

文章编号: 1001-3806(2010)03-0360-03

## 基于 IGBT 斩波电路的“母子”式电容充电电源的研究

王晓东, 撒 昱\*, 张贵忠, 王升平

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 为了克服传统强脉冲光治疗机中电源系统的不足, 采用单片机控制 IGBT 的开通与关断时间, 以实现高速可控的充电过程, 设计了基于 IGBT 斩波电路的“母子”式电容充电电源。结果表明, 该电源电路安全可靠, 在工作电压 150V 的情况下, 可以实现大于 2kW 的电功率输出, 并且输出能量均匀平稳, 可以作为强脉冲光治疗机的电源系统。

**关键词:** 激光技术; 强脉冲光电源; “母子”电容; IGBT 斩波电路; 脉冲氙灯

**中图分类号:** TN86 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.03.021

### Study on the “main-subordinate” capacitive charging power circuit based on the IGBT chopper circuit

WANG Xiao-dong, SA Yu, ZHANG Gui-zhong, WANG Sheng-ping

(College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** In order to overcome the disadvantages of the power system of the intense pulsed light equipment, a “main-subordinate” capacitive charging power circuit based on the IGBT chopper circuit was designed. The on and off-time of IGBT was controlled with the micro-chip computer to achieve high-speed and controlled charging process. The experiments prove that this circuit is not only safe but also can achieve the electric output power larger than 2kW when the operating voltage is 150V, and the output energy is uniform. The “main-subordinate” capacitive charging power circuit based on the IGBT chopper circuit can be adopted in the power of the intense pulsed light equipment.

**Key words:** laser technique; power supply of the intense pulsed light; “main-subordinate” capacitance; IGBT chopper circuit; pulsed Xe-flash-lamp

## 引 言

近些年来, 强脉冲光治疗机(intense pulsed light, IPL)在光子嫩肤、治疗痤疮等领域有着广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。由于在强光治疗过程中需要较高的光能输出, 但一般实验室或医院的单相市电输出功率有限, 因而传统的供电形式是采用单一大容量的储能电容作为氙灯的电源<sup>[3]</sup>。但是当电容对氙灯放电时, 电容两端的电压呈指数衰减, 因而注入氙灯的电流也将会衰减(假设此时氙灯内阻不变), 这样在每个长脉冲内, 初始时刻输出光能量较高, 之后由于储能电容两端电压的衰减, 输出光能量也随之减少。这种不均匀的能量输出为医学治疗带来了很大不便。因此, 作者专门设计

了“母子”式电容充电电源, 该电源在保证输出较高的电功率的同时, 又克服了传统供电方式的不足。

## 1 “母子”式电容充电电源的设计

### 1.1 “母子”式电容充电电源的原理

“母子”式电容充电电源的电路框图如图 1 所示

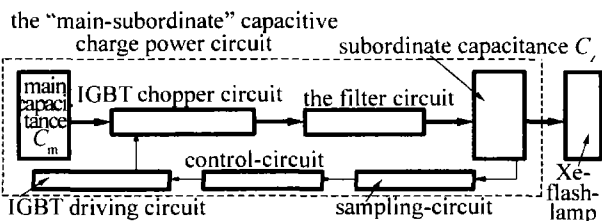


Fig. 1 Schematic diagram of the “main-subordinate” capacitive charging power circuit

(其中  $C_m$  代表“母电容”、 $C_s$  代表“子电容”), 设计的创新点是在传统供电方式的基础上引入一个容量较小但工作频率较高的“子电容”, 将传统方式中的大容量储能电容, 直接提供给负载的电能均匀的分多次提供给“子电容”, 再由“子电容”提供给氙灯, 并保证“子电容”每次放电时两端电压近似相等。这样在每个放电

基金项目: 天津市科技发展计划资助项目 (06YFSZSF00400)

作者简介: 王晓东(1984-), 男, 硕士研究生, 现主要从事激光医疗仪器的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: sayu@tju.edu.cn

收稿日期: 2009-04-01; 收到修改稿日期: 2009-05-06

脉冲内,提供给氙灯的电流也近似相等,从而保证每个光脉冲的能量均匀。

“母电容”对“子电容”充电的过程是通过 IGBT 斩波电路实现的。通过采样电路将“子电容”电压反馈给单片机控制系统,从而构成闭环控制。再通过单片机控制 IGBT 斩波电路的开关周期和占空比,可以保证“母电容”每次向“子电容”提供近似相等的能量(即保证“子电容”两端电压不变)。当 IGBT 开通时,其通态阻抗非常小,而“母电容”的容量又比“子电容”大许多,在“母电容”向“子电容”充电过程中,电路中存在极高的充电电流,极易造成元件的损坏,或使得“子电容”上出现“过充”的现象,导致电路无法正常工作。同时,由于 IGBT 有很高的开关频率,因此,电路中也存在剧烈变化的高频成分,这些高频成分在电路中分布电感的影响下,容易对“子电容”、IGBT 等重要元件造成损害。为克服上述问题,作者在“母子电容”充电回路中,加入一套低通滤波电路,一方面,增加电路中的阻抗值,使得充电电流不会过大,防止充电失控;另一方面,可以滤除电路中的高频成分,在保护 IGBT 安全的同时,也使得充电可以快速、平稳,减少高频分量对“子电容”的冲击。

## 1.2 “母子”式电容充电电源的实验研究

根据以上工作原理,设计了具体实验来验证电路工作的可靠性并测量出该电源电路可提供的电功率。实

验中采用 LC 低通滤波电路。滤波电路参量的选择取决于 IGBT 斩波电路的开关频率。当滤波电路截止频率  $f_c$  大于开关脉冲的基波频率而小于其 2 次谐波频率时,滤波效果最佳,纹波系数相对最小,且滤波电路的特征阻抗不宜过大,取  $1\Omega \sim 2\Omega$  为佳。实验中,选取 IGBT 斩波电路的开关周期为 25kHz,故取滤波电路截止频率为 30kHz、特征阻抗为  $1.8\Omega$ ,采用归一化法<sup>[4]</sup>计算出滤波电路中的电感值和电容值约为  $20\mu\text{H}$  和  $6\mu\text{F}$ 。

实验中另一个主要部分是 IGBT 斩波电路<sup>[5]</sup>。为抑制在 IGBT 模块高速开关过程中,由于电流应力在连线寄生电感作用下产生的浪涌电压,设计了阻容二极管型缓冲吸收电路<sup>[6]</sup>,其中二极管 VD 应采用快速恢复二极管,电路中的电阻  $R$  和缓冲电容  $C$  的值应取决于电路中的分布电感、工作电流和 IGBT 的开关周期等。选取的标准是在每次 IGBT 关断时,缓冲电容可以吸收大部分的浪涌电压;在 IGBT 每次开通时,可以泄放掉缓冲电容上 90% 的积累电荷<sup>[7-8]</sup>,故选取  $R = 4\Omega$ ,  $C = 1.5\mu\text{F}$ 。IGBT 驱动电路是 IGBT 斩波电路的核心<sup>[9]</sup>。实验中,在 HCPL316J 驱动模块的基础上,设计了具体的驱动电路如图 2 所示。图中的  $D_2$  和  $D_3$  分别为 11V 稳压管和 17V 稳压管,将其接在 IGBT 模块的 GE 两端是为了防止电路中的尖峰干扰对 IGBT 造成损害。而在 11 脚输出端再接一对功率达林顿管  $Q_1$  和  $Q_2$ ,是为了提高驱动电路的驱动能力<sup>[10]</sup>。

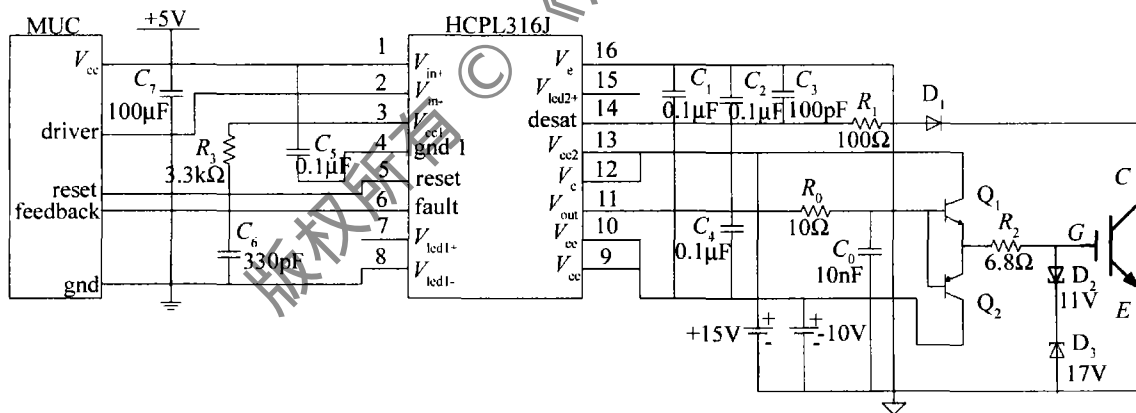


Fig. 2 The driving circuit of IGBT

根据上述原则,最终设计的“母子”式电容充电电源的实验电路图如图 3 所示(并标出了测量点),实验中主要测量的参量为“子电容”两端的电压  $U$  和通过 IGBT 的主回路脉冲电流  $i$ 。

实验中为有效抑制主回路脉冲电流过高,且降低电流波动所带来的纹波,在每阶滤波支路中串联了一个  $4\Omega$  的小电阻,选取“母电容”  $C_m = 20000\mu\text{F}$ ,“子电

容”  $C_z = 300\mu\text{F}$ 。  $D_1$  和  $D_2$  是起隔离作用的二极管,  $D_3$  是续流二极管。在“母电容”两端电压为 100V, IGBT 开关周期为  $40\mu\text{s}$ 、占空比 50% 的情况下,测量“子电容”两端电压  $U$  和回路中脉冲电流  $i$  的情况如图 4 所示。

由图 4 可以看出,“子电容”两端的电压在 1ms 时间内充到了 79V,而电路中的脉冲电流的最高峰值为

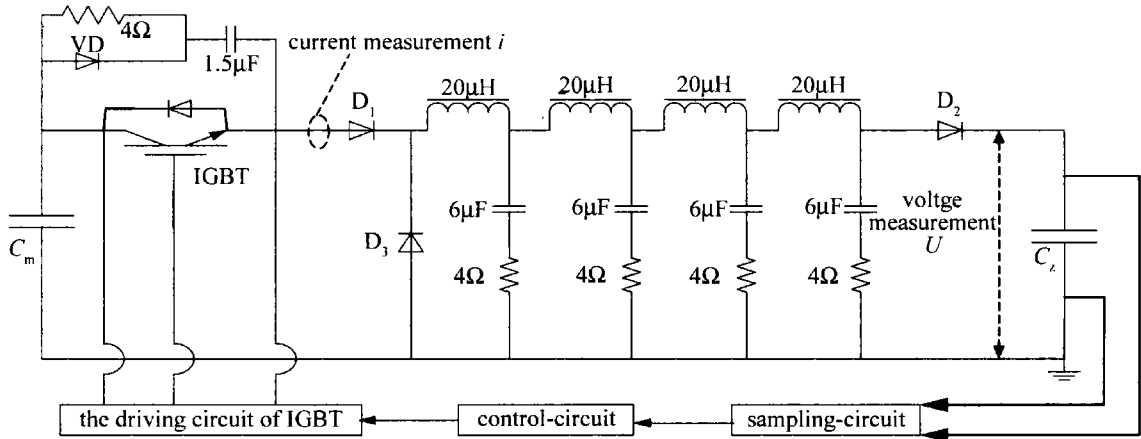


Fig. 3 The "main-subordinate" capacitive charging power circuit

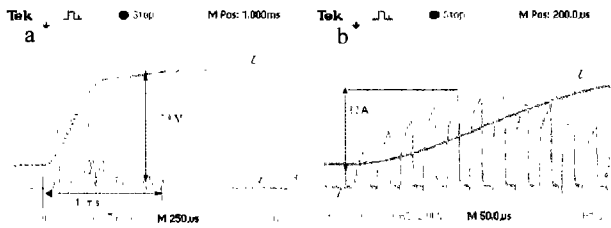


Fig. 4 Waveform of  $U$  and  $i$ , when the operating voltage is 100V

a—the waveform of the overall charging b—the waveform of the pulsed current

80A。由图 4a 所示，“子电容”两端电压  $U$  上升的波形没有出现振荡的现象，且在开始充电的前  $500\mu\text{s}$  内电压上升的较为迅速，达到 70V，说明该充电回路有着较高的充电速度。由图 4b 所示，电流脉冲的底部近似于矩形脉冲，使得电流的利用率较高，并且脉冲电流的峰值也处于元件可承受的范围，有利于电路稳定工作。

在保持 IGBT 开关频率和占空比不变的前提下，将“母电容”电压升高到 150V，测量结果如图 5 所示。由图中可以看出，回路中的脉冲电流有所上升，而“子电容”电压在 1ms 内可以充到 120V，充电电功率也有所提高。

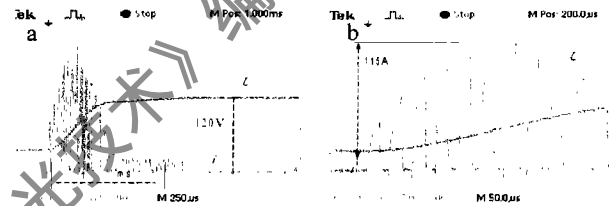


Fig. 5 Waveform of  $U$  and  $i$ , when the operating voltage is 150V

综合以上结果可以计算出“母电容” $C_m$  向“子电容” $C_z$  的充电功率，其结果如表 1 所示，其中“子电容”为  $300\mu\text{F}$ ， $T$  为充电时间。

Table 1 The charging of the "main-subordinate" capacitance

voltage of $C_m$	$T = 1\text{ms}$ , voltage of $C_z$	$T = 0.5\text{ms}$ , voltage of $C_z$	maximum of current	charging power
100V	79V	70V	80A	0.93kW
150V	120V	100V	115A	2.16kW

设“母子”式电容充电电源的效率为  $\eta$ ，则电源效率  $\eta$  应该等于“子电容”上电功率与单相电网供电功率的比值，提高“子电容”电压将使  $\eta$  进一步提高。经测量上述实验是在单相电网电压 220V、电流 15A 的条件下进行的，以“子电容”电压为 150V 为例，此时电源效率  $\eta = 2.16\text{kW} / (220\text{V} \times 15\text{A}) = 65\%$ 。

为验证“母子”式电容电源系统的实际效果，测量了脉冲氙灯的放电电流  $i$  和光脉冲的相对强度  $P$ ，如图 6a 所示。从图中可以看到，由于采用“母子”式电容作为氙灯的充电电源，氙灯的放电电流变得基本平稳，光脉冲强度虽略有下降，但更多的是由于氙灯自身条件（如放电气体温度）所造成的，且每个光脉冲的强度相差不大。图 6b 为作者以前所测量的采用传统的单一储能电容供电方式时，光脉冲相对强度  $P$  的波形。

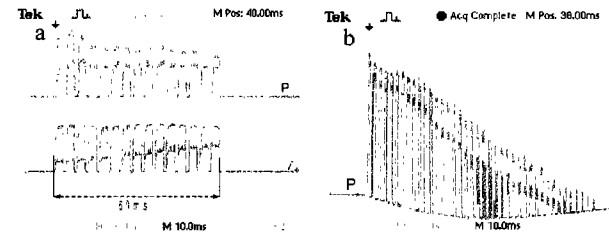


Fig. 6 a—the current of Xe-flash-lamp and the intensity of pulsed light with the "main-subordinate" capacitive charging power b—the intensity of pulsed light with the single capacitance of energy store

由图 6b 可知，虽然光脉冲的峰值较高，但是由于电流的迅速衰减导致光脉冲平均值并不高，第 1 个光脉冲强度与最后一个光脉冲强度的差异很大。这种强度不均匀的光脉冲给医学应用带来了很大的不便。

(下转第 366 页)

一些不同于1维非受限掺杂光子晶体缺陷模的新特征。对于TE波有:缺陷模的频率中心随模式量子数的增加而增大,但随平板厚度的增加而减小;缺陷模的半峰全宽随模式量子数的增加而减小,但随平板厚度的增加而增大。对于TM波有:缺陷模的频率中心随模式量子数的增加而增大,但随平板厚度的增加而减小;缺陷模的半峰全宽随模式量子数的增加而增大,但随平板厚度的增加而减小。

### 参 考 文 献

- [1] CHEN W Z, SHEN Y, HU M L, *et al.* Structure of basic period of one-dimensional photonic crystal and the characters of forbidden bands [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2001, 30(12): 1453-1456 (in Chinese).
- [2] DUAN X F, NIU Y X, ZHANG C, *et al.* Light propagation characteristics of 1-D photonic crystal [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(9): 1086-1089 (in Chinese).
- [3] FANG Y T, SHEN T G, TAN X L. Study on one dimensional photonic crystal with impurity defect [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, 24(11): 1557-1560 (in Chinese).
- [4] ZHOU J G, DU G Q, ZHANG Y W, *et al.* Electromagnetic modes of thickness modulated dual periodic one dimensional photonic crystals [J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54(8): 3703-3707 (in Chinese).

- [5] DU G Q, LIU N H. Optical transmission spectra of one dimensional photonic crystals with a mirror symmetry [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, 53(4): 1095-1097 (in Chinese).
- [6] ZHANG D G, NI N, AN H N. Electromagnetic field analysis and numerical calculation of one-dimensional magneto-photonic crystal [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(8): 1007-1010 (in Chinese).
- [7] WANG R, ZHANG C X, NIE Y G. Band structure and propagation properties of one-dimension anisotropy photonic crystals [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 35(1): 89-92 (in Chinese).
- [8] LI R, REN K, REN X B. Angular and wavelength selectivity of band gaps of holographic photonic crystals for different polarizations [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, 53(8): 2520-2523 (in Chinese).
- [9] LIU Q N. A new method for bandgap study of one-dimensional photonic crystal [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2008, 29(4): 531-534 (in Chinese).
- [10] LIU Q N. Effect of impurity absorption on one-dimensional photonic crystal defect mode [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2007, 34(6): 777-780 (in Chinese).
- [11] LIU Q N. Effect of absorption of dopant on design of photonic crystal filters [J]. *Laser Technology*, 2008, 32(3): 237-240 (in Chinese).
- [12] LIU Q N. The design of double channel polarization tunable filter of photonic crystal [J]. *Laser Technology*, 2008, 32(1): 84-87 (in Chinese).
- [13] SONG Y L, WANG X ZH. Properties of a one-dimensional confined antiferromagnetic photonic crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(12): 2404-2407 (in Chinese).

(上接第362页)

## 2 结 论

根据图4~图6以及表1可知,所设计的“母子”式电容充电电源在150V条件下可以实现2.16kW的充电电功率,随着“母电容”两端电压的升高,充电电功率也将进一步提高,并且电路工作稳定可靠,电路中脉冲电流的峰值始终处于元件可承受的范围,纹波较小。实验同时证明了采用“母子”式电容充电电源,可以使得脉冲氙灯的放电电流更加平稳,输出光脉冲强度的衰减较传统单一储能电源供电的方式小很多,能够满足强脉冲光治疗机需求,并可以作为长脉冲治疗机中脉冲氙灯的电源系统。

### 参 考 文 献

- [1] ZANE C, CAPEZZERA R, SALA R, *et al.* Clinical and echo graphic analysis of photodynamic therapy using methylamino levulinate as sensitizer in the treatment of photo damaged facial skin [J]. *Lasers in Surgery and Medicine*, 2007, 39(3): 203-209.
- [2] XU S L. My opinion and advice for the development of laser biology and medicine [J]. *Applied Laser*, 2001, 21(1): 49-50 (in Chinese).

- [3] XIA X Sh. Development of diagnosis in laser medicine [J]. *Modern Medicine Sanitation*, 2002, 8(9): 761-762.
- [4] SHEN R E, XUE P D. The design and production of LC filter circuit [M]. Beijing: Science Press, 2006: 11-28 (in Chinese).
- [5] QIU Y, WANG Z L, TIAN J, *et al.* Research on new LC filter in harmonic suppression of equipment [J]. *Power Electronics*, 2006, 40(1): 50-52 (in Chinese).
- [6] HU Q L, ZUO D L, CHENG Z H. Resonant period tracking for high frequency switch mode capacitor charging power supply of TEA CO<sub>2</sub> laser [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(5): 522-525 (in Chinese).
- [7] NIU Z Q, PENG W D, NIU H B. A fixed output power laser supply with improved power factor [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(2): 147-150 (in Chinese).
- [8] HAGINO H, YAMASHITA J, UENISHI A. An experiment an numerical study on the forward biased SOA of IGBT [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1996, 43(1): 490-500.
- [9] LI M, ZHAI L H, WAN K Y, *et al.* Design of IGBT driver and protection circuit for laser power supply [J]. *Electronic Component & Device Applications*, 2003, 5(5): 31-33 (in Chinese).
- [10] SHANG L, TAN H, CONG X Y, *et al.* Application of IGBT in high power solid state modular [J]. *Power Electronics*, 2007, 41(4): 56-57 (in Chinese).