

光纤声光调制器的高频驱动器

王世前, 郭阳宽, 祝连庆, 刘 峰, 张荫民

(北京信息科技大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100192)

摘 要: 光纤声光调制器驱动器作为光纤激光器的重要组成部分, 其性能参数对激光品质具有重要影响。该文设计了高频、高功率驱动器方案。该方案通过 20~200 kHz 脉冲信号控制模拟开关实现脉冲信号和 150 MHz 载波信号的二进制幅度键控(2ASK)调制, 调制信号经功率放大器放大, 进行阻抗匹配后输出到声光调制器, 驱动声光调制器工作。驱动信号的频率为 20~200 kHz, 功率为 3 W。

关键词: 光纤声光调制器; 驱动器; 2ASK 调制; 功率放大; 高频

中图分类号: TN384

文献标识码: A

High Frequency Driver of Optical Fiber Acousto-Optic Modulator

WANG Shiqian, GUO Yangkuan, ZHU Lianqing, LIU Feng, ZHANG Yinmin

(School of Instrument Science and Opto-electronic Engineering, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: Fiber lasers are widely used in the military and communications fields, the fiber acousto-optic modulator driver as an important part of the fiber laser, has an important impact on the performance parameters of laser quality. This paper presents a high-frequency, high-power driver solution. The binary amplitude shift keying (2ASK) modulations of the pulse signals and 150 MHz carrier signals are realized through controlling the analog switches of the 20~200 kHz pulse signals, then, the modulated signals are amplified by the power amplifier, and outputs to the acousto-optic modulator after impedance matching for driving the acousto-optic modulator to work. The frequency of driving signal is 20~200 kHz, and its power is 3 W.

Key words: fiber acousto-optic modulator; drive; 2ASK modulation; power amplification; high frequency

0 引言

光纤激光器广泛应用于军事、工业、医疗等领域, 光纤激光器技术是目前研究的热点技术之一, 未来一段时间内光纤激光器仍将成为激光器领域的主流声音^[1]。声光调制器作为控制激光束强度变化的声光器件, 其工作状态的好坏对激光器的功率及品质参数影响很大, 而声光调制器驱动器通过输出某种特定载波频率驱动换能器, 换能器即产生同一频率的超声波并传入声光介质, 在介质内形成折射率变化, 控制激光束强度变化, 所以声光调制器驱动器的性能参数对激光器的品质影响较大。随着市场需求的增大和声光调制器的重要性增强, 声光调制器

驱动器的研究意义重大。针对声光调制器对激光快速关断的需求, 设计了一种通过模拟开关实现 2ASK 调制的低功耗, 稳定性好的光纤声光调制器高频驱动器, 用于输出大功率, 窄脉宽, 高稳定度的高品质激光。

1 声光调制器工作原理

声光调制器由声光介质和压电换能器构成。当驱动源的某种特定载波频率驱动换能器时, 换能器即产生同一频率的超声波并传入声光介质, 在介质内形成折射率变化, 光束通过介质时即发生相互作用而改变光的传播方向即产生衍射。声光调制器组成如图 1 所示。

收稿日期: 2014-03-04

基金项目: 科技成果转化和产业化支持基金资助项目 (PXM2013_014224_000077; PXM2012_014224_000019); 北京工程技术研究中心光电信息与仪器开放基金资助项目 (GD20120010)

作者简介: 王世前 (1986-), 男, 山东日照人, 硕士生, 主要从事光机电一体化研究。

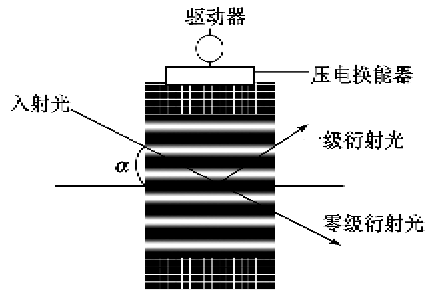


图1 声光体调制器结构图

工作时,驱动源输出射频驱动信号作用于电-声换能器,电-声换能器将电功率转换为声功率在声光介质中产生超声波,入射光波与介质内超声波经声光相互作用后发生衍射现象,衍射光光强受到超声驱动功率调制,即衍射效率受到驱动源输出电功率的控制,使衍射光成为可传输信息的强度调制波。若衍射类型为布喇格衍射,则衍射效率与超声驱动功率的关系为非线性调制曲线形式,为使信号调制工作在线性区,可加入超声偏置,防止信号发生失真。当光束以布喇格角入射时,通过控制声强就可达到调制衍射光强的目的^[2]。其中布喇格角

$$\alpha \approx \frac{\lambda}{2\Lambda} = \frac{\lambda_0}{2n\Lambda} \quad (1)$$

式中: Λ 为介质中超声波中心频率波长; λ_0 和 λ 分别为真空和介质中的光波波长; n 为介质折射率。由于布喇格衍射的衍射效率高,调制带宽大,故被广泛应用于各种声光调制器。

2 结果与讨论

2.1 声光调制器驱动器的设计

在一定的范围内,声光调制器的衍射效率随着信号的电压和频率的增加而增加,为了使声光调制器的衍射效率接近最大,根据声光调制器的性能指标需求,我们需要一个功率为3 W、载波信号频率为150 MHz,重复频率在20~200 kHz范围内的信号。我们选用类似RF射频功率放大电路方案获得此信号。声光调制器驱动器的电路主要有晶体振荡电路、脉冲信号调整电路、调制电路、功率放大电路、阻抗匹配网络电路组成^[3-6]。该电路可为声光调制器提供具有特定频率的载波调幅信号。驱动器的设计方案如图2所示。

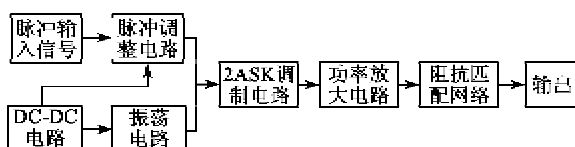


图2 驱动器的设计方案

根据声光调制器的性能指标需求,声光调制器驱动器的主要性能参数指标如下:工作电压:24 V,工作频率:150 MHz,重复频率20~200 kHz,上升沿:10 ns,输出功率:3 W。

2.1 高频振荡电路

本文选用的声光调制器型号为T-M150-0.4 C2G-3-F2,为了满足声光调制器的工作频率要求,我们选用有源晶振产生150 MHz高频信号作为驱动器的载波频率。与LC振荡电路相比,该高频振荡电路有更高的稳定度,更好地满足了声光调制器及其驱动器的稳定性要求,该高频振荡电路的工作电压为+5 V,其稳定度高于0.000 01,150 MHz高频载波信号的波形如图3所示。

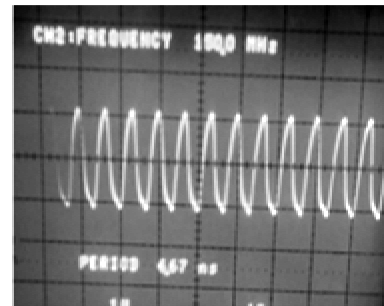


图3 150 MHz高频载波信号波形

2.2 脉冲调整电路

在一定的时间内,声光调制器要求实现100%的脉冲调制,即脉冲控制信号为低电平时,调制信号应立即响应且无高频信号输出,脉冲控制信号为高电平时,调制信号应迅速响应有高频信号输出。为了实现规定的时间范围内的100%的脉冲调制,我们采用74LS00与非门实现对调制脉冲控制信号进行调整处理。

2.3 2ASK调制电路

2ASK调制电路实现调制脉冲信号对载波信号的幅度调制。其输出的已调制信号加载到声光调制器的电声换能器产生超声波实现对激光强度的调制。其中,2ASK信号可表示为

$$e_0(t) = b(t) \cos \omega_c t \quad (2)$$

式中: ω_c 为载波角频率; $e_0(t)$ 为单极性NRZ矩形脉冲序列; t 为时间。

$$b(t) = \sum_n a_n g(t - nT_b) \quad (3)$$

式中 $g(t)$ 是持续时间为 T_b 、高度为 a_n 的矩形脉冲, a_n 为二进制数字。

2ASK调制采用键控法,其原理图如图4所示。

图中 K 为开关, $S_{2ASK}(t)$ 表示 2ASK 调制信号。其开关电路受 $b(t)$ 控制。当 $b(t)$ 控制信号状态为 0 时,其相当处于断开状态;当 $b(t)$ 控制信号状态为 1 时,高频载波信号顺利从调制电路输出。

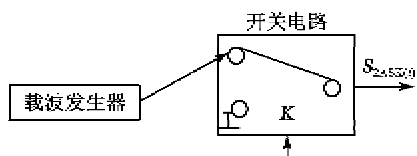


图4 键控 2ASK 调制原理图

该部分电路主要有模拟开关和滤波电路构成,模拟开关芯片选用 300 MHz 带宽的高速模拟开关 BL1551,其仿真输出调幅信号的波形如图 5 所示。

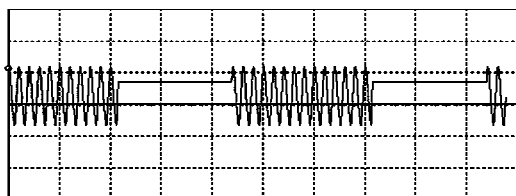


图5 仿真电路信号图

2.4 功率放大电路

功率放大电路如图 6 所示。功率放大电路的仿真结果如图 7 所示。功率放大电路主要由偏置电路、输入阻抗匹配网络、输出阻抗匹配网络和大功率晶体管组成。根据本系统使用的声光调制器的要求,功率放大电路的带宽要大于 150 MHz、输出信号功率为 3 W、输出阻抗为 50 Ω 。功率管作为功率放大电路的核心器件,其参数选择决定着功率放大电路的性能好坏。从输出信号线性度、输出功率大小、工作电压、带宽、功率管体积大小等方面综合考虑,该部分电路选用 MRF158。功率放大电路设计

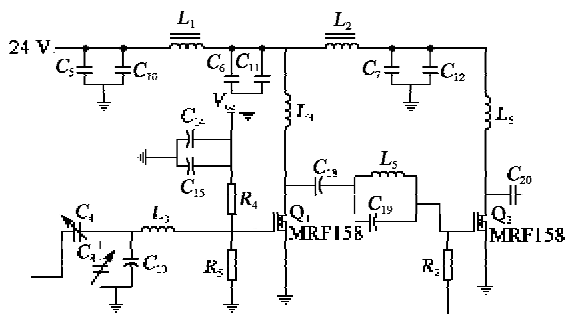


图6 功率放大电路

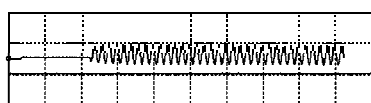


图7 功放电路输出信号波形

为 A 类和 C 类混合式两级放大电路,然后通过一个 π 型的输出匹配网络来实现输出阻抗匹配。电路板在制作过程中选用较严格的电源滤波网络、屏蔽等高频电路制作工艺^[7-8]。

功率放大电路中的电容 C_4 、 C_8 、 C_{18} 和电感 L_3 组成电路的输入阻抗匹配网络,其中,电容 C_4 也起到隔直作用,它可隔离掉输入信号中的直流成分,使功率运算放大电路免受直流成分的影响,同时,输入阻抗匹配网络还可滤波,减少反射波对前置电路的影响。因分压式偏置电路能有效稳定静态工作点,同时也具有自动调节功能,对换用不同晶体管引起的静态工作点的变化可自动调节。本课题采用分压式偏置电路为 CMOS 提供栅极静态电压。 R_4 、 R_5 构成功率运算放大电路的偏置电路,将供电电压 V_{cc} 进行分压,为 MOS 管栅极提供栅极静态电压,即

$$V_g = \frac{R_5}{R_4 + R_5} V_{cc} \quad (4)$$

式中 R_4 、 R_5 分别为上偏置电阻和下偏置电阻。

电容 C_{14} 、 C_{15} 起到滤波作用。为了提高功放电路的效率,减少电路中额外的直流功率损耗,本文将 24 V 供电电源不是通过偏置电阻,而是通过扼流圈 L_4 、 L_6 对 CMOS 管的漏极馈电,电容 C_5 、 C_{10} 、 C_6 和电感 L_1 构成滤波电路,滤除 DC 功率电路中的交流成分。

2.5 阻抗匹配网络电路

为了功率的最大传输,若负载阻抗不满足共轭匹配的条件,就在负载和信号源之间加一个阻抗匹配网络,将负载阻抗变换为信号源阻抗的共轭,实现阻抗匹配。声光调制器的阻抗是 50 Ω 。 π 型阻抗匹配网络如图 8 所示。参数 L 、 C_1 、 C_2 分别为

$$X_L = \sqrt{R_S R_L} \quad (5)$$

$$C_1 = 1 + \sqrt{R_L / R_S} / 2\pi f \sqrt{R_S R_L} \quad (6)$$

$$C_2 = 1 + \sqrt{R_S / R_L} / 2\pi f \sqrt{R_S R_L} \quad (7)$$

根据式 (5) ~ (7) 可得 $L = X_L / 2\pi f = 0.086 \mu\text{H}$, $C_1 = 0.2 \text{ pF}$, $C_2 = 0.47 \text{ pF}$ 。

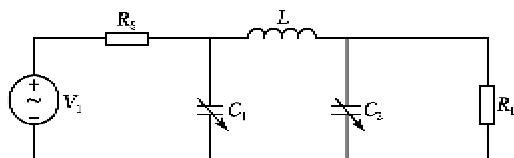


图8 π 型阻抗匹配电路

3 测试及测试结果分析

驱动器的印刷电路板制成并完成相关器件的焊

接后,需对相关的电路做测试。测试系统框图如图 9 所示。

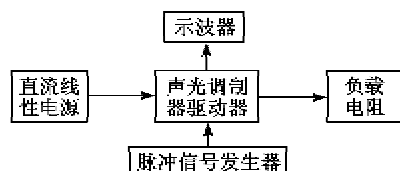


图 9 测试系统框图

线性直流电源为光纤声光调制器驱动器提供 24 V 电压,光纤声光调制器驱动器输出端接 50 Ω 负载电阻(代替声光调制器),信号发生器给声光调制器提供 20~200 kHz 脉冲信号,用示波器依次观察各部分电路的输出信号。测试的结果如图 10 所示。图中,输出信号的调制频率分别为 20 kHz 和 200 kHz 的脉冲调幅信号,调制脉冲宽度为 600 ns,载波信号的频率为 150 MHz 正弦信号。脉冲信号的上升时间小于 10 ns。

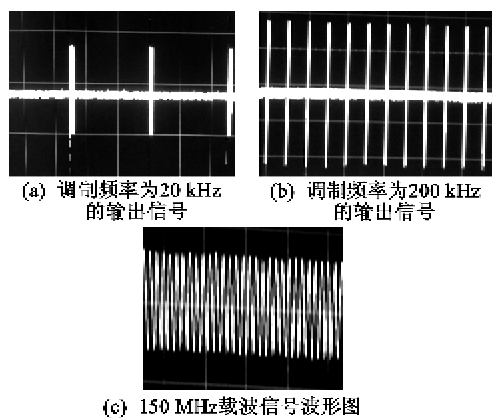


图 10 驱动器输出信号波形图

驱动器实物图如图 11 所示。示波器测得外加电源供给驱动器的直流电压为 24 V,直流电流为 0.24 A,电路输出功率为 3.1 W,则可得声光调制器驱动器的效率为

$$\epsilon = \frac{3.1}{24 \times 0.24} \times 100\% = 53.8\% \quad (8)$$

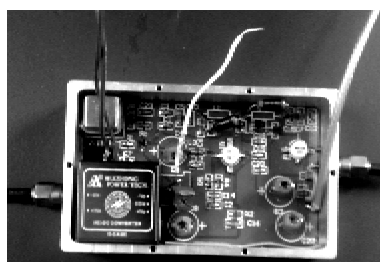


图 11 驱动器实物图

驱动器的输出信号的重复频率、工作频率、功率、上升沿、信号的稳定性都满足声光调制器的需

求,可驱动光纤声光调制器的正常工作。

4 结束语

测试过程中发现,光纤声光调制器驱动器的载波信号属于高频信号,其易受干扰影响,并失真,需加屏蔽盒屏蔽掉外部干扰和内部干扰的影响。DC-DC 电路的稳压管、功放电路集成芯片易发热,需做散热处理,避免热噪声等噪声干扰的影响。测试过程中,用 50 Ω 无感抗、容抗的负载电阻代替同输入阻抗的声光调制器,避免因驱动器的功率过高烧毁声光调制器。实验结果表明,驱动器能用模拟开关实现高频载波信号和脉冲信号的数字幅度键控调制,其电路功耗低、效率高、稳定性好,具备驱动光纤声光调制器的能力,各项性能指标都达到了预期的目标。

参考文献:

- [1] 周炳琨,高以智,陈倜嵘,等.激光原理[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [2] 徐介平.声光器件的原理、设计和应用[M].北京:科学出版社,1982.
- [3] 高晶,张志伟.声光调制器驱动源电路研究[J].压电与声光,2012,34(6):828-830.
GAO Jing, ZHANG Zhiwei. The research of acousto-optic modulator drive source circuit[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2012, 34(6):828-830.
- [4] HUANG Dingwei, LIU Wenfeng, YANG C C. Q-Switched all-fiber laser with an acoustically modulated fiber attenuator[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2000, 12(9):1153-1155.
- [5] 李先梅,艾毅智.线性灰度声光调制驱动源的研制[J].压电与声光,2001,23(6):422-442.
LI Xianmei, AI Yizhi. The development of a linear gray scale acousto-optic modulation driving source[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2001, 23(6):422-442.
- [6] 曹卫平,李思敏,杨晓辉.一种声光 Q 开关线性大功率驱动器的研制[J].压电与声光,2007,29(2):150-152.
CAO Weiping, LI Simin, YANG Xiaohui. The development of an acousto-optic Q switching linear power drive[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2007, 29(2):150-152.
- [7] 徐霞,会成波,涂巧玲.一种线性声光调制驱动电源的研制[J].激光杂志,2005,26(2):463-466.
XU Xia, YU Chengbo, TU Qiaoling. The development of a linear acousto-optic modulation power drive[J]. Laser Journal, 2005, 26(2):463-466.
- [8] 范月霞.CO₂激光器声光调制驱动电源及其特性的研究[D].武汉:华中科技大学,2006.