

# 半导体激光器驱动电源的设计

汪礼兵

(电气技术系)

**摘要** 本文根据半导体激光器的工作特性,设计了一种结构简单由慢启动电路和功率增益自动控制电路组成的驱动电源。具有防止冲激电流、工作点自动稳定和过载自动保护的功能。对该电路的组成、工作原理、设计要点和调试方法作了分析讨论。

**关键词** 半导体激光器,驱动电源,慢启动电路,功率增益自动控制电路

## 0 引言

半导体激光具有体积小、重量轻、价格低廉、驱动电源简单且不需要高压、便于内调制等独特的优点,其应用潜力很大。但是,过去由于半导体激光器的模式不好、寿命短、波长长且不可见,因而大大地限制了它的应用范围。随着半导体光电子器件研究与开发,目前已成功地研制出了可以实现单模输出、寿命长达十万小时以上、工作于可见光波段性能优越的半导体激光器,并在美、日等国开始了大规模商业化生产。具有如此优越性能的半导体激光器在很大程度上弥补了过去的缺陷,应用领域迅速扩展,在许多方面正在逐步取代 He-Ne 激光器。半导体激光器已广泛地应用于光纤通讯、集成光学、激光印刷、激光束扫描、光盘存贮技术等领域<sup>[1]</sup>。可以预料,在今后相当长的一段时期内,半导体激光器的需求数量将大幅度持续增长。因此,研制性能可靠、经济耐用的半导体激光器驱动电源具有广泛的实用价值。

## 1 半导体激光器对驱动电源的要求

当驱动电流低于阈值时,半导体激光器只能发射出荧光,当驱动电流高于阈值时输出激光,并且光输出功率随着驱动电流的增大而迅速增强。以日本三菱公司产的 ML4101 系列半导体激光器为例,其驱动电流与主输出面光输出功率的关系如图 1 中曲线所示,当驱动电流超过最大允许电流时,半导体激光器就可能烧毁。另外半导体激光器的时间响应速度很快(毫微秒

\* 本文 1991-04-16 收到。

量级),即使很短的冲击电流也可能将其毁坏。<sup>(2)</sup>

对于非感性负载(半导体激光器就是如此),在开关闭合和断开瞬间会产生一个很大的冲击电流,必须加以克服,为此,驱动电源的输入级应设计成慢启动电路,另一方面,温度和老化等因素对图1所示的曲线有显著影响,为得到稳定的光功率输出,还必须设计一个功率增益自动控制电路。

## 2 慢启动电路

### 2.1 电路原理

为避免开关闭合断开瞬间产生的冲击电流损坏半导体激光器,设计如图2所示的慢启动电路做为驱动电源的输入级。

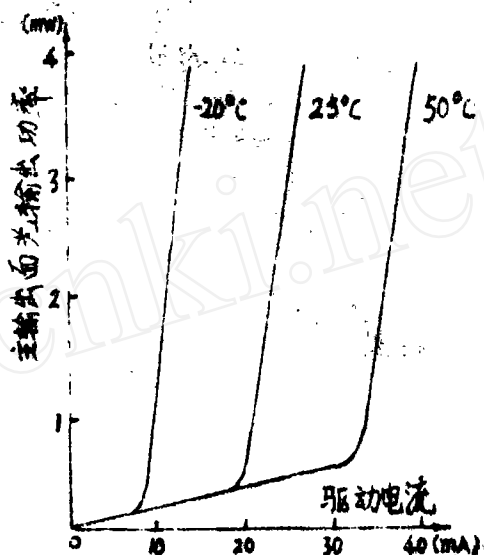


图1 半导体激光器驱动电流与主输出面光输出功率的关系曲线

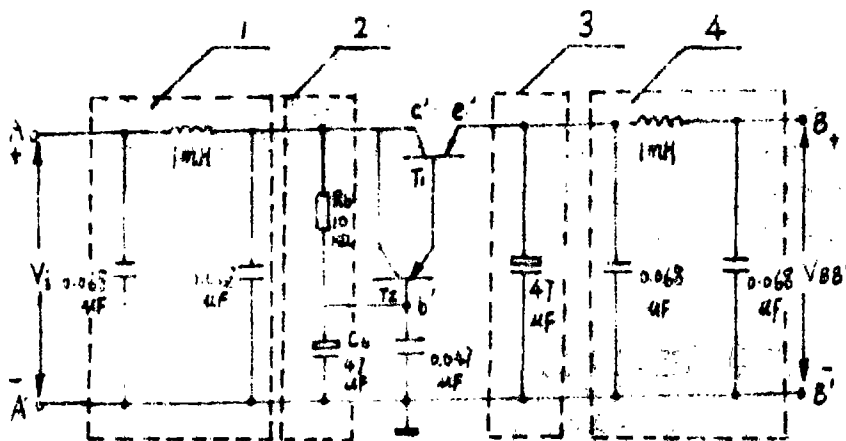


图2 慢启动电路输入级

图中,  $AA'$  端接上经过稳压后的直流电压,  $BB'$  端是输入级的输出端, 为功率增益自动控制电路提供工作电压。整个电路的结构可以看成是在射极输出器上添加了两个  $\pi$  型滤波网络 1 和 4、一个电容构成的 C 型滤波网络 3 以及一个时间延迟网络 2。慢启动输入电压  $V_i$  在开关闭合瞬间产生了大量的高频成分, 经过滤波网络 1 滤除了大部分高频分量, 直流及低频分量则可顺利通过, 到达由电阻  $R_b$  和电容  $C_b$  组成的时间延迟网络,  $0.047\mu F$  的电容与电解电容  $C_b$  并联

是为了减少电解电容对高频分量的电感效应,使网络 2 亦能起到滤除高频分量的作用.

在开关闭合瞬间,电容两端的电压不能突变,于是在图 2 中有  $V_1' = V_2' = V_3' = 0$ , 因此复合三极管截止,加在  $C'$  点的电压对网络②中的电容充电. 充电时  $V_1', V_2', V_3'$  之间存在着  $V_1' < V_2' < V_3'$  且  $V_1' \approx 0$  (因复合三极管尚未导通). 经过一段时间充电后,使  $V_{be'}$  达到复合三极管的门坎电压,复合三极管导通,在射极产生电压  $V_{be'}$ , 而功率增益自动控制电路则作为  $V_{be'}$  的负载. 复合三极管在导通瞬间也会产生大量的高频成分,经过  $C'$  型滤波网络 3 和  $\pi$  型滤波网络 4 滤除高频分量,最终得到了平滑变化的输出电压  $V_{be'}$ , 如图 3 所示.

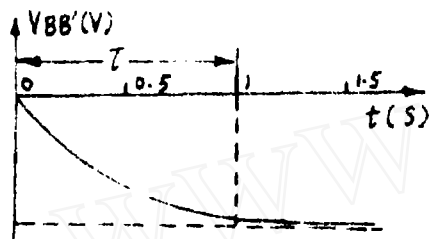


图 3 当  $V_1 = -13.5V$  时开关闭合后观察到的  $V_{be'}$  波形

## 2.2 电路的稳态解及参数的选取

设  $R_L$  代表功率增益自动控制电路的等效负载,由图 2 的直流通路容易解得

$$V_{be'} = \frac{V_1 - V_{be'}}$$

$$\frac{R_L}{(1 + \beta)R_L + 1} + 1 \quad (1)$$

$$V_{be'} = \frac{V_{be'}}{\frac{R_L}{(1 + \beta)R_L + 1} + 1} + \frac{V_1}{1 + \frac{(1 + \beta)R_L}{R_L}} \quad (2)$$

为减少万一复合三极管被击穿时损坏半导体激光器的可能性,减小等效负载  $R_L$  变动对输入级输出电压

$V_{be'}$  的影响,  $V_{be'}$  应尽量接近  $V_1$ , 即  $V_{be'}$  应尽量接近于零, 显然复合三极管应工作于饱和区.

欲达到上述目的,由式(1)、(2)知,应选用  $\beta$  值高的两个三极管组成复合三极管,当两个三极管  $\beta$  值取得很高且  $R_L$  取值较小时,容易满足

$$\frac{R_L}{(1 + \beta)R_L} \ll 1. \quad (3)$$

式中  $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ ,  $\beta_1$  和  $\beta_2$  为组成复合三极管的两个三极管  $T_1, T_2$  的  $\beta$  值. 由式(1)~(3)可推得  $V_{be'} \approx V_1 - V_{be'}$  及  $V_{be'} \approx V_{be'}$ . 延时网络的时间常数  $\tau \approx R_L \cdot C$ , 若  $R_L$  取得太小,不利于消除冲击电流,因此  $R_L$  的取值应折衷选择. 在研制成功的电源中,各参数取值为  $\beta_1 = 135$ ,  $\beta_2 = 120$ ,  $R_L = 10K\Omega$ . 当  $V_1 = -13.5V$  时,  $V_{be'} = -12V$ .

## 3 功率增益自动控制电路

### 3.1 电路组成与原理

为了便于使用,目前许多半导体激光器是将激光二极管同光电二极管集成为一体的器件. 激光二极管有两个光输出面,主光输出面输出的光供用户使用,次光输出面输出的光被光电二极管接收,所产生的光电流用于监控激光二极管的工作状态. 仍以日本三菱公司产 ML-4101 半导体激光器为例,主输出面光输出功率与监控电流的关系如图

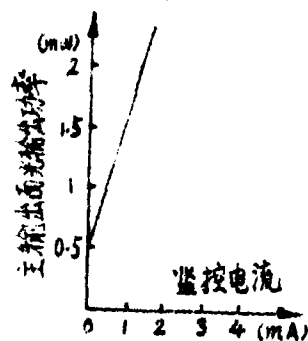


图 4 主输出面光输出功率与监控电流的关系

4 所示. 在主输出面光输出功率大于 0.5mW 时,其光功率的增量与监控电流的增量成正比.

功率增益自动控制电路结构如图5所示。当某种因素引起光输出功率升高时,监控光电流 $I_d$ 亦随之增大,使 $a_0$ 点电位 $V_{a0}$ 升高。第一级运放接成电压跟随器形式,使光电二极管反向偏置形成的高阻抗的电流源变换成为低阻抗的电压源,同时使该级运放输出电位 $V_{a1}$ 也随之升高。第二级运放接成反向放大器,其输出端电位 $V_{a2}$ 下降,经过 $T$ 型网络传输,使驱动三极管 $T_r$ 的基极电位 $V_b$ 下降,驱动电流 $I_r$ 减小,使激光二极管的光输出功率回落。6V的稳压管 $DZ$ 及电阻 $R5-8$ 组成了一个经过稳压的分压器,给第二级运放的同相输入端提供一个合适的参考电位。

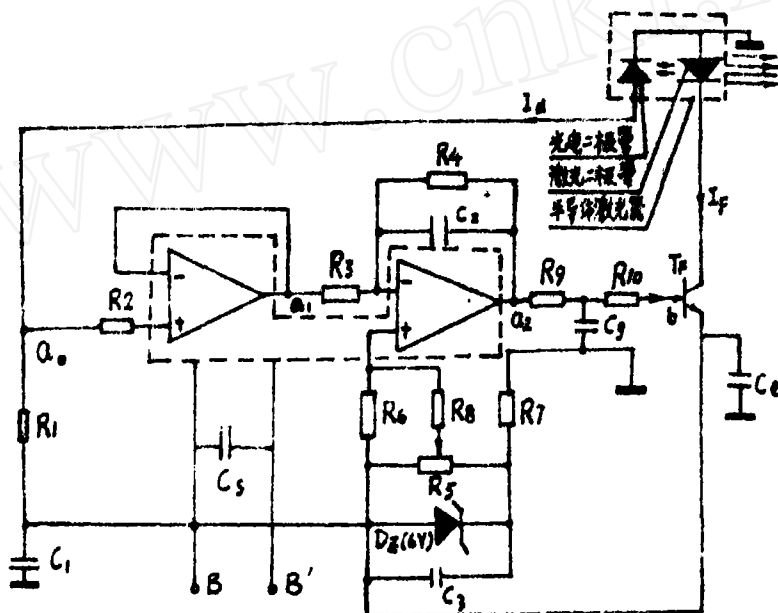


图5 功率增益自动控制电路简图

由以上分析可知,该电路实际上是一个以驱动三极管为核心典型的负反馈系统,具有自动稳定半导体激光器光输出功率的功能。

### 3.2 电流过载自动保护电路

图2所示的慢启动电路和图5所示功率增益自动控制电路,消除了高频冲击电流的危害,但不能有效地防止直流或低频电流过载对半导体激光器的危害,因此有必要针对半导体激光器的工作特性和极限参数设计一个过载自动保护电路。图6是我们设计的一个简便而有效的具有过载自动保护的驱动三极管输出级。它对残余的高频电流冲击也能起到防护的作用,从而显著地提高了驱动电源安全可靠程度。

在图6中, $R_{r1}$ 、 $R_{r2}$ 是采样电阻,设保护电流为 $I_m$ ,当驱动电流 $I_r < I_m$ 时, $I_r$ 通过 $R_{r1}$ 、 $R_{r2}$ 后对 $T'$ 管形成的基极与发射极之间的电压不足以使 $T'$ 导通,则 $T'$ 截止, $T'$ 管对 $I_r$ 不起限制作用。当 $I_r > I_m$ 时, $T'$ 管导通, $T'$ 管从 $T_r$ 管的基极抽吸基极电流,从而限制了 $I_r$ 的增长。若 $I_r$ 继续增大,使 $T'$ 管饱和, $T'$ 管集电极电位很低,使 $T_r$ 管截止, $I_r \approx 0$ ,当过载除去后,电路工作恢复正常。为增强驱动电源的通用性, $R_{r2}$ 设计为可调电阻,改变 $R_{r2}$ 的值就可以改变保护电流 $I_m$ 的大小。

### 3.3 电路参数的选取与调试

要实现功率增益自动控制,关键是图5中的第一级、第二级运放和驱动三极管 $T$ ,都必须工作于线性工作区.电路参数的选取要有利于实现这一目标.当固定元件参数选定后,可以通过调节电位器 $R_1$ 改变电位 $V_{o1}$ ,使第一级运放工作于线性区.通过调节电位器 $R_2$ 改变第二级运放同相输入端的参考电位,使第二级运放工作于线性区.驱动三极管 $T$ 的基极电位 $V_b$ 由第二级运放的输出电压控制,当固定元件参数选取合适时,通过调节 $R_1$ 、 $R_2$ 应能使第一级、第二级运放及驱动三极管 $T$ 同时工作于线性区.

由于电路经过了三级放大,对满足 $A\beta=-1$ 的频率成分将产生自激振荡.如果我们只要求半导体激光器具有恒定的光输出功率,则可以采用压缩频带宽度的窄带补偿技术.一个简便而有效的方法是同图5中的 $C_2$ 并联一个几微法的较大的电容,通过窄带补偿,消除自激振荡条件.

### 3.4 性能测试

为使驱动电源正常工作,必须证实功率增益自动控制电路工作于线性区.为此可测试 $I_f-I_b$ 关系曲线.在调节 $R_1$ 或 $R_2$ 时,测得 $I_f-T_b$ 之间的对应数据和据此画出的曲线如图7所示.曲线表明驱动电源的确工作在线性区.

工作点在线性工作区的位置可以通过调节 $R_1$ 、 $R_2$ 实现,改变工作点亦即改变驱动电流 $I_b$ 的大小,从而改变半导体激光器的光输出功率.

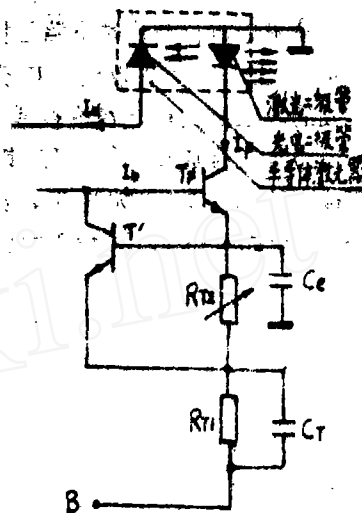


图6 半导体激光器过载自动保护电路

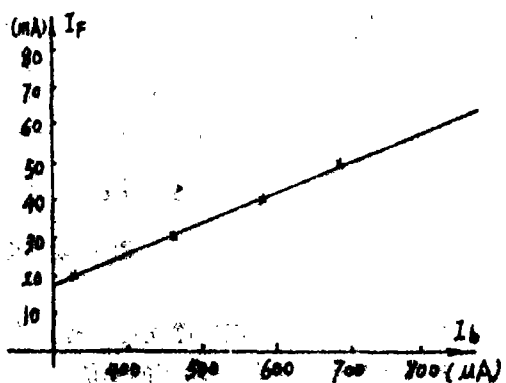


图7  $I_f-I_b$  测试数据及关系曲线

## 4 进一步讨论

在半导体激光器的许多应用场合,希望得到调制后的光输出.我们可以将上述电路中加入选频网络和稳幅环节就可以实现半导体激光器的内调制.图8是按上述设想设计的一个能实现内调制的驱动电源.

图8中,第二级运放接成了双 $T$ 正弦波发生器<sup>[2]</sup>,可以认为是用具有带阻特点的双 $T$ 网络取代了图5中的电阻 $R_1$ ,当 $f_0=1/2\pi RC$ 时呈现的负反馈最弱,在由 $R_f$ 与 $R_2$ 和稳压管 $DZ$ 构成的正反馈网络作用下容易产生振荡.调整 $R_2$ 的值可以改变正反馈量,使之既满足起振条件又不致因正反馈过强而使波形产生严重失真.图中的 $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$ 是用来稳定输出幅值的.当输出幅度增加时,稳压管的非线性电阻将减少,加强了负反馈,从而稳定了输出幅值.

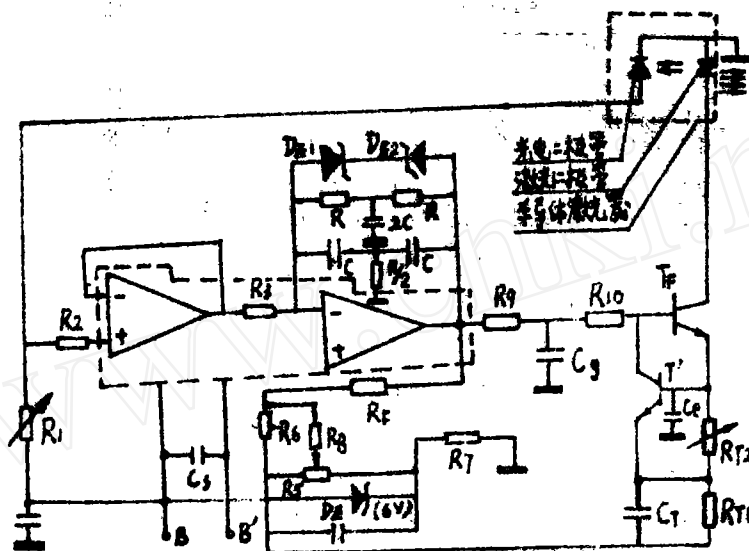


图8 能实现内调制的半导体激光器驱动电源

## 参 考 文 献

- [1] 蒋 涛, 半导体激光器的最新进展, 激光与红外, 7, (1985), 1—5.
- [2] 蔡伯荣主编, 激光器件, 湖南科学技术出版社, (1981), 306—320.
- [3] 康华光主编, 电子技术基础(模拟部分第三版), 高等教育出版社, (1988), 417—418.

## The Design of a Power Source for Driving the Semiconductor Laser

Wang Libin

(Department of Electric Technique)

**Abstract** Based on the operating characteristic of the semiconductor laser, a power source is designed for its driving. The driving source, simple in construction, consists of a slow start-up circuit and a circuit for the autocontrol of power gain. These circuits exercise such functions as prevention of impulse current, automatic stabilization of operating point, and automatic overload protection. A full discussion on these circuits is devoted to their composition and working principle as well as their design points and regulation means.

**Key words** semiconductor, driving source, slow start-up circuit, circuit for the autocontrol of power gain.