

千瓦级连续激光二极管面阵电源的设计与实现*

范嗣强, 戴特力, 梁一平, 龙兴明

(重庆师范大学 物理学与信息技术学院, 重庆 400047)

摘要:根据大功率激光二极管的伏安特性和运行要求,采用基本电子线路和基本电路分析方法,以可控硅作为功率器件,一种千瓦级连续激光二极管面阵的电源被研究和制作出来。这种电源功率大、恒流工作、稳压调节、恒流与稳压之间自动切换。此外,还具备过流保护、过压保护、浪涌抑制和接受外来信号自动切断等功能。实际的运行结果表明,该电源可靠、实用。

关键词:半导体激光电源;激光二极管面阵;恒流;稳压

中图分类号:TN86

文献标识码:A

文章编号:1672-6693(2005)03-0083-04

The Design and Realization of Power Supply of 1000 W Continuous Laser Diode Planar Array

FAN Si-qiang, DAI Te-li, LIANG Yi-ping, LONG Xin-ming

(College of Physics and Information Technology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: According to the characteristics of U/I and the request of the big power laser diode, we adopt the basic electronics circuit, plus the basic electric circuit analysis method. In addition, we use control transistor to be the power component, a kind of kilowatt continuous laser diode planar array, the power supply is studied and created out. This kind of power supply has big power, invariableness of voltage and current output and the automatically change between voltage and current output. In addition, it also has the protection of the over voltage and current output, and it can accept the foreign signal automatically cut-function etc. The actual experimental result shows that power supply is reliable and practical.

Key words: power supply of semi-conductor laser diode; continuous laser diode planar array; invariableness voltage; invariableness current

激光二极管泵浦激光器(DPL)是当前固体激光器的一个主流。DPL以其高效、可靠性好、工作寿命长和全固化等优良特性,被越来越广泛地用于国防、科研、医疗、加工等领域。二极管泵浦^[1]的Nd:YAG是使用得最广泛的DPL。YAG激光棒的吸收波长之一是在808nm,以往用氙灯或氪灯泵浦时,由于有效吸收宽带所占的比例小以至浪费大量的能量。当前的二极管激光器电源分为连续^[2~5]和脉冲的两种输出方式,对于1000W以上的大功率来说国内现在只有脉冲电源^[6]。本文主要研制1000W以上的连续电源,1000W面阵由30只安装在硅微沟道冷却器(MCC)的半导体激光二极管条组成,采用二极

管条串联的方式供电。

1 二极管激光器特性及相应电源特性

激光二极管条的伏安特性与普通PN结的伏安特性相同,图1是安装在MCC上的单个二极管条的伏安特性,其特点是当外加电压越过激光发射阈值电压(1.5V)时,电流将随电压缓慢增加而迅速上升。30个二极管串联后,其电压阈值将达到45V,过阈值后,电流在0.5V的范围内上升50A。这种连接方式决定了电源工作方式应该是:在阈值电压以前(0~45V)是稳压电源,超过阈值电压就转换为恒流输出。对二极管本身来说,如果电源输出的

* 收稿日期:2005-04-05

资助项目:重庆市科委攻关项目(千瓦级连续激光二极管面阵,1999年第8批74项)

作者简介:范嗣强(1978-),男,四川资阳人,硕士研究生,研究方向激光器件及应用。

电压或电流波形质量不高、又缺乏有效的保护措施,将导致激光二极管的性能下降造成永久性损伤。此外激光电源输出功率的稳定性、纹波系数也将直接影响激光输出的质量和效果,特别是如果在开、关机的时候出现浪涌,对二极管来说是致命的。在电源的输出功率方面,为确保激光器的功率和可持续研究的需要,要保证输出功率在一万 W 以上。

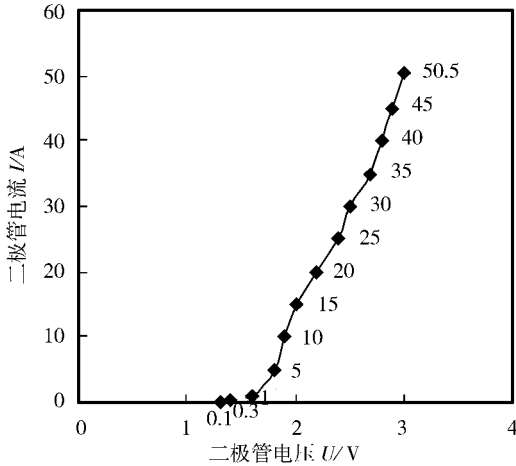


图 1 单只二极管的伏安特性

1.1 电源的功率驱动器件、相关特性及主回路电路

因为电源的功率高并且要求调节的幅度很大,采用传统的功率器件可控硅来作为主要的驱动器件比较可靠,采用可控硅作为功率器件具有电源大功率、低内阻的优点,其次,可控硅主电路结构简单、可靠。虽然调节过程是控制触发相位角的变化,不易实现闭环控制,但是,将电源的输出电压、电流用传感器检测并反馈,再用相关的控制电路,就能实现闭环控制。

主电路如图 2 所示,为避免对电网造成冲击,整流电路采用三相半控桥式整流电路。其中 3 个可控硅连在一起是共阴极正组,3 个二极管连在一起是共阳极负组。半导体激光二极管的负载特性是电阻特性。A、B、C 三相用 3 个小变压器将其相位取出来,再经过 3 个移相模块,使 3 个可控硅的导通相位分别相差 120°,同时导通。导通宽度相同,其大小受控制信号的控制,以实现输出功率的变化。3 个可控硅在恒流或稳压控制信号的作用下,将三相交流电整流为直流,再经过一电容组滤波,从电感线圈输出,这样其输出电压将会变得平滑,使得对输出电压、电流要求很高的激光二极管

来说将起到很好的保护作用。

1.2 稳压、恒流电路及其工作原理

恒流控制电路见图 3,该电路是一个由精密运算放大器组成的、具有防止外界干扰的低通滤波组成的一个减法电路。D₁、D₂ 是两个限幅二极管, C₂、C₃、R 组成一个低通滤波电路。预置电流输入就是电流的大小调节,可以在操作面板上实现,其范围是从 0~60A 的一个连续调节。电流反馈是在主回路上检测其电流的大小,并用霍尔元件将其变换为电压信号。其输出电压是电流预置与电流反馈的差值的放大值。设电流控制信号输出为 I_o, 电流预置为 I_{in}, 电流反馈为 I_f。其计算公式为:

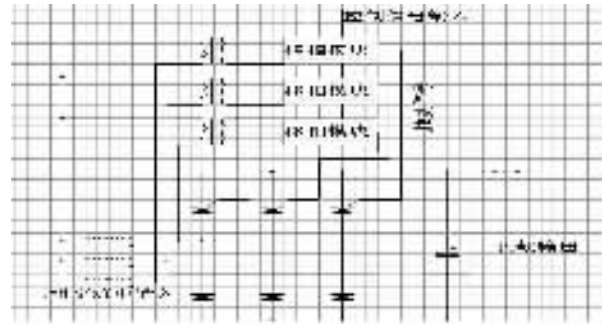


图 2 电源主电路及其电路原理图

$$I_o = \frac{R_5}{R_1} (I_{in} - I_f)$$

稳压电路的电路图同恒流电路相同,只是电流换成电压而已。为此,给电源安装了两个控制单元,使其要么在稳压状态、要么在恒流状态。这两个单元都能够独立地控制电源的正常运行。

1.3 恒流、稳压控制转换

如图 4 所示的恒流、稳压控制电路是该电路的核心电路单元,体现了该电源专用于大功率的激光二极管的特殊性。由于二极管的伏安特性要求先要稳压、后恒流的电源输出。选择控制转换的方式是很关键的。状态转换电路分为电压比较、电流比较、

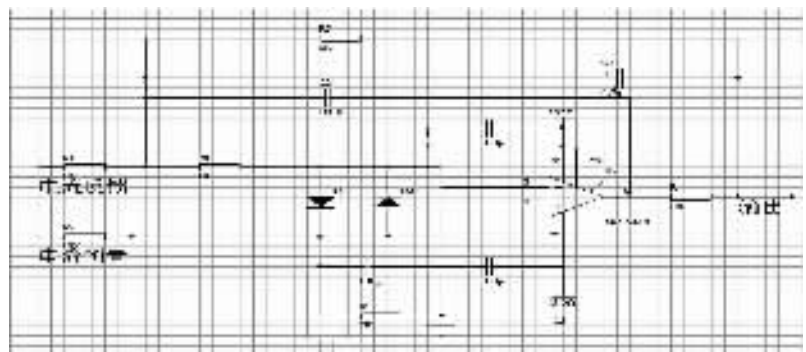


图 3 恒流控制电路

逻辑门电路、转换用的受控单刀双掷开关,单刀开关的两个端分别是稳压与恒流控制的两个输出端头。图 4 中只有一个电流检测比较电路,实际还有一个电压检测比较电路未画出。

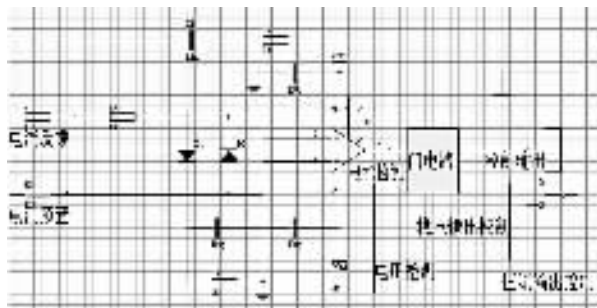


图 4 恒流、稳压控制转换电路图

两个比较电路都是由一个精密运放加上一个低通滤波电路组成。当预置的电流 I_{in} 高于检测的电流 I_f 的时候,运放的输出为高电平,记为 1,否则为 0。同样,当预置电压高于反馈电压的时候,电压比较输出为 1,反之为 0。在两个比较器的后面接的一个门电路,其逻辑函数见表 1。调节是一个动态过程,输出的电压、电流特性见图 5。

表 1 逻辑函数

电流比较	电压比较	控制状态
0	1	稳压输出
1	0	恒流输出

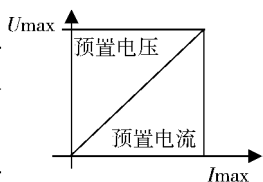


图 5 恒流、稳压控制转换输出特性图

从图中可以看出:电源的总功率不会超过 $P = U_{max} * I_{max}$,斜线的上方是恒流输出,下方是稳压输出。在越过斜线的时候表示稳压、恒流自动转换。

1.4 防浪涌、过流、过压等保护电路

电源本身设置了电压过压、电流过流的保护线路。除此之外,为了确保激光二极管的安全,千瓦级面阵冷水机和电源要求能够实现联动,即当冷水机的流体流量、压力都达到预定的数值时,电源才能够通电。在运行的过程中,如水压低于设定值时电源停止输出。在电压过压和电流过流保护电路中,均采用霍尔元件来检测采样信号,这样做是防止采样噪声被放大。在切断输出或是开、关机的时候,没有浪涌是本电源的一个关键,在文献的[1]、[2]、[4]、[6]中谈到不同的防浪涌方法和措施。为此,将控制部分加在可控硅的触发端,因为可控硅在变压器的后级,可控硅后面没有大的电感设备,也就不会有

瞬间的大电流,实验时的输出波形表明了这个问题。另外,对大量的激光二极管阵列,最严重的电威胁,是激光二极管阵列 PN 结中建立的静电积累,静电积累足以造成激光二极管 PN 结的电击穿,导致永久性的损伤。因此,在输出端加了一个 100Ω 的电阻,可以防止静电积累,又不会影响激光二极管的电效率。

2 电源的实验数据分析

2.1 前期实验数据及分析

电源在正式对半导体激光条进行驱动之前,用它来驱动一个电阻值 3Ω 的电热丝,该电阻能承受的功率可以达到几万 W。图 6 是实验伏安特性图,由此得到:它的实验效果很好,输出的电流平稳,无论电压还是电流都能够从 0 开始往上调,线性度好。

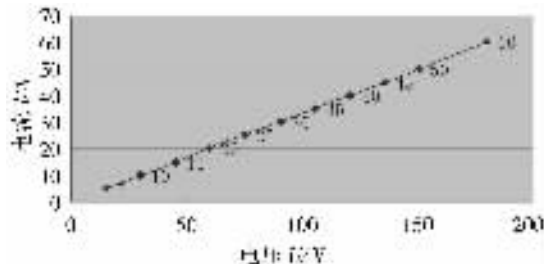


图 6 电阻为 3Ω 的伏安特性

2.2 对千瓦级激光二极管面阵的实验数据及分析

在项目测试专家对千瓦级连续激光二极管面阵进行测试期间,该电源能够正常的发挥其功能,在 30 只连续激光二极管达到最大的输出时,即均工作在 50A 30min 的时间内,电压、电流的稳定性好。二极管的发光稳定。在稳压输出向恒流输出的状态转换时,电流很平稳,没有突然的死机现象,各种保护功能都能很好地运行。从其输出的伏安特性表明:其输出完全是二极管的 PN 结的伏安特性、曲线没有抖动且光滑,符合设计的要求(见图 7)。

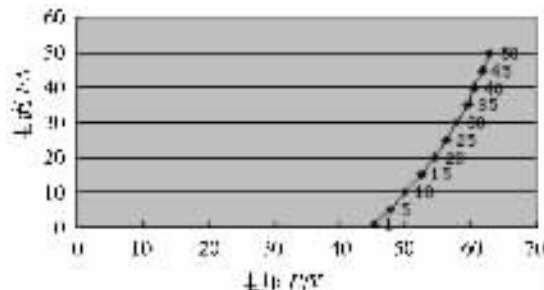


图 7 加上千瓦级面阵时的伏安特性图

2.3 动态实验数据及误差

输出电流:0 ~ 50A,连续可调,最大显示误差0.5%(可调范围内)。

输出电压:0 ~ 150V,连续可调,最大显示误差1%(可调范围内)。

2.4 电源存在的不足

(1) 变压器的噪音较大,这主要是与变压器的质量有很大的关系,有可控硅的通断,使主电路中有较大的谐振电流,即是变压器噪音的主要来源。高质量的变压器,如Q形铁芯变压器,可将噪声降低到很小。

(2) 在恒流输出调节时,在变压器的低端(即导通角度很小时)输出不太稳定。这与变压器的质量以及可控硅的质量有一定的关系,但也与反馈控制回路的线性度有关,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] W 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 孙文,江泽文,程国祥译. 北京:科学出版社,2002. 292-293.
- [2] ERICKSON L E, KOECHNER Q W. High Voltage Power Supply for Pulsed State Lasers[J]. Electronic Engineering, 1970, 6(3): 36-38.
- [3] 孙梅生,卢威,徐小鹏. 浪涌对半导体激光器的危害及消除方法[J]. 激光杂志, 2002, 21(6): 18-19.
- [4] 宁喜发,姚建铨. 三相可调恒压源供电,谐振充电激光电源[J]. 天津大学学报, 1989(4): 37-44.
- [5] 张波,汤凤娟. 开关变换型连续激光电源的研制[J]. 激光集锦, 1992, 2(1): 47-52.
- [6] 李季,陈结祥,张毅,等. 大功率半导体激光器驱动电源[J]. 量子电子学报, 2003, 20(1): 30-34.

(责任编辑 许文昌)