

# 轻便型电压叠加线性稳流双氦灯泵浦 连续 YAG 激光器专用电源

杨天新 倪文俊 蒋捷 王冬梅 王泰立 李世忱

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

**提要** 介绍了一种专用于双氦灯串联泵浦连续 YAG 激光器的新型电源, 利用双氦灯工作电压的特点, 采用叠加调压的方法, 既保留了线性稳流电源稳定性高的优点, 又去掉了笨重的大功率工频变压器, 是一种值得推广使用的专用电源。

**关键词** YAG 激光器, 电源

## 1. 引言

双氦灯泵浦中功率连续 YAG 激光器是最常用的激光器之一, 许多应用都要求输出光束的强度有良好的稳定性, 这就要求氦灯的工作电流具有良好的稳定性和调整精度。常用极距 100 mm 左右的 6 kW 双氦灯是一种大电流负载。常用的电源有晶体管串联式线性稳流电源和开关电源两大类型。这两种类型的电源各有彼此不能替代的优势。晶体管串联式线性稳流电源技术成熟, 可达到很高的稳定度, 且纹波小、无开关噪声、响应迅速、使用可靠、维修简单。但是由于需要一个大功率的工频变压器和相应的大容量的低频滤波元件, 所以功耗大, 电源效率低。开关电源恰好弥补了这方面的不足, 可惜的是大功率的开关电源技术和元器件都不够成熟, 与线性稳流电源相比<sup>[1]</sup>, 它的电流稳定度比串联晶体管低一个数量级, 纹波大一个数量级, 响应慢了两个数量级, 有开关噪声, 可靠性较低, 但是它的体积减少了三分之二, 效率提高了一倍, 所以在精度要求不太高的场合, 大都使用开关电源。那么如何能使这样的大功率电源既具有开关电源的体积又具有线性稳流电源的精度和稳定性呢? 我们研制的这台 6 kW 大功率电源恰好达到了这个目的。这是一台具有线性稳流功能又没有大功率变压器的电源。它巧妙地利用双氦灯工作电压在三相半波整流电压值 260 V<sup>[2]</sup> 附近这一特点, 去掉大功率工频变压器, 利用特殊方法达到传统的工频变压器的作用。此电源有以下几个优点: (1) 去掉了大功率工频变压器, 体积和重量大幅度下降; (2) 保持了线性稳流源的性能, 即精度高、稳定性好、纹波小; (3) 降低了对调整管耐压的要求, 因而降低了成本, 提高了寿命; (4) 没有过流过压问题, 具有自保护性, 使用安全可靠; (5) 调整管不在灯电流的主回路中, 完全避开了预燃电路和触发电路对调整管的冲击。最后值得指出的是这种设计思想可以推广到其它负载上, 如 Ar<sup>+</sup> 激光管、氙灯, 使得它们的电源不仅性能可靠优越, 而且体积、重量大大减少。

## 2 电路原理及特性分析

根据氩灯的伏安特性,例如两只  $\phi 9.5 \times 100 \text{ mm}$  的串联使用的氩灯工作电流大都在  $8 \sim 30 \text{ A}$  之间变化,相应地双氩灯两端的电压在  $200 \sim 280 \text{ V}$  之间变化,可以看出,这种负载的电源虽然功率大,但电压的调节范围不大。因此,我们设想把直接利用电网整流得到的电压作为主电压,再把这个主电压与另一个电压大小可调、极性可正可负电源产生的修正电压叠加起来,作用在双氩灯两端以产生需要的负载电压和电流。具体说,三相半波整流的直流平均电压约为  $260 \text{ V}$ ,如果在此电压基础上,叠加一个可以从  $-60 \sim +20 \text{ V}$  连续可调的电压,那么叠加之后的电压就可以从  $200 \text{ V}$  调变到  $280 \text{ V}$ ,达到了使用要求,这样就等于利用了一个较小的功率变压器取代了大功率的变压器。比如上述电源应该用一个至少  $6 \text{ kW}$  的工频变压器,而我们只用了一个  $0.45 \text{ kW}$  的变压器,即实现了同样的功能。

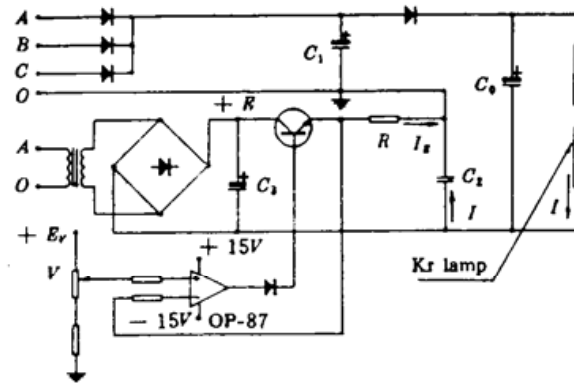


Fig. 1 The principle diagram of the power supply

具体的电路原理如图 1 所示。整个电路由两部分组成。一部分是经过电网三相半波整流,电流(用  $I$  表示)经过负载氩灯和电容  $C_2$  回到电源零线,形成一个平均电压约为  $260 \text{ V}$  的主电源回路。另一部分为叠加电源回路,是通过低电压大电流变压器,经整流后,电流(用  $I_E$  表示)经过调整管、取样电阻  $R$  和电容  $C_2$  回到叠加电源负极。由于运算放大器和调整管以及取样电阻  $R$  构成了一个负反馈系数为 1 的闭环电压跟随器<sup>[3]</sup>,使得取样电阻  $R$  上的电位跟随可变电位器的滑动端的电位(用  $V$  表示),因此  $I_E$  严格等于  $V/R$ 。十分明显,这个叠加电源回路是一个线性可调的恒流系统,它的负载就是无极性电容  $C_2$ ,当这个恒流的叠加电源输出的电流  $I_E$  给  $C_2$  的一个极板充电时,灯电流  $I$  从反方向给无极性电容  $C_2$  的另一个极板充电。当这两个方向相反的充电电流达到动态平衡时,电容  $C_2$  上的电压维持恒定,与此同时氩灯也工作在伏安特性决定的稳定状态下, $C_1$  和  $C_2$  上的电压叠加起来作用在双氩灯两端产生的灯电流  $I$  与  $I_E$  严格相等。

在电路达到稳定时,用  $V_0$  表示氩灯两端电压,用  $V_{C_1}$  和  $V_{C_2}$  分别表示电容  $C_1$  和  $C_2$  上的电压。则有:

$$V_0 = V_{C_1} + V_{C_2}$$

$$V_{C_1} \approx 260 \text{ V}$$

用  $E$  表示叠加电源提供的直流电压。用  $V_T$  表示调整管上的管压降。则有:

$$E = V_T + V_{C_2}$$

$$V_{C_2} = E - V_T$$

$$I_E = V/R$$

$$I_E = I$$

两电源叠加之后, 输出电压为:

$$V_0 = V_{C_1} + E - V_T$$

由此可见, 输出电压的调节范围就是调整管的线性工作范围。

如果电网电压出现起伏变大, 那么灯两端电压也变大, 导致灯电流  $I$  变大, 而  $I_E$  受  $V/R$  控制保持不变, 那么电容  $C_2$  上的动态平衡被破坏, 使电容  $C_2$  上的电压向负电压方向变化, 则  $C_1$  和  $C_2$  的叠加电压减少, 因而导致灯电流减少, 当  $I$  减少到重新与  $I_E$  相等时, 在  $C_2$  上又达到了新的动态平衡,  $C_2$  上电压维持不变, 从而达到了稳流的效果。

从上面的分析可以看出, 电流  $I_E$  是由叠加电源  $E$  提供的, 因此这个线性稳流的叠加电源决定了  $I_E$  有良好的稳定性和调整精度。而氦灯两端电压稳定时, 灯电流  $I$  与  $I_E$  是严格相等的, 所以整个灯电流的稳定性和调整精度与  $I_E$  是相同的, 因此说这个总电源具有标准线性调压稳流电压的精度和稳定性, 同时又不需要笨重的工频变压器。

应特别指出, 电路中的  $C_2$  必须是无极性电容, 它两端的电压除了大小发生变化, 极性也会改变, 当灯电压低于 260 V 时,  $C_2$  上的电压为负值 ( $V_T > E$ ), 从而使  $C_1$  和  $C_2$  的电压之和小于 260 V, 同理, 当灯电压大于 260 V 时,  $C_2$  上的电压就为正值 ( $V_T < E$ )。若氦灯工作在最大电流 (记为  $I_{\max}$ ) 时, 灯电压为  $V_{0\max}$ , 则在忽略整流滤波和调整管剩余压降的情况下,  $V_{0\max} = 260 + E$ 。故叠加的直流电压  $E$  为  $(V_{0\max} - 260)$  V, 约为 20 V 以下。还应指出这个电源即使在调整管完全击穿的情况下, 其最高电压还在灯的安全区域内, 且调整管截止时, 灯自然熄灭。从功率上说, 原来需要  $P_{\max} = I_{\max} V_{0\max}$  的工频变压器, 而现在只需要功率为  $I_{\max} E$  这样的变压器。这个变压器的体积比直接开关逆变的体积还要小得多。

### 3 实验结果

我们在实验室研制了一台工作电流在 8~28A 变化的最大输出功率为 6 kW 的双氦灯电源。整机中只用了一个 15 V/30 A 的 450 W 变压器, 所以整机的体积和重量与同规格的开关电源不相上下, 而且电流稳定度优于 0.1%, 没有开关电源产生的噪声。现正在实验室中正常运行, 未发生元器件的损坏现象和其它故障。

### 4 结 论

我们研制的这种电源综合了开关电源体积小、重量轻和线性稳流精度高、稳定性好的优点。该电源最适合用于工作电压在 260 V 附近的大电流负载。如果把这个叠加原理应用于工作电压在 520 V 附近的大电流  $Ar^+$  激光器上将产生更大的改进效果。可以用三相全波整流得到纹波更小的 520 V 直流电压, 再利用我们的叠加技术, 使叠加后的电压在 490~530 V 变化, 就可以用一个 1 kW 左右的变压器替代现在使用的 30 kW 变压器。这种改进是令人向往的。如果只是为了进一步降低功耗, 可以把这个叠加电源做成开关电源。这样用一个小功率的开关电源取代大功率的开关电源, 不仅体积进一步减少, 而且对元件的要求也大大降低。

## 参 考 文 献

- 1 华东计算技术研究所电源研究室. 晶体管开关稳压电源. 北京: 人民邮电出版社, 1985. 2~3
- 2 丁道宏. 电力电子技术. 北京: 航天工业出版社, 1992. 30
- 3 郑 机. 电力半导体直流稳定电源. 北京: 机械工业出版社, 1985. 33~34

## Specific Portable CW YAG Laser Power Supply with a Superimposing Supply Adjusted by Cascaded Transistors

Yang Tianxin Ni Wenjun Jiang Jie Wang Dongmei Wang Taili Li Shichen

(*College of Precision Instruments and Optical Electrical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

**Abstract** A novel power supply with a superimposed power supply adjusted by cascade transistors is developed and specifically used for CW YAG lasers pumped by double Kr lamps specifically. Benefiting from the characteristic of the operating voltage of the Kr lamps, we can adjust this power supply by using a superimposed small power supply which is a transistor current stabilized source. This power supply possesses the same stability as the conventional one while deserting the cumbersome high power voltage transformer.

**Key words** YAG laser, power supply