

## 半导体激光器三阶载波互调非线性失真

简献忠

(常德师范学院物理系,常德,415000)

**摘要:** 对半导体激光器的  $P-I$  特性曲线的非线性引起的三阶载波互调非线性失真进行了理论分析,得出了减少非线性失真的方法,并在实验上获得了验证。

**关键词:** 半导体激光器 载波互调 非线性失真

### 3rd subcarrier inter-modulation distortions of modulation performance of semiconductor laser

Jian Xianzhong

(Department of Physics, Changde Teacher's College, Changde, 415000)

**Abstract:** In order to transmitting the TV signal, we had carefully to consider the  $P-I$  relationship and the modulation performance of the semiconductor laser, and found that the main reason of 3rd subcarrier inter-modulation distortion was the nonlinear relationship between the output and the operating current of the semiconductor laser. So we designed an optical transmission system to eliminate the distortion and to transmit color TV signals.

**Key words:** semiconductor laser subcarrier inter-modulation nonlinear distortion

## 引 言

半导体激光器的非线性失真是指其调制响应的非线性,在 80 年代中期即开始研究<sup>[1,2]</sup>,非线性失真产生互调干扰,影响宽带光纤传输系统的正常工作。因此,有关半导体激光器的非线性失真一直受到各国学者的重视<sup>[3,4]</sup>。

而变化,故加工的动态范围大,在无衍射范围内对工件位置误差的敏感度为 0,对工件表面的平整度适应性强,且沿光轴方向既不需精密聚焦(无需考虑齐焦的问题),也不需移动被加工工件,这样可使三维工作台简化为二维工作台并可避免使用昂贵的精密机械调整装置;另外,只需一个轴棱镜,通过更换价格低廉的普通球面透镜可得到不同尺寸的微米量级的无衍射光束,适应不同的加工要求。随着激光微加工的发展,由于我们所研究的光学系统具有实际应用的灵活性和经济性,可以预言它在激光打微孔、精密焊接、切片及微调中都具有广泛的应用前景。

## 参 考 文 献

- 1 Dwrnin J. Phys Rew Lett, 1987; 58: 1499 ~ 1501
- 2 蔡邦维. 中国激光, 1994; A21(1): 21 ~ 25
- 3 Scott G. Opt Engng, 1992; 31(12): 2640 ~ 2643
- 4 Jaroszewice Z, Roman D J F, Gomez-Reino C. Appl Opt, 1996; 35(7): 1025 ~ 1031

作者简介:徐荣青,男,1966 年 4 月出生。讲师。现从事激光技术及应用的研究工作。

载波互调干扰是系统的非线性引起的,在多个输入信号的组合频率点产生的寄生输出信号(称为互调产物)。其主要表现是在图像中出现垂直、倾斜或水平的条纹,且呈现不规则、不确定性,干扰程度时强时弱,即“网纹干扰”。干扰严重时,基本上看不清图像,收看质量严重下降。可见,半导体激光器的  $P-I$  特性曲线的非线性引起的载波互调非线性失真将严重影响传输系统的通讯质量,对此进行研究很有必要。

### 1 理论分析

#### 1.1 半导体激光器引起的非线性失真

在 300 K 恒温下,对 TOSHIBA 公司的半导体 TOLD9515 半导体激光器的  $P-I$  特性曲线进行测量,测量实验装置如图 1。驱动器采用上海光机所的 KL117 型激光驱动器,LD 发出的光经透镜  $L_1$  准直变成平行光传输到接受端,经  $L_2$  会聚到 GG1 型功率计上,测出光的强度  $P$ ,实验结果如图 2 中实线所示(虚线为理想的  $P-I$  特性曲线)。

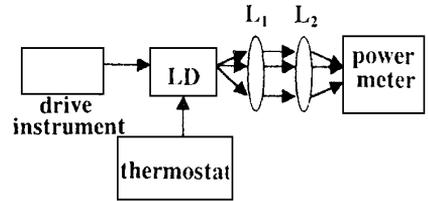


Fig. 1  $P-I$  curve measuring apparatus of LD output

#### 1.2 非线性互调三阶失真分析

对  $P-I$  输出特性曲线应用最小二乘法进行拟合,取前 4 项得到如下表达式:

$$P = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 I^3 \tag{1}$$

式中,  $I$ ,  $P$  分别为流经半导体激光器的电流和其对应的发光强度,  $a_0, a_1, a_2$  和  $a_3$  经测定,其绝对值分别为 7.5379, 0.6086, 0.000854, 0.0000054 (其中,  $a_1, a_3$  为正值,  $a_0, a_2$  为负值)。

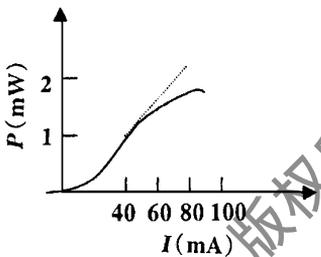


Fig. 2  $P-I$  curve of LD output

由于  $a_2, a_3$  不为 0,即存在二次、三次非线性项,则  $P$  和  $I$  并非呈线性关系,假设输入电流为 3 个频道的调幅波电流  $i_1, i_2, i_3$  之和即  $I = i_1 + i_2 + i_3$ 。为便于分析,用 3 个经余弦信号调制过的载波信号  $i_1, i_2, i_3$  代替三频道的电视信号。三信号为:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_1(1 + m_1 \cos \omega_1 t) \cos \omega_1 t \\ i_2 &= I_2(1 + m_2 \cos \omega_2 t) \cos \omega_2 t \\ i_3 &= I_3(1 + m_3 \cos \omega_3 t) \cos \omega_3 t \end{aligned} \tag{2}$$

式中,  $I_1, I_2, I_3$  为三载波幅值,  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  为三载波频率,  $m_1, m_2, m_3$  为调制度,  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  为调制信号频率。将  $i_1, i_2, i_3$  代入  $P = a_3 I^3$ ,展开得到表 1 所示的结果。

Table 1 Input and output signal relation

third harmonic wave	$a_3(i_1^3 \cos^3 \omega_1 t + i_2^3 \cos^3 \omega_2 t + i_3^3 \cos^3 \omega_3 t)/4$
two inter-modulating signal of third harmonic wave	$3 a_3 i_1^2 i_2 [\cos(2 \omega_1 + \omega_2) t + \cos(2 \omega_1 - \omega_2) t]/4 + 3 a_3 i_1^2 i_3 [\cos(2 \omega_1 + \omega_3) t + \cos(2 \omega_1 - \omega_3) t]/4 + 3 a_3 i_2^2 i_3 [\cos(2 \omega_2 + \omega_3) t + \cos(2 \omega_2 - \omega_3) t]/4$
three inter-modulating signal of third harmonic wave	$3 a_3 i_3^2 i_1 [\cos(2 \omega_3 + \omega_1) t + \cos(2 \omega_3 - \omega_1) t]/4 + 3 a_3 i_3^2 i_2 [\cos(2 \omega_3 + \omega_2) t + \cos(2 \omega_3 - \omega_2) t]/4 + 3 a_3 i_1 i_2 i_3 \cos[(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) t]/2 + 3 a_3 i_1 i_2 i_3 \cos[(\omega_2 + \omega_3 - \omega_1) t]/2 + 3 a_3 i_1 i_2 i_3 \cos[(\omega_1 + \omega_3 - \omega_2) t]/2 + 3 a_3 i_1 i_2 i_3 \cos[(\omega_1 - \omega_2 - \omega_3) t]/2$

展开表 1 中二信号互调的第一项得到如下结果 (其中,  $\omega_4 = 2 \omega_1 + \omega_2$ ):

$$3/4 a_3 I_1^2 I_2 \{ (1 + m_1^2/2) (1 + m_2 \cos \omega_2 t) \cos \omega_4 t + 2 (1 + m_1 \cos \omega_1 t) \cos \omega_4 t + m_1/2 (1 +$$

$$m_2 \cos(\omega_2 t) \cos(\omega_4 t + m_1 [1 + m_2 \cos(\omega_2 - \omega_1) t]) \cos(\omega_4 t + m_1 [1 + m_1 \cos(\omega_2 + \omega_1) t]) \cos(\omega_4 t + m_1^2 / 4 [1 + m_2 \cos(2\omega_1 + \omega_2) t]) \cos(\omega_4 t + m_1^2 / 4 [1 + m_2 \cos(2\omega_1 - \omega_2) t]) \cos(\omega_4 t - (2 + 5/2 m_1^2) \cos(\omega_4 t) \}$$

展开表 1 中其它二信号互调项与三信号互调项,可得到基本类同的表达式。分析展开式可以得到如下结论:(1)由载波信号的频率线性组合而形成的三阶互调干扰信号频率  $\omega_4$  的幅值与  $a_3$  成正比。(2)互调信号不但受到载波调制信号  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  的调制,而且受载波幅值  $i_1, i_2, i_3$  的影响,特别是其中还含有高次项  $i_1^2, i_2^2$ ,只要  $I_1, I_2, I_3$  稍微变化,  $\omega_4$  的幅值将发生很大的变化。(3)互调干扰信号的强度与调制度  $m_1, m_2, m_3$  密切相关。(4)互调信号由 7 种调幅波组成,其谱线共有 15 条,分布在  $\omega_4 \pm (\omega_1 = \omega_2 = \omega_3)$  之间,且其频谱较宽,可能会干扰多个频道。

## 2 实 验

由以上分析可知:要减少三阶互调干扰,必须选择  $a_3$  小的半导体激光器;同时选择较小的幅值  $I_1, I_2, I_3$  和较小的调制度  $m_1, m_2, m_3$ 。而光通信系统要求必须满足一定的信噪比,要求调制时有较大的幅值  $I_1, I_2, I_3$  和较大的调制度  $m_1, m_2, m_3$ ,因此就存在一对矛盾。

为解决这一矛盾,我们在发射端加入预畸变器的方法,如图 3 所示。

其基本原理为:当信号电压增大时,预畸变电路使流经半导体激光器的电流更快的增长,用于抵消由于半导体在电流增大时,光强增大比例比电流增大比例小的非线性变化,共同作用后,使输出光强随输入信号成线性变化。这样使通信系统既减少了互调干扰信号,又满足了信噪比的要求。并且通过对半导体激光器的  $P-I$  特性的测量,我们选择了非线性系数比较小的 SHARP 公司的 TO21MD 半导体激光器作为光源,采用图 3 所示的通信系统,能得到良好的图像通讯,完全能满足收视需要。

## 3 结 论

我们首先从测量半导体激光器的  $P-I$  特性曲线入手,用最小二乘法对实验曲线进行拟合,得出  $P-I$  解析表达式,着重分析了载波互调三阶非线性失真,得到了载波互调三阶非线性失真与半导体激光器、调制信号之间的关系。并采用预畸变的方法,减少了半导体激光器的二阶、三阶非线性失真,使半导体激光器光强的变化与调制信号成线性关系,成功地实现了光载多路彩色电视信号的通信,在光通讯中具有一定的意义。

### 参 考 文 献

- 1 Latu K Y, Yariv A. A P L, 1981;45(10):1034~1036
- 2 Darcie T E, Xeer X L. Electron Lett, 1985;21(16):665~666
- 3 Wang S J, Ma T L. Electron Lett, 1989;25(13):850~852
- 4 Kao L Y. Journal of Lightwave Technology, 1992;10(21):235~243

\* \* \*

作者简介:简献忠,男,1969年11月出生。硕士,讲师。现从事物理教学及量子光学、光电检测等方面的研究工作。

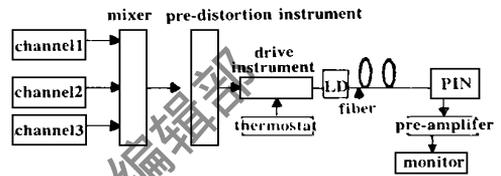


Fig. 3 Optical communication system of multi-channel color TV signal