

激光恒流源设计中的两个主要参数

漆海滨 杨红斌

(国防科技大学)

摘要: 本文提供了一种推导激光恒流源输出电阻和输出电流稳定度计算公式的方法, 讨论了温度对输出电流稳定度的影响。

Two major parameters in the design of the constant current laser pump source

Qi Haibin, Yang Hongbin

(National Defense University of Science and Technology)

Abstract: A method of deducing the formula for calculating the output resistance and the current stability of the constant current laser pump source is represented. The influence of temperature on the output current is discussed.

一、激光恒流源的基本工作原理

一般激光恒流源的基本原理方框图如下。

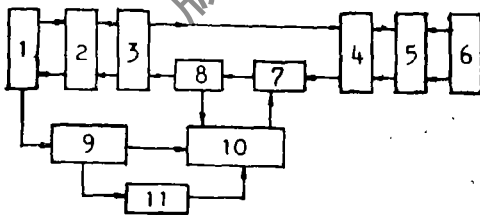


图1 原理方框图

- 1—三相电网 2—电压变换 3—整流滤波
4—灯负载 5—触发预燃 6—交流电网
7—调整 8—取样 9—稳压电源 10—运算放大器 11—基准电压

简单的工作原理是: 流经取样电阻的负载电流产生取样电压, 将取样电压与基准电压的误差信号, 经误差信号放大器放大后, 控制调整管的 I_c (即负载电流), 由于误差信号放大器采用反相端输入, 输出信号与输入信号极性相反, 这样就达到了稳定电流的目的。

二、输出电阻和电流稳定度的推导

通过电学上的分析, 我们可以画出一般的激光恒流源的等效电路图 (见图2)。

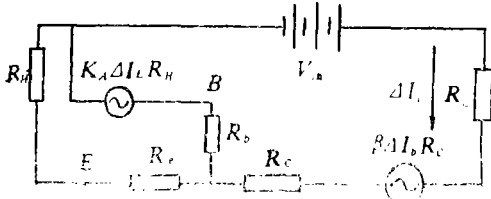


图2 等效电路

V_{in} —整流输入电压 R_L —负载电阻 (灯的动态电阻) R_H —取样电阻 ΔI_L —负载电流的变化量 ΔI_b —基极电流的变化量 K_A —运算放大器的开环增益 β —组合调整管的电流放大倍数 r_b (图中为 R_b)—组合调整管的基极电阻与基极限流电阻之和 r_c, r_e (图中为 R_c, R_e) 分别是组合调整管发射极电阻、集电极电阻

设输入电压 V_{in} 不变, V_L 和 I_L 发生改变, 则对上式微分之后有:

$$\Delta V_L + \Delta I_b \beta r_c + \Delta I_L (R_H + r_c + r_e) = 0 \quad (2)$$

由图2可知, 基极 (B点) 电位的变化量为:

$$\Delta V_b = k_A \Delta I_L R_H \quad (3)$$

发射极 (E点) 电位的变化量为:

$$\Delta V_e = \Delta I_L R_H \quad (4)$$

$$\text{于是, } \Delta V_{be} = k_A \Delta I_L R_H - \Delta I_L R_H = (k_A - 1) \Delta I_L R_H \quad (5)$$

$$\Delta I_b = \frac{\Delta V_{be}}{r_b + (1 + \beta) r_c} = \frac{(k_A - 1) \Delta I_L R_H}{r_b + (1 + \beta) r_c} \quad (6)$$

将(6)式代入(2)式, 并整理得:

$$R_0 = \frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} = -[k_B (k_A - 1) R_H + R_H + r_c + r_e]$$

式中, $k_B = \beta r_c / [r_b + (1 + \beta) r_c]$, 因为 $k_A R_H \gg r_c, r_e, R_H$, 所以

$$R_0 = \Delta V_L / (\Delta I_L) \approx -k_A k_B R_H$$

负号表示 V_L 与 I_L 的变化极性相反。取绝对值: $R_0 = k_A k_B R_H$ 。

这就是激光恒流源输出电阻的近似公式。

2. 电流稳定度

电流稳定度 S 的定义是: 当负载不变时, 由于输入电压的改变引起输出电流的相对变化量。即:

$$S = \left. \frac{\Delta I_L}{I_L} \right|_{R_L = \text{const.}}$$

在图2中忽略基极电流的影响, 在负载 R_L 不变, 而输入电压 V_{in} 改变时, 由(1)式可得:

1. 输出电阻

输出电阻 R_0 定义为输入电压不变时, 输出电压的变化量 ΔV_L 与输出电流的变化量 ΔI_L 之比,

即:

$$R_0 = \left. -\frac{\Delta V_L}{\Delta I_L} \right|_{V_{in} = \text{const.}}$$

在图2的等效电路中, 如果忽略基极电流的影响, 可以建立下面的电压方程:

$$V_{in} = V_L + \beta I_b r_c + I_L (R_H + r_c + r_e) \quad (1)$$

式中, V_L 和 I_L 分别是负载上的电压和电流。

$$\Delta V_{i_n} = \Delta I_b \beta r_c + \Delta I_L (R_H + r_c + r_e) + \Delta I_L R_L \quad (7)$$

将 $\Delta I_b = (k_A - 1) \Delta I_L R_H / [r_b + (1 + \beta) r_e]$ 代入上式并整理得:

$$\Delta V_{i_n} = k_B (k_A - 1) \Delta I_L R_H + \Delta I_L (R_H + r_c + r_e) + \Delta I_L R_L \quad (8)$$

考虑到 $k_A R_H \gg r_e, r_c, R_H$, 于是有: $\Delta V_{i_n} = k_B k_A \Delta I_L R_H$, 所以

$$S = \Delta I_L / I_L = \Delta V_{i_n} / (k_B k_A V_H)$$

式中, $k_B = \frac{\beta r_c}{r_b + (1 + \beta) r_e}$, $V_H = I_L R_H$ 是取样电压。

这就是激光恒流源的电流稳定度的近似公式。

从以上的推导可以看出, 激光恒流源输出电阻 R_0 和电流稳定度 S 这两个参数主要取决于运算放大器的开环增益 k_A , 组合调整管参数 k_B 和取样电阻 R_H 。我们希望 R_0 越大越好, 而 S 值越小 (即稳定度越高) 越好。这样我们在实际设计时, 应取较大的 k_A, k_B 和 R_H 。 k_A 和 k_B 可以根据条件取尽可能大的, 而 R_H 的选取则必须考虑到发热的问题, 我们希望 R_H 所消耗的功率越小越好。既要获得足够的取样电压, 又不能消耗太大的电功率, 所以在选取 R_H 时, 必须兼顾二者。一般要对 R_H 采取冷却或恒温措施。

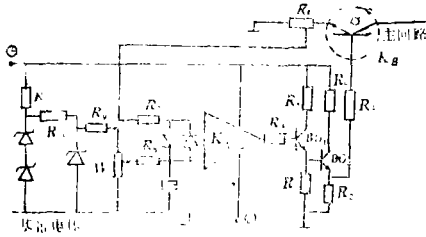


图3 稳流电路图

3. 温度的影响

为了便于分析, 给出一个简单的、实用的稳流电路图 (图3)。

由于取样电阻、基准电源和运算放大器的工作状态要随着温度的变化而发生改变, 输出电流也要发生改变。

根据图3的稳流电路图可得下面的关系

$$I_L = \frac{V_w + V_{o.s.}}{R_H} + \frac{I_L}{\beta} \approx \frac{V_w + V_{o.s.}}{R_H} \quad (9)$$

式中, V_w 是基准电压, β 是组合调整管的电流放大倍数; $V_{o.s.}$ 是运算放大器的输入失调电压。

将 (9) 式对温度 T 取微分,

$$dI_L = \frac{1}{R_H} \left(\frac{\partial V_w}{\partial T} dT + \frac{\partial V_{o.s.}}{\partial T} dT \right) - \frac{V_w + V_{o.s.}}{R_H^2} \cdot \frac{\partial R_H}{\partial T} dT$$

即:

$$\frac{dI_L}{I_L} = \frac{1}{R_H} \left(\frac{\partial V_w}{\partial T} + \frac{\partial V_{o.s.}}{\partial T} \right) - \frac{V_w + V_{o.s.}}{R_H^2} \cdot \frac{\partial R_H}{\partial T} \quad (10)$$

式中, $\frac{\partial V_w}{\partial T}$ 是基准电压源的温度系数; $\frac{\partial V_{o.s.}}{\partial T}$ 是运算放大器输入失调电压的温度漂移系数;

$\frac{\partial R_H}{\partial T}$ 是取样电阻的温度系数。

因此，我们在实际设计时，必须选取温度系数较小的基准电压源和输入失调电压温漂较小的运算放大器。由(10)式还可以看出，较大的 R_H 可以减小温度对 I_L 的影响。

三、设计实例

根据上述理论分析结果，运算放大器的开环放大倍数 k_A 越大，输出电阻越大，电流稳定度越高；取样电阻、基准电压源和运算放大器的温度特性越好，输出电流随温度的变化越小。在图3的稳流电路中，我们采用开环增益高($k_A = 5 \times 10^4$)、温度漂移小的国产运算放大器F007C，基准电压由温度漂移和噪声电压都很小的国产稳压二极管2DW7A提供。组合调整管根据主回路的具体情况选定，一般 $k_B > 1$ （需实际测定）。取样电阻采用温度系数较小的镍铬丝绕制，如果主回路的额定电流为10A，考虑到取样电阻既要获得足够大的取样电压，又要避免过大的功率损耗，取它的阻值为 0.3Ω 。

根据公式

$$R_0 = k_A k_B R_H$$

$$S = \frac{\Delta V_{i_n}}{k_B k_A V_H}$$

式中， $k_A = 5 \times 10^4$ ， $R_H = 0.3 \Omega$ ，取 $V_H = 3V$ （最大值）， $k_B = 1$ （最小值），则输出电阻 $R_0 = 15k \Omega$ 。

当电网电压波动 $\pm 8\%$ （即 $\pm 30V$ ）时，整流输入电压大约波动 $\pm 9V$ ，即 $\Delta V_{i_n} = 9V$ 时的电流稳定度为 $S = 6 \times 10^{-6}$ ，实际测量结果为 $S = 5 \times 10^{-4}$ 。

值得指出的是，理论计算结果比实际测量结果要好大约一个数量级，这主要是因为在推导公式的过程中忽略了一些微小因素。这在高稳定度（一般 $S < 10^{-3}$ ）恒流源的设计中是允许的，也是合理的。这就要求我们在实际设计中对这样一个“提前量”要做到心中有数。

作者在从事本文所涉及的工作中，得到了西南技术物理研究所李俊书和李一平老师的热心指导，特此表示谢意。

作者简介：漆海滨，男，1961年出生。讲师。现在国防科大光子对抗研究中心工作。

杨红斌，男，1961年出生。上尉。国防科大校部参谋。

收稿日期：1989年3月9日。

· 简 讯 ·

海军合同的一部分——导弹分析

Planning Research公司同VSE公司共同承担商业风险，接受了一项支援加州Seal海滩海军武器基地的工程、技术和作业服务合同。该合同还包括舰队训练评价、海军海上及空中发射导弹分析以及战斗系统性能评价。这项合同期限约5年，经费5千万美元。

译自 L.&O., 1988, Dec., P.12.

卢中尧 译 刘松明 校