

双路高稳定固体激光器电源

姜阅清 张沛贞

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文描述双路高重复固体激光器电源单元技术。使用运算放大器以改善放电稳定性,采用 SCR 保护装置和恒流预引燃,确保激光器可靠工作。本装置工作于双路 40 次/秒。

A two-channel highly stable power supply for solid state lasers

Jiang Yueqing, Zhang Peizheng

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

Abstract: This paper describes the unit technique of two-channel power supply with a repetition rate of 40 pps for solid state lasers. Operational amplifiers are used to improve the stability of discharging voltage. Constant-current prefired technique and SCR protector are adopted to assure laser power reliability.

概 述

目前高重复率固体激光器电源一般所采用的谐振充电、定压预引燃、继电器保护等系统,尚存在以下几个问题:闪光灯工作电压波动大;灯预燃后容易熄灭;继电器保护动作迟缓。我们设计试制的重复率为 40 次/秒的激光电源,有效地克服了上述缺点。该电源闪光灯工作电压从 700~1300 伏连续可调,误差小于 0.2%;触发、预燃可靠;设有闪光灯连通保护。文中介绍的单元技术也适用于其他类似装置。

精确控制闪光灯工作电压

固体激光器电源每次向闪光灯馈送的电

能,直接影响激光能量的输出。所以必须对馈送的电能加以精确的控制。目前,最常用的方法是控制对储能电容器的充电电压。因充电电压的波动引起点灯泵浦能量的相对偏差为:

$$\frac{\Delta W_c}{W_c} = 2 \frac{\Delta V_c}{V_c} \quad (1)$$

式中 ΔW_c 为点灯泵浦能量的误差; W_c 为点灯预定的泵浦能量; ΔV_c 为储能电容器充电电压误差; V_c 为储能电容器预定充电电压。

谐振充电电压相对偏差可近似用下式表示:

$$\frac{\Delta V_c}{V_c} \approx \frac{\Delta E_0}{E_0} + \frac{\Delta u_{\sim}}{u_{\sim}} + \frac{\Delta T_z}{T_z} + \frac{\Delta T_f}{RC} \quad (2)$$

式中 E_0 为直流电源电压; ΔE_0 为直流电源脉动; u_{\sim} 为供电网络电压; Δu_{\sim} 为供电网络

收稿日期: 1981 年 4 月 1 日。

电压脉动; T_z 为充电时间 ($T_z = \pi\sqrt{LC}$, C 为储能电容; L 为谐振电感); ΔT_z 为充电时间误差; R 为储能电容旁路电阻; ΔT_f 为泄放时间误差。为减小谐振充电时间的误差, 可合理设计谐振电感, 选取优质高重复率贮能电容。对于闪光灯的点燃抖动, 宜用预引燃, 贮能电容必要的旁路电阻选取阻值尽量大、性能稳定的金属膜电阻。除此之外, 影响点灯泵浦能量波动较大的是供电网络的起伏和直流电源的脉动。如网络起伏 10%, 引起点灯泵浦能量相对偏差为 20%。若采用简便的三相桥式整流电源, 不加任何平滑装置, 直流脉动达 5%, 则造成泵浦能量 10% 的波动。显然选用高稳定的电源, 可以大大减小充电电压的误差。但是, 制作千瓦以上的大容量的稳压电源很困难。

我们用一简便有效的方法, 使贮能电容器的充电电压高于某预置的取样电压 V_0 , 然后让电容电压通过与贮能电容并联的泄放电阻, 泄放到预定值 V_0 , 并在此瞬间点燃闪光灯。使每次点灯的泵浦电压受到精确的控制, 从而确保泵浦能量的恒定。其原理电路如图 1 所示。

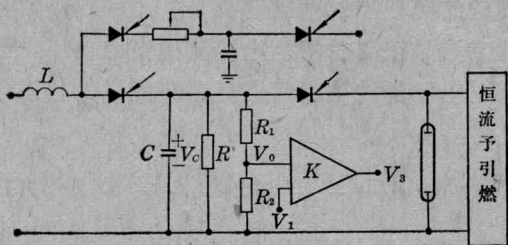


图 1 高精度调压线路

控制部分是用高输入阻抗、高增益的运算放大器 5G24 接成电压比较器。其工作原理如下: 当贮能电容每个工作周期内所充的电压使 V_0 高于其准电压 V_1 时, 比较器输出一正电压, 谐振充电过程结束, 贮能电容经泄放电阻 R 放电。当取样电压 V_0 低于基准电压时, 比较器输出一负电压, 取其后沿经放大使放电可控硅导通, 点燃闪光灯。改变基

准电压大小, 可以控制灯工作电压高低。整个充放电过程的时间分配关系如下式:

$$f = \frac{1}{T_0} < \frac{1}{T_z + T_f + T_D} \quad (3)$$

式中 T_f 为充电峰值 V_m 泄放至预定值 V_0 的放电时间; T_D 为闪光灯消电离时间 (视放电开关泵浦能量而定)。谐振充电电压峰值 V_m 受充电回路损耗、滤波电容容量大小的影响, 一般可达直流电压 E_0 的 1.8 倍。当贮能电容两端并联泄放电阻 R 后, V_m 值要降低, R 愈小 V_m 愈低, 关于泄放电阻 R 数值的选取视要求而定。要重复率高, R 偏小为好, 但为了减小闪光灯点燃的抖动所产生的工作电压误差, 希望 R 偏大为好, 一般在电路设计时, 综合各种因素折中考虑。

由图 1 可得出比较器输出电压 V_3 :

$$V_3 = K \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_0 - V_1 \right) \quad (4)$$

则点灯工作电压 V_c :

$$V_c = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \left(\frac{V_3}{K} + V_1 \right) \quad (5)$$

式中 K 为比较器放大倍数, $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 为分压比, V_1 为比较器基准电压。从 (5) 式可见, 点灯工作电压误差主要取决于分压装置、电压比较器。故采取如下措施:

1. 选取 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 分压比较大, 使取样电压 V_0 较高, 但不能超过运算放大器的共模输入电压, 以免损坏。同时要求分压装置稳定。

2. 基准源选用 2DW7 硅稳压线路, 其温度系数为 $+5 \sim 50 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$, 漂移极小, 使电压比较器有一稳定可靠的基准电压。

3. 选取共模抑制比和输入阻抗比较高、失调电压和电流较小的 5G24 做电压比较器。同时采用抗干扰能力强的共模输入, 在输入端加 0.01 微法电容为避免引线过长引起的干扰, 并加 RC 校正网络和零点校正元件。

为准确测定点灯工作电压的大小和误

差,观察放电电压波形:在充电电压变化 300 伏情况下,放电波形仍能每次完全重合,表明闪光灯工作电压稳定;用桥式充电与一标准直流电压源比较,得出工作电压偏差小于 0.2%。采用放电受控的方法,消除了供电网络的涨落、直流电源输出的脉动等影响,使工作电压恒定。可省掉笨重的调压装置,缩小体积,减轻重量。

可控硅快速过时保护

在重复率固体激光器电源中,保护装置往往是不可缺少的。尤其工作在大功率、高重复率情况下,闪光灯的连通和高压短路造成过载,引起电源、闪光灯和工作物质的损坏。为此,电源通常采取过流或过压继电器保护电路。

由于谐振充电瞬间电流大,贮能电容之电压高于直流电源电压,充电时间又短,故不宜用过流或过压保护电路。曾设计过一种过时续电器保护电路,若灯的连通时间超过正常充电时间,就能及时切断直流电源。使用发现,因继电器动作迟缓,还是不能有效防护连通所导致灯的损坏,熔断器仍容易烧坏。又研制了一种可控硅快速保护装置,经使用表明该装置保护效果较前者好。该装置由取样触发和直流开关两部分组成,如图 2。

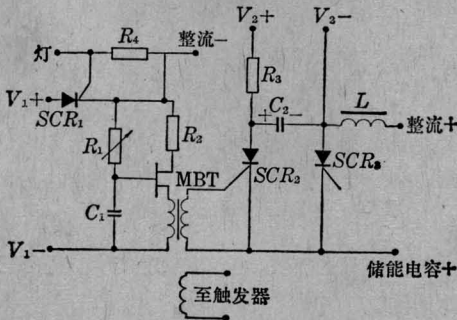


图 2 过时保护线路

在贮能电容充电回路中,串接取样电阻 R_4 , 取样信号取自这一电阻上的电压。其幅值满足可控硅 SCR_1 的触发电压, SCR_1 便

导通,振荡器虽接通电源,但无信号输出。因在正常情况下 SCR_1 的导通时间小于振荡器的振荡周期。一旦闪光灯发生连通, SCR_1 的导通时间大于振荡器的周期,变压器 MBT 有信号输出,可控硅 SCR_2 便导通,至 SCR_2 导通前电容器 C_2 已由辅助电源经电阻 R_3 充电到 V_2 值,当 SCR_2 导通时 C_2 迅速放电,此放电电压对主回路中充电可控硅 SCR_3 来讲是反向电压迫使 SCR_3 关断,切断主回路, SCR_2 也随之关断。因脉冲变压器 MBT 有两组输出,除一组去开 SCR_2 ,另一组去关断触发器。有效地防止过载损坏灯或电器元件。换向电容 C_2 数值基本按下式估算:

$$C_2 > \frac{3IT_{off}}{V_2} \quad (6)$$

式中 T_{off} 为 SCR_3 的关断时间; V_2 为辅助电源之电压; I 为导通时回路电流,要求其保护可控硅 SCR_2 的正向阻断电压大于 V_2 ;

$$\text{额定平均电流 } I_2 > \frac{C_2 V_2}{10T_{off}}$$

恒流预引燃

器件工作在高重复率时,其工作周期可能小于闪光灯的消电离时间与电源充电时间之和。为此提出了储能网络中安装放电可控硅开关,它可缩短恢复阻断时间,电源也可在高重复率下可靠地工作。实验证实预引燃有以下几个优点,诸如延长灯的寿命,提高光效,克服每次高压触发对其他线路的干扰,减少点灯的抖动时间,从工作周期

$$T_0 = T_z + T_D + T_f,$$

充电电流 $I_{op} = \frac{CV_m}{T_z}$ 可看出,减小灯的恢复阻断时间,相当于缩短工作周期,提高重复率或增长充电时间,减小了电源的容量,提高电源效率。预引燃不但适用于高重复率激光器,而且对多级而言也便于同步。虽有上述优点,但还存在问题,主要是工作在低重复率

(下转第 156 页)

低的混合体系离解的质谱定量分析；在实验二中，A组单频辐照时的激光频率与双频辐照时的离解场频率[即P(26)线]相同，而B组单频辐照时采用的激光频率与双频辐照时的激发场频率[即P(20)组]相同。因此，上述定性和定量实验结果的一致性说明，与对应的单频辐照相比，双频法具有离解选择性和能量利用率高等优点。

下面，我们就上述实验所证实的双频法使选择性得以提高的机理作简要讨论。根据文献[6]提出的理论，在强红外场作用下，多原子分子多光子离解过程经历以下三个区域：

- (1) 分立的低振动能级区；
- (2) 随着能量增高、态密度增大而形成的振动能级准连续区；
- (3) 超过离解阈值的区域。

由于分子实际上不是简谐振子，其振动能级之间的间距随振动量子数的增大而递减。因而，若采用单一频率的激光辐照分子，就很难实现在低振动能级能够共振吸收，并且到较高的分立振动能级仍能共振吸收。因此，不容易使分子通过分立的低振动能级区而激发到准连续区和离解阈；而双频激光的“接力式”激发却克服了这一缺点，致使CF₃CDCl₂分子的选择性离解速率W_D加大；另一方面，双频离解中共振激发光束的能量密度通常很小，功率加宽较小，这也利于提

高激发的选择性。

综上所述，适当实验条件下的双频离解可比单频离解获得更高的选择性和能量利用率，这意味着采用双频技术有较大的经济价值，对于激光分离同位素的工业应用是极为重要的。

本文报导的工作是在四川大学匡一中副教授直接指导下完成的，实验检测和仪器分析由四川大学中心实验室质谱、红外组刘华骥、谢惠、杜仲英、邓万卉等老师协助进行，在工作中还得到四川大学物理系曾传相、张秀云、符本立等老师的指导和协助，在此谨向他们致谢。

参 考 文 献

- [1] R. V. Ambartzumian *et al.*; *JETP Lett.*, 1976, **23**, 194; *Opt. Commun.*, 1976, **18**, 517; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, **7**, 904; *Opt. Commun.*, 1978, **25**, 69.
- [2] S. S. Alimpien *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1979, **9**, 1263; 片山幹郎; 《分光研究》(日), 1978, **27**, No. 4, 269.
- [3] *Laser Focus*, 1979, No. 5, 18; 1979, No. 15, 16. J. B. Marling, I. P. Herman; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**, No. 7, 439.
- [4] J. Hine, R. Wiesboeck *et al.*; *J. Am. Chem. Soc.* 1961, **83**, 1219.
- [5] Р. В. Амбарцумян и др.; *ЖЭТФ*, 1975, **69**, № 6, 1956.
- [6] E. R. Grant *et al.*; 《Laser Spectroscopy III》, 76~101, edit. J. L. Hall, J. L. Carlsten(Springer-Verlag, N. Y. Heidelberg, 1977).

(上接第173页)

或灯刚点燃时预燃非常容易熄灭。以往解决的办法是提高电压，使其接近闪光灯的击穿电压，使放电开关耐压提高，降低系统可靠性；根据灯内阻变化大的特点，使预燃电流增大至500毫安，提高预燃可靠性。虽然灯消耗功率并无显著增加，然而上述预燃回路中由于串接限流元件，故效率甚低。为了克服上述缺点，有必要用恒流预引燃。恒流类型及原理有多种，现选用L-C型，原理如图

3。辅助高压V₂的作用是在灯端加一高压。当加一高压脉冲使灯瞬时击穿而预燃，可降低整流变压器输出电压，便于制作。这种恒流预引燃的特点是效率高、运行稳定、可靠，但体积较大。

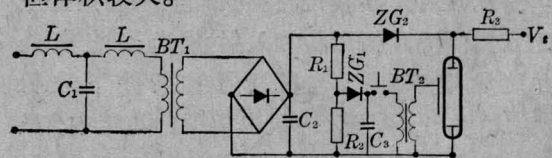


图3 恒流预引燃线路