

脉宽连续可调并带前峰的大功率 激光方波电源

毛伟民 柳月英 崔俊文 李安民

姜阅清

(中国科学院上海光机所, 201800)

(国嘉光电公司, 201800)

提要 本文给出了一种用快速大功率可控硅构成的带前峰的激光方波电源,方波宽度从 0.5 ms 到连续,方波幅度从几十 A 到几百 A 分别连续可调。用可控硅做斩波器,比用功率晶体管做的斩波器具有电流大、耐压高、过载能力强等特点,文中对开关过程进行了分析,并提出了设计公式。

关键词 激光电源,方波

High power square wave power supply for continuously variable laser pulsewidth with prespikes

Mao Weimin, Liu Yueying, Cui Junwen, Li Anmin

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Jiang Yueqing

(Citic-Jiading Optoelectronics Co. Ltd., Shanghai 201800)

Abstract A high power square wave power supply consisting of fast and high power SCR for pulsed lasers is developed. The pulse width and amplitude can be continuously varied from 0.5 ms to CW and from more than 10 A to 300 A, respectively. Its current anti-voltage, reliability are better than those of the power supplies consisting of GTR. The operation principle and experimental results are described and the design formula is derived.

Key words laser power supply

在大功率激光加工机及某些激光科学实验中常常需要一台脉冲形状为方波,脉冲宽度从 0.5 ms—CW,脉冲幅度几十 A 到几百 A 分别连续可调的激光电源。有时为了加工的需要,要求在每个方波的头部的有一个附加的峰值。象这样的电源用 LC 成形网路是不行的。80 年代开始

由于功率晶体管的制造成功,因此用功率晶体管 GTR 做斩波器实现泵灯内脉冲电流宽度和幅度的调节。尽管如此 GTR 也还存在一些不足,即开关容量不够大、过载能力差、驱动电路比较复杂、技术不够成熟及价格贵。所以在大功率激光加工机中及某些要求宽脉冲、大电流、高电压的激光电源中,用可控硅 SCR 组成斩波器是十分有用的。

我们研制的由 SCR 做斩波器的激光电源,其主回路部分由整流电路、斩波电路、预燃电路、前峰电路等四部分组成。本文着重介绍主回路。

1 整流电路

整流电路由三相交流变压器 T_1 及三相半控桥式整流器和滤波电容 C_1 组成(图 1 所示)。变压器的次级做成多抽头式,以便粗调交流输出电压,调节三个可控硅 SCR_{1-3} 的导通角可以细调整流器的直流输出电压。

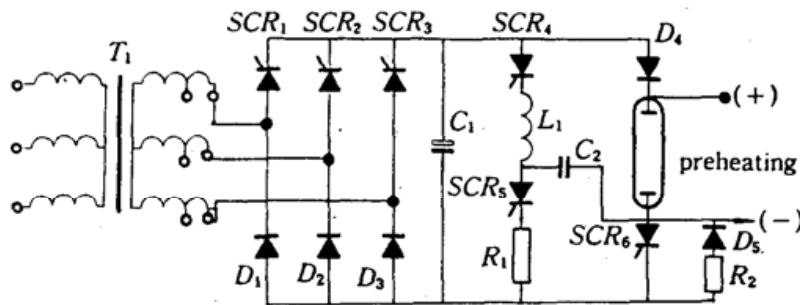


Fig. 1 Semi-controlled bridge three-phase rectifier and SCR chopper circuit

2 斩波电路

泵灯中脉冲电流的通断由斩波电路实行,这里只取一路灯的斩波电路来说明(图 1)。斩波电路 $SCR_4, SCR_5, SCR_6, D_4, D_5, R_1, R_2, C_2, L_1$ 组成。在每个放电脉冲开始时由控制器先给 SCR_4, SCR_6 的门极以触发信号,使二者导通,泵灯中即有电流流过,电流强度为

$$I = E_1 / R_l \tag{1}$$

式中 E_1 为整流器输出电压, R_l 为灯内阻。因此只要调节整流器的输出电压就能方便地调节灯中脉冲电流大小。此外,由于 SCR_4 的导通,使 C_2 充电到 E_{20} ,

$$E_{20} = K_1 E_1 \tag{2}$$

式中, K_1 为谐振效率。在每个灯电流脉冲关断时,由控制器给 SCR_5 的门极以触发信号, SCR_5 导通,灯电流通过 C_2, SCR_5, R_1 旁路,回到整流器负端,同时 C_2 上的电荷对 SCR_6 形成反向偏置,只要反向偏置维持时间大于 SCR_6 的 t_{off} ,则 SCR_6 被关断,灯内电流也很快截止。所以调节控制器输出的二组触发信号的时间间隔,就能方便地调节灯中放电脉冲的宽度。

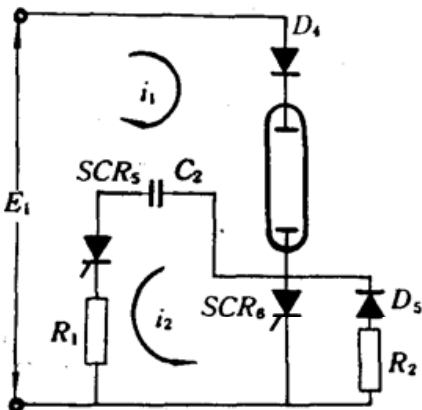


Fig. 2 Circuit of lamp current cut off

为保证斩波器可靠地关断, C_2 的大小是关键^[1-4], C_2 的选择与电路参数有关。图 2 为关断时电路结构图。据文献[1]二极管及可控硅通态

压降为 2.1 ~ 1.5 V,故把它们看作理想开关元件是允许的。另外 E_1 为三相全波整流器并联几万 μF 滤波电容,把它看作恒压源是可以的。因此,根据基尔霍夫定律列出二个回路方程 :

$$I_1(R_l + R_1) + I_2R_2 = E_1 + E_2 \tag{3}$$

$$I_1R_1 + I_2(R_1 + R_2) = E_2 \tag{4}$$

$$I_1 = (E_1R_1 + E_1R_2 + E_2R_2)/(R_lR_1 + R_lR_2 + R_1R_2) \tag{5}$$

$$I_2 = (E_2R_l - E_1R_1)/(R_lR_1 + R_lR_2 + R_1R_2) \tag{6}$$

式中 E_2 为 C_2 上电压, $I_2 > 0, E_2 > E_1R_1/R_l$ 是 SCR_6 反偏的条件,我们把 C_2 上电压从 E_{20} 放电到 $E_2 = E_1R_1/R_l$ 的时间 T 称为有效放电时间。 T 和 C_2 及电路参数有如下关系 :

$$I_c = I_1 + I_2 \tag{7}$$

$$E_2 = Q_2/C_2 \tag{8}$$

$$I_c = -dQ_c/dt \tag{9}$$

把(8),(9),(5),(6)式代入(7)式解

$$C_2 = \frac{(R_2 + R_l)T/(R_lR_1 + R_lR_2 + R_1R_2)}{\ln\{[R_2 + (R_2 + R_l)K_l]/[R_2 + (R_2 + R_l)(R_1/R_l)]\}} \tag{10}$$

式(10)中 T 用 t_{off} 代入即可求得斩波器电容 C_2 的临界值。

3 预燃电路

预燃电流除了要求稳定外,还要考虑预燃源灯端压降,此压降越低,则点灯时电流脉冲前沿越陡,激光效率亦高,欲达此目的必须加大预燃电流,增加预燃功耗,为兼顾二者关系,把预燃电流分成高压和低压两部分。图 3 为预燃电路结构图。 $D_6, D_7, D_8, D_9, C_3, D_{14}, R_3$ 为高压预燃部分, $D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}, C_4, D_{15}, R_4$ 为低压预燃部分, D_{16}, R_5, C_5, T_3 为触发预燃部分。

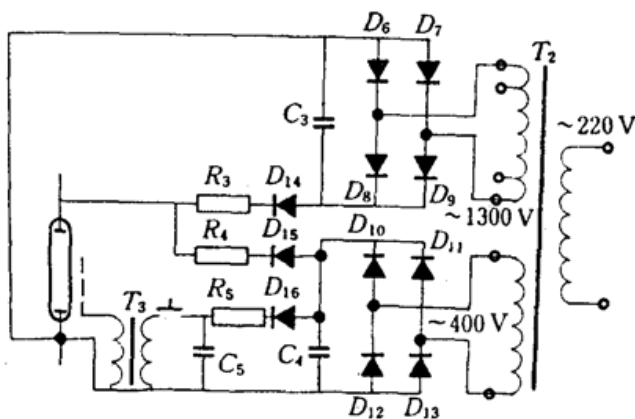


Fig. 3 Configuration of the structure for preheating circuit

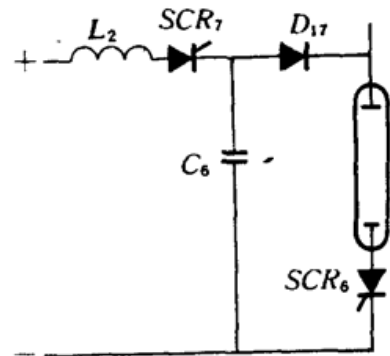


Fig. 4 Configuration of pulse circuit with spike

4 脉冲前峰电路

前峰电路由 $L_2, \text{SCR}_7, D_{17}, C_6$ 组成,输入端接在整流器输出端,在激光脉冲截止期间,控制器给 SCR_7 门极触发,使 C_6 预先充电,待斩波器开通时 C_6 通过灯放电,使电流脉冲前沿有个尖峰。

5 电路中各主要元件参数及实验结果

(1) 线路中各主要元件参数如表 1 所示。

Table 1 Parameter of circuit elements

Symbol	Parameter	Symbol	Parameter
R_t	1.5 Ω	D_{14}	2 DL 100 mA 5kV
R_1	0.5 Ω /100 W	D_{15}	2 DL 2 A 5 kV
R_2	0.5 Ω /50 W	D_{16}	2 DL 100 mA 5 kV
R_3	10 k Ω /300 W	C_1	50000 μ F 450 V
R_4	400 Ω /600 W	C_2	100 μ F 1 kV
R_5	510 K/2 W	C_3	4 μ F 2 kV
$SCR_1 \sim SCR_5$	KP200A 1 kV	C_4	1000 μ F 900V
SCR_6	KK500A 1kV	C_5	0.47 μ F 1kV
SCR_7	KP100A 1kV	C_6	50 μ F 1kV
$D_1 \sim D_3$	ZP200 A 1 kV	L_1	1 mH
D_4	ZP500 A 2kV	L_2	1 mH
D_5	ZP20 A 1kV	T_1	20 kW
$D_6 \sim D_9$	2DL 100 mA 5 kV	T_2	1 kW
$D_{10} \sim D_{13}$	ZP5A 1kV	T_3	Transformer

(2) 整流器输出电压与灯中方波电流的幅度之间关系, 表 2 中所列数据是对 $\phi 10 \times 100$ mm 的两种氩灯测试结果。

Table 2 Lamp voltage vs current

Voltage (V)	CW Ar lamp current (A)	Pulsed Ar lamp current (A)	Voltage (V)	CW Ar lamp current (A)	Pulsed Ar lamp current (A)
170	40	50	285	125	166
190	50	64	300	144	190
200	63	75	320	162	215
220	78	100	340	181	244
260	100	135	360	198	260
270	112	148	390	220	290

(3) 方波宽度与方波电流幅度的关系

图 5 示出了三种不同的方波电流幅度随方波宽度变化的示波器测试图。用 0.0018 Ω 的无感电阻串接于灯电流线路内作取样器, 用同步示波器观察波形图。由图 5 可见方波电流幅度在方波脉冲内随时间略有降低, 且脉冲宽度越宽, 方波电流的幅值越大, 此种降低越大, 这是由

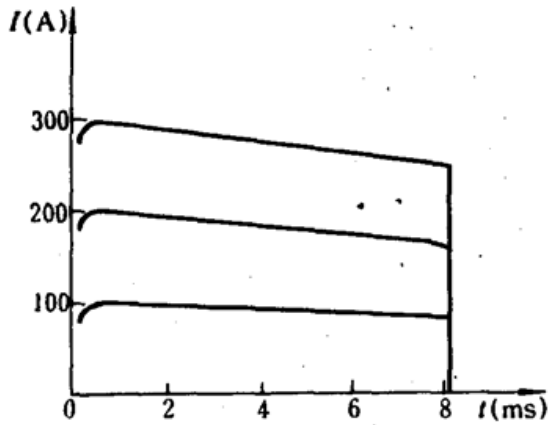


Fig. 5 Lamp current vs time

于整流器滤波电容容量不够及变压器输出特性引起的,不过这对激光加工来说是允许的,有时甚至是需要的。但对某些对脉冲幅度要求比较严的激光器如声光调 Q 激光器,只要使用小一些的脉冲电流幅度和小一些的脉宽,则同样能达到好的结果。

上述试验是在 $\phi 10 \times 100$ mm 的氦灯上进行的,因受灯的承受能力限制,最大电流为 300 A,但对纯电阻作负载的情况,在脉冲方波电流幅度超过 500 A 时同样能很好地工作。

参 考 文 献

- 1 日本电气学会电工技术手册, 2(19), 8.3, 12.4, 机械工业出版社, 1984.8
- 2 G. K. Dubey, Classification of Thyristor commutation Methods IEEE Trans on IA-13, 1977, No. 5
- 3 Andrew I. Humphrey, Inverter Commutation Circuits IEEE Trans on IGA-4, 1968, No. 1
- 4 Avie Verhoef, Basic forced commutation Inverters and Their Characteristics IEEE Trans on IA-9, 1973, No. 5