

文章编号: 1001-3806(2004)02-0147-03

一种输出功率稳定及功率因数改善的激光电源

牛增强^{1,2}, 彭文达², 牛慧策²

(1. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 西安 710068; 2. 深圳大学 光电子学研究所, 深圳 518060)

摘要: 叙述了输出功率稳定、功率因数改善的激光电源的设计原理及电路构成。该电源输出功率可以不随电网电压变化而基本保持一定, 从而可使激光输出能量稳定度大大提高。由于采用了功率因数改善的电路, 该电源有效地抑制了谐波噪声, 减少了电力设备的输入电流容量, 拓宽了电源输入电压的范围。

关键词: 输出功率; 功率因数; 开关电源; 激光

中图分类号: TN86 文献标识码: A

A fixed output power laser supply with improved power factor

NIU Zeng-qiang^{1,2}, PENG Wen-da², NIU Hui-ce²

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China; 2. Institute of Optoelectronics, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: The design principle and circuit structure about the laser power supply with fixed output power and improved power factor is presented in this paper. The output power of this laser power supply cannot be changed as the line voltage is shifted. So this laser power supply may make the output laser energy less in stable. Moreover, the laser power supply with improved power factor might effectively restrain the harmonic noise and reduce the input ampere capacity of power equipment and so on.

Key words: output power; power factor; switching power supply; laser

引 言

目前, 激光电源充电通常有以下两种方式: 一种是电网电压经过桥式整流直接向电容器充电, 这种方式的优点是电路简单、成本低, 缺点是充电电压随电网电压的变化而变化, 从而影响激光器输出能量的稳定度, 而且充电电压不能任意设定, 功率因数低; 另一种方式是电容器整流采用变压器升降压开关电源技术, 这种方法的优点是储能电容器电压可任意设定, 缺点是功率因数太低, 由于一般采用固定电流或充电电流与电网电压成正比的充电电路, 电源输出功率随电网电压变化而变化^[1-3], 且成本较高。笔者介绍了一种新型的充电功率一定的功率因数改善式激光电源, 传统的功率因数改善式电源一般都采用定电流充电的方式^[4], 电网电压的变化会引起充电电路的充电能力不足或过剩, 用于激光电源时, 同样会影响激光输出功率; 另外, 该电源在用于激光能量负反馈放电系统时, 控制系统很难判断

负反馈控制是否工作正常。因此, 激光电源的充电功率始终保持一定就显得非常重要。

1 设计原理及电路构成

1.1 设计依据

对于升压式非绝缘充电电路, 设电网电压为:

$$U = V_{\max} \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

经整流后的电压为: $U = V_{\max} | \cos(\omega t + \varphi) |$
功率因数改善电路的充电电流为:

$$I = K | \cos(\omega t + \varphi) | \quad (2)$$

定功率充电时, 充电电路的功率为:

$$P = UI = KV_{\max} \cos^2(\omega t + \varphi) = L \cos^2(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

式中, $L = KV_{\max}$ 为常数, V_{\max} 为电网电压幅度, ω 为电网电压角频率, φ 为初始角。从上式可以看出, 为了使充电功率保持一定, 就需要充电电流的幅度 K 随电网电压的幅度变化而改变, 也就是说, 只要充电电流满足下式:

$$I = P/U = L \cos^2(\omega t + \varphi) / V_{\max} | \cos(\omega t + \varphi) | = L | \cos(\omega t + \varphi) | / V_{\max} \quad (4)$$

由(5)式可知, 充电电路的充电电流幅度如与该充电

作者简介: 牛增强(1964), 男, 工程师, 博士研究生, 主要从事自动控制及信号处理方面的研究。

E-mail: niuzeng@szu.edu.cn

收稿日期: 2003-04-29; 收到修改稿日期: 2003-07-07

一般来讲, 流过图 1 所示电感 L 的电流连续的状态下, 升压式功率因数改善电路的输出电压 $V_{out, DC}$, 输入电压 $V_{in, DC}$, 以及脉冲占空比 D_{on} 满足下式:

$$V_{out, DC} = V_{in, DC} / (1 - D_{on}) \quad (6)$$

实验表明, 当 $D_{on} > 50\%$ 时, 开关控制很容易进入不稳定状态, 故强制性地补偿, 使 $D_{on, max} \leq 0.5$ 。

2.2 开关管的选择

流过 MOSFET 的最大电流可以用下式计算:

$$I_{L, max} = 1.414 \times P_{out} / V_{in, min, rms} \quad (7)$$

为了保证电源能够在室温 30°C 状态下连续 24h 正常工作, 并考虑到散热等的影响, 选用开关管的允许工作电流为实际工作电流的 5 倍以上。实验中采用了多个开关管并联处理的方法。

2.3 开关频率

在参数选择时, 尽可能使开关频率选择得大一些, 可以使用较小的平滑电感, 从而减小电源的体积及重量, 但频率过高, 又会使开关管发热比较厉害, 一般可选择开关频率为 $80\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$ 。

2.4 电感 L 的选择

电感的值可由下式决定:

$$L = V_{in, dry} \times D_{on, max} / (I_{dry} \times f) \quad (8)$$

式中, f 为开关电源频率, $D_{on, max}$ 为最大脉冲占空比, $V_{in, dry}$ 由下式决定:

$$V_{in, dry} = \frac{1 - D_{on, max}}{D_{on, max}} \times V_{out} \quad (9)$$

根据经验, I_{dry} 可以选择输入电压最大时的电流值的 50%, 选取 40%, 即可由下式算出:

$$I_{dry} = \frac{1.414 \times P_{in, max}}{V_{in, max}} \times 40\% \quad (10)$$

3 设计例

根据上述设计方法, 设计了输入为两相电压 $220\text{V} \pm 20\%$, 输出功率 1kW , 储能电容 $20000\mu\text{F}$, 开关频率为 80kHz , 充电电压为 530V 的灯泵浦用 YAG 激光电源。

输入电压从 170V 变化到 264V 时, 充电电流、有用功率、总功率及功率因数的测试结果见表 1。

从表 1 可以看出, 当输入电压从 170V 变化到 264V 时, 以 220V 输入电压为基准, 电源有用功率的变化量仅为 $\pm 6\%$ 以内, 而传统方法的最小变化量为 $-23\% \sim 20\%$ 。可见, 采用该技术可以大大提高电源充电功率的稳定性。另外, 该电源的功率因数可达 0.86 以上。

Table 1 Experiment results (measured by HIOKI 3166 POWER HIFESTER)

input voltage / V	input current / A	active power / kW	apparent power / kW	power factor
170	6.61	1.062	1.109	0.958
180	6.20	1.049	1.116	0.940
190	5.90	1.038	1.122	0.926
200	5.63	1.034	1.126	0.919
210	5.33	1.023	1.132	0.904
220	5.10	1.005	1.128	0.891
230	4.87	0.989	1.119	0.884
240	4.67	0.989	1.120	0.876
250	4.49	0.973	1.124	0.866
264	4.24	0.963	1.120	0.860

图 1 所示电路各种大功率器件的温度变化情况见表 2, 测量方法是采用热电偶直接加在被测器件的散热片上, 通过温度记录仪 (横河电机 LR12000) 进行记录, 实验时室温 30°C , 表中实验结果为整机内部温度 40°C 时的换算值。

Table 2 Maximum temperature rise of choke coil and power semiconductors

parts name	junction temperature (designed temperature rise)	experiment results
rectifiers bridge	150°C (90°C)	60°C
power FET	150°C (90°C)	63°C
choke coil	150°C (90°C)	83°C
diode D	150°C (90°C)	56°C

由于实验手段的限制, 图 6 所示的谐波成分示意图为图 5 的电流波形通过日置 8852 示波器进行高速傅里叶变换而得到的波形数据; 图 7 所示为町田博^[5]提供的电容滤波式电源的检测结果, 其电源有效功率为 166.6W , 总功率为 263.3W , 功率因数为 0.628 。

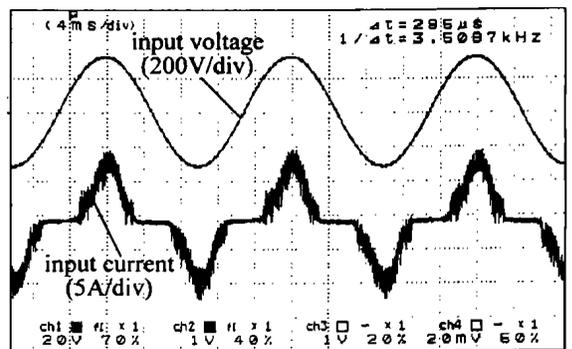


Fig. 5 Waveform of proposed power supply

基于最小二乘法, 从表 1 可得评估误差的空间基准直线为:

$$\begin{cases} x = 0.1518z + 42.4719 \\ y = 0.1745z + 82.9485 \end{cases} \quad (10)$$

主轴承孔的同轴度误差曲线 ($\Delta s_x, \Delta s_y$) 见图 7。在 $z = 282\text{mm}$ 处, 最大同轴度误差为 $24.7269\mu\text{m}$ 。因此, 由试验结果可以说明, 该系统可以获得测量的高精度。

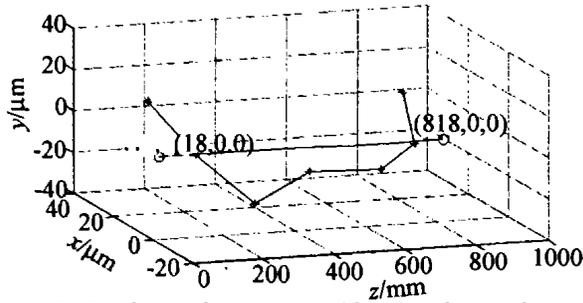


Fig. 7 The coaxiality error curve of the principal axis neck

(上接第 149 页)

由图 6 和图 7 比较可以看出, 采用本文中的方

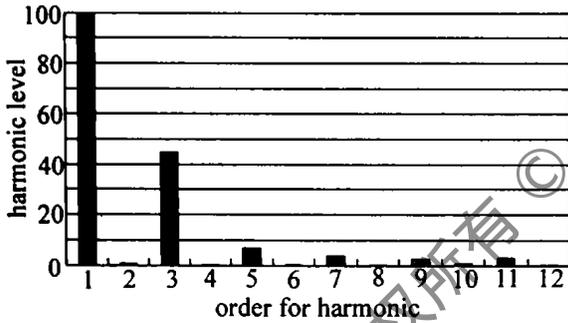


Fig. 6 The harmonic level of proposed power supply
fundamental= 100%

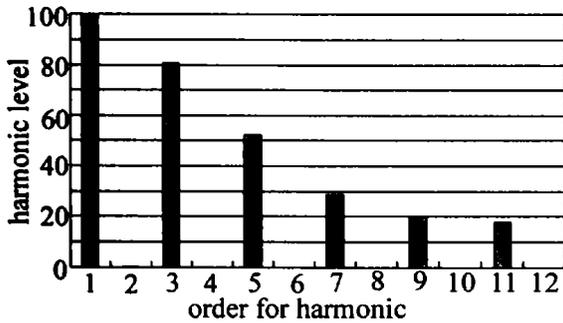


Fig. 7 The harmonic level of condenser input type power supply
fundamental= 100%

4 结 论

(1) 以无衍射光为基准, 与其它圆度测量技术相结合, 开发了一种可以用于孔的同轴度的高精度测量的同轴度误差测量系统。

(2) 工作距离 1.5m 以内时, 无衍射光直线基准的关联不确定度小于 $0.72\mu\text{m}$, 当测量圆度的位移传感器的测量不确定度为 $0.4\mu\text{m}$, 测量范围 $-200\mu\text{m} \sim +200\mu\text{m}$ 时, 系统的测量不确定度可以小于 $1\mu\text{m}$ 。

参 考 文 献

- [1] CHENG Q H, WU J, YIN Ch Y. Chinese Journal of Lasers, 2002, 29 (7): 625~ 630.
- [2] LU N G, DEN W Y, YAN B X *et al.* Proc SPIE, 2000, 4222: 383~ 386.
- [3] ZHANG X B, ZHAO B, LI Zh J. Opt. A: Pure Appl Opt, 2002, 4(1): 78~ 83.
- [4] 吴 蔚. 计量学报, 1986, 7(2): 141~ 144.

法设计的电源, 其功率因数与传统方法相比高次谐波成分已大大降低。

4 结 论

采用本文中所述的原理设计制作的 YAG 激光充电电源, 具有成本低(与变压器升压方式相比)、输出功率稳定、功率因数大、高次谐波幅度小等优点, 制作结果证明了理论设计的正确性。很明显, 这种技术同样也可以用于 3 相大功率充电电源当中, 在有良好散射设计及采用并联 FET 技术的情况下, 也能够制作出电网电压 380V 稳定输出功率在 20kW 以上的激光电源。设计制作 20kW 以上的激光电源和采用图 2 所示电路框图制作低压半导体二极管泵浦用激光电源成为今后努力的目标。

参 考 文 献

- [1] 叶志生, 撒 昱, 金贞姬 *et al.* 电力电子技术, 2002, 36(2): 7~ 9.
- [2] 段 军, 唐霞辉, 赵 霞 *et al.* 激光杂志, 1995, 16(1): 19~ 24.
- [3] 宁喜发, 姚建铨, 陆 颖 *et al.* 激光杂志, 2002, 27(5): 63~ 65.
- [4] KAZERANI M, ZIOGAS P D, JOOS G. IEEE TRAN on Industrial Electronics, 1991, 38 (1): 72~ 78.
- [5] 町田 博. トランジスタ技術, 1992, 29(8): 537~ 548.