

高可靠性高精度的重复频率激光器电源

孙乃庚 王治安 徐振华 远存德 张宝新 韩爱妹 陈德华

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文提出一种新的重复频率电源的电路,其特点是可靠性高,即使产生连续导通,脉冲灯、可控硅、整流二极管等元件也不会损坏;输出电压的重复精度高,一般可达 10^{-3} ;线路简单,调整、操作、维修均很方便;频率稳定。

Highly reliable and accurate power supply for repetitive pulsed lasers

Sun Naigeng, Wang Zhian, Xu Zhenhua, Yuan Cunde, Zhang Baoxin, Han Aimei, Cheng Dehua

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

Abstract: A new circuit for repetitive pulsed supply is presented in this paper. It has the advantages of high reliability, high repetition accuracy of output voltage (typically up to 10^{-3}), stable frequency, simple circuit structure and easy adjustment and maintenance. In addition, when the flashlamp is continuously conducted, the flashlamps, silicon controlled rectifiers, rectifying diodes and other circuit elements would not be damaged.

为适应重复频率激光器的需要,电源的各种性能指标在不断改善。目前使用较广的是谐振充电;或者是以谐振充电为基础去掉了滤波电容器;或者再加上辅助整流,以减小电源的体积重量,但是这些电路的可靠性都比较差。要使电源运行的可靠性提高,需要设计出一种电路,在负载侧产生短路故障时,电网输入的功率反而降低。在这里采用L-C恒流充电的方式是合宜的。

流变压器初级串一只电容器就行了,不需要外加电抗器。图1是该电路的原理图和等效电路图。恒流原理可用等效电路来解释。 L_{s1} 和 L_{s2} 分别为初、次级的漏感, L_M 为激磁电

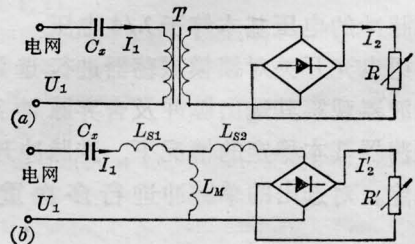


图 1

(a) 实际电路; (b) 等效电路

一、恒流充电原理及其优越性

恒流充电的电路有多种不同的形式,我们设计了一种最简单的恒流电路,只要在整

收稿日期: 1982年5月10日。

感, 这里我们忽略了绕组的铜耗和铁芯的铁耗。不难导出, 当 $\omega^2 C_x(L_M + L_{s1}) = 1$ 的关系式得到满足时, 输出电流为

$$I_2 = U_1 / \left(\frac{1}{\omega C_x} - \omega L_{s1} \right) \quad (1)$$

考虑变压器的变压比后, 实际的输出电流为

$$I_2 = U_1 / \left(\frac{1}{\omega C_x} - \omega L_{s1} \right) n \quad (2)$$

式中, $n = W_2 / W_1$, W_1 和 W_2 为初次级绕组的匝数。由此可见, 输出电流与负载阻抗无关, 也就是说图 1 中的电路构成了恒流源。只要调谐调得足够好, 变压器和电容器的损耗不很大, 输出电流的恒定度是十分令人满意的。

采用恒流方式还有一个好处, 就是允许使用并联式可控硅开关, 如图 2 所示。当储能电容器 $C_{储}$ 上的电压达到预置电压时, 自停控制单元便输出一个脉冲, 触发停止充电的开关 SCR_1 使之导通, 从而停止充电。由于 SCR_1 由关闭过渡到导通的时间只有几十微秒, 因此过充是可以忽略不计的, 有助于提高电容储能器上电压的重复精度。

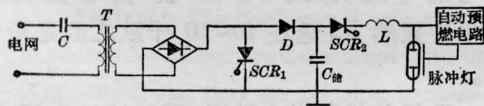


图 2 使用并联式可控硅开关的充电电路

二、控制电路

最基本的控制程序是充电-停止充电-对脉冲灯放电, 如此周而复始。停止充电是自动停充控制单元触发可控硅 SCR_1 来实现的; 对脉冲灯放电是由多路延时触发器触发可控硅 SCR_2 来实现的; 放电完毕后, SCR_1 和 SCR_2 均自动关闭, 从而开始下一次充电(见图 2)。自停控制单元和延时触发控制单元之间没有联锁关系, 它们仅仅是靠时间差来协调工作的, 就是说设计主电路时, 让充电时间比最小的重复周期稍小一些, 充好电后等

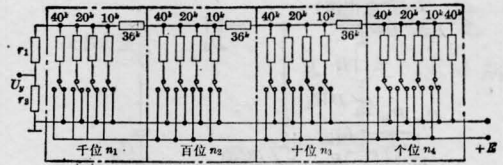


图 3 数模变换原理图

待放电。

电压预置和延时预置都是通过数模变换器来实现的, 避免了操作重复误差。数模变换器的原理示于图 3。其输出电压为:

$$U_y = \frac{r_2}{r_1 + r_2 + 4} E \left(\frac{n_1}{10} + \frac{n_2}{10^2} + \frac{n_3}{10^3} + \frac{n_4}{10^4} \right) \quad (3)$$

式中 n_1 到 n_4 分别为变换器千位到个位的示数; E 为变换器的输入电压(伏); r_1 和 r_2 为变换器输出端分压器的电阻(千欧)。为了使(3)式成立, 变换器中的电阻必须用精密电阻。

自动停充控制电路也是很简单的, 如图 4 所示。用高增益低漂移运算放大器构成电压比较器, 它的一个输入端接到预置变换器的输出 (U_y); 另一个输入端接到取样分压器的输出 (U_x)。当 U_x 与 U_y 相等时, 控制电路就输出一个正脉冲电压, 使 SCR_1 得到触发而导通, 从而停止充电。储能电容器上的充电电压 U_c 与预置变换输出电压的关系是:

$$U_c = K U_y \quad (4)$$

式中 K 为取样分压器的分压比; 这里需要指出的是, 取样分压器的结构和参数对充电电压的重复精度有重要影响。

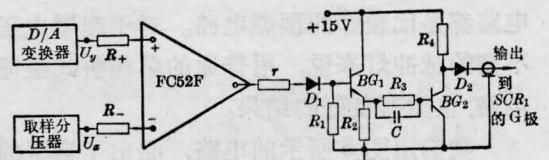
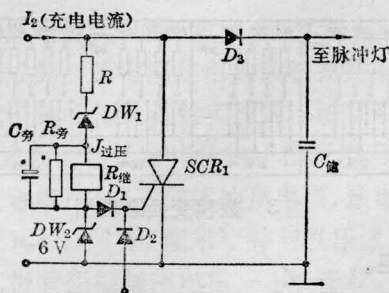


图 4 自动停充控制电路

为防止自停控制电路失灵造成过电压, 我们设置了简单的二级过电压保护电路, 如图 5 所示。保护电路的动作电压可用下式表示:



来自自停控制单元
图5 过电压保护电路

$$U_{限} = \Sigma RI_g + U_w \quad (5)$$

式中 $\Sigma R = R + R_w + R_{继} // R_{旁}$, R_w 为稳压管 DW_1 的动态电阻, $R_{继}$ 为继电器线圈的电阻; U_w 为稳压管 DW_1 的稳定电压; I_g 为可控硅 SCR_1 的可触发电流。由于 I_g 有分散性, 所以 $U_{限}$ 也有分散性; $\Delta U_{限} = \Delta I_g \Sigma R$ 。要使 $U_{限}$ 分散性小, 显然 ΣR 不能太大, 一般不宜超过 3 千欧。 ΣR 和 $U_{限}$ 确定之后, 就可以由 (5) 式求出稳压管的稳定电压来了。

三、预燃电路

在保证稳定预燃的条件下, 降低预燃功耗、缩小体积重量也是不少电源研制者的目标之一。预燃电源输出端的伏-安特性, 希望接近于恒流源的伏-安特性, 这样在脉冲灯未点着之前, 输出电压较高, 以保证灯能可靠起燃; 灯起燃之后, 电压就降下来, 仅仅能维持稳定的预燃电流, 保证灯不灭掉。伏-安特性较软的单相倍压整流电路、单相或三相恒流电路都是比较好的预燃电路。对于起燃电压不高的脉冲灯来说, 用普通的单相桥式整流电路, 也能有良好的结果。

我们用图 6 所示的电路, 测出了典型的

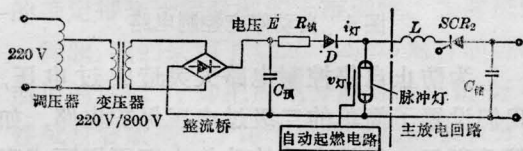


图6 单相桥式预燃电路

脉冲氙灯 ($\phi 8 \times 80$) 在小电流段的伏-安特性。有了这一特性就可以计算预燃电路了。由图 6 可知灯的电压 $u_{灯}$ 和电流 $i_{灯}$ 必须同时满足下述两个方程:

$$\begin{cases} u_{灯} = f(i_{灯}) & (6) \\ u_{灯} = E - R_{镇} i_{灯} & (7) \end{cases}$$

用图解法来求解是十分方便的。方程 (6) 即是灯的伏-安特性曲线, 方程 (7) 是电源的输出特性, 是一条直线。二者相交表示能正常预燃; 二者相切表示预燃走向熄灭的临界点; 二者不相交, 则不能预燃, E 过小或 $R_{镇}$ 过大都要造成这种情况。主电路完全不工作时, 预燃电流只要比临界值大一些, 例如 20~30 毫安, 就能稳定地预燃了。但需要强调的是, 主电路工作后情况就大不一样了。我们测出了两种情况下预燃电流临界值与镇定电阻的关系: 一种是只触发 SCR_2 时的电流 $I_{临}'$; 另一种是正常点灯时的电流 $I_{临}$ 。测量是这样进行的: 先取定一个 $R_{镇}$, 然后降低预燃电源的电压 E , 直到灯熄灭, 记下熄灭时的灯电流, 即为预燃电流临界值。实际运行时的预燃电流 $i_{预}$ 应该大于 $I_{临}$ 和 $I_{临}'$ 。为了使功耗最小, 显然 $R_{镇}$ 选在 9~10 千欧之间是最佳的。

采用单相预燃电路时, 需要滤波电容, 其容量 $C_{滤}$ 应满足下面的表达式:

$$R_{等效} C_{滤} \geq (2 \sim 3) T \quad (8)$$

式中 $R_{等效}$ 为镇定电阻 $R_{镇}$ 与灯的等效电阻之和; T 为电网电压的周期。

根据前面所说的一些原则, 我们设计了一个实际电路, 其指标是输出电压 600~1500 伏连续可调, 重复精度不劣于 10^{-3} ; 输出路数和工作频率可以根据激光器的需要来确定。按照该电路装成的电源, 使用方便可靠, 很受使用者的欢迎。

研究脉冲灯的同志向我们提供了一些灯的数据, 施瑞根、陈秋凤同志也参加过本工作, 在此表示感谢。