

文章编号: 0258-7025(2001)09-0772-03

CO₂ 脉冲激光偏频锁定系统

陆 威 高 明 王春晖 尚铁梁 王 骥

(哈尔滨工业大学光电子技术实验室 哈尔滨 150001)

摘要 综述了目前脉冲激光偏频锁定的发展状况,总结了各种脉冲激光偏频锁定的方法,并提出了宽带全数字鉴频方法,带宽达到2~100 MHz,以及以鉴频器为基础的简单偏频锁定系统设计。介绍了电光外调制CO₂脉冲激光与连续CO₂激光之间的偏频锁定实验,光脉冲重复频率为10 kHz,脉宽为5 μs。实验频率锁定结果良好,频率稳定度为 1.27×10^{-7} (阿仑方差)。

关键词 激光脉冲,偏频锁定,全数字鉴频,频率稳定度

中图分类号 TN 248.2⁺2; TN 763.2 **文献标识码** A

A Simple Offset Frequency Locking Technique for Pulsed CO₂ Lasers

LU Wei GAO Ming WANG Chun-hui SHANG Tie-liang WANG Qi

(Laboratory of Opto-electronic Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract This paper first briefly overviews the current development of optical pulse offset frequency locking techniques, then summarizes the methods of discriminating frequency on optical pulse offset locking used in the techniques, and finally presents a wide-band all-digital frequency discriminating method (band width: 2~100 MHz) and design of a simple offset frequency locking system on the basis of the frequency discriminator. In addition, it also introduces the experiments on offset frequency locking between CW CO₂ laser and a pulsed CO₂ laser of which the pulse was produced by using a CdTe switch outside the optical cavity (optical pulse width: 5 μs and its repetition rate: 10 kHz). The experimental results were satisfactory, the beat frequency stability was 1.27×10^{-7} (Allen variance).

Key words laser pulse, offset frequency locking, all-digital frequency discriminator, beat frequency stability

1 引言

激光频率的偏频锁定包括鉴频和调频两部分,它们组成一个反馈回路,完成偏频锁定。在偏频锁定技术中鉴频部分是关键,几十年来对连续激光之间差频频率的鉴频方法的研究取得了很大进展。目前偏频锁定精度已经达到0.1 s时间内,频率漂移小于400 Hz^[1~4]。然而,脉冲激光的偏频锁定有着它自己特有的特点。要精确地鉴频同时要有较宽的鉴频带宽以防止频率失锁是很难达到的。根据目前的报道,大致可以分为三种锁定方式:1) TEA CO₂脉冲激光器与一台采用 Stark 盒主动稳频连续 CO₂激光器之间频差的偏频锁定^[5]。TEA CO₂脉冲激光器是由连续 CO₂激光器和 TEA CO₂脉冲激光器组成的复合腔激光器;2) 注入式 TEA CO₂脉冲激

光器与一台连续 CO₂激光器的偏频锁定^[6], TEA CO₂脉冲激光器是注入式激光器即用连续 CO₂激光作为种子光注入 TEA CO₂脉冲激光器的腔内。以上这两种脉冲激光偏频锁定实际上就变成了两台连续激光器的偏频锁定;3) 采用所谓余弦鉴别器的鉴频方法鉴频,实现脉冲激光的偏频锁定^[7],这种方法的缺点是鉴频带宽较窄,需要同时采用气体吸收盒监视两支激光频率差是否超出了鉴频带宽。这三种锁频系统也很难小型化。

我们要锁定的是两台频率非稳定度不超过 10^{-8} 的自由 CO₂激光器,其中一台是电光外调制 CO₂脉冲激光器,光脉冲重复频率为10 kHz,脉宽为5 μs。因此需要较宽的鉴频带宽,使无论两台激光器的初始频率如何,都能锁定到所选定的偏置频率差处。为此设计了一种全数字鉴频器,它的鉴频带宽为2~100 MHz,且整个锁频系统体积非常小。

2 数字鉴频、频率锁定原理及鉴频误差

全数字鉴频器由限幅整形电路和高速计数电路两部分组成。基于全数字鉴频器的偏频锁定系统(见图1)的工作如下:限幅整形电路进行波形的限幅整形,将外差信号由正弦波变成等幅方波,电平水平为 CMOS 电平。本文的整形电路的响应能力为 0~100 MHz。然后采用 200 MHz 的 CPLD 集成芯片为基础做成计数器,计数能力为 117 MHz,用这个计数器进行实时鉴频。用一个单片机作为整个偏频锁定系统的控制主机,实时读取计数值,将此数值除以计数时间就得出此时的差频频率值,再用差频值和事先选定的锁定差频值相比得出频率误差,根据此误差给出一个 0~5 V 的 12 位数字电压,再经过数模转换和高压放大后去驱动压电陶瓷调节从属激光器腔长使外差频率稳定在所选定的频率处。

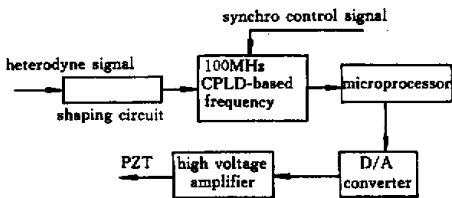


图1 全数字鉴频和偏频锁定框图

Fig.1 Block diagram of all-digital discriminating frequency and offset frequency locking

在鉴频部分还有一个问题需要解决,这就是脉冲外差中的接收信号也是脉冲形式的,每次计数的开始和结束都应该与接收信号同步,于是引入一个同步信号作为计数器开始计数的开门信号,同时,它与电光外调制 CO₂ 脉冲激光器的激光开关的开门信号之间同步。

计数系统的最大计数能力为 100 MHz,也就是计一个数的时间最小是 10 ns,计数误差为 ± 1 个数,原则上实际计数不得少于两个。电光外调制 CO₂ 脉冲激光器发射的光脉冲宽度是可调的,它取决于电光外调制开关的开门时间。适当调整开门时间使计数时间为 5 μ s,鉴频计数时间设定为 2 μ s,这样计数器的误差大约为 ± 0.5 MHz,即鉴频系统的单脉冲鉴频精度为 ± 0.5 MHz,此鉴频器的鉴频范围就是 2~100 MHz。

偏频锁定系统由两部分组成,一部分是鉴频系统,而另一部分是激光器的调频系统。整个系统偏频锁定的响应时间及频率锁定的精度就取决于这两部分的精度以及它们的配合精度。采用压电陶瓷作调频器件的激光器的调频系统的响应时间大约在 1 ms,具体的响应时间主要由压电陶瓷本身的电容值以及它与压电陶瓷驱动电源阻抗的匹配情况决定。而本鉴频系统的鉴频时间是由计数器的计数时间和单片机的工作主频率决定,它大约为十几个 μ s。因此,偏频锁定系统的响应时间主要取决于压电陶瓷调频的响应时间。这个鉴频系统的单脉冲鉴频精度为 ± 0.5 MHz。由于鉴频器鉴频速度远超过调频速度,出现鉴频速度的浪费。但是我们发现计数器每次计数的误差为 ± 1 个数,这是一个随机数,它的可能取值分别为 +1, 0 和 -1,这三个取值出现的概率都是相等的。如果对多个脉冲的鉴频频率值进行平均,应该随着脉冲数的增加,鉴频精度逐渐提高。

图2中P表示误差出现的几率,X表示计数误差,即计错多少个。从图2可以看出,当每6个脉冲作平均时,计数误差小于3的几率是93.32%;每8个脉冲作平均时,计数误差小于4的几率是95.23%;每10个脉冲作平均时,计数误差小于5的几率是97.66%。可见随着每次被平均的脉冲数的增加,鉴频精度至少可以提高一倍,即鉴频误差将小于 ± 0.25 MHz。

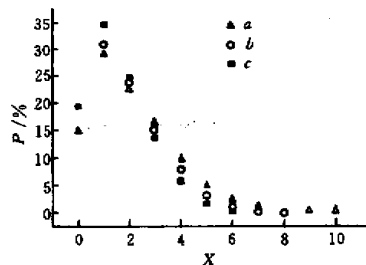


图2 全数字鉴频器计数误差曲线

a 表示每 10 个脉冲作平均; b 表示每 8 个脉冲作平均; c 表示每 6 个脉冲作平均

Fig.2 Counting error curves of the all-digital discriminator

a. average error curve every 10 times counted;
b. average error curve every 8 times counted;
c. average error curve every 6 times counted

3 脉冲激光偏频锁定实验

脉冲激光偏频锁定实验框图见图3。在这个实

实验中两台激光器都是采用石英玻璃管结构的连续被动稳频光栅支叉 CO_2 激光器, 都工作在 $P20$ 支, 稳定度都在 10^{-7} , 输出功率都为 5 W , 其中一台激光器装有用来调频的压电陶瓷, 将它作为本振激光器, 同时将另一台激光器外加电光晶体 (II-VI 公司 USA 制造), 做成电光外调制 CO_2 脉冲激光器, 它的脉宽可调, 脉冲重复频率为 10 kHz 。激光外差信号由 HgCdTe 探测器 (带宽 300 MHz) 接收。

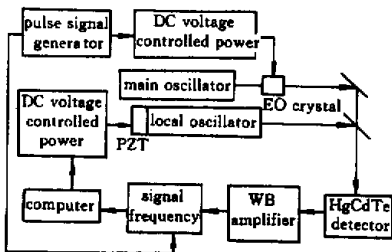


图3 脉冲激光偏频锁定实验框图

Fig. 3 A block diagram showing the experiment on offset frequency of pulsed laser

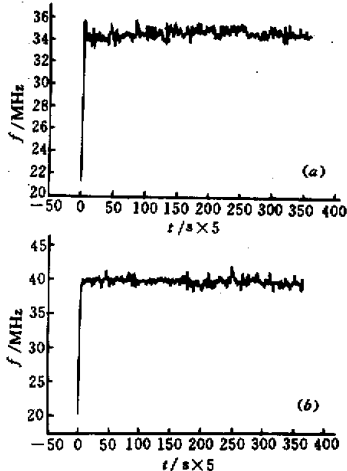


图4 偏置频率为 35 MHz (a) 和 40 MHz (b) 脉冲激光偏频锁定的实验

Fig. 4 An offset frequency locking test on pulsed beam at 35 MHz (a) and 40 MHz (b)

由信号发生器发出 10 kHz 的标准方波信号, 电平水平为 TTL 电平。首先将这个信号分成两路, 一路作为外调制光脉冲的触发开门信号送给电光晶体的驱动电源, 另一路作为同步计数触发信号送给计

数器。在本实验中调制激光的脉宽设定为 $5\text{ }\mu\text{s}$, 鉴频器的计数时间设定为 $2\text{ }\mu\text{s}$ 。

我们分别在偏置频率为 35 MHz 和 40 MHz 处进行了锁定, 实验结果见图 4 (a), (b), 根据实验结果数据计算, 频差稳定度^[6]为 1.27×10^{-7} (阿仑方差), 两个实验的持续时间都超过了 30 min , 证明这个锁频系统工作非常稳定。

4 结论

通过上面的分析和实验可以看出, 鉴频回路的全数字化的实现使鉴频工作变得简单了, 同时也避免了模拟鉴频中对模拟量测量带来的误差。实现了对高重复频率脉冲外差的单脉冲宽带鉴频, 鉴频带宽可达 $2\sim 100\text{ MHz}$ 。如果采用响应速度更快的电压比较器集成芯片和 CPLD 集成芯片器件或者采用数字分频, 鉴频带宽的上限还可以更宽。对于连续激光的外差鉴频, 只需要改变计数时间的设定, 就可以大幅度提高鉴频精度。如果将计数时间设定为 1 ms , 那么鉴频精度相应变为 1000 Hz 。可见, 它同样适用于连续激光外差的偏频锁定, 而且鉴频精度将大大提高, 不低于目前用于激光外差偏频锁定的任何一种鉴频方法。这种方法特别适用于重复频率在 10 kHz 以上的脉冲式相干接收激光雷达中的偏频锁定装置, 鉴频精度可达到 0.25 MHz , 偏频锁定回路的响应时间小于 1 ms 。

参考文献

- 1 T. Stace, A. N. Luiten, R. P. Kovachik. Laser offset-frequency locking using a frequency-to-voltage converter. *Meas. Sci. Technol.*, 1998, 9(9):1635~1637
- 2 M. J. Padgett, N. Bett, R. J. Butcher. A simple frequency discriminator circuit for offset locking of lasers. *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1988, 21(6):554~557
- 3 Hu Yu, Li Xian, Wang kai et al.. $10.6\text{ }\mu\text{m}$ laser heterodyne frequency tracking system with high stability. *SPIE*, 1992, 1635:74~80
- 4 Dayong Zhu, Xuecai yu, Naigong Yie et al.. Research on frequency stabilization and offset frequency locking for coherent CO_2 laser radar. *SPIE*, 1992, 1633:330~336
- 5 Paul W. Pace, James M. Cruickshank. A frequency stabilized compact high repetition rate TEA- CO_2 laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1980, QE-16(9):937~944
- 6 H. N. Rutt. Heterodyne frequency offset locking of a miniature TEA laser. 12th International Quantum Electronics Conference. UK, 1982, 286
- 7 H. N. Rutt. A heterodyne frequency offset locking technique for pulsed or CW lasers. *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1984, 17(8):704~709
- 8 D. W. Allan. Statistics of atomic frequency standards. *Proc. IEEE*, 1966, 54(2):221~230