

超声驻波光强调制器的调制度测量

于 连 生

(国家海洋局海洋仪器研究所)

提要: 本文给出了一种利用低频调制法测量超声驻波光强调制器的调制度的新方法。利用这种方法, 克服了一般光电测量系统无法同时测量直流与高频交流分量的困难, 可直接在示波器上显示出光电信号的直流分量及一个幅度等于高频交变分量幅度 $\frac{1}{2}$ 的低频讯号, 从而可利用调制度的原始定义计算调制度。

Measurement of percentage modulation for ultrasonic standing wave light intensity modulator

Yu Liansheng

(Institute of Oceanographic Instruments, National Bureau of Oceans)

Abstract: A new method is introduced for the measurement of percentage modulation for ultrasonic light intensity modulator by means of low frequency modulation. Difficulties arising from conventional photo-electric measurement systems in the simultaneous measurement of D. C. and H. F. alternative components may be overcome. D. C. components of the photo-electric signals and a low frequency signal whose amplitude equals to 1/2 of the HF alternative components are displayed on an oscilloscope so that the original definition of percentage modulation can be used to calculate its percentage modulation.

一、前 言

光强调制度是衡量光强调制器性能优劣的重要参数之一, 其定义为:

$$M = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

式中, I_{\max} 为光强的瞬时极大值; I_{\min} 为光强的瞬时极小值。如果测出 I_{\max} 及 I_{\min} 即可求得 M 。目前对于光讯号的检测一般采

用光电法。如果是高频调制光, 为了测量调制度 M , 则要求光电系统从直流到高频交流分量有相同的光电转换系数。众所周知, 得到这样的系统是困难的。为了克服这一困难, 本文根据拉曼-乃斯的简单理论^[1], 对超声驻波光强调制器的调制度问题作了分析, 提出了一种利用低频调制法测量超声驻波光强调制器调制度的新方法。利用这种方法, 对 ZF-6 玻璃声光介质, $x0^\circ$ 切石英晶体换

收稿日期: 1979年5月7日

能器做成的调制器进行了测量。测量结果与拉曼-乃斯的理论符合很好。在拉曼-乃斯参数 $\Delta\phi_0$ 接近 2.405 时, 零级谱的调制度可达百分之百。而高级谱的调制度始终为百分之百。

二、基本原理

超声驻波光强调制器如图 1 所示。图 1 中当 L 满足 $L = n \frac{\lambda}{2}$ ($n=1, 2, 3, \dots$, λ 为声波波长) 时, 换能器发射的超声波进入声光介质, 在介质内形成驻波。入射激光束垂直于声波传播方向通过介质时产生衍射。根据拉曼-乃斯的简单处理, 由声光介质中的超声驻波产生的各级衍射光束的强度分布可表示为^[2]:

$$I_k = C J_k^2(\Delta\phi_0 \cos \omega t) \quad (2)$$

式中 C 为比例常数, J_k 为 k 阶贝塞尔函数, $\Delta\phi_0$ 是由超声驻波引起的光波相位调制幅值, 亦称为拉曼-乃斯参数, ω 为声波角频率。

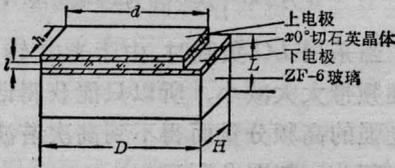


图1 超声驻波光强调制器

各级衍射光的时间平均光强为:

$$\bar{I}_k = C \sum_{r=-\infty}^{+\infty} J_r^2\left(\frac{\Delta\phi_0}{2}\right) J_{r-k}^2\left(\frac{\Delta\phi_0}{2}\right) \quad (3)$$

图 2 绘出了零级及一级衍射光强的图形。

从图 2 可知, 超声驻波光强调制器的最佳工作状态为 $\Delta\phi_0 \leq 2.405$, 即零阶贝塞尔函数的第一个节点之内。在此范围内, 由(2)式可求得零级衍射光强的瞬时极大与瞬时极小值

$$\left. \begin{aligned} I_{\max} &= C \\ I_{\min} &= C J_0^2(\Delta\phi_0) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

将(4)式代入(1)式得:

$$M = \frac{1 - J_0^2(\Delta\phi_0)}{1 + J_0^2(\Delta\phi_0)} \quad (5)$$

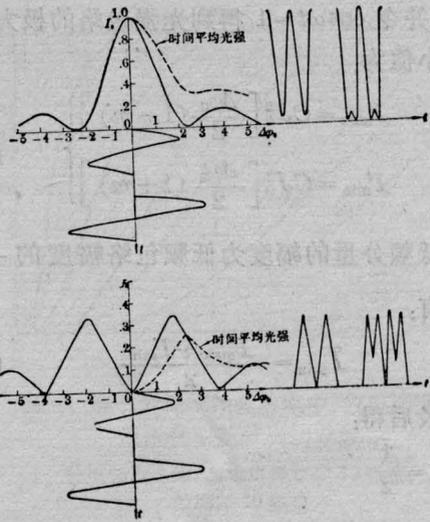


图2 零级与一级衍射光强的理论曲线

如果换能器发射的声波为调幅声波, 则各级衍射光强可表示为如下形式:

$$I_k = C J_k^2 \left[\frac{\Delta\phi_0}{2} (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega t \right] \quad (6)$$

式中 m 为声波的调幅度, ω_m 为声波的调制频率。由(6)式给出的零级衍射光强的理论曲线示于图 3 中。

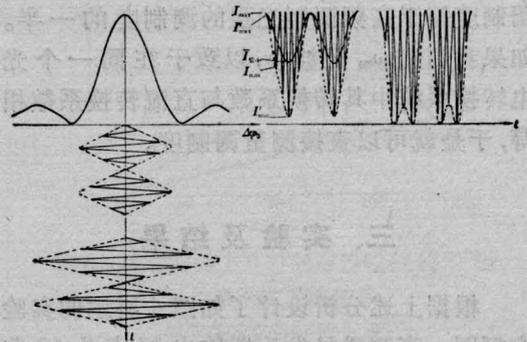


图3 调幅超声波中衍射光强的理论曲线

在 $\Delta\phi_0 \leq 2.405$ 的范围内由(6)式求得零级衍射光强的瞬时极大值及瞬时极小值为:

$$\left. \begin{aligned} I_{\max} &= C \\ I_{\min} &= C J_0^2 \left[\frac{\Delta\phi_0}{2} (1 + m \cos \omega_m t) \right] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7)式表明,光强的各极大值仍为常数,而光强的各极小值受到因子 $m \cos \omega_m t$ 的调制。由(6)式并令 $\cos \omega t = 1$ 得到光强包络的极大值与极小值为:

$$\left. \begin{aligned} I'_{\max} &= C J_0^2 \left[\frac{\Delta \varphi_0}{2} (1-m) \right] \\ I'_{\min} &= C J_0^2 \left[\frac{\Delta \varphi_0}{2} (1+m) \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

由于低频分量的幅度为低频包络幅度的 $\frac{1}{2}$, 因此有:

$$\bar{I}'_{\min} = \frac{I'_{\max} + I'_{\min}}{2} \quad (9)$$

所以最后得:

$$M_m = \frac{1}{2}$$

$$\begin{aligned} & \times \frac{J_0^2 \left[\frac{\Delta \varphi_0}{2} (1-m) \right] - J_0^2 \left[\frac{\Delta \varphi_0}{2} (1+m) \right]}{J_0^2 \left[\frac{\Delta \varphi_0}{2} (1-m) \right] + J_0^2 \left[\frac{\Delta \varphi_0}{2} (1+m) \right]} \end{aligned} \quad (10)$$

式中 \bar{I}'_{\min} 为低频分量的极小值, M_m 为低频分量的调制度。考虑 $m=1$ 的情况, 即声波为百分之百调幅波, 由(10)、(5)得:

$$M = 2M_m \quad (11)$$

这表明,在此情况下,低频调制讯号对光强的调制度等于高频调制光强的调制度的一半。如果我们让 ω_m 足够小,以致于在同一个光电转换系统中其转换系数与直流转换系数相等,于是就可以直接测量调制度。

三、实验及结果

根据上述分析设计了如图4所示的实验方框图。高频讯号发生器输出频率为10兆

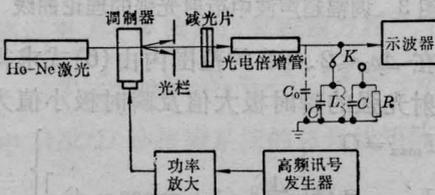


图4 调制度测量方框图

赫的高频电压,经功率放大后驱动换能器,He-Ne激光束经调制器后,衍射光由光电倍增管接收。在光电倍增管的负载回路里接入了 RC 及 LC 两组负载。 LC 回路谐振于20兆赫。 C_0 是回路的分布电容。在光电倍增管本身的交流参数的影响可以忽略的情况下,光电转换系统的响应频率上限由 RC_0 决定。 C_0 一般为十几个微微法。因此在采用电阻负载的情况下,即使 R 只有几十千欧,光电转换系统的响应频率上限也只有 10^7 赫的数量级。而且在光电转换系统可响应的频带范围内,直流分量与上限频率处在负载上提供的光电压将相差 $R\omega C_0$ 倍。在这种情况下,讯号将被噪声所淹没,如图5。

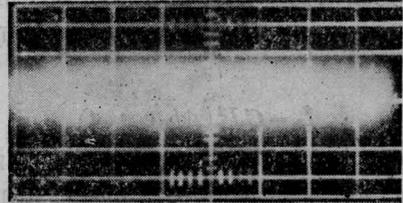
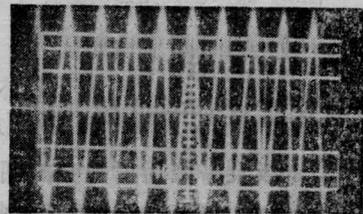
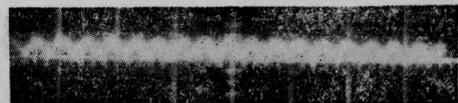


图5 用电阻负载所得到的光电波形
 R 为100千欧 C_0 为20微微法

当采用 LC 负载时,由于光电转换系统的通频带大大减小,所以只能获得谐振频率处光强的高频分量而得不到高次谐波分量及直流部分。如图6所示。



(a) 刚出现五级衍射谱时零级光中20兆周讯号波形



(b) 刚出现六级衍射谱时一级光中40兆周讯号波形

图6 用 LC 负载获得的高频光电讯号

根据第二部分的分析,把高频光强调制讯号再进行低频调制。调制的方法是使图4中的高频讯号发生器输出的电讯号为调幅波。光电倍增管采用RC负载,在示波器上得到直流分量与低频调制讯号波形。如图7所示。图8是由LC负载获得的低频调制后的波形。其包络的频率与低频调制讯号频率相同,为1千赫。其载波频率是声频的二倍为20兆赫。零级衍射光强的完整形状可以由图7与图8的线性迭加来获得。迭加后的波形即为图3中的光强波形。

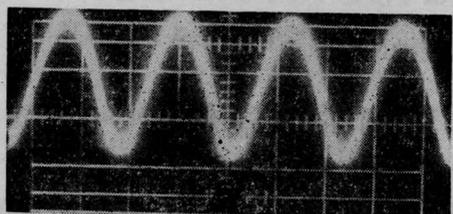


图7 直流分量与低频调制波

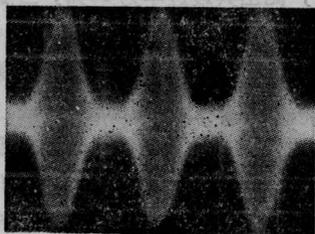


图8 LC负载上经低频调制后的波形

利用图7及公式(1)(11)即可求出调制度M。表1是超声驻波光强调制器调制度的测量结果。与文献[3]所介绍的方法可进行比较。

表1 I#与II#调制器测量结果

衍射谱数	0	1	2	3	4	5	6
调制度 M %	I#	0	3	14	40	85	100
	II#	0	2	14	44	76	100

四、讨 论

(1) 根据第二节的讨论 $\Delta\phi_0 = 2.405$ 时,

二倍声频分量出现极大值。由表2可知,当20兆赫讯号最大时,刚刚出现五级衍射谱。由此可知,在刚刚出现五级谱的范围内即工作于零阶贝塞尔函数的第一个节点之内。而文献[4]给出的结果却为四级,这种差别的原因,可能是由于拉曼-乃斯理论只考虑相位调制而未考虑振幅调制所致^[5]。同时实验条件的不同也可能是造成这一差别的重要原因。

表2 II#调制器测试结果

衍射谱数	0	1	2	3	4	5	6
时间平均光强	1	0.93	0.87	0.66	0.53	0.47	0.33
20兆赫讯号毫伏	0	8	14	160	270	440	240
M %	0	3	14	40	85	100	100

注: II#调制器尺寸为: 换能器尺寸 $l=0.288$ 毫米, $d=10$ 毫米, $h=8$ 毫米; ZF-6玻璃尺寸 $L=32\frac{A}{2}$ ($A=0.37$ 毫米), $D=11$ 毫米, $H=10$ 毫米

(2) 根据拉曼-乃斯理论,超声驻波中的光衍射,其零序衍射光的时间平均光强永不为零,但瞬时光强则完全可以为零。因此调制度可达百分之百,实验结果亦证实此点。麦尔克斯^[6]等人正是把时间平均光强与瞬时光强混为一谈,因此得出了零级衍射光的调制度最大不超过30%的错误结论。

(3) 根据拉曼-乃斯理论,当 $\Delta\phi_0$ 大于2.405时,零级光波形中将出现次峰,由LC负载所得的结果证实了此点。参看图8、图9。图8为刚刚出现五级谱时的情况,图9为五级谱较强时的情况,此时次峰已出现。用

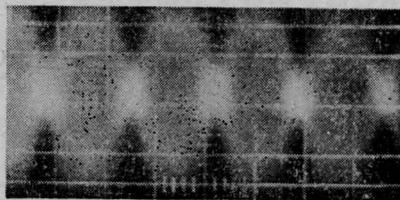


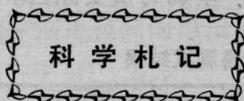
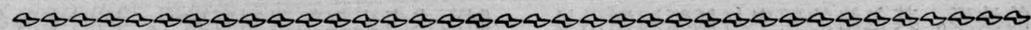
图9 $\Delta\phi_0 > 2.405$ 时20兆赫调制讯号波形

上述方法亦对高级衍射谱进行了测量。测量结果与理论符合很好。

参 考 文 献

[1] 李荫远, 杨顺华;《非线性光学》, 科学出版社, 1974年, 第一版, 第130~137页。

- [2] B. D. Cook, E. A. Hiedemann; *J. Acoust. Soc. Am.*, 1961, **33**, No. 7, 945~948.
[3] 于连生;《激光》, 1979, **6**, No. 6, 33~37.
[4] L. 别尔格曼;《超声》, 国防工业出版社, 1964年, 第一版, 第173页图225。
[5] 同[4], 第169页。
[6] 同[4], 第384~385页。



硅油对 CO₂ 激光器 NaCl 窗口的防潮作用

对小孔耦合输出的 CO₂ 激光器, 需要在小孔反射镜的后面贴一块能透过波长 10.6 微米的红外材料。NaCl 晶体的透过率较好, 但因其空气中极潮解, 所以影响使用。采用硅油作 NaCl 晶体保护膜, 作为窗口使用能够承受较大的功率密度, 且有良好的防潮作用; 缺点是硅油易粘污灰尘, 但由于涂膜方法简便, 可克服这方面的不足。

对抛光的 NaCl 晶体表面, 首先用石油醚进行清洁处理, 去掉表面的其它油类, 然后将一定体积的硅油从量筒中慢慢倒在 NaCl 晶体表面上, 再把表面垂直放置, 让液体受自身的重力作用向下流。多余的液体还流入原量筒, 记下这时的硅油体积。显然, 量筒中硅油的体积减少的数值, 就是留在 NaCl 晶体表面的硅油体积数值, 油流过的面积是已知的, 这样就可计算出硅油在 NaCl 晶体表面的平均厚度。当 NaCl 晶体保持在 13°C 时, 可在其表面得到 0.33 毫米厚的油膜; 保持在 30°C 时, 可得到 0.1 毫米厚的油膜; 保持在 60°C 时, 可得到 0.05 毫米厚的油膜。如果用吹风机对表面上的油吹热风, 可得到 0.01 毫米左右厚的油膜。

在抛光的 NaCl 晶体表面上, 涂上一层约 0.1 毫

米厚的硅油油膜。用 50 瓦的 CO₂ 激光经多次测量, 计算出透过率为 80.1%。若使其油膜厚度为 0.01 毫米左右时, 测出其透过率为 90%, 当油膜厚度再薄时, 其透过率在 90% 以上。

涂有硅油油膜的 NaCl 晶片, 使其温度保持在大于或等于水蒸气的温度, 放到沸腾的水盆上面, 经几分钟后取出, 发现在 NaCl 晶体表面没有任何潮解现象, 表面的光洁度和光学性质均不产生变化, 而采用同样的方法, 把没经涂油的 NaCl 晶体放到水盆上面时, NaCl 晶体表面马上潮解。若使涂油过的 NaCl 晶体的温度小于水蒸汽温度时, 实验结果是 NaCl 晶体表面也仍然潮解; 当把涂油后的 NaCl 晶体放到水中时, NaCl 晶体极易水解。

把涂有油膜的 NaCl 晶体用于激光器上, 经长期使用, 防潮、透光性能良好。

在 CO₂ 激光器中使用时需充进一定压力的水气。使用涂有油膜的 NaCl 晶体做窗口, 经长时间使用没有潮解现象, 硅油在常温和一般真空度下不易挥发, 用于激光器, 对激光器工作寿命在短时间没有显著影响。

(河北大学 陈万湘)