

高重复率电光 Q 开关 Nd:YAG 激光器^{* *}

叶志生^{*}, 张鹏泉, 撒 昱, 徐锡强, 王升平, 高惠敏

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

摘要:研制了高重复率电光 Q 开关 Nd:YAG 激光器, 激光谐振腔是曲率半径为 10 m 的全反镜和反射率为 4% 的输出镜组成的平凹腔, 选用 2 支脉冲氙灯 ($\phi 7\text{ mm} \times 130\text{ mm}$) 串联作为 Nd:YAG 激光棒 ($\phi 8\text{ mm} \times 140\text{ mm}$) 的泵浦源, 电光晶体选用 KD*P。为了实现高脉冲能量、窄脉冲宽度和高重复率的激光输出, 设计了新型的 IGBT 氙灯斩波放电电路和雪崩管电光 Q 开关电路。应用上述方法和装置, 成功地获得了重复率 3~20 kHz、脉宽 10~25 ns、脉冲能量 300~500 mJ 的重复率脉冲 Nd:YAG 激光。

关键词:高重复率; 电光 Q 开关; 雪崩管串联电路; IGBT 斩波器

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2005)07-0797-05

High Repetition Electrooptic Q-switch Nd:YAG Lasers

YE Zhi-sheng^{*}, ZHANG Peng-quan, SA Yu, XU Xi-qiang, WANG Sheng-ping,
GAO Hui-min

(College of Precision Instruments and Opto-electronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A high repetition electro-optic Q-switch Nd:YAG laser was reported. The laser resonant cavity is plano-concave cavity, the radius of the concave mirror is 10 m, and the reflection of outgoing mirror is 4%. We used two xenon lamps ($\phi 7\text{ mm} \times 130\text{ mm}$) as the pumping source of Nd:YAG laser bar ($\phi 8\text{ mm} \times 140\text{ mm}$) and the KD*P as the electro-optical crystal. In this paper, we designed the new IGBT chopper circuit of xenon lamps, and also designed the new avalanche transistor series electrooptic Q-switch circuit. By methods and devices mentioned above, the laser output high repetition and narrow pulse length and high monopulse energy, we obtain the high repetition laser pulse of Nd:YAG with 3~20 kHz repetition and 10~25 ns pulse length and 300~500 mJ monopulse energy.

Key words: high repetition; electrooptic Q-switch; avalanche transistor series circuit; IGBT chopper circuit

1 引言

高速流场摄影、远程测距、非线性光学泵浦源及现代加工中都要求 Nd:YAG 激光器输出高重复率、窄脉宽和高脉冲能量的激光。文献[1]和[2]采用二极管泵浦和声光调 Q 的方法获得 1~2.5 kHz/40~51 ns/40~100 mJ 的重复率 Nd:YAG 激光; 文献[3]采用氙灯泵浦和声光调制的方法获得 5~50 kHz/200 ns/30~80 mJ 的重复率 Nd:YAG 输出。但是,

采用上述技术的激光器有 2 个缺点: 激光二极管功率很小, 不能得到高的脉冲能量; 声光 Q 开关比较慢, 不能得到的窄的脉冲宽度^[4]。

本文把氙灯斩波放电和 KD*P 电光调 Q 结合起来应用到 Nd:YAG 激光器中, 用频率和占空比都可控制的 IGBT 斩波器控制脉冲氙灯放电, 氙灯放电周期根据氙灯和 IGBT 安全工作区以及电源补充能力选取^[5]。在氙灯泵浦期, 用雪崩二极管串联退压电路驱动 KD*P 进行电光调 Q, 调 Q 周期根据对脉冲宽

^{*} 收稿日期: 2004-12-03 修订日期: 2005-03-02

^{*} E-mail: zsyec@tju.edu.cn

度和能量要求选取^[6,7]。采用上述方法和装置,获得了重复率 3~20 kHz、脉冲宽度 10~25 ns 及脉冲能量 300~500 mJ 的重复率脉冲 Nd:YAG 激光输出。

2 基本原理

图 1 是高重复率电光 Q 开关 Nd:YAG 激光器的结构示意图。激光腔是曲率半径 10 m 的全反镜和反射率为 4% 的输出镜组成的平凹腔。选用了 2 支脉冲氙灯($\phi 7\text{ mm} \times 130\text{ mm}$)串联作为 Nd:YAG 激光棒($\phi 8\text{ mm} \times 140\text{ mm}$)的泵浦源。IGBT 斩波器控制储能电容(45 000 μF , 600 V)对氙灯放电,用雪崩管串联电路驱动 KD*P 进行退压式电光调 Q。图 2 是高重复率脉冲激光产生的原理图。

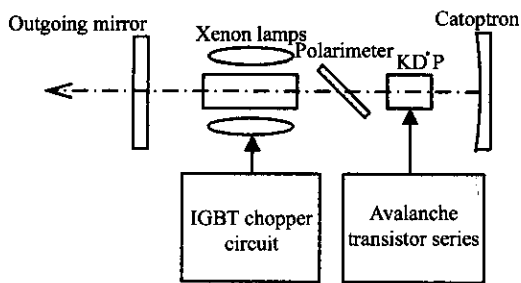


图 1 高重复率脉冲激光器结构框图
Fig. 1 Construction diagram of high repetition impulse laser

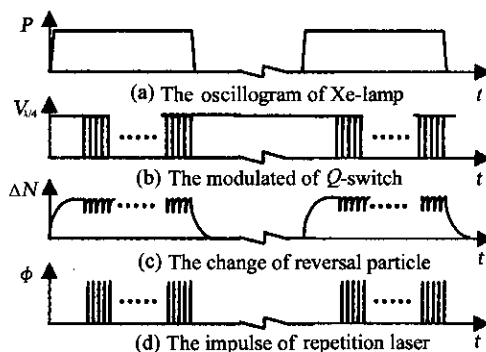


图 2 高重复率脉冲激光原理图

Fig. 2 Schematic diagram of high repetition impulse laser

3 IGBT 直流斩波式氙灯放电电路

图 3 是 IGBT 直流斩波式氙灯放电电路。通过调节驱动信号控制储能电容对氙灯放电,放电脉冲宽度和占空比均可调。实验中使用的 IGBT 最大通态电流为 600 A,反向击穿电压为 1200 V,工作频率 10 kHz 左右。

IGBT 的驱动电路是以三菱公司的厚膜电路 M57962L 为核心附加放大级构成。如图 3 所示,输入信号由 13 脚引入,经过推挽三极管放大后给 IGBT 的栅极。推挽管最大峰值电流为 15 A。快速恢复二极管 D_1 具有短路电流检测功能,当 IGBT 短路进入过饱和状态时,IGBT 的 V_{GE} 不降反升至大于 0,

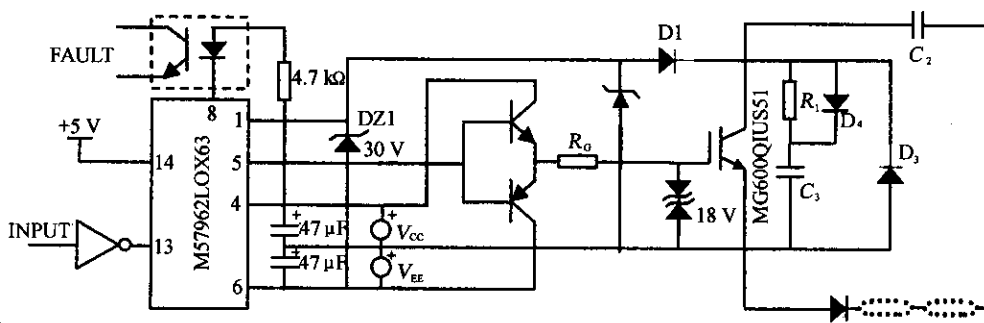


图 3 IGBT 直流斩波式放电电路
Fig. 3 IGBT direct current chopping discharge circuit

加上二极管的导通压降会超过 8 V,此时 M57962L 认为有过流发生并使 IGBT 在 10 μs 内慢关断。图 3 中,采用了 D_3 、 R_1 、 C_3 和 D_4 来消除 IGBT 两端的浪涌电压。除了 D_3 电压钳位外,当 IGBT 关断,电流通

过 D_4 给 C_3 充电,IGBT 的 CE 端电压被钳位在 C_3 上;当 IGBT 开通时,电容 C_3 上的电压通过 R_1 从 IGBT 中泄放,由于 R_1 的存在电流不会很大。由斩波器控制的氙灯放电波形如图 4 所示。

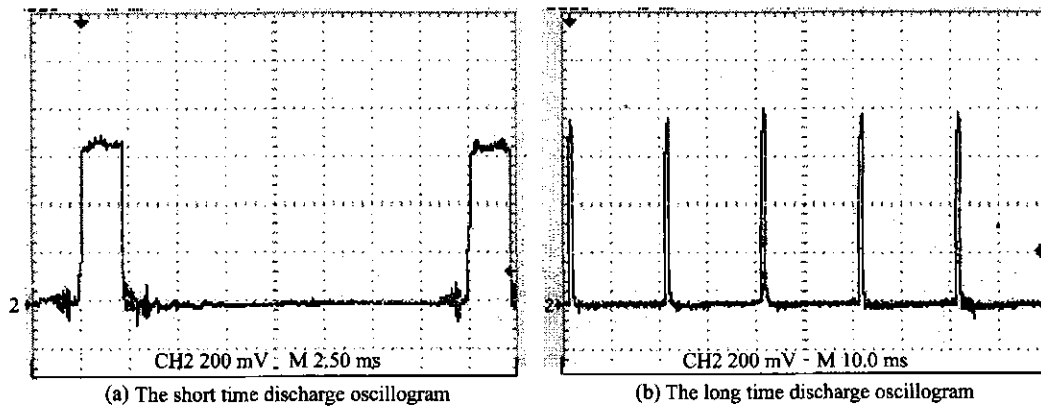


图 4 斩波式氙灯放电波形

Fig. 4 Pulsed-xenon lamps chopping discharge oscillogram

4 雪崩管串联退压式电光调 Q 电路

图 5 是我们设计的雪崩管串联退压电路,有 2 个主要特点:1) 选取漏电流较大的雪崩管,不仅提高了电路稳定性还提高了元器件的利用率;2) 采用多路

信号发生器驱动,降低电路对驱动信号要求和提高电路的抗干扰能力,这种驱动方式有一个突出的优点就是使得电路中高压的范围可调,这个优点对于激光器的实用性是很重要的。对于漏电流最佳值选取和信号发生器的设计要根据具体要求计算。

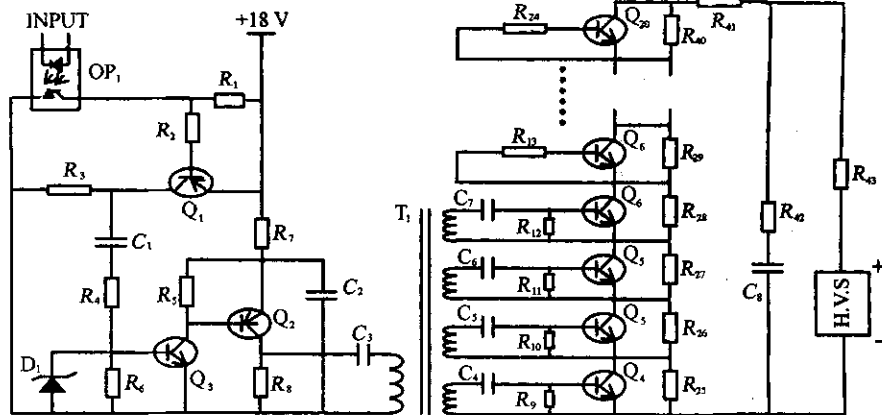


图 5 雪崩管串联式退压电路

Fig. 5 Avalanche transistor series electrooptic Q-switch circuit

选用的雪崩三极管饱和压降小于 0.2 V,特征频率为 300 MHz,集-射截止电流 $1 \mu\text{A}$,集-射击穿电压大于 300 V。驱动信号通过光耦 OP₁ 从数字区到模拟区,三极管 8550 放大,再经过 BC337 和 BC327 组成达林顿结构驱动电路输出, R_7 和 C_2 是决定驱动能力的重要元件。 $C_3 \sim C_7$ 有隔离和加速的作用,重要的是容值选取要和两极电路及信号变压器相匹配。 R_{11} 阻值对退压速度有很大的影响,可用电位器先调出最佳值。 C_8 的最佳值需要根据要求计算。

利用这套电路可以实现 4200 V 高压约 10 ns 的

退压沿,电路在 100 kHz 的频率下仍然能够正常工作,且该电路在连续退压 1200 万次后仍能正常工作。图 6 为 Q 开关电路的退压波形。

5 实验结果

利用上述方法和装置实现了高重复率、窄脉宽及高脉冲能量的 Nd:YAG 激光输出,图 7 为重复频率 20 kHz、脉宽约为 25 ns 及脉冲能量约为 300 mJ 的激光脉冲波形,图 8 为重复率 3 kHz、脉宽约为 10 ns 及脉冲能量约为 500 mJ 的激光脉冲波形。

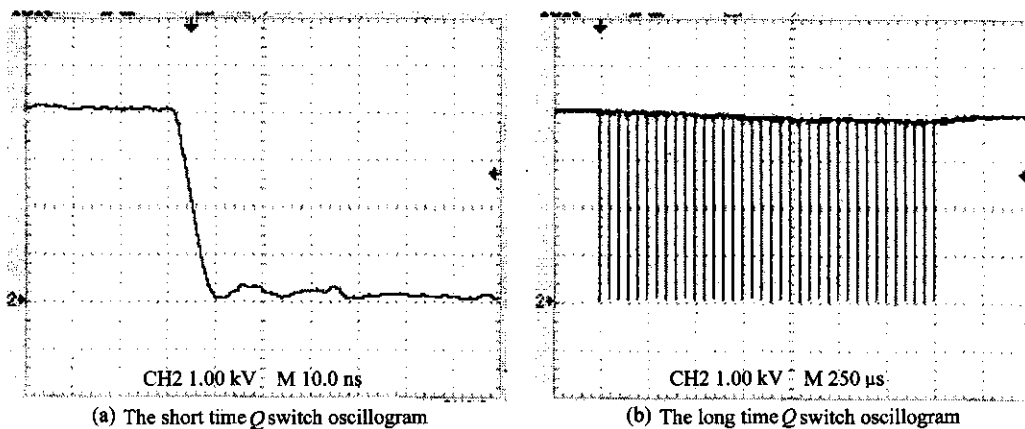


图 6 Q 开关电路的退压波形
Fig. 6 The voltage full oscillogram Q switch circuit

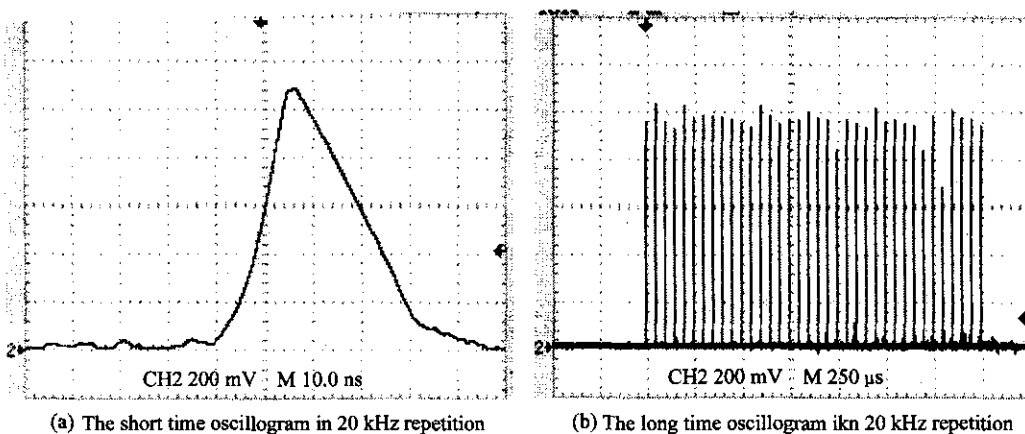


图 7 重复率 20 kHz 输出脉冲波形图
Fig. 7 The impulse oscillogram in 20 kHz repetition

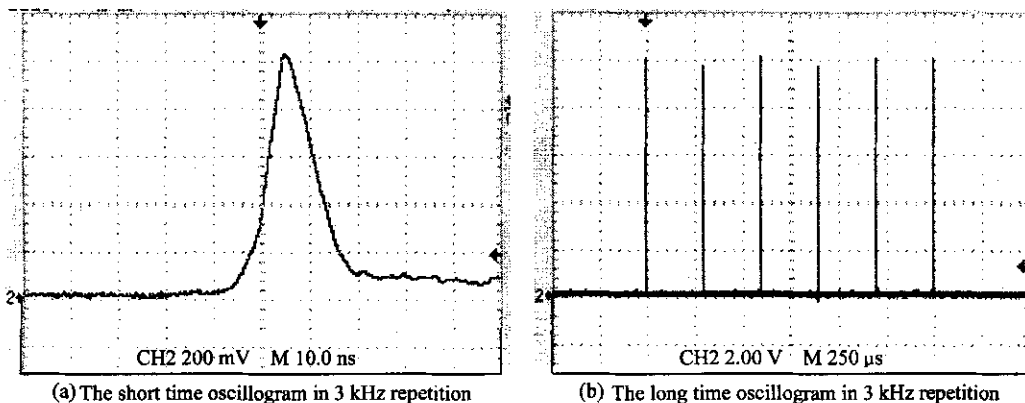


图 8 重复率 3 kHz 输出脉冲波形图
Fig. 8 The impulse oscillogram in 3 kHz repetition

6 结 论

用电光 Q 开关和斩波器实现的重复率 Nd:YAG 激光器,可以得到脉冲能量大、脉冲宽度窄、重复率高的脉冲激光输出。因为调节 Q 开关的周期和斩波放

电周期就可以得到不同脉宽和脉冲能量的重复率激光输出,这套系统进行适当变化就可适应各种要求。

参考文献:

- [1] Kiriya H, Koichi Yamakawa, Toru Nagai. 360 W aver-

- age power operation with a single-stage diode-pumped Nd:YAG amplifier at a 1 kHz repetition rate[J]. *Optics Letters*, 2003, **28**(18):1671-1673.
- [2] Hrano Y, Pavel N, Yamaoto S, et al. 100 W, 100 h external green generation with Nd:YAG rod master-oscillator power-amplifier system [J]. *Optics Communications*, 2000, **184**:231-236.
- [3] LI Qiang, ZHANG Yi-jun, WANG Zhi-yong. A pulse Nd:YAG laser modulated by acousto-optic Q-switch[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 2003, **14**(1):19-11. (in Chinese)
- [4] 克希耐尔 W. 固体激光工程[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [5] Horace W Furumoto. Alexandrite laser system for hair removal and method therefor [P]. United States Patent: 5871479, 1999-02-16.
- [6] Chesler R B, Karr M A, Grusic T. An experimental and theoretical study of high repetition rate Q-switched Nd:YALG lasers[J]. *Proceedings of the IEEE*, 1970, **58**(12):1899-1914.
- [7] ZHANG Guo-wei. Temporal characteristics of the gain-switched tanable solid-state laser theory[J]. *Laser Technology*, 1995, **19**(3):129-134.

作者简介:

叶志生 (1946—), 男, 浙江人, 教授, 主要从事激光全息技术和激光医学研究.