

采用声光调制技术的激光光强稳定系统

侯方源 杨耀文

摘要：本文描述了采用声光调制器作为被动式稳光器件，对SAR光学处理器所用的激光器输出光强进行稳定的一种系统，说明了系统稳光的工作原理，给出了实测结果。

一 前 言

合成孔径雷达(SAR)光学处理器要求相干照明光源——激光器的输出光强波动在±2%以内(稳定性要求计算见附录)。现有国产100mW商品氦氖激光器输出光强的波动高达±10%，显然不能满足该设备的使用要求，因而必须对激光器输出光强采取稳光措施。

稳光方式多种多样，我们权衡利弊之后，采用了声光调制器的激光光强稳定系统。该稳光系统性能稳定，响应快，结构简单，调整方便，容易实施，并可实现减光和稳光作用。本系统在三小时内激光光强的波动稳定在±2%以内，响应时间 $\ll 0.1s$ ，经声光调制器后光斑直径 $\geq 2mm$ ，并可实现一定范围内的连续减光。

二 声光调制器

声光调制器AOM的结构如图1所示。

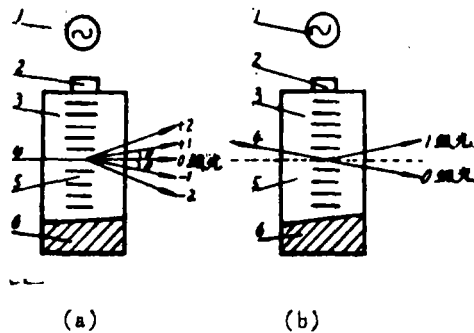


图1 AOM的结构及光的衍射

1—高频信号 2—换能器 3—介质 4—入射光 5—超声波 6—吸音材料

AOM由四部分组成：

- (1) 驱动换能器的电子学装置；
- (2) 将高频电信号转换成声信号的换能器；
- (3) 光波和声波相互作用的光介质；
- (4) 声吸收器。

在图 1 中示出了由声光效应引起的激光束的衍射。根据元件结构的不同,可以有两种衍射状态。设介质的折射率为 n , 介质中的超声波束的宽度为 L , 超声波的波长 A , 入射激光束的波长为 λ , 则有,

$$Q = \frac{2\pi L\lambda}{nA^2} \quad (1)$$

根据由式 (1) 定义的 Q 值的不同, 将产生不同状态的衍射。在 $Q \leq \frac{1}{10}$ 的范围内将产生 Raman-Nath 衍射, 如图 1 (a) 所示。除了不受偏折的零级光以外, 还有许多衍射光, 其衍射方向可由下式决定:

$$Q = \pm m \frac{\lambda}{A} \quad (2)$$

这里 m 为衍射光的级数。

在 $Q \geq 4\pi$ 的范围内, 将产生 Bragg 衍射, 如图 1 (b) 所示, 除了不受偏折的零级光以外, 只产生 1 级衍射光, 其衍射角可由下式确定:

$$Q = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2A} \right) \approx \frac{\lambda}{2A} \quad (3)$$

设超声波的传播速度为 v , 频率为 f 则有:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4)$$

代入 (3) 式得:

$$Q = \frac{\lambda f}{2v} \quad (5)$$

在 $Q = \frac{1}{10} \sim 4\pi$ 之间, AOM 产生介于两者之间的衍射^[2]。

以 Bragg 衍射为基础的 AOM 是根据调制信号来改变零级光和 1 级光的强度的一种器件。设入射激光束的强度为 I , 则 1 级光的强度 I_1 为:

$$I_1 = I \sin^2 (K_1 \sqrt{P} / \lambda) \quad (6)$$

这里, P 为介质中超声波的功率, K_1 为常数。因超声波的功率与施加在换能器上的电压 V 的平方成正比, 故 I_1 与 V 之间的关系式为:

$$I_1 = I \sin^2 (K_2 V / \lambda) \quad (7)$$

这里 K_2 为常数。改变所加电压 V , 就可以改变 1 级衍射光的强度。减光与稳光也是基于上述原理而实现的。

在决定采用 AOM 进行稳光后, 选择什么型号器件必须考虑如下特性。

(1) 衍射效率

AOM 的调制效率可用衍射效率 η 来表示, 它被定义为 1 级衍射光强度 I_1 与零级光强度 I_0 的比, 即

$$\eta = I_1 / I_0 \times 100\% \quad (8)$$

这里, 0 级光等于入射光 I 减去 1 级光及部分反射和介质吸收光, 即 $I_0 = I - I_1 - I_{反} - I_{透}$ 。相对于换能器输入功率的 1 级衍射光强度可由 (6) 式确定, 光的波长越长, 为获得相同衍射效率所需的超声波功率也就越大。另外最大衍射效率所需的功率也随介质而异。

(2) 调制带宽

决定AOM调制带宽的主要因素是换能器的带宽和超声波横切光束的通过时间。设光束直径为 $2\omega_0$, v 为介质中的声速, 则穿越时间 $T^{[3]}$ 为:

$$T = 2\omega_0/v \tag{9}$$

激光通过AOM的响应时间 t , 虽然由声波速度和光束的衍射角决定, 但在一般元件中大体为穿越时间的0.65倍。

$$t = 0.65T \tag{10}$$

(3) 消光比

最大衍射效率时的1级衍射光强度与未经调制时在1级衍射光方向泄漏过去的光强度之比, 定义为消光比。一般可得到1000:1以上的数值。

稳光系统中, 选用了1426所研制的一种正弦型AOM, 型号为SGTB-1型。它以玻璃材料为声光介质, LiNbO_3 为换能器。其主要技术性能如下:

波长 λ	6328 Å
光束直径 D	2 ~ 2.3 mm
调制速率 Δf	DC ~ 0.5 MHz
超声介质	重火石玻璃
最大衍射效率 η	85%
静态消光比	$\geq 1000:1$
光透过率	$\geq 93\%$
最大高频输入功率	$< 3 \text{ W}$
驱动源稳定度	优于 $10^{-3}/8\text{h}$
驱动源工作电压	+18V

三 AOM 稳光系统

AOM 稳光系统的结构方框图如图2所示。

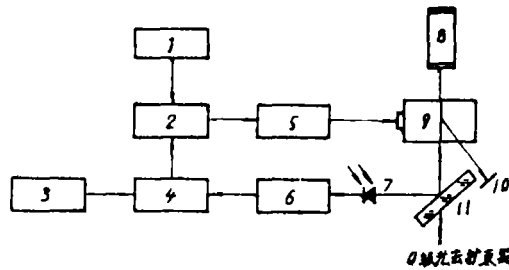


图2 AOM 稳光系统原理方框图

- 图中 1 为高频振荡源
- 2 为幅度调制电路
- 3 为高稳定基准电压源
- 4 为比较电压放大器
- 5 为高频线性功率放大器

- 6 为光电转换放大器
- 7 为光电转换元件——硅光电池
- 8 为100mW氩氦激光器
- 9 为AOM, 型号为SGTB-1型
- 10 为遮光板, 用以拦掉1级衍射光
- 11. 为透反镜, 反射率为4%左右

图2的稳光系统工作原理如下所述:通过AOM的0级光,经透反镜后,部分光被采样照射到光电转换器件上,光电转换放大器输出的电压在比较器上与一个高稳定度的参考电压进行比较。所得到的差值信号,改变射频振幅调制器的偏压,以控制供给AOM的输入功率,即改变1级衍射光与0级光的分配比(见式8)。这种负反馈效应使激光器光强与探测器电流成比例,从而能稳定在参考电压所设定的数值上。当某一时刻激光器输出的光强增加时,经过AOM及透反镜,采样光强随之增加,则光电转换放大器的输出电压绝对值增加。这个电压与高稳定基准电压比较,其差值减小(电压绝对值增加),使供给AOM的输入功率增加,即AOM的1级衍射光增加,而0级光从增高的数值上减下来,以保持不变。反之,则使AOM的1级衍射光减少使0级光增加以维持不变。

如要减光,可线性增加基准电压值,使AOM的1级衍射光增加,减小了0级光的强度,从而实现了一定范围内的减光和稳光。

四 AOM稳光系统实用电路

线路由晶体管BG₁₁, BG₁₂和晶体振荡器构成,40MHz振荡源,集成组件IC₁和IC₂组成光电转换和减法电路,其差值经跟随器BG₃₁,再由二极管D₂₁~D₂₃组成的调幅器去调制40MHz载波。经BG₂₁、BG₂₂电压放大和BG₂₄、BG₂₅线性功率放大。

该电路工作在高频区域,其元件排布、级间耦合,功率级与AOM之间的耦合,都必须有良好的匹配。否则,将造成电路的寄生振荡,使系统不能正常工作。

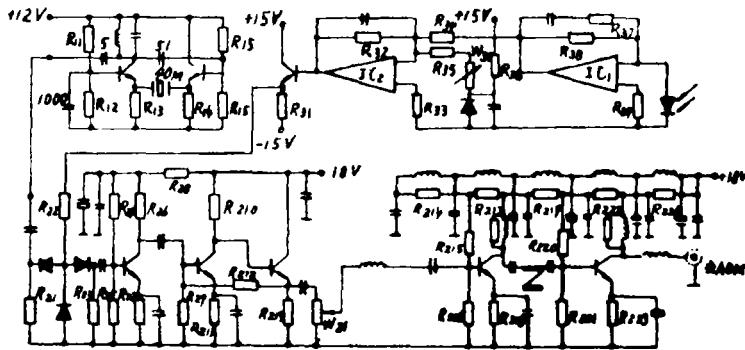


图3 AOM稳光系统实用电原理图

五 实测结果

稳光记录曲线如图4所示

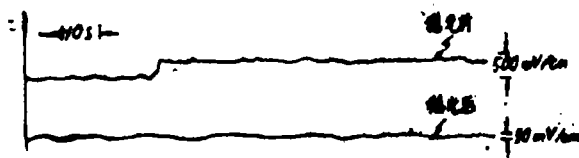


图4 稳光记录曲线

稳光前，光电转换放大器输出电压1.4V，输入到X-Y记录仪，用-1.4V的电压输入记录仪，反映光强的电压变化量为300mV，如图4所示曲线1（记录45min）。

稳光后，光电转换放大器输出电压1.419V，输入X-Y记录仪，用-1.491V的电压输入记录仪反映光强的电压变化量为10mV，如图4所示曲线2（记录45min）。由此计算稳定度：

$$\text{稳光前激光光强稳定度} = 300\text{mV} / 1400\text{mV} \times 100\% = 21.4\%$$

$$\text{稳光后激光光强稳定度} = 10\text{mV} / 1419\text{mV} \times 100\% = 0.7\%$$

响应时间由公式（9），（10）可计算，光束直径 $2\omega_0 = 2\text{mm}$ ，重火石玻璃中声速 $v = 3.72\text{km/s}$ ，则，

$$T = \frac{2\omega_0}{v} = \frac{2\text{mm}}{3.72\text{km}} = 0.53\mu\text{s}$$

$$t = 0.65T = 0.65 \times 0.53 = 0.34\mu\text{s}$$

用示波器实测值为0.41μs。

六 结论与讨论

通过实际使用及性能测试表明，应用AOM的激光光强稳定系统已能满足SAR光学处理器的要求。为了使稳光效果良好，必须做到：

1. 取样激光的分束器（透反镜）必须有固定的透反比。
2. 光电接收元件的灵敏度必须稳定。为了使灵敏度不受温度的影响，应使环境温度保持足够的稳定。
3. 电流电压转换电路应趋近无漂移的状况下工作，也就是说，偏压必须是总小于比较电路输出的差值电压。为此必须选择稳定性好的运算放大器。
4. 由公式（7） $I_1/I = \sin^2(K_2V/\lambda)$ 可知AOM输出光强与输入光强的比值与输入电压的关系定义为AOM的转移函数。如图5曲线所示。设计时应使AOM工作在线性区或选择转移特性动态范围大的器件。
5. 基准电压要稳定，其不稳定值要远小于比较电路的输出差值电压。
6. 因线路工作在超高频，元件的排布、制作工艺水平，线路之间的匹配，功率输出级与AOM之间的匹配要良好。否则产生振荡不能工作。电源系统采用了多级去耦。

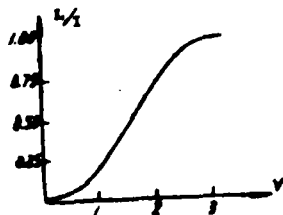


图5 I_1/I 与输入电压的关系

在此项工作中曾得到胡家陞、于前洋、张宪英等的指导帮助，在此表示致谢。

考 参 文 献

- [1] G·韦德编,《声成象》,国防工业出版社,1981年
- [2] [日]机械振兴协会编,刘时衡等译《光通信系统》,人民邮电出版社
- [3] 屋野,勉·田中,画像电子学会誌 1979. 8, No. 3

附 录

光学处理器的灰阶分辨率对光强稳定的要求

SAR光学处理器所用胶片3414的D-H曲线如图6所示。由图可知,在胶片密度D的线性范围内(0.2D~2.2D),其对数曝光量的范围大致为:

$$\log E_{\min} = \bar{1}.0,$$

$$\log E_{\max} = 0.8,$$

E的单位为m-烛光-s。这样我们可以得到

$$E_{\min} = 0.1$$

$$E_{\max} = 6.3096$$

胶片能正确记录的曝光量的变化范围为:

$$E_{\max} - E_{\min} = 6.3096 - 0.1 = 6.2096$$

要求的灰阶分辨率为32个灰阶等级,所以每增加一个灰阶等级需要的曝光量(对数)为:

$$\Delta \log E = \frac{\log E_{\max} - \log E_{\min}}{32} = 1.8/32 = 0.05625$$

在所需最小曝光量处计算时

$$\log E_{\min} + \Delta \log E = \bar{1}.0 + 0.05625 = -0.94375$$

$$E_{\min} + \Delta E = 0.113828$$

$$\Delta E_{\min} / E_{\max} - E_{\min} = 0.113828 - 0.1 / 6.2096 = 2.3\%$$

在线性曝光量最大处计算时,

$$\log E_{\max} - \Delta \log E = 0.74375$$

$$E_{\max} - \Delta E = 5.54307$$

$$\frac{\Delta E_{\max}}{E_{\max} - E_{\min}} = 0.7665 / 6.2096 \approx 12\%$$

在平均曝光量处计算时,

$$\log E_{\text{mid}} + \Delta E = 0.05625$$

$$E_{\text{mid}} + \Delta E = 1.13828$$

$$\frac{\Delta E_{\text{mid}}}{E_{\max} - E_{\min}} = 0.13828 / 6.2096 \approx 2.2\%$$

由上述计算可知,SAR是光学处理器对所用的 100mW 氮氛激光器输出光强的稳定度要求在 $\leq \pm 2\%$ 之内即可。

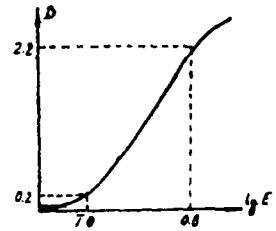


图6 胶片3414的D-H曲线

A Laser Intensity-Stabilizing System with an AOM

Hou Fangyuan Yang Yaowen

Abstract

This paper describes a system for stabilizing the output light intensity of the laser used for a SAR optical processor, in which AOM is used as the passive light intensity-stabilizing device. The working principle and testing results are also given.