

基于LiNbO₃强度调制器的重频光脉冲整形装置

张新立,谢征,韦佳天,吕宏伟,杨小亮,陈峰

(中国电子科技集团公司第三十四研究所,广西桂林541004)

摘要:针对难以从信号光获取偏置工作点信息的应用场景,分析了不同波长激光通过强度调制器的输出表现,提出一种引入参考光的重频光脉冲整形方案。方案通过波分复用器引入并分离参考光,利用不同波长激光经强度调制器后输出光的关联性和参考光的强度信息间接获得信号光的偏置工作点信息。实验结果表明:该方案可以有效获得偏置工作点信息,不受信号光变化的影响。

关键词:脉冲整形;LiNbO₃强度调制器;参考光;脉冲光;稳定性

中图分类号:TN914 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2020)05-0045-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.05.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optical pulse shaping device for repetition-frequency based on LiNbO₃ intensity modulator

ZHANG Xinli, XIE Zheng, WEI Jiatian, LYU Hongwei, YANG Xiaoliang, CHEN Feng

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Facing the application scene which is hard to obtain the offset working point information from signal light, a kind of repetition-frequency optical shaping scheme with reference light is proposed after analyzing the output performance of different wavelengths of signal light passing through the intensity modulator. The wavelength division multiplexer is used to import and separate the reference light. Benefited from the relevance of output laser of different wavelengths passing through the intensity modulator, it is possible to obtain the offset working point information of signal light based on the intensity of reference wave. It is possible to obtain the offset working point information effectively in the scheme and is not effected by signal light change.

Key words: pulse shaping; LiNbO₃ intensity modulator; reference light; pulse light; stability

0 引言

在激光切割、打靶以及相关的科研生产中,往往需要使用具有一定形状的激光脉冲以获得一些特定的效果。脉冲整形方法众多,主要有以下3类:基于半导体激光器的脉冲整形技术^[1]、基于电光强度调制器的脉冲整形技术^[2,3]和基于脉冲堆积的脉冲整形技术^[4]。基于电光强度调制器的脉冲整形技术通过精确控制高消光比电光调制器的直流电压偏置点,可以产生高

收稿日期:2019-10-12。

基金项目:广西创新驱动发展专项(科技重大专项)项目(编号:桂科AA18118032)资助。

作者简介:张新立(1983—),男,河南信阳人,硕士研究生,工程师。主要从事高对比度激光脉冲产生、激光相位调制处理与检测、系统集成和产品研发等方面的研究工作。承担过多项重大科技专项及设备研制项目。



对比度的任意整形脉冲,具有结构简单、整形能力强和可实现无啁啾调制等优点。该技术的关键点在于精确寻找并跟踪稳定电光调制器的直流电压偏置点。基于不同的应用场景,直流电压偏置点的监测方法可以有平均功率探测法^[2]、频率微扰法^[5]、综合平均功率及偏差的方法^[6]等。这些检测方法均基于注入信号光,若注入强度调制器的激光过弱或是低重频脉冲光,基于信号光难以提取偏置工作点的信息。本文提供一种引入参考光的重频光脉冲整形方案,通过参考光获取强度调制器偏置工作点信息,不受信号光变化的影响。

1 电光强度调制器

典型的波导型电光强度调制器为马赫-曾德尔干涉仪强度调制器,信号光输入到调制器后分为等强度的2束,在分支波导中受到大小相等、方向相反的电场作用,产生等值异号的相位变化,随后合束在一起,

形成相干调制。电光强度调制器包含 2 个电极: 直流偏置电极与射频电极, 在配置合适的直流偏置电压后, 注入射频电调制信号, 实现光调制。

激光通过电光强度调制器后的强度调制可以表述为:

$$I = I_{\max} \cos^2 \left(\frac{\Delta\varphi_{\text{DC}} + \Delta\varphi_{\text{RF}} + \Delta\varphi_0}{2} \right) \quad (1)$$

其中, I 是输出光强, $I_{\max}$ 是输出光强的最大值, $\Delta\varphi_{\text{DC}}$ 是直流偏置电压作用引入的相位差, $\Delta\varphi_{\text{RF}}$ 是射频信号作用引入的相位差, $\Delta\varphi_0$ 是电光调制器 2 条支路固有的相位差。同等电压调制下, 在合束输出处, 支路间的相位差表现出与波长相关的反比例关系。假设 2 种不同波长的激光(波长分别为 λ_a 、 λ_b)同时输入到调制器, 那么在合束输出处, 电压导致的相位差存在与波长相关的比例关系。另外, 固有的相位差 $\Delta\varphi_0$ 亦表现出同样的比例关系。

取输入信号光(λ_a)波长为 1053 nm, 对应的半波电压 U_{ma} , 参考光(λ_b)波长为 976 nm, 对应的半波电压 U_{mb} 。以 U_{ma} 作为参考, 取强度调制器的固有相位差为 0.2π (对信号光), 在不同偏置电压下, 信号光、参考光在输出端的归一化强度如图 1 所示。对于信号光的各点, 参考光均有与之对应的点, 通过了解参考光的状态, 可以得到对应信号光的状态。

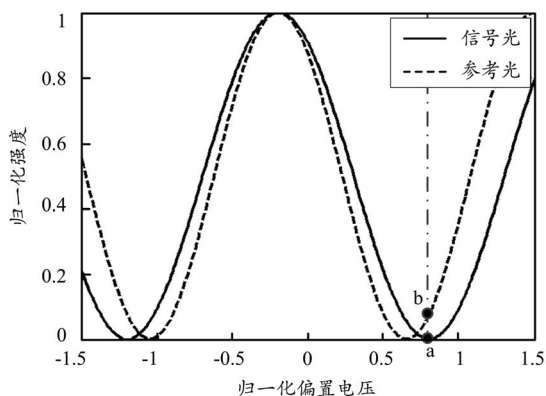


图 1 归一化偏置电压与归一化强度

2 引入参考光的重频光脉冲整形方案设计

由于不同波长的激光通过电光强度调制器后, 其相互间表现出关联关系, 可以通过监测其中一路光了解另外一路光的状态。因此, 针对无法从信号光获取偏置工作点信息的情况, 可以通过引入一路高稳定的参考光来解决。引入参考光的重频光脉冲整形方案的原理设计框图如图 2 所示。信号光与参考光通过波分复用器合束到一起, 经过 LiNbO₃ 强度调制器, 再通过

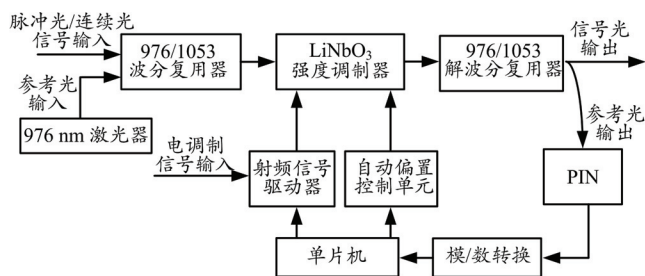


图 2 引入参考光的光脉冲整形方案的原理设计框图

解波分复用器分成两路, 信号光输往下一级, 参考光输出到光电探测器(PIN)形成反馈信号, 反馈控制光强度调制器。电调制信号通过射频信号驱动器加载到光强度调制器上。

本方案用于产生高消光比可任意整形的光脉冲, 其偏置电压需保证无电调制信号输入时, 信号光输出最小, 如图 1 中的 a 点状态。本方案中, 信号光不易探测, 需通过参考光状态判断信号光, 当信号光处于 a 点状态时, 对应的参考光处于 b 点状态。对于 b 点状态的查找, 由于光强度随偏置电压的周期性调制, 单凭光强度信息无法确定位置, 需结合极点位置和偏置电压的大小进行判断。

LiNbO₃ 强度调制器长时间工作时, 会因为电荷积累以及温度变化, 造成偏置工作点的漂移^[7]。为保证系统长时间稳定工作, 需在输出光脉冲的同时, 对偏置工作点进行有效的跟踪, 并调整偏置电压进行适应。本方案针对所产生的脉冲光重频低、脉宽窄的特点, 采用高灵敏度的 PIN 进行探测, 随后在微处理器中对所采数据点进行处理, 提取偏置工作点的漂移信息。对于偏置工作点的寻找以及稳定跟踪, 本文采用与文献[8]类似的方案。另外, 为了保证电调制信号能够有效作用到输入脉冲光上, 输入的重频脉冲光与电调制信号需进行时间上的同步。

3 实验结果

为验证引入参考光的重频光脉冲整形方案的工作效果, 本文进行了重频光脉冲整形实验, 测试了该方案的重频光脉冲整形能力。光脉冲整形装置的输入信号光由分布式反馈单频激光器与声光调制开关组合构成的系统提供, 该系统可以输出连续光或者重频脉冲光(ms 或 μs 级)。电调制信号由任意波形发生器提供。脉冲型输入信号光与电调制信号需进行时间同步, 以保证电调制信号能有效作用到输入信号光上。

装置正常工作时, 可以适应连续型或重频脉冲型

信号光的输入, 在任意波形发生器的控制下, 能产生方波、凹型波和三台阶脉冲等多种波形。输入激光脉冲的示波器探测波形如图 3 所示, 脉冲宽度为 $1.02 \mu\text{s}$ 。经 LiNbO_3 强度调制器调制后获得的方波脉冲和指数增长型脉冲如图 4 所示。其中, 方波脉冲示波器测得

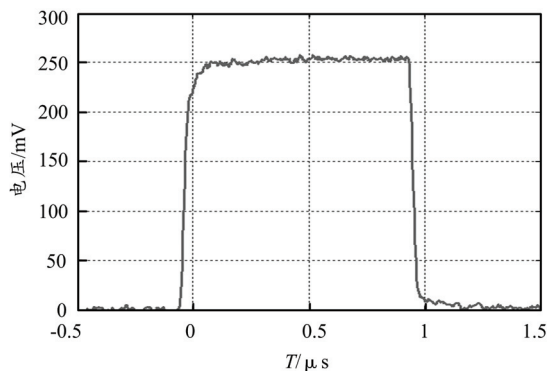
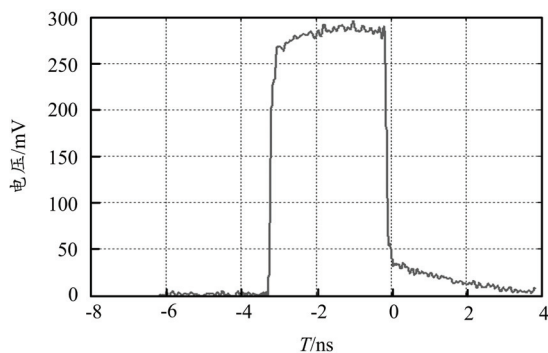
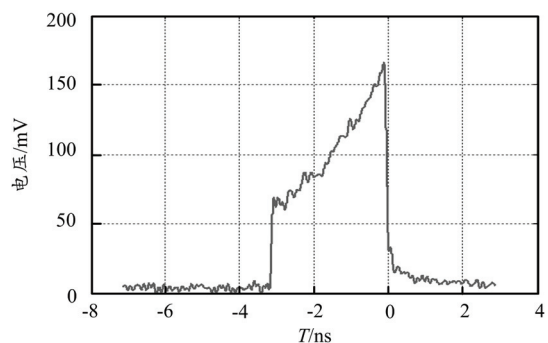


图 3 输入激光脉冲的波形



(a) 方波脉冲



(b) 指数增长脉冲

图 4 输出激光脉冲的波形

的脉冲宽度为 3.09 ns , 连续工作 1 h , 电压平均值为 251.36 mV , 标准差为 2.916 mV , 计算得出强度调制器输出稳定性的均方根值为 1.16% 。指数增长型脉冲的幅度在 3.1 ns 范围内从低端 72.5 mV 增长到高端 155.7 mV , 呈现了优秀的脉冲整形能力。

4 结束语

光脉冲整形技术经过多年发展, 日渐成熟, 类型众多, 但现实需求也在不断提高, 一些特殊领域的应用亦对现有技术提出了挑战。本文针对难以从信号光获取偏置工作点信息的问题, 通过分析不同激光波长注入强度调制器的输出表现, 提出了一种基于参考光确定偏置工作点的脉冲整形方法, 有效拓展了光脉冲整形技术的适用范围。经实验验证, 本文设计的重频光脉冲整形装置可实现偏置工作点的控制, 具备优秀的光脉冲整形能力, 能够保证长时间高稳定的工作状态。

参考文献:

- [1] 林平, 刘百玉, 缙永胜, 等. 基于半导体激光器的脉冲整形技术[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(1): 103-107.
- [2] 赵灏, 谢征, 吕宏伟, 等. LiNbO_3 强度调制器的光脉冲整形应用[J]. 光通信技术, 2011, 35(7): 1-3.
- [3] 曹霞, 谢新龙, 王治国, 等. ICF 系统中波导调制器脉冲整形技术[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(8): 1108-1111.
- [4] 车雅良. ICF 激光驱动器前端系统脉冲整形技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
- [5] WANG LI L, KOWALCYZK Tony. A Versatile Bias Control Technique for Any-Point Locking in Lithium Niobate Mach-Zehnder Modulators[J]. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2010, 28(11): 1703-1704.
- [6] YUAN Xueguang, ZHANG Yang'an, ZHANG Jinnan, et al. Any Bias Point Control Technique for Mach-Zehnder Modulator [C]. Shanghai: ACP 2014, 2014.
- [7] 胡军, 张蓉竹. 温度对铌酸锂光电相位调制特性的影响[J]. 光学与光电子技术, 2009, 7(5): 5-8.
- [8] 赵灏, 刘芳, 欧阳竑, 等. 基于 P89C669 的幅度调制器自动偏置控制器设计[J]. 光通信技术, 2012, 36(7): 15-17.

敬告作者

凡向本刊投稿的作者, 除提供电子信箱地址外, 还请提供联系电话。被录用的稿件在尚未刊登之前, 如果作者离开原单位, 请及时提供新的联系方式, 以便编辑部邮寄稿费和赠送杂志。

本刊编辑部