

率随腔长增加而下降,方向性随腔长增加而得到改善,因此随着腔长不断增加,输出激光的方向性受 ASE 方向性的影响逐渐变大,当腔长增加到一定值后,发散角开始由小变大。

由于透镜 L_2 口径有限($\phi 100\text{mm}$),所以当腔长大于 5m 后,由于 ASE 的发散角较大,照射到透镜的光束口径已大于 $\phi 100\text{mm}$,故而出现了当腔长为 7.3m 时发散角又有变小的趋势。实验结果表明,用增加腔长的方法来改善光束方向性是有限的。理

想的方案是采用非稳腔^[4]。

参 考 文 献

- 1 李世芳 *et al.*, 光学学报, 6(7), 585 (1986)
- 2 M. Amit *et al.*, *Opt. Commun.*, 62 (2), 110 (1987).
- 3 激光物理学,上海人民出版社,1975
- 4 K. I. Zemskov *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, 4(4), 474(1974).

电光调制的频谱特性—I. 外腔调制

代 伐 冯志超

(成都电讯工程学院应用所)

Spectral analyses of electrooptic modulation—I. External modulation

Dai Fa, Feng Zhichao

(Chengdu Institute of Radio Engineering, Chengdu)

提要: 从外腔电光耦合调制输出光场振幅和光场强度的频谱展开出发,研究了外腔电光调制的调制方式。引入相对谐波畸变,得出了电光调制在不同直流偏压下,可近似为振幅调制和强度调制的条件。实验结果与理论分析相一致。

关键词: 外腔电光调制

一、引 言

本文以一典型的外腔电光耦合调制为对象,从输出光场振幅和强度的频谱展开出发,研究了外腔电光调制的调制方式,得出了电光调制在不同直流偏压下,可近似为 AM 或 IM 的条件。在 CO_2 激光器上,用 CdTe 做电光晶体,进行了外腔调制实验,得到了与理论分析一致的结果。

二、理论分析

耦合型的外腔电光调制如图 1 所示。激光器的输出光束,经过一布儒斯特窗偏振片起偏后,呈平行线偏振光,以功率 P_0 入射到电光晶体上。当晶体两端加上电压后,入射偏振光在晶体内分解成 o 光和 e 光。它们通过晶体时受到的相位延迟不同,线偏光变为椭圆偏振光。从晶体出射的光束经全反平面

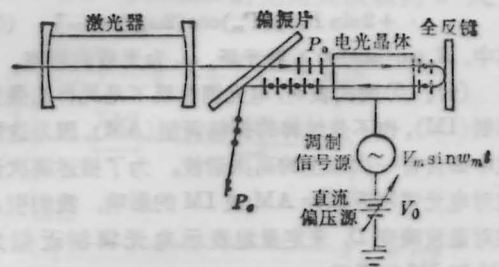


图 1 耦合型的外腔电光调制

镜反射后,再次进入电光晶体,获得双程相位延迟。最后,出射光的垂直分量经布氏窗耦合后得到输出线偏光 P_0 。若晶体上加调制信号,则耦合输出的光信号就会跟随调制信号而变化,于是便实现了激光的耦合调制。它的优点在于起偏和检偏器合一,且光束两次通过电光晶体,得到双程位相延迟,因而只需相当于其它类型外腔电光调制一半的驱动电压和

四分之一的驱动功率。

显然, 耦合输出光功率 P_c 应与入射光功率 P_o 、线偏光中水平分量转换为垂直分量的多少, 以及布氏窗片材料的耦合系数 η 有关, 即

$$P_c = \eta \cdot P_o \cdot \sin^2 \Gamma \quad (1)$$

其中, Γ 是单程相位延迟。若晶体上同时加上直流偏压 V_o 和交流调制信号 $V_m \sin \omega_m t$, 则

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{\pi}{V_\pi} (V_o + V_m \sin \omega_m t) \\ &= \Gamma_o + \Gamma_m \sin \omega_m t \end{aligned} \quad (2)$$

式中, V_π 为晶体的半波电压 Γ_o , 和 Γ_m 分别为直流和交流电压产生的相位延迟; ω_m 为调制信号的频率。注意到激光器的输出 P_o 与调制信号无关, 为一恒定量, 再运用正弦函数的频谱展开式

$$\begin{cases} \cos(\delta \sin \omega t) = J_0(\delta) + 2J_2(\delta) \cos 2\omega t \\ \quad + 2J_4(\delta) \cos 4\omega t \\ \sin(\delta \sin \omega t) = 2J_1(\delta) \sin \omega t + 2J_3(\delta) \sin 3\omega t \\ \quad + 2J_5(\delta) \sin 5\omega t, \end{cases} \quad (3)$$

则可将(1)式展开成频谱分量

$$\begin{aligned} P_c &= \eta P_o \left[\frac{1}{2} (1 - \cos(2\Gamma_o)) J_0(2\Gamma_m) \right. \\ &\quad + \sin(2\Gamma_o) J_1(2\Gamma_m) \sin(\omega_m t) \\ &\quad \left. - \cos(2\Gamma_o) J_2(2\Gamma_m) \cos(2\omega_m t) + \dots \right] \quad (4) \end{aligned}$$

式中, $J_n(\delta)$ 为第 n 阶贝塞尔函数。同样, 耦合输出光场振幅的频谱展开为

$$\begin{aligned} E_c &= \sqrt{\eta} E_o \sin(\omega_c t) \sin \Gamma \\ &= \sqrt{\eta} E_o \sin(\omega_c t) [\sin \Gamma_o J_0(\Gamma_m) \\ &\quad + 2 \cos \Gamma_o J_1(\Gamma_m) \sin(\omega_m t) \\ &\quad + 2 \sin \Gamma_o J_2(\Gamma_m) \cos(2\omega_m t) + \dots] \quad (5) \end{aligned}$$

其中, $E_o \sin(\omega_c t)$ 为入射光场, ω_c 为光载波频率。

(4)、(5)两式表明, 电光调制既不是纯粹的强度调制(IM), 也不是纯粹的振幅调制(AM), 因为这两式中都含有一次以上的高次谐波。为了描述高次谐波对电光调制近似为 AM 或 IM 的影响, 我们引入相对谐波畸变 D , 来定量地表示电光调制近似为 AM 和 IM 的误差。

$$D = \frac{\sqrt{S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + \dots}}{S_1} \quad (6)$$

式中, $S_n (n=1, 2, \dots)$ 分别为第 n 次谐波的振幅。一般光通讯系统采用的高频电光调制, 调制驱动电压 V_m 都不便加得太高, 可以认为 $\Gamma_m < 0.1 \text{ rad}$ 。因而贝塞尔函数可近似为:

$$\begin{cases} J_0(\Gamma_m) \approx 1, J_1(\Gamma_m) \approx \Gamma_m/2 \\ J_2(\Gamma_m) \approx \Gamma_m^2, J_3(\Gamma_m) \approx \Gamma_m^3 \end{cases} \quad (7)$$

将(4)式代入(6)式, 由于 Γ_m 很小, 二次以上谐波的影响可以忽略, 则 IM 的误差近似为

$$\begin{aligned} D_{IM} &= \sqrt{16\Gamma_m^2 \text{ctg}^2(2\Gamma_o) + 64\Gamma_m^4 + \dots} \\ &\approx \left| 4\Gamma_m \text{ctg} \left(\frac{V_\pi}{V_p} \Gamma_o \right) \right| \quad (8) \end{aligned}$$

式中, V_p 为晶体的 1/4 波电压 $V_p = \frac{1}{2} V_\pi$ 。同样, 由(5)式和(6)式可得外腔调制近似为 AM 的误差

$$\begin{aligned} D_{AM} &= \sqrt{4\Gamma_m^2 \text{tg}^3 \Gamma_o + 4\Gamma_m^4} \\ &\approx \left| 2\Gamma_m \text{tg} \left(\frac{V_\pi}{2V_p} \Gamma_o \right) \right| \quad (9) \end{aligned}$$

以上近似即使在某些直流偏压点有 $\text{tg}^2(2\Gamma_o) < 4\Gamma_m^2$, 或者 $\text{tg}^2 \Gamma_o < \Gamma_m^2$, 也不会影响此时 $D_{IM}, D_{AM} \rightarrow 0$ 的结果。由(8)和(9)式, 可以绘出相对谐波畸变 D 随直流偏压变化的趋势, 如图 2 所示, 从图可得到如下分析结论: (i) 当直流偏压很小时, 电光调制输出的振幅谱基本上只含一次谐波, 因而能够近似为 AM, 可采用外差探测; 而输出的功率谱则主要是二次谐波, 因而不能近似为 IM, 此时若采用直接探测, 只能得到倍频失真信号; (ii) 当直流偏压增大, 但仍小于晶体 1/4 波电压 V_p 时, 外调制输出振幅谱和功率谱都基本上只含一次谐波, 因而既能看成 AM, 又能近似为 IM, 此无论采用外差还是直接探测, 都能得到失真度较小的解调信号。特别是, 当 $V_o \approx \frac{1}{2} V_p$ 时, 有 $D_{IM} \approx 0$, 因而直接探测相应的调制最佳工作点应选在 $V_o \approx \frac{1}{4} V_\pi$ 处; 相应的 $V_o \approx 0$ 时, 有 $D_{AM} \approx 0$, 因而外差探测的最佳调制工作点则应选在零直流偏压附近, 此时电光调制成为抑制载波的双边带调制; (iii) 当直流偏压加到 1/4 波电压附近时, 外调制的功率谱和振幅谱都主要含有二次谐波分量, 因而不能近似为 AM 或 IM, 此时采用外差或直接探测都只能得到失真的倍频信号; (iv) 直流偏压从 $V_p \sim V_\pi$ 又重复 $0 \sim V_p$ 的变化过程, 因而有类似结论。实际应用时, 没有必要加如此高的直流偏压。

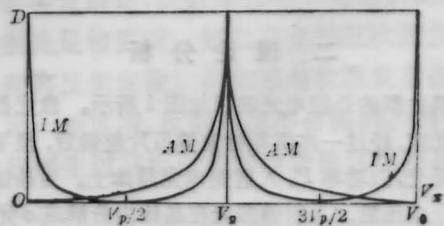


图 2 外腔电光调制的相对谐波畸变

三、实验结果

我们采用一 $3 \times 3 \times 50 \text{ mm}^3$ 的 CdTe 光电晶体在一放电长度为 60 cm 的外腔式 CO_2 激光器上进行了外腔耦合电光调制实验, 对以上分析进行了实验验证。实验装置如图 3 所示。分束片 Z_1 、合束片 Z_3 , 及布氏窗片 Z_2 均为 ZnSe 片。 R_1 和 R_2 为镀金全反射平面镜。光电晶体驱动电源为一 2W 的高功率信号源, 有时也采用 50 Hz 市电低频交流信号。光电探测器为一响应频率 $> 200 \text{ MHz}$ 的 HgCdTe 探测器, 解调信号经一带宽 $> 300 \text{ MHz}$ 的低噪声放大器(增益约 50 dB) 放大后, 显示在一台 100 MHz 示波器上。为了实现外差探测, 从激光器输出的光束在 Z_1 被分为两束, 本振光经过一可移开的挡光板 P_0 后在 Z_2 与被调制信号光合为一束。经细致调整两束光的平行度并使之完全重叠入射到探测器上, 则可得外差探测。当挡光板挡住本振光而只有信号光入射到探测器上时, 则得到直接探测。对于比较加不同直流偏压时, 外差和直接探测的解调波形非常方便。

图 4 中给出了几张实验拍摄的外腔电光调制的典型解调波形。输入调制信号峰值 100 V。在零直

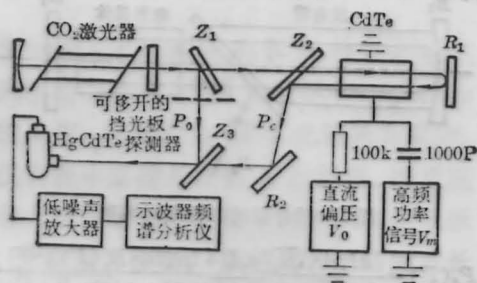


图 3 实验装置图

(上接第 158 页)

4.2. 测量精度分析

由于激光束的反馈会使稳频塞曼激光器工作不正常, 甚至失锁。为避免发生这种情况, 在干涉仪光路调节时, 有意使入射激光束稍稍偏离正入射方向(相对反射镜片) θ 角度, 我们将讨论这种偏离带来的影响, 同时也讨论一下工作点抖动引起的误差。

设偏离正入射方向为 θ 角, (3) 式应改为:

$$\phi_m = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \cos \theta x(t).$$

若工作点抖动引起相位偏差为 $\Delta\phi$, (2) 式应

流偏压点, 采用外差探测得到与输入信号频率一致的不失真解调, 而采用直接探测则只能得到两倍频率的失真解调(即上翻失真达到最大)。如果加大直流偏压, 则上翻失真减小, 继续加大偏压, 则可完全消除上翻失真, 得到不失真的解调。图 4(d) 中上翻成为下凹, 是由于 HgCdTe 探测器输入与输出反相的缘故。图 4 表明理论分析和实验现象吻合较好。在另一些直流偏压点, 我们也拍摄了类似的解调波形, 得到了与理论相一致的结果。

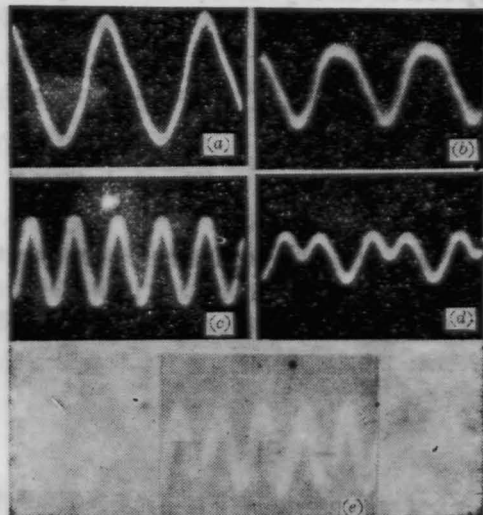


图 4 外腔电光调制分别采用外差探测和直接探测时的解调波形比较

(a) 调制输入信号, $V_m = 100 \text{ V}$; (b) 外差探测信号 $V_0 = 0$, 不失真; (c) 直接探测信号, $V_0 = 0$, 倍频失真; (d) 直接探测信号 $V_0 = 50 \text{ V}$, 畸变; (e) 外差或直接探测信号 $V_0 = V_m/2 = 1600 \text{ V}$, 倍频失真

(收稿日期: 1987 年 9 月 14 日)

改为 $\phi_0 = 2n\pi \pm \frac{\pi}{2} + \Delta\phi$ 。考虑上述修正后, (5) 式改为:

$$x_{0\min} = \frac{\lambda V_{\min}}{4\pi V_0 \gamma K \cos \Delta\phi \cos \theta} \quad (6)$$

实验中调节 $\theta \approx 0.5^\circ$, 引起的偏差为 4×10^{-5} , 因此可以忽略。工作点锁定后, 相位偏离 $\Delta\phi$ 约为 1° , 引起的误差为 1.5×10^{-4} , 也可忽略。而伺服环路开环时, 工作点抖动引起的 $\Delta\phi > 50^\circ$, 误差大于 50%, 所以锁定干涉仪后, 测量准确度大大提高。

参 考 文 献

- 1 Ohtsuka et al., Appl. Opt., 18(2), 219(1979)
- 2 汤俊雄 et al., 中国激光, 待发表