

文章编号 1004-924X(2009)02-0257-05

# 棱镜转镜 Q 开关的驱动设计及稳定性分析

王希军<sup>1</sup>, 耿小涛<sup>1,2</sup>, 岱 钦<sup>3</sup>, 李德胜<sup>1,2</sup>, 苏少昌<sup>1,2</sup>, 王亚军<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;  
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 沈阳理工大学, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:** 为了实现转镜的高转速、连续可调以及高度稳定性, 对转镜 Q 开关的高速电机及其驱动控制系统进行了设计。采用 AVR 单片机、栅极驱动集成模块和 IGBT 设计了控制高速电机的变频驱动系统。实验结果表明: 所设计的高速电机转速 < 60.8 kr/min 时, 驱动系统可平稳转动且无抖动现象, 而且还能实现转镜 Q 开关的快速关断。将设计的棱镜转镜 Q 开关应用于二极管泵浦固态激光器 (DPSSL) 中, 在转速为 43 kr/min 时, 实现了具有 14 kHz 高重复频率大功率快速关断能力的 Q 开关技术, 获得了小于百纳秒的脉宽输出, 是目前转镜技术得到的最佳结果。

**关键词:** 棱镜转镜 Q 开关; 高速电机; 驱动系统; 稳定性

**中图分类号:** TN248.1; TM355 **文献标识码:** A

## Design and stability analysis of driving system in spinning prism Q-switch

WANG Xi-jun<sup>1</sup>, GEN G Xiao-tao<sup>1,2</sup>, DAI Qin<sup>3</sup>, LI De-sheng<sup>1,2</sup>, SU Shao-chang<sup>1,2</sup>, WANG Ya-jun<sup>1,2</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** In order to obtain a kind of spinning prism with high spinning speed, continuous adjustability and robust stability, the driving system of a high-speed motor for spinning prism Q-switch was designed. Using an AVR chip and a grid electrode driving integrating module, the high-speed motor controlled by three-phase frequency conversion was designed. The results show that the driving system of the motor can work stably when the rotation speed is less than 60.8 kr/min, which can realize "fast" shutoff of the Q-switch. The designed Q-switch is applied in Diode Pumped Solid State Laser (DPSSL), and the 14 kHz turning-off-ability Q-switch in the high repetition rate and high-power DPSSL is realized in a experiment with the rotation speed of 43 kr/min, which is the best result in the spinning mirror Q-switch by now.

**Key words:** spinning prism Q-switch; high speed motor; driving system; stability

收稿日期: 2008-04-21; 修订日期: 2008-10-21.

基金项目: 应用光学国家重点实验室应用光学基金资助项目 (No. DA04Q05); 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所三期创新工程资助项目 (No. O78 Y32Q070)

## 1 引言

目前,高重复频率固体激光器所采用的  $Q$  开关大多为声光器件<sup>[1-3]</sup>,但声光  $Q$  开关开关能力差,有时不得不采用两个  $Q$  开关器件同步工作<sup>[4-6]</sup>,这暴露了声光  $Q$  开关技术在高能量调  $Q$  激光器设计及应用中的局限性;也有实现高于 10 kHz 调  $Q$  重复频率的电光  $Q$  开关,但目前所报道的最大平均输出功率都在几十瓦左右,其关断能力明显低于声光  $Q$  开关,并且电光调  $Q$  的晶体成本很高<sup>[7]</sup>。相比之下,最古老的转镜  $Q$  开关技术因其关断能力强、可控性好、结构和调整简单、成本低,以及对偏振不灵敏等优点<sup>[8-9]</sup>,在重复频率可控的激光器中仍不失其优点,所以,近几年,在高功率激光器领域又开始受到人们的关注<sup>[10-12]</sup>。

在转镜  $Q$  开关激光器中,实现高重复有利于得到较短的  $Q$  脉冲,要实现十几 kHz 高重复的最大难点是如何提高电机转速,此外,还涉及连续可调性和非常高的稳定性,否则,电机转动稳定性差,会出现抖动现象,进而会影响到整个谐振腔的稳定性。因此,在转镜  $Q$  开关激光器设计中,高速电机驱动控制系统的设计是重要环节之一<sup>[13]</sup>。

在实验中,本文设计了高速无刷变频电机及其驱动电控系统,并对其稳定性进行了分析。实验表明所设计的驱动系统性能优良且工作稳定,将该驱动系统运用到所设计的棱镜转镜  $Q$  开关,在实验上实现了 14 kHz 高重复频率大功率快速关断能力,并获得了得百纳秒以下的脉宽输出,这是

目前转镜技术能够得到的最佳结果<sup>[14]</sup>。

## 2 转镜 $Q$ 开关的驱动设计及稳定性分析

### 2.1 高速电机及其驱动系统的设计

实验中采用的驱动是三相变频控制的高速电机,其剖面结构如图 1 所示。电机的转子上没有绕组,通过对三相绕组进行交替通电,相对应的磁极就会产生磁场,并与转子形成磁路,在磁场作用下,转子连续旋转。当在高速电机内 3 个绕组上分别施加相同幅值、相同频率、相位相差 120° 的电压时,电机就开始转动。高速电机的转速由加在绕组上的信号频率决定,改变加在绕组上的电压频率,即可实现电机转速的调节。

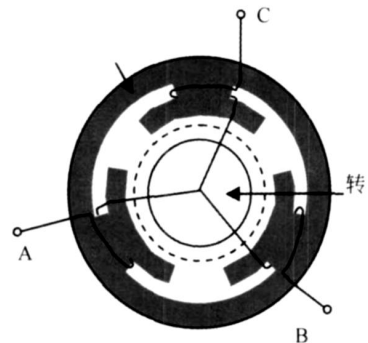


图 1 高速电机剖面结构示意图

Fig. 1 Cross section of high speed motor

实验中,设计的控制高速电机的变频驱动系统由 AVR 单片机,栅极驱动集成模块和 IGBT 组成。驱动电路框图如图 2 所示。

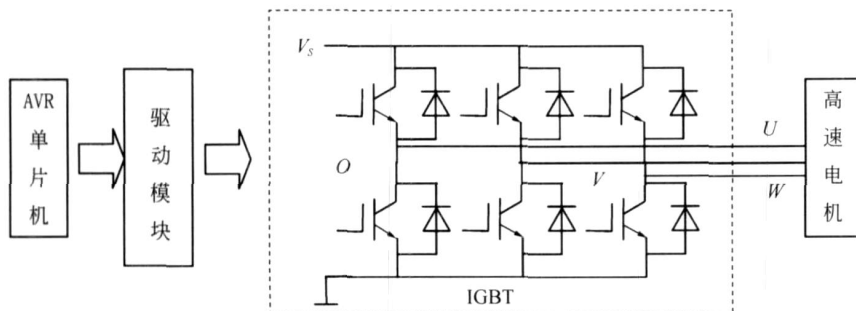


图 2 高速电机驱动电路框图

Fig. 2 Driving circuit of high speed motor

## 2.2 驱动系统的稳定性分析

AVR 单片机是基于 AVR 增强型 RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器。功率 MOSFET 和 IGBT 专用栅极驱动集成模块可以驱动工作在电压高达 600 V 的电路中的功率 MOSFET 器件。AVR 单片机和 IGBT 驱动模块可保证高速电机的快速稳定旋转。通过单片机编程,在 6 路 PWM 通道输出脉冲信号,控制栅极驱动集成模块片内 6 个通道的传输延迟互相配合工作,确保稳定的高频工作状态,从而提高电机转矩性能,并降低噪音。通过自编程序,调节单片机 PWM 输出脉宽和 IGBT 输入电压  $V_s$ ,可以灵活方便地控制电机的转速。

图 3 为 IGBT 三相桥式输出时序波形图。 $U$ 、 $V$ 、 $W$  为三相脉冲,各输出端波形相位相差  $120^\circ$ 。通过编程,设计电机  $U$ 、 $V$ 、 $W$  3 个脉冲,任意两个信号有同时导通的部分,三相通电顺序为 A AB B BC C CA。这种通电方式可确保高速电机的 A、B、C 三相之间交替导通时,A、B、C 三相相互形成平稳过渡,提高电机旋转的稳定性。不过,同时导通的部分不宜过大,若导通部分时间过长,会使电机 A、B、C 三相相互牵制,同样会影响电机旋转稳定性。

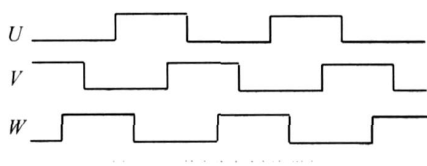


图 3 IGBT 输出脉冲时序波形图

Fig. 3 Sequential waveforms of output impulse

## 2.3 转镜转速测试及驱动系统稳定性验证

严格讲,转镜转速是通过改变驱动电流频率来调节,但实验中,若单片机程序设计的不充分,可能会产生电机转速调节不连续。为此,本文采用了调节高速电机驱动 IGBT 输入电压的方式连续控制电机转速,从而可以观察转镜  $Q$  开关激光器的多脉冲现象以及输出脉冲宽度的连续变化的时间特性,测得的高速转镜的转速随电机输入电压的变化关系如图 4 所示。

由图 4 可看出,电机输入电压较低时,转速

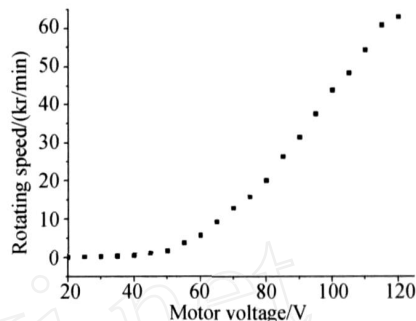


图 4 电机转速随驱动电压的变化关系

Fig. 4 Change of the driving voltage vs rotating speed of the motor

随输入电压变化缓慢,当电机输入电压超过 50 V 时,电机转速随电压几乎呈线性变化。在稳定转动的前提下,电机最高转速达到了 60.8 kr/min。继续提高输入电压,电机转速变化变缓,并且,电机转轴出现抖动现象。从测试曲线可以看出,电机在转速达到 60.8 kr/min 之前,无抖动现象,可平稳转动,这表明所设计的高速电机及其驱动系统性能优良、工作比较稳定。实验中通过改变电机输入电压,可以较好地改变电机转速,从而可以调节激光器重复频率和  $Q$  开关时间。

## 3 结 论

重点设计了转镜  $Q$  开关装置,采用 AVR 单片机、IGBT 以及驱动集成模块,设计了高速无刷电机和驱动控制系统,最高转速达到了 60.8 kr/min。测试结果表明,所设计的高速电机驱动工作比较稳定,可以实现转镜  $Q$  开关的“快速”关断。所设计的棱镜转镜  $Q$  开关已经应用于 DPSSL 中,实现了千赫兹高重频大功率快速关断。在不同的  $Q$  开关时间下,得到了不同的脉冲输出波形。当转镜转速为 43 kr/min,开关时间缩短为 16.1 ns 时,在实验上获得了重复频率 14.3 kHz,脉宽 89 ns、平均功率 100 W 的 1 064 nm 激光输出,实现了转镜  $Q$  开关高功率固体激光器的高重频、窄脉冲激光输出。实验结果表明,棱镜转镜  $Q$  开关是实现全固态高能激光器 kHz  $Q$  脉冲输出的可行技术路线之一。

## 参考文献:

- [1] 张泽红,陈文友,柏福芬,等. 两维声光  $Q$  开关[J]. 压电与声光, 1998, 20(1): 7-13.  
AHANG Z H, CHEN W Y, BAI F F, *et al.*. The two dimensional acoustooptic  $Q$  switch [J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 1998, 20 (1): 7-13. (in Chinese)
- [2] 李港,王菲,于欣,等. 波片提高声光  $Q$  开关关断 Nd: YAG 激光能力研究[J]. 光子学报, 2006, 35(4): 490-493.  
LI G, WANG F, YU X, *et al.*. The research of increasing AO  $Q$ -switch s ability of switching in Nd YAG laser by quarter-waveplate[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(4): 490-493. (in Chinese)
- [3] 王加贤,庄鑫巍. 基于半导体可饱和吸收镜实现闪光灯抽运 Nd: YAG 激光器的被动调  $Q$  与锁模[J]. 光学 精密工程, 2006, 14(4): 584-588.  
WANG J X, ZHUANG X W. Passive  $Q$ -switching and mode-locking in a flashlamp-pumped Nd: YAG laser with semiconductor saturable [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4): 584-588. (in Chinese)
- [4] 李强,郑义军,王智勇,等. 双声光二维  $Q$  开关提高 Nd: YAG 激光器关断损耗[J]. 中国激光, 2003, 30(9): 785-788.  
LI Q, ZHENG Y J, WANG ZH Y, *et al.*. Improved switch loss of Nd YAG laser by double acousto-optic devices two-dimensional  $Q$ -switch[J]. *Chinese Journal of Laser*, 2003, 30(9): 785-788. (in Chinese)
- [5] 陈莹,王立新,曾祥江,等. 双棒串接双声光器件调  $Q$  Nd: YAG 激光器的研究[J]. 中国激光, 2000, 27(9): 782-784.  
CHEN Y, WANG L X, ZENG X J, *et al.*. Research of the  $Q$ -switched Nd: YAG laser with two-YAG rods and two-AO  $Q$ -switches [J]. *Chinese Journal of Laser*, 2000, 27(9): 782-784. (in Chinese)
- [6] LI G Q, ZHAO SH ZH, YANG K J. Compression of the pulse width in a diode-pumped Nd: YVO<sub>4</sub> laser with double  $Q$ -switches[J]. *Optic Engineering*, 2005, 44(3): 034204-1-5.
- [7] 石鹏,张恒利,汪永东,等. 高重复率电光调  $Q$  的高光束质量 Nd: YVO<sub>4</sub> 板条激光器[J]. 光学学报, 2004, 24(5): 641-644.  
SHI P, ZHANG H L, WANG Y D, *et al.*. High repetition rate electro-optically  $Q$ -switched Nd: YVO<sub>4</sub> slab laser with high beam quality output [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 24(5): 641-644. (in Chinese)
- [8] MATJAZ L. Output energy characteristics of optimally pumped rotating mirror  $Q$ -switch lasers [J]. *IEEE J Quantum Electronics*, 1991, 27(9): 2094-2097.
- [9] MARKO M, MATJAZ L. Development of EM field in lasers with rotating mirror  $Q$ -switch [J]. *IEEE J Quantum Electronics*, 1993, 29(8): 2405-2412.
- [10] 宋晏蓉,刘媛媛,李瑞宁,等. 同步双转镜调  $Q$  激光器[J]. 量子光子学报, 2000, 6(3): 110-112.  
SONG Y R, LIU Y Y, LI R N, *et al.*.  $Q$ -switch laser using two synchronizing turned mirrors[J]. *Acta Sinica Quantum Optica*, 2000, 6(3): 110-112. (in Chinese)
- [11] JELINKOVA H, NEMEC M, SULEJ, *et al.*. Er: YAG laser giant pulse generation[J]. *SPIE*, 2002, 4903: 227-232.
- [12] 柳祝平,唐景平,胡丽丽,等. Cr<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐钕玻璃转镜调  $Q$  激光性质研究[J]. 物理学报, 2005, 54(9): 4422-4426.  
LIU ZH P, TANG J P, HU L L, *et al.*. Laser properties of rotating prism  $Q$ -switched Cr<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>: phosphate glasses[J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54(9): 4422-4426. (in Chinese)
- [13] 岱钦,宋文武,王希军. 高频半导体激光器的驱动设计及稳定性分析[J]. 光学 精密工程, 2006, 14(5): 745-748.  
DAI Q, SONG W W, WANG X J. Design and stability analysis of high frequency LD 's driving circuit[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 745-748. (in Chinese)
- [14] 王希军,岱钦,耿小涛,等. 全固态激光器 14kHz  $Q$  脉冲实验研究[J]. 中国激光, 2008, 35(7): 972-975.  
WANG X J, DAI Q, GENG X T, *et al.*. The study on the DPSSL with 14 kHz pulse output[J]. *Chinese Journal of Laser*, 2008, 35(7): 972-975. (in Chinese)

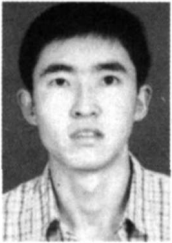
## 作者简介:



王希军(1963 - ),男,吉林人,研究员,博士生导师,博士后,目前主要从事大功率固体激光器及其技术的研究。E-mail: xijwang@sklao.ac.cn



李德胜(1980 - ),男,山东人,博士研究生。E-mail: deshengli0327@163.com



耿小涛(1982 - ),男,甘肃人,硕士研究生。E-mail: xitaoeng@163.com



苏少昌(1978 - ),男,河北人,博士研究生。E-mail: susc403@163.com



岱 钦(1977 - ),男,内蒙古人,博士研究生。E-mail: bdaiqin@163.com



王亚军(1980 - ),女,山东人,硕士研究生。E-mail: Ya00206ya@163.com

## 下期预告

## 氟化镁窗口氙灯真空辐射衰减特性研究

张振铎<sup>1,2</sup>,王淑荣<sup>1</sup>,李福田<sup>1</sup>,李 博<sup>1,2</sup>,林冠宇<sup>1</sup>,袁钾光<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2. 中国科学院 研究生院,北京 100039;  
3. 中国人民解放军总装备部 沈阳军代局驻长春地区军代室,吉林 长春 130033)

对氟化镁材料窗口、紫外-真空紫外波段辐射传递标准光源氙灯的真空辐射衰减机理进行了分析。在此基础上,研制了液氮制冷屏装置来抑制氙灯衰减。建立了氙灯真空辐射特性测试系统,利用该系统对液氮制冷屏装置的有效性进行了考察。测试结果表明,在 160 ~ 300 nm 波段,氙灯平均衰减率可由原来的 7 %/h 下降为 1 %/h。液氮制冷屏装置能十分有效的抑制氟化镁窗口氙灯在真空环境下的辐射衰减。