

使小功率 He-Ne 激光器获得低噪声稳功率输出的一种新型电子学装置

徐顺潮 毛玉芬 石晓风 宋佩英

(上海市激光技术研究所)

提要: 本文介绍了一种新型电子学装置,它可以使小功率 He-Ne 激光器输出功率稳定度达到 0.5%,在声频范围的噪声与通常稳流电源相比,可降低 20 dB。

A novel electronic equipment for stabilizing output power of low power He-Ne laser and restraining its output noise

Xu Shunchao, Mao Yufen, Shi Xiaofeng, Song Peiying

(Shanghai Institute of Laser Technology, Shanghai)

Abstract: This paper presents a novel electronic equipment with which laser beam stability excelling 0.5% can be obtained, and its output noise in comparison with that obtained with an ordinary stabilized current power source can be reduced by about 20 dB in the acoustic frequency range.

一、引言

小功率 He-Ne 激光器是目前使用最多的一种气体激光器件。许多激光应用技术,如激光精密计量、激光散射技术、信息存储、光传感技术、光盘录像系统等应用研究工作中,都要求激光器输出的功率稳定。有些仪器性能指标,直接取决于激光器的功率稳定性和噪声的大小。目前市售的商品化小功率 He-Ne 激光器,其功率稳定度基本在 3~7% 之间,而噪声的均方根值与输出功率之比通常在 1~2% 之间,从而限制了它的应用范

围。

为了稳定激光器的输出功率,已先后采用过法拉弟效应、电光晶体、声光晶体、风扇冷却以及施加纵向或横向磁场等方法^[1~4]。其中有些方法已有实用装置提供使用,使得商品化激光器输出功率的稳定度已优于 1%。

对于 He-Ne 激光器的噪声也已有许多学者作过研究。虽然噪声源多种多样,包括模间差拍噪声、移动辉纹噪声、自发辐射噪声和振动噪声等,但放电电流噪声则是低频区的最主要的噪声源。当然噪声的大小同激光

收稿日期: 1987年1月22日。

器的结构参数也有关。为此为制造低噪声的 He-Ne 激光管,许多学者已作过研究^[5~7]。例如,采用分段毛细管结构,采用具有特殊支撑的隔离装置的整根毛细管结构以及改变气体的比例和气压等。这些工作当然可以显著地减少激光器的输出噪声,但由于制造工艺比较困难,至今未能成为产品。

本文作者通过大量实验,摸索影响激光器功率稳定性和输出噪声的因素,采用了反馈控制工作电流的方法来稳定 He-Ne 激光器的输出功率,使得功率稳定度达到 0.5%,并采用变频电路作为激光激励源,使激光器的低频噪声比使用通常稳流电源时下降 20 dB。

本装置结构简单,调装方便,价廉,采用本装置可以弥补目前没有噪声低、功率稳的商用激光器的不足,将为许多应用带来方便。

二、装置描述

2.1 影响小功率 He-Ne 激光器的声频噪声的主要因素及其抑制方法

我们在以前发表的文章^[8]中论述了小功率 He-Ne 激光器声频噪声研究的一些实验结果,其主要结论是:

(1) 小功率 He-Ne 激光器的低频噪声主要来自电源的调制噪声。用频谱仪分析激光器输出的噪声频谱和激励电源的噪声频谱,二者非常相似。如果能改善激励源的噪声,就可显著地改善激光器的输出噪声。

(2) 小功率激光器对电源调制噪声的不同频率的响应是不同的,对其影响最大的噪声频率在几百赫,随着电源调制频率增高,对激光器的噪声影响越来越小,如果把调制频率提高到几十千赫,就会明显地降低对激光器噪声的影响。

根据上述的实验结果,我们设计了一变频电路作为激光激励源,其振荡频率在 60~80 kHz 之间,这样即使激励电源仍存在一些

纹波,但这些激励源的纹波对激光器影响极小。另外,在电路中,我们采用的全波整流克服了通常采用的那种倍压整流所存在的纹波大、负载能力差的缺点。电路框图如图 1 所示。

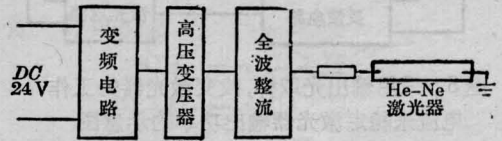


图 1 采用变频电路降低激光器低频噪声的电路示意图

2.2 稳定激光输出功率的方法

因为激光输出功率的大小和工作电流有关,图 2 是通常激光器 $W-I$ 曲线图。当调节工作电流到某一值时(图 2 中为 4 mA),激光器可以获得最大功率输出,降低工作电流或增大工作电流均会使输出功率下降。我们对输出光束取样,让激光管工作在 AB 段,当输出功率增大时,所取得的光信号也增大,电子线路就能自动调节,使激光器工作电流下降,引起激光功率回复到稳定点。反之也一样。由于反馈电路采用差值零平衡的方法,任何原因引起激光输出功率偏离预定值时,反馈网络均能很快地通过改变工作电流来达到功率稳定。本装置可以对激光输出功率预先选定(需比最大输出功率低 10%),并可以由仪器面板上的功率计来读出激光器的输出功率。

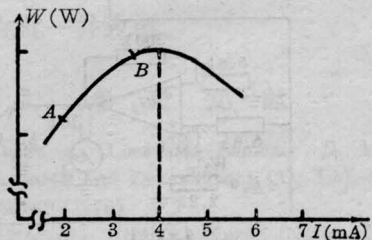


图 2 通常激光器的输出功率 W 和工作电流 I 的关系

稳功率的电路框图如图 3 所示。

2.3 具体电路的几点说明

图 4 是本装置的具体线路示意图。

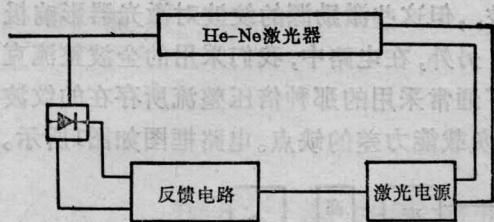


图3 采用输出光取样,改变激光器的工作电流来稳定激光器输出功率的示意图

2.3.1 电路工作原理和部件说明

由 B_1 、 B_2 、 T_1 、 T_2 等组成一个振荡器, 振荡频率为 $60\text{ kHz} \sim 80\text{ kHz}$, 通过 W_1 来调节, 振荡波形经高压变压器升压和桥式整流后, 直接点燃激光器, 当 K_1 打在 b 端(不加功率稳定时), 调节 W_3 , 可以改变 SW 317 的输出电压, 从而达到调节 He-Ne 激光器工作电流的目的(由 A_1 指示)。He-Ne 激光器的输出经过一很薄的玻片, 分出 4% 左右的光能量, 照射在监测探测器 D_1 (硅光电池)上, 经 BG_1 放大后, 一路送 BG_4 放大, 由表头 A_2 指示激光的输出功率值; 另一路送 BG_5 , 取出噪声电平, 由 A_4 指示。再一路送 BG_2 , 在激光器点燃一段时间后要进行稳功率控制时,

只要调节 W_2 使 BG_2 输出为零(可以由 A_3 读数指示), 再把 K_1 打在 a 端(稳功率控制)。此时, 激光输出功率若有升高, D_1 获得的信号变化量经 BG_1 、 BG_2 放大, 把此变化量加到 BG_3 再放大, 来控制场效应管的内阻, 使 SW 317 的输出减小, 从而使激光器的工作电流减小, 达到激光功率稳定。反之也一样。

2.3.2 关于监测探测器的性能指标

通常环境温度的改变(元件经激光长时照射工作温度必定升高)会引起硅光电池的灵敏度和暗电流的变化。本装置采用了三点措施以消除环境温度改变所带来的影响:

(1) 由于硅光电池的开路电压温度系数比短路电流的温度系数要大得多, 所以我们将 D_1 直接接在运放 BG_1 的二输入端, 并使硅光电池连接成短路电流放大。(2) 利用一个硅光电池 D_2 和 D_1 反相并连。 D_1 是受激光照射的, D_2 不受光照, 但和 D_1 处于温度平衡的状态, 这样由于环境温度改变引起的 D_1 和 D_2 暗电流的变化正好相互抵消。(3) BG_1 采用了自动斩波稳零的运放, 使得环境温度对第一级运放的影响降到最低。

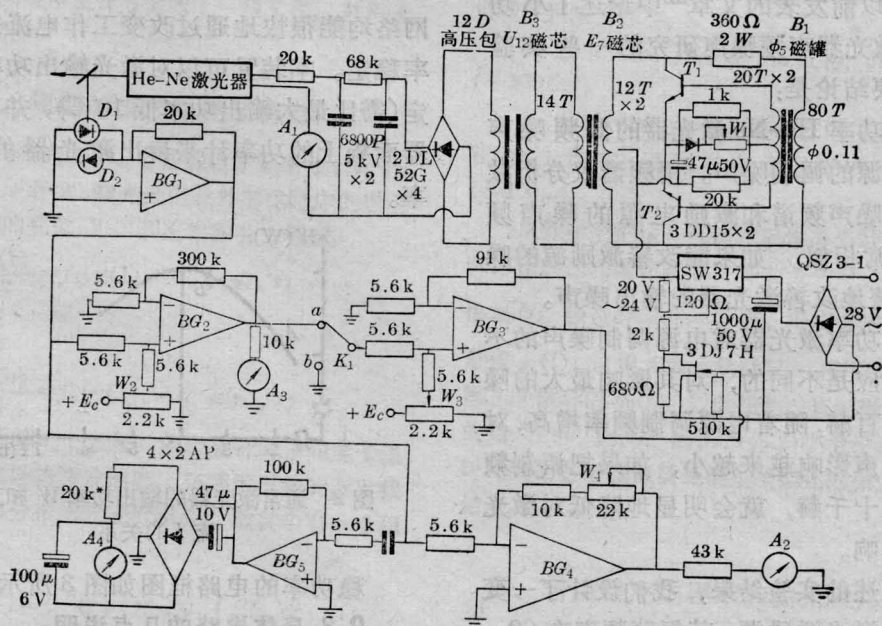


图4 小功率 He-Ne 激光功率稳定噪声抑制器的电路示意图

2.3.3 关于振荡器输出的波形

通常小功率 He-Ne 激光器的起辉电压约为 5 kV~7 kV, 而工作电压仅 2 kV 左右, 起辉电压是工作电压的 3 倍左右。在目前通用的激光电源中, 都是采用 4 倍压整流来解决这一矛盾的。在激光器未点燃时, 由于倍压整流电源输出电压很高, 达到激光器的起辉电压, 但因倍压整流带负载的能力差, 故在激光器点燃后, 电压立即下降, 仅能输出维持激光器正常工作所需的电压。在本装置中为尽可能地减少激励源的纹波, 采用了全波整流, 这样就必须采取措施以满足激光器的起辉电压和工作电压间有差异这一要求。可以通过控制振荡器的输出波形来满足条件。根据我们的经验, 振荡波形要如图 5(上)所示, 使振荡方波前后沿有很高的过冲尖脉冲, 在激光器点燃前, 全波整流获得很高的电压, 达到点燃激光器的要求, 当激光器起辉后, 由于激光器负载的作用, 振荡器的输出波形变成了方波, 图 5(下)波形仅能提供维持激光器正常工作的电压。要产生如图 5(下)所示的波形, 可以通过调节 B_2 变压器的气隙来实现。

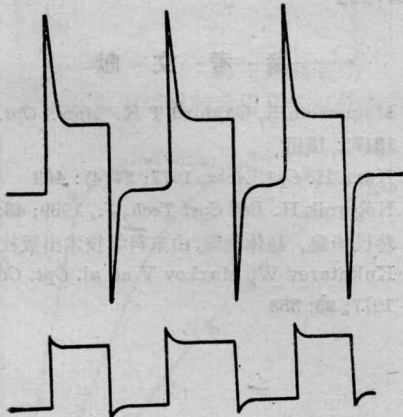


图 5 振荡器输出波形

(上)激光器起辉前; (下)激光器起辉后

三、实验结果

采用本装置和通常用的稳流电源作了对比测试, 主要结果如下。

比测试, 主要结果如下。

3.1 噪声频谱的比较

同一激光器在采用通常的稳流电源激励和采用本装置激励时, 用光电倍增管作接收器(光束经过同一衰减器), 把输出信号送到频谱仪进行分析, 所得的结果表明, 使用本装置后, 激光器输出的声频噪声显著下降。

3.2 噪声/功率比的比较

使用本装置与三台不同类型的 He-Ne 激光电源作比较, 其结果如表 1、表 2、表 3 和表 4 所示。表中的激光输出功率值是把激光束经机械斩波器调制成 400 Hz/s 的方波, 由光电倍增管接收(加小孔光阑), 其输出信号用真空毫伏表来测量。表中的噪声是激光束不经调制, 通过小孔光阑直接照在光电倍增管的靶面上, 由真空管毫伏表测量其输出值来表示。

表 1 使用 025—040 通用激光电源

工作电流(mA)	3	3.5	3.7	4	4.25
噪声(mV)	32	24	21	28	24
功率(mV)	950	990	1020	1100	1080
噪声/功率比	3.3%	2.4%	2.1%	2.5%	2.2%

表 2 使用 JD-II 型 He-Ne 激光稳流电源

工作电流(mA)	3	3.5	3.7	4	4.25
噪声(mV)	48	30	23.5	30	25
功率(mV)	950	980	1010	1110	1070
噪声/功率比	5.1%	3.1%	2.3%	2.7%	2.3%

表 3 使用 JDM-1 型 He-Ne 激光稳流电源

工作电流(mA)	3	3.5	3.7	4	4.25
噪声(mV)	38	25	26	30	27
功率(mV)	960	1000	1030	1080	1050
噪声/功率比	3.9%	2.5%	2.5%	2.7%	2.6%

表 4 使用本文介绍的噪声抑制器

工作电流(mA)	3	3.5	3.7	4	4.25
噪声(mV)	2.2	2.1	2.1	4.1	2.6
功率(mV)	950	970	1020	1110	1060
噪声/功率比	0.23%	0.22%	0.21%	0.37%	0.25%

从以上4表可以看到,使用本装置只要把工作电流控制在一定的值,噪声/功率比可以接近于0.2%,而使用其它电源所得的最低噪声/功率比均在2%以上。使用本装置比使用通常的激励源可以使噪声下降20 dB。

3.3 稳定功率结果

图6是激光输出功率的记录曲线(直接由功率计测量),AB段是开机后1小时内激光输出功率的波动曲线,在B点时加上稳功率控制,BC段是加功率稳定控制期间的激光输出功率,其功率稳定度优于0.5%。

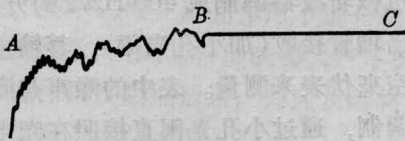


图6 功率稳定效果(6cm/h)

图7是激光器输出功率加反馈和不加反馈的功率稳定性的对照。AB段是激光在不加功率稳定反馈时的输出功率曲线,BC段是

加上功率稳定反馈的结果,CD段是又断开功率稳定反馈的输出功率曲线。从图7中可以清楚地看到激光器工作时,一旦加上功率稳定反馈控制,虽然激光输出功率稍有下降,但功率稳定性大大地得到改善。

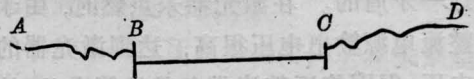


图7 加反馈与不加反馈的功率稳定性对照 (6 cm/h)

参 考 文 献

- 1 Sasaki Akira. *Japan J. Appl. Phys.*, 1983; **22**(10): 1538
- 2 Gudelev V G et al. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1982; **12**(7): 904
- 3 Barger R L et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1975; **27**(1): 31
- 4 李同保 et al. *激光杂志*, 1986; **7**(5): 33
- 5 Suzuvi T. *Japan J. Appl. Phys.*, 1970; **9**: 301
- 6 辛振华 et al. *应用激光*, 1982; **2**(2): 9
- 7 殷一贤 et al. *中国激光*, 1985; **12**(2): 124
- 8 徐顺潮 et al. *应用激光*, 1984; **4**(1): 33

(上接第349页)

变化现象,用光生伏特效应的电荷迁移理论能解释衍射光环(带)的光强分布特点。因此,本文的工作将有助于我们对晶体缺陷的某些特性以及晶体光折变特性的进一步了解。另一方面,在使用光折变晶体作为非线性介质的实时全息或四波混频实验中,衍射光环(带)的出现将导致信噪比的下降,这是所不希望。本文的实验结果表明,在保证较高衍射效率的前提下,为尽可能减少散射光衍

射的干扰,可以采用记录光和读出光不同偏振的系统。

参 考 文 献

- 1 Magnusson R, Gaylord T K. *Appl. Opt.*, 1974; **13**(7): 1545
- 2 Kurz H. *Opt. Acta*, 1977; **24**(4): 463
- 3 Kogelnik H. *Bell Syst Tech. J.*, 1969; **48**: 2909
- 4 蒋民华编. *晶体物理*, 山东科学技术出版社, 1980
- 5 Kukhtarev W, Markov V et al. *Opt. Commun.*, 1977; **23**: 338