

激光器用大功率开关电源的研制

彭登峰, 王又青

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘要: 设计了一种新颖的激光器用高频开关电源。与常规开关电源相比, 该电源具有开关频率高、开关损耗小、可靠性高、体积小等优点。

关键词: 开关电源; 谐振; CO₂ 激光器; 2SD106A1

中图分类号: TN248.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-2743(2006)02-0078-02

Study of switching power supply for CO₂ laser

PENG Deng-feng, WANG You-qing

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074 China)

Abstract: The paper presents a new HF switching power supply for CO₂ laser. Compared with general switching power supply, this power supply has the advantages of high switch frequency, small switch loss, high reliability, small volume and so on.

Key words: switching power supply; resonance; CO₂ Laser; 2SD106A1

1 开关电源组成及工作原理

开关电源系统框图如图1所示, 该电源可分为逆变主电路、控制电路和驱动电路三大部分。电源主电路主要由滤波整流电路、高频谐振电路、高压整流滤波电路几部分组成。控制电路主要是由反馈与给定的误差处理电路、过流过压保护电路、脉冲发生电路以及脉冲输出控制电路组成。

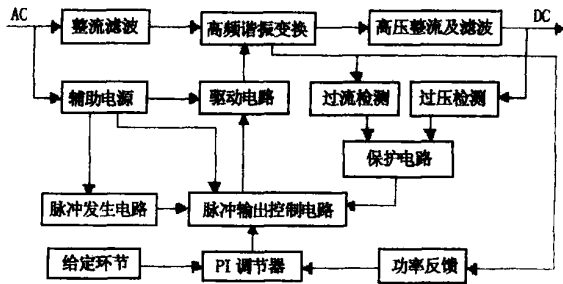


图1 电源系统框图

1.1 主电路

主电路在半桥变换器的基础上通过改变电路的拓扑结构, 并接入一对IGBT开关管(T₃、T₄)及续流二极管而得到。三相380V/50Hz交流电采用三相全波不控整流, 为了防止电路导通时冲击电流过大, 可采用继电器以实现软起动。三相交流电经整流滤波后得到510V左右的直流电压, 该直流电压由分压电路分压后通过IGBT开关管T₁、T₂、T₃、T₄以及谐振元件L、C组成的谐振功率变换电路得到高频交流电压, 然后由高频变压器升压及倍压整流后得到20KV直流电。

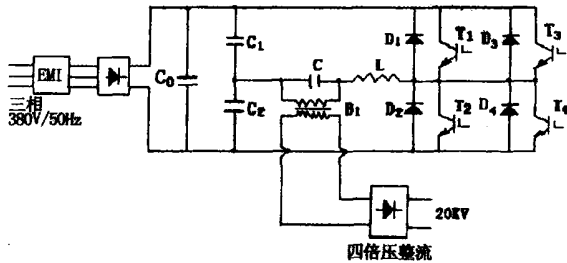


图2 主电路原理图

4只开关管工作次序, 高频变压器的逆变频率及谐振元件的谐振频率设计如下:

开关器件选用西门子的隔离栅双极型大功率的晶体管BSM150CB120DN2。由于受开关管开关频率的限制, 在本设计中每只开关管的开关频率为25KHz。在图3所示驱动脉冲(Q₁~Q₄, 实为正负脉冲)下, 4只开关管轮流导通(T₁→T₂→T₃→T₄→T₁), 此时高频变压器的逆变频率f_s=25KHz*2=50KHz。调整谐振频率为f_r=100KHz, 电流波形是连续的, 谐振电感电流及电容电压波形如图3所示^[2]。由于电路采用谐振零电流关断, 零电流、零电压导通的工作方式, 大大减小

了开关管的关断损耗。

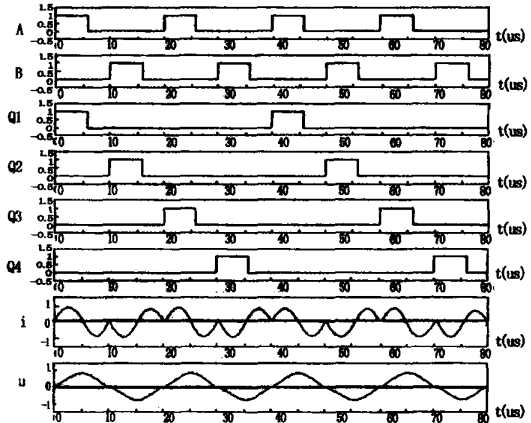


图3 脉冲及电流电压波形图

1.2 控制电路

控制电路主要是由反馈与给定的误差处理电路、过流过压保护电路、脉冲发生电路以及脉冲输出控制电路组成。过流保护电路的作用是防止负载短路或过载以及功率管直通时功率管的过流损坏。利用霍尔器件作电流取样元件, 将其设置在直流输入电路的电容器与IGBT集电极之间。这样, 既可检测出负载的过流或短路, 又可检测出功率器件的直通。其检出的信号通过控制电路关断IGBT模块的驱动信号, 从而达到保护IGBT的目的。同时电流取样信号经转变成电压信号后作为功率反馈信号, 这一反馈信号与给定电压比较后, 经过PI调节器输出作为脉冲输出控制电路的功率控制信号, 以实现功率的无偏差调节。

下面重点介绍一下脉冲发生电路、脉冲输出控制电路及其如何实现对功率的调整输出。

脉冲发生电路

根据设计要求, 每个IGBT导通脉冲宽度取为6μs, 两个开关管工作之间的死区取为4μs。这样既可以避免IGBT发生直通又可以保证驱动脉宽大于谐振的半个周期, 实现软开关功能。四路脉冲信号如图4所示(Q₁~Q₄)。

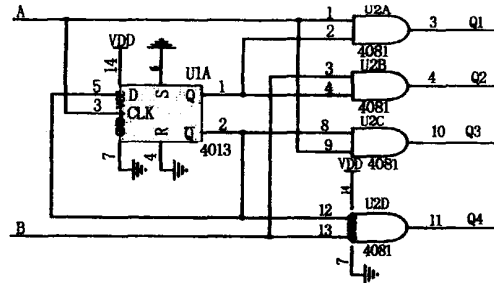


图4 脉冲发生电路

由TL494输出相位相差180度、频率为50KHz、占空比为30%两路脉冲(A、B)经过4013(D触发器)分频及逻辑电路处理(图3所示)可得到上述四路脉冲。

收稿日期: 2005-04-05

作者简介: 彭登峰(1973-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光器电源及其应用研究。

脉冲输出控制电路

为了实现开关电源的软关断,在设计时驱动脉冲的频率和宽度是一定值,我们通过调节输出的脉冲个数来调节电源的输出功率.脉冲输出控制电路由4017及其辅助电路组成,如图5所示.4017IC是十进制计数/脉冲分频器,它的基本功能是对CLK端输入的脉冲个数进行十进制计数,并按照输入脉冲的个数顺序将脉冲分配在Q0到Q9这十个输出端,计满十个数后计数器清零,同时CO端输出一个进位脉冲[6].根据4017IC的工作特点,在设计时取一25KHz的脉冲信号(Q1)作为4017的时钟脉冲经CLK端输入,CO端输出2.5KHz,占空比为50%的功率调制脉冲,通过电阻电容充放电后转化为三角波,三角波与功率控制电压信号进行比较后产生一个方波.此方波电压作为四路脉冲(Q1-Q4)的输出控制信号,由软开关电源(图中未画出)控制四路脉冲的输出.通过调整给定电压的大小就可以调整产生方波的占空比的大小,使占空比可以从0~100%.而调整此方波的占空比就可以调整所包含的驱动脉宽个数,从而实现对功率的调整输出.在4017的Q5端每40μs(频率为2.5KHz)输出一脉宽为40us的脉冲,此脉冲信号用作待机信号(预燃电路),其控制功率输出约占总功率的10%.

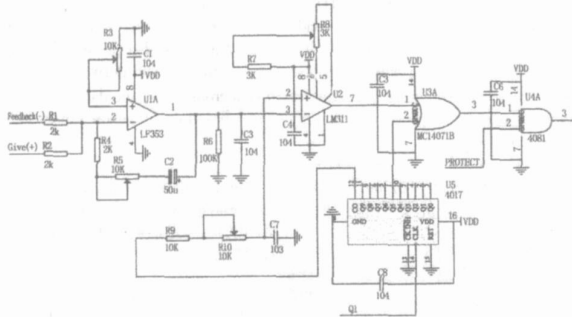


图5 脉冲输出控制电路

1.3 驱动电路

驱动电路是主电路与控制之间的接口,采用性能良好的驱动电路可以使开关管工作在比较理想的开关状态,同时可以缩短开关时间,减小开关损耗.IGBT常用驱动器件EXB840/841系列驱动模块存在保护功能不够完善、开关延迟时间长等不足,不能满足要求.经过研究分析,最终选用SCALE集成驱动器(2SDI06A1)作为IGBT的驱动器件.SCALE集成驱动器就是由瑞士CONCEPT公司生产的,专为IGBT和MOSFET提供驱动模块.2SDI06A1模块具有多功能、低成本、安全性、易用性等特点.该模块采用脉冲变压器隔离方式,能同时驱动两个IGBT模块,可提供±15V的驱动电压和+6A的峰值电流,具有欠压监测功能与灵活可调的过流保护功能,开关频率可大于100KH[6].根据IGBT对驱动保护电路的要求以及2SDI06A1驱动模块的性能特点,设计了IGBT的驱动电路,如图6所示.图中只给出一块驱动模块的接线图,另一块可用相同的方法连接.

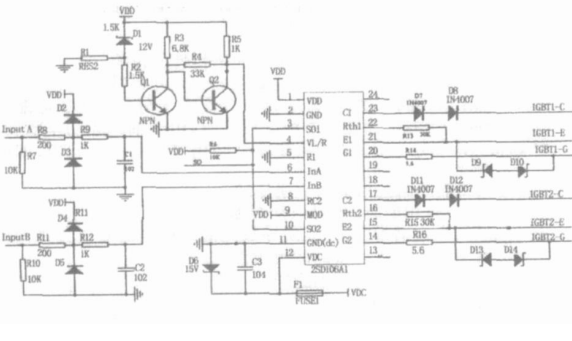


图6 驱动电路

工作模式及逻辑电平的确定

通过对MOD引脚电平的定义,2SDI06A1可产生两种工作模式:直接工作模式与半桥工作模式.在本应用中,引脚MOD接VDD,引脚RC1与RC2接地,选定直接工作模式.在该模式下,驱动器的两路输出信号相互之间没有任何逻辑联系,各路IGBT独立工作,死区时间由控制电路确定.逻辑电平可由驱动器的VL/R输入端来确定.2SDI06A1

的两个信号输入端(InA和InB)都有施密特触发电路,施密特触发器的触发上限电平为2VL/3,下限触发电平为VL/3,驱动器能够处理5~15V之间的任何逻辑电平.如图6所示,选定+15V工作模式:InA与InB都采用15V逻辑电平控制.

输入保护电路

通常驱动电路通过引线与控制电路相连,因此,应对驱动电路的输入InputA和InputB给予适当地保护,以便在掉电或输入信号呈高阻时,输入端能够通过电阻(R7、R10)接地.电容(C1、C2)的作用是抑制输入端出现的短脉冲或有害的尖峰脉冲.

欠压保护电路

如图所示;VDD>12.7V时,Z1反向击穿,三极管Q1导通,Q2截止,VL为高电平,驱动器开通;当VDD<12V时,Q1截止,Q2导通,VL为低电平,驱动器关断.从而可以实现欠压保护.

短路与过流保护

当集电极电流过大时,IGBT的饱和压降Uce将明显的增加,通过对Uce的监测来实现短路及过流保护.电阻R13、R15的作用是用来定义当功率管导通时的最大管压降,它和其它元件一起构成了Uce监测电路.当功率管导通时的管压降大于由R13定义的最大管压降时,Uce监测电路便输出故障报警信号,并关断功率管,从而实现了短路与过流保护.R13的大小可通过以下公式来确定[5]:

R13 = (Uth + Ud) / I

式中Uth——IGBT的Uce电压保护阈值, Ud——为IGBT集电极所连接二极管的导通压降,约为1.45V, I——R13上的恒定电流(150μA).

本设计中Uce电压阈值约为3V.计算可得驱动侧参考电阻:R13=30k.这样,当IGBT过流,Uce超出设定值(3V)时,驱动模块将自动进入保护状态.

其它保护电路

为了有效地保护IGBT,当出现过流、短路或电源电压过低等情况时,必须同时封锁各IGBT,并保持一段时间.因此,两路状态输出信号SO1和SO2接到同一上拉电阻,两路驱动中任一路出现故障,都将有公共的报错信号(SO降为低电平).图中引脚C1(C2)通过二极管与IGBT的集电极连接,可防止高压窜入驱动电路.门极与发射极间并接两只反向串接的稳压管可防止门极驱动电路出现高压尖峰.

门极串联电阻Rg的选取

选择合适的门极串联电阻Rg(图中R14、R16)对IGBT的驱动相当重要.Rg较大,有利于抑制IGBT的电流上升率di/dt及电压上升率du/dt,但会增加IGBT的开关时间和开关损耗;Rg太小,会使di/dt增大,使IGBT误导通或损坏.Rg大小可通过以下公式来确定[5]:

Rg(min) = U / Ig(max)

其中U是门极正反向偏置电压之差,即15V - (-15V) = 30V, Ig(max)是驱动电路所能提供的最大驱动电流,其值为6A.所以Rg(min) = 5,应用中可取为5.6.

2 结束语

本电源采用了谐振软开关技术及新的驱动芯片,减小了开关损耗,提高了电源可靠性.

研制的6KW高压开关电源体积小,效率高,可连续或脉冲输出.可通过单片机进行工作模式与功率的设置[6],能够与工控机相连,易于控制.

提出了一种新的设计方案,这一研究为提高开关电源的开关频率提供了一种新的思路.

参考文献

[1] 彭晓原,李适民等.CO2气体激光器激励电源的发展现状及趋势[J].激光杂志,1997,18(1):1-3.
[2] 阮新波,严仰光.直流开关电源的软开关技术[M].北京:科学出版社,2003,76-83.
[3] 陈国华.CD4017集成电路应用200例[M].北京:人民邮电出版社,1996:1-4.
[4] CONCEPT公司.Dual SCALE Driver 2SDI06A for IGBTs and Power MOSFETS.
[5] 孙稚,孙梅生等.大功率IGBT驱动模块2SD315A的特性及应用[J].电力电子技术,2002,36(6):74-75.
[6] 丁峰,王又青等.3kW轴快流气体激光器电源控制系统的设计[J].激光杂志,2004,25(5):16-17.