

文章编号:1001-5078(2007)11-1174-04

# 半导体激光器高频调制技术

贾方秀, 丁振良, 袁峰

(哈尔滨工业大学测控技术与仪器, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:**文中详细介绍了一种半导体激光器高频调制的设计方案并给出了实验结果,设计了基于直接数字合成技术的高精度三频调制信号产生电路,同时该电路还为后续差频测相提供高稳定的本振信号;该方案能实现对半导体激光器 150kHz, 15MHz, 150MHz 三个频点的电流调制,消除了温度对激光器调制特性的影响,在各个频点均达到了很高的频率稳定性,并能实现测尺频率的迅速切换,为相位法激光测距测程和精度的进一步提高奠定了良好的基础。

**关键词:**高频调制;直接数字频率合成;半导体激光器

**中图分类号:**TN248.4      **文献标识码:**A

## Design on High Frequency Amplitude Modulation of Laser Diode

JIA Fang-xiu, DING Zhen-liang, YUAN Feng

(Department of Instrument Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** A new design on high frequency amplitude modulation of laser diode is proposed. The circuits which can produce high precision modulation signal is designed based on direct digital synthesizer (DDS), the circuits can also produce local oscillator signals at the same time. The whole design can implement the amplitude modulation of laser diode at the frequency of 150kHz, 15MHz, 150MHz with high stability and perform the swift switch between the different frequencies, which pave the way for high precision and wide range length measurement.

**Key words:** high frequency amplitude modulation; DDS; laser diode

### 1 引言

相位法激光测距作为一种大量程高精度的测距方法,近年来在很多领域里得到很广泛的应用,该方法是利用发射的调制光和被目标反射的接收光之间光强的相位差包含的距离信息来实现对被测目标距离的测量,具有高精度、高分辨率、抗干扰能力强等优点,而在一些实际应用中所需要的精度越来越高,测量范围也越来越大,这就对相位法激光测距提出了新的要求。

### 2 相位法激光测距原理及分析

典型的相位法激光测距的系统框图如图1所示。

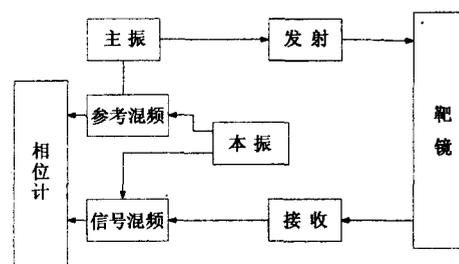


图1 相位法激光测距系统框图

主振给激光发射单元提供稳定的交流调制信号,激光器经交流调制后,发出光强随调制信号变化

作者简介:贾方秀(1981-),女,博士生,主要从事激光测距等方面的研究工作。E-mail: jiafangxiu@gmail.com

收稿日期:2007-05-19;修订日期:2007-07-20

的光波,光波经被测距离打到靶镜上,经靶镜返回至光接收系统接收,将光信号转变为电信号,得到携带距离信息的电信号,与本振信号混频降频后得到携带距离信息的中低频信号,将此信号与被混频降频后的参考信号相比较,送至相位计得到相位差,经计算得到被测距离数值。

相位法激光测距的基本原理可以表达为<sup>[1]</sup>:

$$D = \frac{1}{2}ct = \frac{1}{2}c \frac{\Delta\varphi}{2\pi f} = \frac{c}{2f} \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$$

其中, $D$ 是待测距离; $c$ 是光速; $f$ 是调制波的频率; $\Delta\varphi$ 是检测到的相位差。因为正弦信号以 $2\pi$ 为模,相位法激光测距中存在模糊距离<sup>[2]</sup>: $D_{\text{nar}} = c/2f$ 。可见,调制频率越高,距离分辨率越高,但同时,测距范围也越来越小。为了保证测量范围的同时保证较高的测量精度,可以采取双发射频率信号,就目前采取双频发射系统研究的状况来看,精度不尽如人意<sup>[3]</sup>。为此,我们提出了一种三频点相位激光测距方法,并给出了实现该方案的调制电路,该方案能实现对半导体激光器在150kHz,15MHz,150MHz三个频点上的正弦波调制,同时为后续差频测相提供高稳定的本振信号,为相位法激光测距在保证大的测量范围的同时保证高的测量精度提供了实现的可能性。

### 3 半导体的调制特性及电路系统设计方案

#### 3.1 半导体的调制特性

半导体激光器实质上就是一个PN结半导体器件。半导体激光器有电子束激励的激光器和注入式的激光器两种,电子束激励的半导体激光器多用于激光扫描系统,应用不如注入式半导体激光器普遍。注入式半导体激光器当注入电流超过某一值时,可发射受输入电流控制的调制光。其调制特性如图2所示<sup>[4]</sup>。

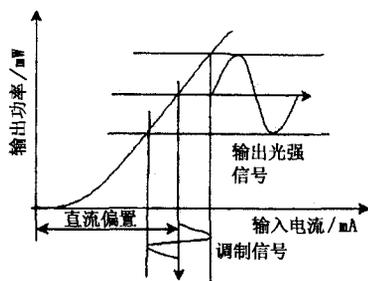


图2 半导体激光器调制特性

电流为注入LD的正向电流,当电流超过某一点时,LD内部出现增益与损耗相平衡的振荡模式,

该点电流我们称之为阈值电流记为 $I_{\text{th}}$ 。电流继续增大,LD输出光功率急剧增加。阈值电流越小,表示用较小的电流即可以使LD工作。阈值电流以上的部分为LD的工作区,电流增加,LD的输出功率也将增强。当激光器电流超过额定值会出现输出的饱和区,并产生失真或损坏等现象,所以线性输出最大光功率对于模拟信号传输系统是一个很重要的指标,调制范围应控制在一定的非线性失真内。

温度对LD的电流/光功率特性有着较大的影响,当温度升高时,图中的 $P-I$ 特性曲线将向右平行移动,阈值电流将以每摄氏度1%~2%的比例增加,饱和输出光功率也将下降,温度稳定性直接影响半导体激光器发射的频率,所以为了发射高频高精度的调制光,应用LD要求工作温度保持稳定且调制电流纹波小。因此在LD组件中要加冷却和温控装置。实际上,经实验证实,我们的调制电流稳定度达到 $\pm 5\mu\text{A}$ 而温度稳定度控制范围在 $\pm 10\text{mK}$ 是可以实现的<sup>[5]</sup>。使得温度和调制电流的稳定性满足需要。

根据半导体激光器的调制特性和后续信号处理的要求,所用的调制电路要满足以下几点要求:

- 1) 半导体激光器抗浪涌电流冲击的能力比较差,所以要有过流保护电路或者是软启动电路。
- 2) 半导体激光器输出受温度影响较大,所以模块中要加入温度控制单元。
- 3) 为了后续信号处理的方便,该调制电路在向半导体激光器提供交流调制信号的同时,还要能提供稳定的本振信号。根据上述要求,我们设计调制单元如图3所示。

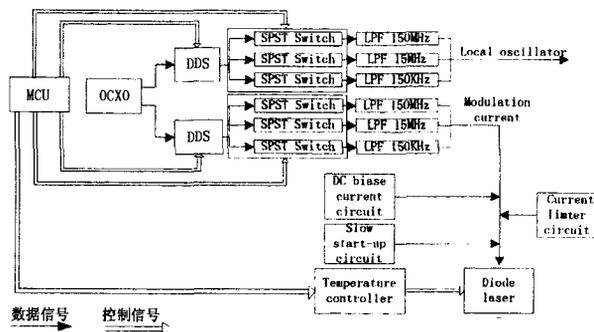


图3 调制单元设计框图

#### 3.2 激光调制的实现

##### 3.2.1 调制信号的产生

由于采用多尺度测量,而且还后续信号处理的便利提供稳定的本振信号,这就要求系统必须有一

套高性能的频率发生装置,实现多种频率的高速切换。而且为保证测量精度,要求频率发生器的精度很高。而传统的压控振荡器不仅频率稳定速度慢,而且频率精度不高,不能胜任激光调制的任务。目前,在电子工程领域得到广泛应用的 DDS(直接数字频率合成)技术,非常适合作为这里对激光调制的频率源,我们选择 AD 公司的 AD9911 作为激光调制的频率源,AD 公司的 AD9911 是一款输入驱动时钟可高达 500MHz 的直接数字频率合成芯片,包括一个主 DDS 核及三个辅助 DDS 核、32 位的频率调制字、14 位的相位调制字、10 位的 A/D 转换器、10 位输出幅度标定精度,内部还有 4 × 与 20 × 的时钟倍频环,可对输入时钟进行倍频。可工作于单频声模式 (single-tone mode)、毛刺抑制/多频声模式 (spurkiller/multitone mode)、测试声模式 (test-tone mode),工作于毛刺抑制模式启动三个辅助的 DDS 核,可以有效地抑制从 A/D 转换器输出的谐波噪声,提高输出信号的信噪比。如图 3 所示,我们使用单片机控制双路 DDS,一路产生调制信号给半导体激光器提供交流调制电流,一路产生稳定的本振信号输出,单片机控制两路 DDS 同时工作,以保证两路信号的相位完全一致。

恒温晶振为两路 DDS 提供驱动时钟,该恒温晶振频点是 20MHz,频率稳定性为  $1 \times 10^{-9}$ ,高频率稳定度的恒温晶振的使用有效地抑制了 DDS 的杂散,提高了其输出的频谱纯度,恒温晶振至两路 DDS 尽可能采用对称结构,以减少因电子线路产生的相位漂移。我们配置 AD9911,使其内部时钟倍频环工作于 20 × 模式,则 AD9911 的系统时钟为 400MHz,AD9911 输出信号的频率由下式决定:  $f_0 = \frac{(FTW)(f_s)}{2^{32}}$ ,  $f_s$  是系统时钟,FTW 是频率调制字且  $0 \leq FTW \leq 2^{31}$ ,我们向频率调制字写入 x60000000, 0x9999, x189374 便得到 150MHz, 15MHz, 150kHz 的交流信号输出。

由于本方案要输出三个不同频率的交流信号,为了避免各个信号之间的干扰,我们采取高隔离度的射频开关 ADG901,以单片机控制射频开关的通断,保证只有一路信号输出。采用这样的结构,不仅有效防止了各个信号之间的串扰,而且可以实现频尺的快速切换。

图 4 是单片机控制 AD9911 和三个射频开关以

输出所需要的交流信号的流程图。

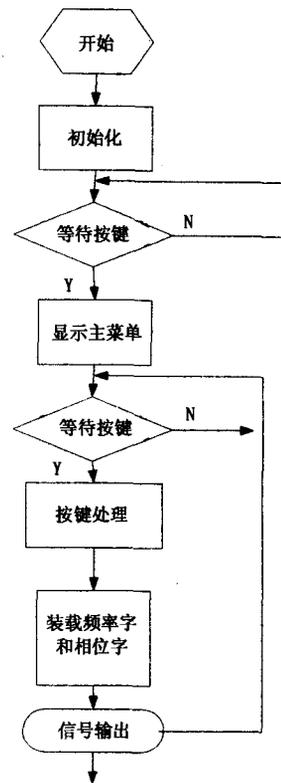


图 4 主程序流程图

### 3.2.2 滤波器的设计

为了抑制高频信号的干扰,由 DDS 输出的交流信号要经过低通滤波才能得到频谱纯净的信号,滤波器分为无源滤波器和有源滤波器两种。相对来说,有源滤波器适用在低频场合中使用,而无源滤波器通常在高频场合中使用。AD 公司推荐的是使用七阶椭圆函数低通滤波器<sup>[6]</sup>,通过 ORCAD 仿真,我们可以看出其滤波效果并不好。为了达到良好的滤波效果,我们设计了截止频率分别为 160MHz, 16MHz, 160kHz 的 8 阶线性相位滤波器,相应电路参数和 ORCAD 仿真图如图 5、6、7 所示。

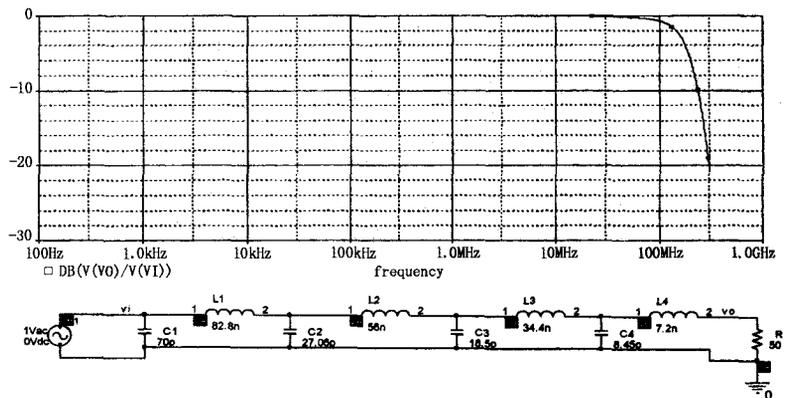


图 5 160MHz 低通滤波器仿真图及电路参数

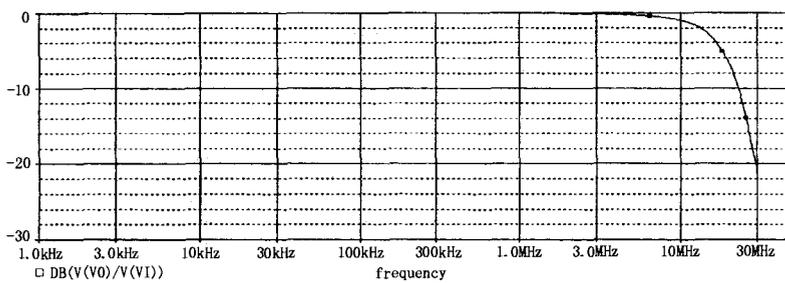


图6 16MHz低通滤波器仿真图及电路参数

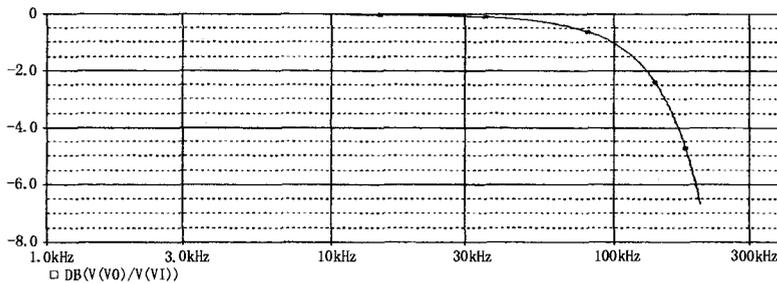


图7 160kHz低通滤波器仿真图及电路参数

### 3.2.3 半导体激光器调制电路设计

为了保证半导体激光器能正常工作,还需要向其提供直流偏置电流,直流偏置电流和调制电流叠加,进入恒流驱动电路,达到对半导体激光器的调制,同时,为了避免浪涌电流对半导体激光器造成损坏,在后续电路里还应能实现限流功能和慢启动功能。根据上述要求,后续电路设计如图8所示。

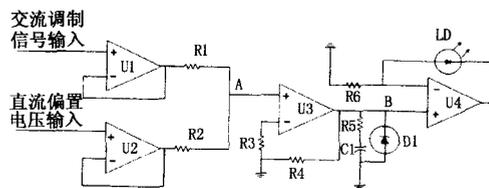


图8 半导体激光器调制电路图

由图8可知,交流调制信号和直流偏置电压信号通过放大器U1和U2在A点叠加,经放大器U3按合适比例放大,放大器U4起恒流驱动的作用,电阻R5和C1实现电路的慢启动功能,而稳压管D1起限流作用。

### 3.2.4 温控部分设计

为了消除温度对半导体激光器调制特性的影响,我们设计温度控制部分如图9所示。

图中,LD产生的温度信号经过温度传感器铂热电阻变成的电信号,经过放大滤波等信号处理电路A/D转换器送入到单片机,与温度设置装置所设置的温度信号进行比较。经过数字控制器处理调整,

输出的数字控制量由D/A转换器进入执行机构,进而对被控对象进行加热或者制冷,使LD温度值在系统所要求的控温精度范围内。

采用导热系数很高的铜作为热沉,为半导体激光器提供一个恒定温度的表面,铜热沉的大小关系着温度控制的稳定性和制冷速度。半导体制冷硅置于散热片和铜热沉之间抽运热量。铂电阻尽可能靠近激光器安装。散热片采用导热系数较高比重较小的铝材料作为散热片材料,采用带翅的外形设计,有效增加了散热效率。

### 4 结论及实验结果

采用上述方案,我们实验中取得了较好地效果,该方案实现了对半导体激光器的150kHz,15MHz,150MHz的交流调制,调制范围宽,消除了温度对LD调制特性的影响,同时消除了三个通道之间的信号干扰,在上述三个频点,频率漂移均小于2Hz,相对漂移均小于 $1 \times 10^{-6}$ 。为相位测距向量程更大、精度更高的方向发展提供了依据。

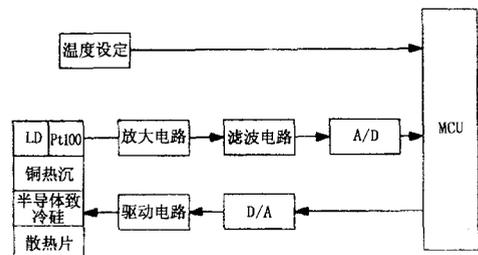


图9 温度控制框图

### 参考文献:

- [1] 杨德麟. 红外测距仪原理及其检测[M]. 北京: 测绘出版社, 1988: 12-14.
- [2] 许邦建, 皇甫堪. 噪声条件下相位测距中的解模糊问题[J]. 国防科技大学学报, 2001, 23(3): 73-76.
- [3] 张志勇, 张靖, 朱大勇. 一种基于相位测量的激光测距方法[J]. 光电工程, 2006, 23(8): 75-79.
- [4] 冯传岗. 论半导体激光器及调制技术[J]. 有线电视技术, 2004, (20): 71-74.
- [5] Ayan Ray, Amitava Bandyopadhyay, Sanka De, et al. Simple scanning semiconductor diode laser source and its application in wavelength modulation spectroscopy around 825nm[J]. Optics & Laser Technology, 2005: 359-367.
- [6] Analog devices. 500MSPS Direct Digital Synthesizer with 10bit DAC AD9911. [M/OL] <http://www.analog.com>.