻转点间的同一倾斜方向的条纹数。

[0022] 进一步地,S3还包括步骤:

[0023] S34、计算物体振动频率: $F = 2 * f_s / (X_2 - X_1)$,其中F为物体的振动频率, X_1 为前一个翻转点的采样序数, X_2 为后一个翻转点的采样序数, f_s 为采样率。

[0024] 进一步地,S31中,对高低电平发生跳变的点进行检测,得到方波各边沿的时间坐标,通过相邻边沿的时间坐标求差得到各电平的时间宽度,获得所述电平宽度。

[0025] 进一步地,S32中,所述设定阈值 ≥ 2 。

[0026] 进一步地,S33中,相邻两个翻转点间的同一倾斜方向的非完整条纹相加小于半个条纹的按照0.5个条纹处理,大于0.5个条纹小于1个条纹的按照1个条纹处理。

[0027] 采用上述技术方案后,本发明与背景技术相比,具有如下优点:

[0028] 1、本发明无需传统激光干涉仪的参考臂,其单光路具有易准直且减小系统对外界的噪声敏感度。采用自混合干涉原理对激光光源相干性无特定要求,激光器选择自由度大。

[0029] 2、由于对自混合信号采用滞回比较器进行处理,输出宽窄不一样的高低方波,方波信号在翻转点处对应的方波电平宽度明显大于非翻转点处方波电平宽度,使得对得到的自混合波形的信噪比要求降低,自混合信号上的毛刺对测量结果影响可忽略,所以可以不需要低通滤波电路,不必采用高精度、超低噪声的集成运放电路来构成有源低通滤波器,降低了成本;且当自混合信号条纹形状不好或者有包络的情况时,测量精度依旧保持良好。

[0030] 3、测量系统的整体设计易于集成,测量方式简便可靠,分辨率达到 $\lambda/8$,适合产业化应用。

附图说明

[0031] 图1为激光自混合干涉技术的原理图。

[0032] 图2为本发明振幅测量装置的结构示意图。

[0033] 图3为本发明振幅测量方法的流程示意图。

[0034] 图4为本发明获得的方波示意图。

[0035] 图5为本发明的一测量结果示意图。

具体实施方式

[0036] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0037] 在对实施例进行描述之前,首先对本发明的基本原理进行说明。本发明是基于激光的自混合干涉原理进行设计的,当被测物发生位移时,携带外腔光程变化信号的反射光将影响内腔,使激光功率发生扰动,即被测物的位移信息体现在光功率波动中。

[0038] 实施例1

[0039] 请参考图2所示,本发明公开了一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量装置,其包括光源单元、信号处理单元及数据处理单元。

[0040] 所述光源单元用于监测待测振动物体,以产生自混合激光强度信号并将其转换为对应的电流信号;所述信号处理单元对所述光源单元输出的信号进行处理,获得所需的方波信号;所述数据处理单元对方波信号进行分析计算,求解待测振动物体的振幅及频率。

[0041] 本实施例中,所述光源单元包括半导体激光器及分别与所述半导体激光器相连的光电探测器及激光驱动电路。所述光电探测器封装在半导体激光器中,所述半导体激光器的激光经过激光器自带的调焦透镜聚集后打在待测振动物体表面,照射在其表面的激光部分返回到激光腔内,与腔内的激光发生干涉,产生自混合激光强度信号,所述光电探测器将自混合激光强度信号转化为对应的电流信号。

[0042] 其中,待测振动物体的表面要求有一定的反射率,能够将照射在其上的激光部分返回到激光腔内,若表面能够粘贴反射镜则对待测物体表面不做要求。

[0043] 当然,也可以采用外部独立的光电探测器通过分光镜来探测激光的输出光强。光源1也可采用其他准直性符合要求的激光器,本发明不做具体限制。

[0044] 本实施例中,所述信号处理单元包括信号前处理模块与信号后处理模块。

[0045] 所述信号前处理模块依次包括跨导运放电路、隔直电路及比例运放电路。所述跨导运放电路将所述电流信号转化为电压信号;所述隔直电路通过隔直电容滤除信号中的直流成分;所述比例运放电路对微弱的信号进行放大。本实施例中,所述比例运放电路可以采用变阻器作为负反馈电阻,实现可变放大倍数;也可以采用固定电阻作为负反馈电阻,实现固定放大倍数;可以采用同向比例运放,也可以采用反向比例运放。本发明不做具体限制。

[0046] 所述信号后处理模块包括滞回比较器,其对所述比例运放电路输出的信号进行处理,以输出方波信号。其中,所述滞回比较器可通过调整上下门限电压来将来应对不同幅值大小的自混合信号,使得单位时间内输出的方波数量最多且电平毛刺最少。

[0047] 所述数据处理单元包括ADC采样电路及DSP实时处理模块。所述ADC采样电路对所

述滞回比较器输出的方波信号进行采样,将得到的采样信号输入到所述DSP实时处理模块中,通过程序寻找电平宽度明显大于相邻条纹的方法的来得到翻转点,再计算翻转点间同一倾斜方向的条纹数),从而根据 $A=\lambda*N/4$ 来计算物体振动的振幅,式中,A为物体振幅, λ 为激光波长,N为两相邻翻转点间的同一倾斜方向的条纹数。

[0048] 同时,所述数据处理单元还可根据翻转点的采样序数及采样率,根据 $F=2*f_s/(X_2-X_1)$ 计算物体的振动频率,其中F为物体的振动频率, X_1 为前一个翻转点的采样序数, X_2 为后一个翻转点的采样序数, f_s 为采样率。

[0049] 最后的计算结果通过显示屏显示输出。

[0050] 实施例2

[0051] 请参考图3所示,本发明还提供一种基于自混合干涉的方波变换振幅测量方法,包括3个核心步骤。

[0052] S1、信号的产生及输出:半导体激光器的出射光打在待测振动物体表面,部分光返回激光腔内,产生自混合激光强度信号;光电探测器检测自混合激光强度信号并将其转换为对应的电流信号输出。

[0053] S2、信号处理:将电流信号转化为电压信号,并进行信号放大;将放大后的电压信号输入滞回比较器,在信号幅值范围内调节滞回比较器的上下门限电压,使输出的方波信号中的方波在单位时间内个数最多且毛刺最少。

[0054] 本实施例中,电流信号转化为电压信号通过跨导运放电路实现;信号放大通过比例运放电路实现。

[0055] 当把滞回比较器的上下门限电压调得过大时,条纹对应的方波就不会发生翻转,因此,需要将滞回比较器的上下门限电压调到信号幅值范围内,此时的条纹数最多,但若上下门限电压调得过小,则毛刺会增多。因此,此处,应在信号幅值范围内调整滞回比较器的上下门限电压,使得输出的方波个数最多(即不会丢失翻转点间的条纹)且毛刺电平最少(毛刺电平是指电平宽度非常小的电平信号,通常小于条纹宽度的六分之一,是当上下门限电压调整到接近于0V时,0V左右的信号上的噪声波动突破上下门限电压引起)。如图4所示的即为通过滞回比较器的上下门限电压处理产生方波的示意图。

[0056] S3、数据处理:

[0057] S31、对S3输出的方波信号进行AD采样,并对采样后的信号计算各电平宽度;

[0058] S32、寻找翻转点:根据翻转条纹处对应的方波电平的宽度明显大于(通常为2倍以上,本实施例设置为2)其前两个方波电平宽度和后两个方波电平宽度,判断出翻转点;

[0059] S33、计算物体振动幅度: $A=\lambda*N/4$,其中A为物体的振幅, λ 为激光的波长,N为两相邻翻转点间的同一倾斜方向的条纹数;

[0060] S34、计算物体振动频率: $F=2*f_s/(X_2-X_1)$,其中F为物体的振动频率, X_1 为前一个翻转点的采样序数, X_2 为后一个翻转点的采样序数, f_s 为采样率。

[0061] S31中,电平宽度通过如下方式获得:对高低电平发生跳变的点进行检测,得到方波各边沿的时间坐标,通过相邻边沿的时间坐标求差得到各电平的时间宽度,即获得所述电平宽度。

[0062] 本实施例在S33中,N最小单位设为0.5。具体按以下方式计算:相邻两个翻转点间的同一倾斜方向的非完整条纹相加小于半个条纹的按照0.5个条纹处理,大于0.5个条纹小

于1个条纹的按照1个条纹处理。如此,测量的分辨率可以达到 $\lambda/8$ 。

[0063] 请参考图5所示,是应用本方法进行测量的一个实例。图中,上部分为放大后的电压信号,下部分为处理后输出的方波信号,该实例中,翻转点均位于上方,即灰色椭圆区域。其中,激光波长 λ 等于650nm(则测量分辨率为81.25nm),N计算为2.5,代入S43中的公式计算结果 $A=406.3\text{nm}$,实际振动幅度通过直接读取自混合条纹数估值为422.5nm,误差为3.8%。实验中DSP计算的振动频率为211Hz,实际振动频率为通过信号发生器得到为200Hz,误差为5.5%,均能满足工业测量精度需求。

[0064] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,实际实现时可以有另外的划分方式,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。

[0065] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0066] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

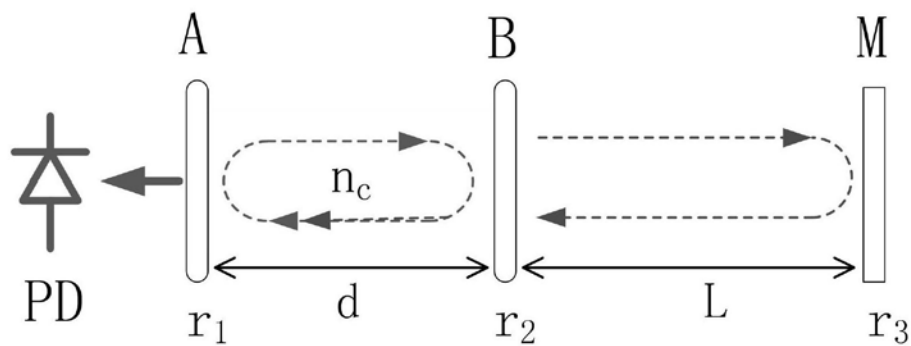


图1

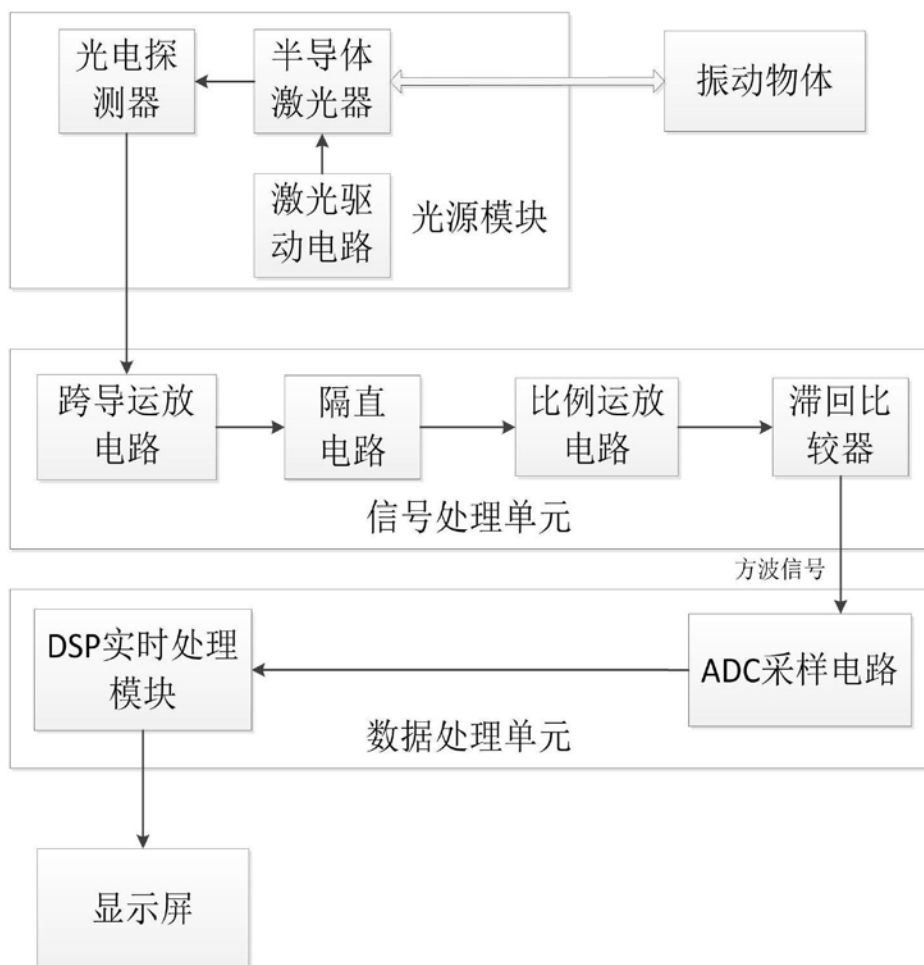


图2



图3

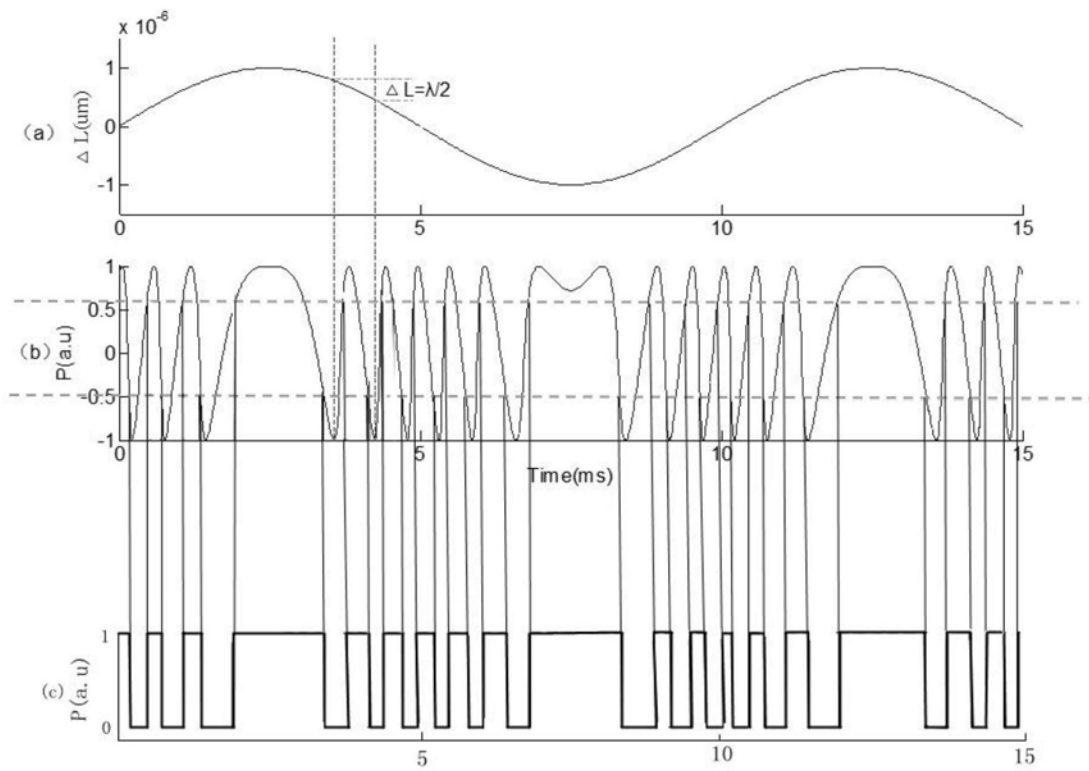


图4

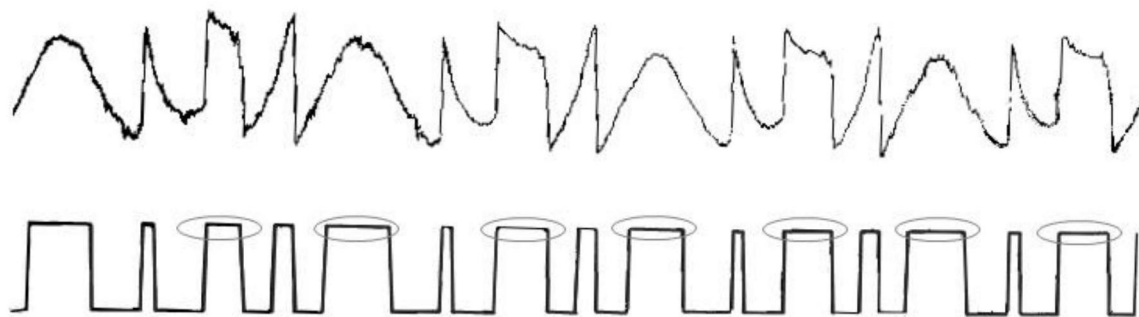


图5