

文章编号:1001-5078(2007)11-1171-03

外腔倍频伺服控制系统研究

张春林

(长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘 要:文章阐述了激光谐振腔长控制原理,介绍了一种外腔倍频激光系统的组成及工作原理,对该系统中激光器谐振腔长的控制算法进行了研究,这种算法能使系统快速精确地对激光器的谐振腔长进行伺服控制,使外腔倍频激光系统能够稳定的工作在最佳状态。

关键词:外腔倍频;谐振腔长;伺服控制

中图分类号:TN248;TP273

文献标识码:B

Study of the Extracavity Frequency Doubling Servocontrol System

ZHANG Chun-lin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The controlling principle of the cavity length is explained and the component and operating principle of the frequency doubling system by external cavity are explained in the paper. The control algorithm of laser cavity length is studied, it could make the frequency doubling system by external cavity keep the best state by rapidly controlling the cavity length.

Key words: extracavity frequency doubling; cavity length; servocontrol

1 引 言

激光倍频技术是利用晶体的非线性效应,产生光学谐波,这种效应自 1961 年 Franken 等将红宝石激光器发出的约为 3kW 的 694.3nm 光脉冲聚焦到石英晶体上,观察到红宝石激光的二次谐波辐射以来,已经作为把相干光源扩展到更短波长的手段。激光倍频技术所面临的主要问题是转换效率低,外界的干扰对激光系统影响很大。

在激光系统的外腔倍频领域,由于温度或机械的扰动或振动,会引起腔长的微小变化,使激光器谐振腔的长度不能稳定在谐振频率上,使激光器的性能变差。从该角度讲,有必要控制激光器的谐振腔长,使系统工作稳定。通过伺服控制系统和压电陶瓷的共同作用,可以对激光谐振腔长进行微小的调解,使激光在谐振腔内形成正反馈,使腔长稳定在腔

内基频光的 $1/2$ 波长的整数倍。此时系统输出的光功率最大。通过有效地控制算法,能够使系统始终维持在输出功率最大值处,使系统最大限度地得到优化。

能够应用在该系统中的控制算法有很多,本文通过理论和实践采用了一种快速、高效的控制算法,该控制算法应用在外腔倍频激光系统中,能使系统工作稳定。

2 激光谐振腔长控制原理

在外腔倍频激光系统中,为了能在腔内形成稳定的振荡,要求波能因干涉而得到加强。发生相长

作者简介:张春林(1973 -),男,2005 年毕业于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,获硕士学位。E-mail: alin412@163.com

收稿日期:2007-06-03

干涉的条件是:波从某一点出发,经腔内往返一周,再回到原来位置时,应与初始出发波同相(即相差为 2π 的整数倍)。

如图1所示为环形谐振腔^[1-2]示意图,设 R_1 代表腔镜 M_1 的功率反射系数, R_2 代表其余三个腔镜的功率反射系数的乘积, T_1 和 T_2 代表它们的功率透射系数。假设腔镜无其他损耗,则有:

$$R_1 + T_1 = R_2 + T_2 = 1$$

根据 Boyd 等的理论,基频功率和谐波的输出功率都可以借助晶体透过率和腔镜特性计算出来。

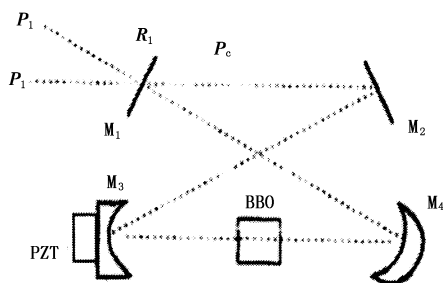


图1 环形谐振腔示意图

定义腔反射参量 R_m , 它表示基频光在腔内完成一次往返后剩下的部分所占比例, 对于环形腔, 只有一个方向上产生谐波, 腔反射参量为:

$$R_m = T \times t_{FH} \times R_2 \quad (1)$$

式中, T 是谐振腔内非线性材料的单程透射系数; t_{FH} 是基频光单程通过倍频晶体倍频后未被倍频的剩余部分的比例。用类似多光束干涉的方法对会合点处反射光、透射光的复振幅进行处理, 可得:

$$\frac{P_r}{P_1} = \frac{(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_m})^2 + 4\sqrt{R_1 R_m} \sin^2(\delta/2)}{(1 - \sqrt{R_1 R_m})^2 + 4\sqrt{R_1 R_m} \sin^2(\delta/2)} \quad (2)$$

$$\frac{P_c}{P_1} = \frac{T_1}{(1 - \sqrt{R_1 R_m})^2 + 4\sqrt{R_1 R_m} \sin^2(\delta/2)} \quad (3)$$

式中, P_1 是入射到腔内的基频光功率; P_r 是从反射镜 M_1 外侧反射的基频光功率; P_c 是反射镜 M_1 内侧的往返基频光功率。晶体透过率和腔镜的反射率基本上接近1, 所以往返功率在整个晶体可看作常数, δ 为位相失配参量。在共振条件下, $\sin^2(\delta/2) = 0$, 反射的基频光功率为:

$$P_r = P_1 \times \frac{(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_m})^2}{(1 - \sqrt{R_1 R_m})^2} \quad (4)$$

如果 $R_1 = R_m$, 则 $P_r = 0$ 表示所有入射功率都耦合进环形腔。选择这个 M_1 镜的反射率使其能阻抗匹配谐振腔。共振时基频加强的倍数为:

$$A = P_c/P_1 = T_1/(1 - \sqrt{R_1 R_m})^2 = T_1(1 - R_1) \quad (5)$$

而二次谐波的输出功率为:

$$P_{FH} = \eta_{FH} P_c = \gamma_{FH} P_c^2$$

则共振(即正反馈)时二次谐波功率加强的倍数为 A^2 。其中 η_{FH} 为基波转换成二次谐波的转换效率, γ_{FH} 为非线性转换系数。

从 M_1 透过的基频光经 M_2, M_3 反射后, 聚焦在倍频晶体内, 产生倍频光, 从腔镜 M_4 输出; 剩余的基频光返回到 M_1 开始下一轮运转; 周而复始, 当它们相位相同, 且满足 $R_1 = R_m$, 产生多光束干涉效应, 基频光得到大大增强, 从而使倍频效率提高, 二次谐波输出大大增强。此时输出光功率也最大。

通常激光波长为 $1\mu\text{m}$ 左右, 这就要求谐振腔长调节精度必须控制在几十纳米级甚至纳米级, 而压电陶瓷^[3]是精密的微位移器件, 能够满足此要求。所以这里选用压电陶瓷来调节腔长。压电陶瓷的一端固定, 另一端贴在激光器的一个镜片上, 由于压电陶瓷具有逆压电效应, 调整加在压电陶瓷两端的电压, 压电陶瓷产生微变形^[4-6], 便推动镜片移动, 从而对谐振腔长进行调节, 也就是说, 系统可以通过控制加在压电陶瓷两端的电压来调节激光谐振腔长。

3 系统组成及工作原理

系统硬件原理框图如图2所示。单片机将控制信号通过 D/A 转换电路转换成 $0 \sim 5\text{V}$ 模拟电压输出到压电陶瓷驱动电源, 压电陶瓷驱动电源将 $0 \sim 5\text{V}$ 电压转换成 $0 \sim 200\text{V}$ 并且以 10mV 递增的直流电压后加在压电陶瓷上, 压电陶瓷对应的产生微位移, 进而使激光器谐振腔长发生改变, 最终表现在激光器输出功率发生变化。通过光电信号转换装置将激光器输出的光信号转换为电信号, 再经放大电路和 A/D 转换电路后送给单片机处理。总之, 系统通过控制加在压电陶瓷上的电压来控制激光器谐振腔的长度, 使激光器输出功率最大, 并使激光系统一直维持在该状态。



图2 系统硬件原理框图

在压电陶瓷的驱动电压从0~200V以10mV递增的扫描过程中,电压值每改变一次,单片机记录一下此时压电陶瓷的驱动电压值和经模数转换的激光功率值,扫描完成以后,找到激光系统的最佳工作点,即激光输出功率最大点,并使激光系统稳定在该点处。如图3所示,系统经过一次扫描,找到最佳工作点,设此时激光系统的谐振频率为 f_0 ,此时,激光输出功率为最大。控制系统找到最佳工作点以后,继续进行信号采集,单片机继续保存模/数转换的结果,如果谐振频率不变化,即激光输出功率不发生变化,则系统加在压电陶瓷上的驱动电压不变化,系统仍工作在谐振频率 f_0 处。当激光系统受到外界干扰后,谐振腔长度发生了变化,此时谐振频率会偏离 f_0 ,系统的激光输出功率也偏离最大值,经过单片机的比较处理,调整加到压电陶瓷上的驱动电压值,使输出功率拉回到最大功率处,即最佳工作点处。如此循环,系统始终工作在最佳工作点。

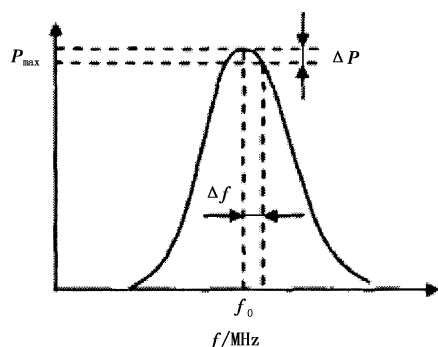


图3 系统工作原理图

4 结论

在外腔倍频激光系统中,对未用伺服控制系统及采用控制系统后激光输出功率,即经光电二极管和放大电路后的电压均进行了测量,波形如图5和图6所示,在未用控制电路时,激光系统输出光功率很不稳定,出现一个个尖峰,那是因为外腔倍频激光系统极易受周围环境的影响,比如温度和振动等,腔长会随时发生变化,当腔长振动到某一个长度时,正好满足谐振波长发生正反馈的条件,此时就会出现

一次功率最大值,但系统本身并不能实现自动稳定,必须采用控制系统对其腔长进行控制才能使其正常工作,消除外来的振动或扰动产生的影响,使激光功率保持在最大值,系统工作稳定。从图中可以看出,采用了控制系统以后,激光系统输出功率不再发生大幅度的变化,始终维持在最大功率处,即消除了外界的干扰,激光系统工作变得稳定。

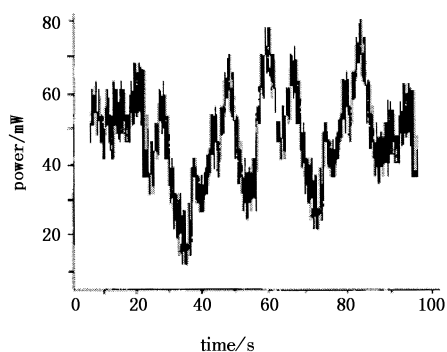


图5 外腔倍频激光系统未采用控制电路时波形

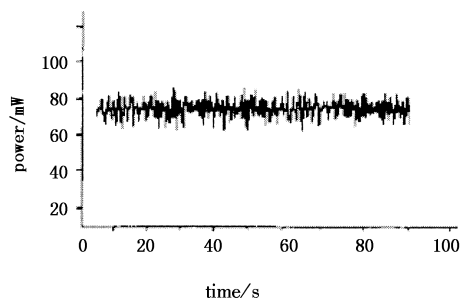


图6 外腔倍频激光系统采用控制电路时波形

参考文献:

- [1] Boyd G D, Kleinman A D. Parametric interaction of focused Gaussian light beams[J]. J. of Appl. Phys., 1968, 39(8): 3597-3639.
- [2] Hadjar Y, Ducos F, Acef O. Stable 1202mW green output tunable over 2THz by second-harmonic generation process in a KTP crystal at room temperature[J]. Opt. Lett., 2000, 25(18): 1367-1369.
- [3] 王广林, 王慧峰, 邵东向, 等. 一种闭环控制的压电陶瓷微位移器驱动电源[J]. 压电与声光, 2005, 27(2): 121-124.
- [4] 马淑梅, 陈彬. 超精密加工中的微位移技术[J]. 同济大学学报, 2000, 28(6): 684-687.
- [5] 刘俊海, 胡德金, 王艳. 气中连续放电辅助加工中的控制系统设计[J]. 设计研究, 2005, (2): 24-26.
- [6] 荆涛, 项东, 叶修齐, 等. 用压电陶瓷实现精密工作台的微定位控制[J]. 长春邮电学院学报, 1997, 15(4): 26-29.