

电光调制的频谱特性—II. 内腔调制

代 伐 冯志超

(成都电讯工程学院应用所)

蒲文嘉

(建材总局成都建材设计研究院)

Spectral analyses of electrooptic modulation—II. Internal modulation

Dai Fa, Feng Zhichao

(Chengdu Institute of Radio Engineering, Chengdu)

Pu Wenjia

(Chengdu Institute of Building Materials, Chengdu)

提要: 从内腔电光耦合调制输出光场振幅和光场强度的傅里叶展开出发, 研究了内腔电光调制的频谱特性。数值计算得出了内腔电光调制输出功率谱和振幅谱的各次谐波幅度, 以及不同直流偏压下的调制深度。采用 CdTe 晶体, 进行了 CO₂ 激光的内腔电光调制实验, 得到了与理论分析一致的结果。

关键词: 内腔电光调制

一、引 言

本文将基于内腔电光调制输出光场振幅和强度的傅里叶展开, 给出其输出功率谱和振幅谱的各次谐波的一般表达式。并对一具体的调制系统进行数值求解, 得到了可供工程查用的各阶谐波幅度值。首次给出了内腔调制输出各次谐波幅度与交流及直流位相延迟的关系曲线。同时也给出了调制度和相对谐波畸变与直流位相延迟的关系, 从而得到了内腔电光调制在不同直流偏压下, 可近似为 AM 或 IM 的条件。利用一 CdTe 晶体, 进行了 CO₂ 激光的内腔电光调制实验, 得到了与理论分析一致的结果^[1]。

二、一般公式

耦合型的内腔电光调制是在外腔调制的基础上, 将调制器置于激光腔内, 如图 1 所示。此时, 外腔调制耦合输出公式中的入射光功率 P_0 应由腔内循环功率 P_i 来代替。 P_i 不仅与放电管尺寸、增益及腔结构有关, 还与置入腔内的调制器及其上所加的电压有关, 即 P_i 也是调制位相延迟 Γ 的函数, 于是

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

式中, 位相延迟仍包括交流与直流两部分, η 仍为布氏窗片的耦合系数。腔内置入调制晶体后, 腔内循环功率与位相延迟的关系^[2]为



图 1 耦合型的内腔电光调制

$$P_i(\Gamma) = \frac{kI_s A \sqrt{K_c} [g_0 L + \ln(R_c \cdot R_e(\Gamma))^{1/2}]}{(\sqrt{K_c} + \sqrt{R_e(\Gamma)}) (1 - \sqrt{K_c} \cdot R_e(\Gamma))} \quad (2)$$

式中, A 为放电管横截面面积; I_s 为饱和强度; $k=0.8$; $g_0 L$ 为放电管的小信号增益。由于置入调制晶体后, 腔结构一般接近半共心, 因而用一般经验公式计算 $g_0 L$ 容易出现误差, 我们采用了实验测量的方法得到 $g_0 L$ 值^[2]; 公式中 R_c 和 R_e 分别为凹面腔镜和平面腔镜端的等效反射率, 与谐振腔两端的衍射损耗、腔镜的吸收散射损耗、调制晶体的反射和吸收损耗以及调制的输出损耗有关^[2,3], 且 R_e 正比于 $\cos^2 \Gamma$ 。

从(1)式可见, 分析内腔电光调制的频谱, 不能简单地从 $\sin^2 \Gamma$ 的频谱展开来得到, 它还包含了一个复杂的 $P_i(\Gamma)$ 关系式。这使问题变得比外腔调制要困难许多。借助于傅里叶频谱分析的方法, 可将内腔电光调制耦合输出光功率表示为

$$P_c = a_c/2 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_m t) + b_n \sin(n\omega_m t)] \quad (3)$$

其中, 傅里叶展开系数由下式给出

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_c(\omega_m t) \cos(n\omega_m t) d(\omega_m t), \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (4)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_c(\omega_m t) \sin(n\omega_m t) d(\omega_m t), \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

于是, 调制输出光场强度频谱的第 n 次谐波振幅为

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (6)$$

而 P_c 和 E_c 展开为

$$P_c = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \cos(n\omega_m t + \varphi_n) \quad (7)$$

$$E_c = \sqrt{P_c(\omega_m t)} = \sum_{n=0}^{\infty} c'_n \cos(n\omega_m t + \varphi'_n) \quad (8)$$

其中, 傅里叶系数 c'_n 由下式确定

$$c'_n = \sqrt{a_n'^2 + b_n'^2} \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (9)$$

$$a_n' = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{\eta P_i(\omega_m t)} \cdot \sin \Gamma \times \cos(n\omega_m t) d(\omega_m t) \quad (10)$$

$$b_n' = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{\eta P_i(\omega_m t)} \cdot \sin \Gamma \times \sin(n\omega_m t) d(\omega_m t) \quad (11)$$

这样, 代入调制系统的具体参数, 联立以上方程, 就可对任意内腔电光调制系统进行数值求解, 得到输出频谱的各次谐波振幅。

三、谐波振幅的数值求解

针对我们的实验调制系统, 计算了内调制输出光场强度及光场振幅频谱展开的 $0 \sim 5$ 次谐波振幅。其结果示于图 2 及图 3。图中 V_p 为对应于最大耦合输出的直流偏压, 即图中直流分量 c_0 和 c'_0 的峰值点所对应的直流偏压。图中理论曲线的参数取值如下: $A=40.2 \text{ mm}^2$, $I_s=112.5 \text{ W/cm}^2$, $g_0 L=0.52$, $R_o=0.7433$, $R_s=0.8293 \cos^2 \Gamma$, $\eta=50\%$ 。实验中, 我们用 $-3 \times 3 \times 50 \text{ mm}^3$ 的 CdTe 电光晶体, 半波电压 3180 kV , 置于一放电长度 60 cm 、腔长 90 cm 的半内腔式 CO_2 激光器中。探测端分别采用直接和外差探测方式, 以响应调制光场的强度和振幅。解调后的信号用一台 BP-9 频谱分析仪测得其直流分量、基波和二次谐波的实验值, 示于同一图中。实测值与理论曲线吻合较好。而且在直流偏压 $V_o = V_p$ 处, 频谱的直流分量出现峰值而基波出现凹陷; 在 $V_o \approx \frac{1}{2} V_p$ 处, 强度谱的二次和四次谐波都有凹陷产生,

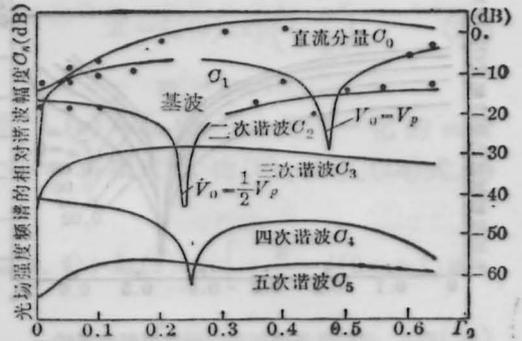


图 2 $\Gamma_m=0.06$ 时, 内腔电光调制输出光场强度频谱的谐波幅度与直流位相延迟的关系。实线为理论曲线, “·”为实验测量值

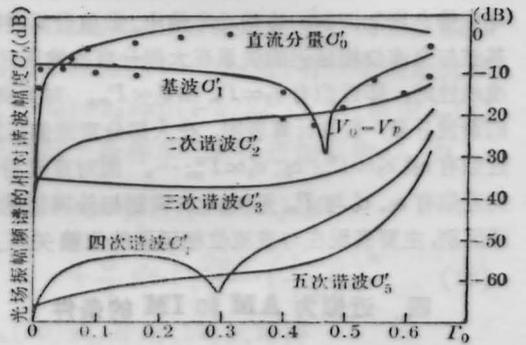


图 3 $\Gamma_m=0.06$ 时, 内腔电光调制输出光场振幅频谱的谐波幅度与直流位相延迟的关系。实线为理论曲线, “·”为实验测量值

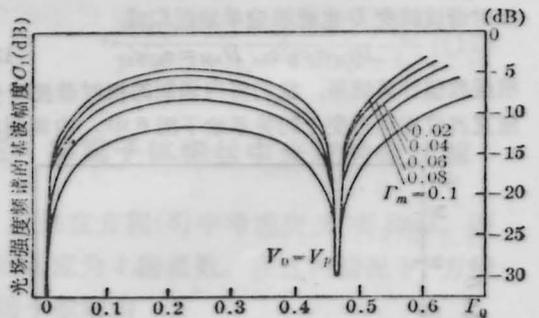


图 4 内腔电光调制输出光场强度频谱的一次谐波分量与交流位相延迟 Γ_m 和直流位相延迟 Γ_0 的关系曲线

振幅谱则只有四次谐波出现凹陷。

对谐波振幅随交流位相延迟变化的关系, 也进行了数值求解。将调制有用信号分量, 即基波分量的求解结果绘于图 4 及图 5 中。其它谐波分量与交流位相延迟的关系与之类似。可以看出, 无论对光场振幅还是光场强度的频谱, 基波幅度都随交流位相延迟 Γ_m 的增加而增加。即调制有用边带信号幅

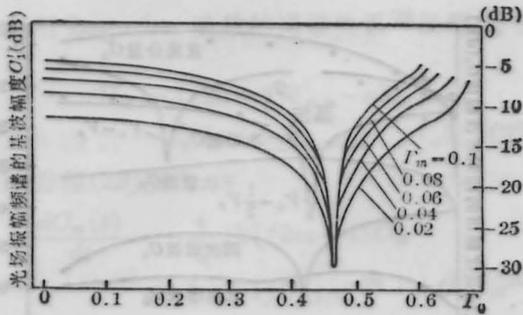


图5 内腔光电调制输出光场振幅频谱的一次谐波分量与交流位相延迟 Γ_m 和直流位相延迟 Γ_0 的关系曲线

度随调制驱动电压 V_m 的增加而增加,因而加大驱动电压势必增加调制的边带功率输出。数值计算表明,基波与交流位相延迟的关系在大部分直流偏压区是准线性的,即近似有 $c_1 \propto \Gamma_m$ 和 $c'_1 \propto \Gamma_m$ 。对更高次的谐波分量,数值计算表明,在大部分直流偏压区,近似有 $c_2, c'_2 \propto \Gamma_m^2$; $c_3, c'_3 \propto \Gamma_m^3$; ...。而对直流分量则近似有 a_0, c'_0 与 Γ_m 无关。内调制与外调制的频谱区别,主要表现在与直流位相延迟的依赖关系上。

四、近似为AM和IM的条件

从图2和图3可以看出,由于高次谐波的存在,内腔光电调制既不是纯粹的振幅调制(AM),也不是纯粹的强度调制(IM)。然而图中二次以上谐波的影响仍然很小,可忽略。类似于外腔调制,内调制的相对谐波畸变 D 也能够简单地近似成

$$D_{IM} \approx c_2/c_1, D_{AM} \approx c'_2/c'_1 \quad (12)$$

根据数值计算结果,我们将内调制的相对谐波畸变随直流位相延迟变化的关系绘于图6中。内调制在

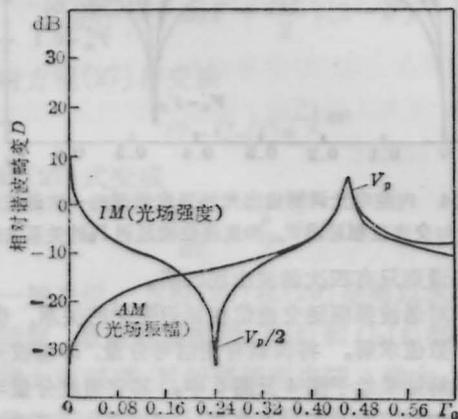


图6 内腔光电调制的相对谐波畸变与直流位相延迟的关系

V_p 处没有高到无穷大,在 $\frac{1}{2}V_p$ 附近也没有小到无穷小。另外,内调制输出特性曲线在横轴方向向负方向压缩,即内调制比外调制所需驱动电压要小得多。

类似于外调制,我们得到内腔调制近似为AM或IM的条件如下:(i)零直流偏压附近, $\Gamma_0 \approx 0, D_{IM} \rightarrow \infty, D_{AM} \rightarrow 0$ (~ -55 dB),此时内调制不能近似为IM,但却能很好地近似为AM,且近似误差最小。因而,外差探测的直流工作点最好选在零直流偏压点;(ii)当 $\Gamma_0 > \sim 0.03$ (对 $\Gamma_m \approx 0.06$)时, $D_{IM} < -3$ dB,光电调制能够近似为IM,也能近似为AM;(iii)当 Γ_0 选在 $\frac{1}{2}V_p$ 附近时, D_{IM} 最小(~ -34 dB),此时内调制近似为IM的程度最好。因而,直接探测的直流工作点最好选在 $\frac{1}{2}V_p$ 处;(iv) Γ_0 在 V_p 附近时, $D_{IM}, D_{AM} > -3$ dB,内调制既不能近似为AM,也不能近似为IM;(v) Γ_0 稍大于 V_p 点后,内调制基本能够近似为AM或IM,与外调制不同,内调制在大于 V_p 点以后的边带功率输出(基波振幅)比小于 V_p 点时稍大些,而外调制在 V_p 点两端表现出完全对称的特性。

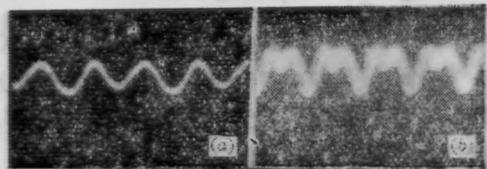


图7 直接探测时,内腔光电调制的解调波形
(a) $V_0 = 240$ V, 即 $\Gamma_0 \approx \frac{1}{2}V_p$ 时,不失真;
(b) $V_0 = 450$ V, 即 $\Gamma_0 \approx V_p$ 时,失真

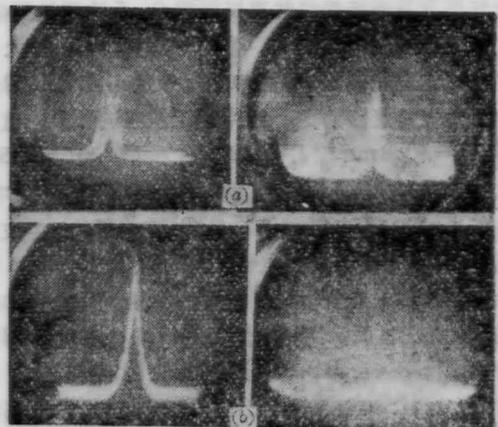


图8 直接探测时,内腔光电调制的频谱照片
(左为基波,右为二次谐波)
(a) $\Gamma_m = 0.06, \Gamma_0 = 0.05$ 时,二次谐波幅度较大;
(b) $\Gamma_m = 0.06, \Gamma_0 = 0.25$ 时,二次谐波淹没于噪声中

对此我们进行了实验验证。图7是直接探测得到的解调波形,图8则是直接探测后在频谱分析仪上得到的频谱照片。这些结果皆与理论分析相吻合。

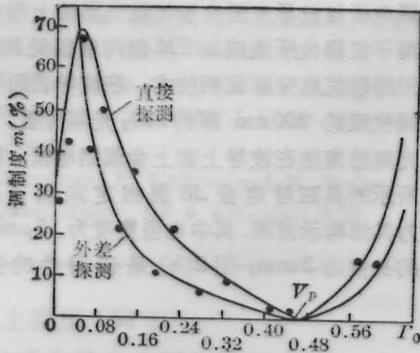


图9 内腔电光调制的调制度与直流位相延迟的关系。实线为理论曲线,“·”为实验值

五、调制度与 Γ_0 的关系

当电光调制近似为 AM 或 IM 时,定义其调制度 m 为基波幅度与直流分量的比,即调制有用信号在整个调制光输出中所占的比例,于是

$$m_{IM} \equiv c_1/c_0, \quad m_{AM} = c'_1/c'_0 \quad (13)$$

根据数值求解,给出内调制的调制度与直流相位延迟的关系如图9。

参 考 文 献

- 1 代伐,曾昭信,中国激光,13(9),559(1986)
- 2 曾昭信,代伐,成都电讯工程学院学报,16(1),48(1987)
- 3 代伐 *et al.*, 中国激光,14(6),380(1987)

(收稿日期:1987年9月14日)

钛扩散铌酸锂波导多电极 $\Delta\beta$ 倒相定向耦合器

汤小泓 陈 铮 蔡伯荣

(成都电讯工程学院光电子技术系)

Ti-LiNbO₃ channel waveguide switched directional coupler with alternating $\Delta\beta$

Tang Xiaohong, Chen Zheng, Cai Borong

(Department of Opto-Electronics Technology, Chengdu Institute of Radio Engineering, Chengdu)

提要: 本文报道了我们研制的四对电极的定向耦合器。利用电极连接的不同方式,分别测试了一对电极、两对电极和四对电极三种工作状态下器件的工作特性。采用四对电极工作时,器件实现了交叉和直通两种工作状态的电调制。

关键词: 多电极定向耦合器

前 言

功耗低、调制度高、调制带宽以及体积小、重量轻、便于集成等优点,使集成光学沟道波导电光调制器/开关在单模大容量光纤通信和光传感技术等领域中有着广泛的应用前景。近十年来,这类器件的研究和开发一直为人们所关注。

双沟道波导定向耦合器,因可获比其它结构调

制器更高的调制度,受到人们的高度重视。最近,国外报道了在通信网络中作为切换开关的定向耦合器阵列^[1]。然而,一般只有一对电极的定向耦合器,将受到器件制备精度和工作波长的限制。要使器件工作于良好的交叉状态,就要求器件耦合区的长度 L 与导模的耦合长度 l 间满足如下关系:

$$L = (2m+1)l \quad m=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

其中,耦合长度 l 是器件波导结构参数和导模波长