

Doi:10.3969/j.issn.1003-5060.2012.10.016

# 可编程光衰减器工作原理及自动校准

王 健

(中国电子科技集团公司 第 41 研究所,安徽 蚌埠 233010)

**摘 要:**文章从衰减控制原理、光机部件、电机驱动、衰减范围控制以及数据修正算法等方面,介绍了 AV6381 可编程光衰减器的工作原理,分析了闭环电机控制原理,给出了利用 2 片衰减片获得 60 dB 衰减范围的方法,也分析了衰减片的位置与其衰减量的关系,以及进行衰减准确度自动校准的必要性,给出了校准装置框图以及利用 GPIB 接口进行自动校准的控制流程。

**关键词:**光衰减器;衰减准确度;光电编码器;滤光片;自动校准

**中图分类号:**TM938.82 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5060(2012)10-1363-04

## Working principle and automatic calibration of programmable optical attenuator

WANG Jian

(The 41st Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Bengbu 233010, China)

**Abstract:** The working principle of AV6381 programmable optical attenuator is introduced from such aspects as the attenuator control principle, optical mechanics parts, motor drive, attenuation range control and data correction algorithm. The closed-loop control principle is analyzed, and a method of using two filters to get attenuation range of 60 dB is proposed. The relationship of filter position and attenuation value is analyzed, and the necessity of automatic calibration for attenuation precision is explained. The block diagram of calibration apparatus and the flow chart of automatic calibration control through GPIB interface are put forward.

**Key words:** optical attenuator; attenuation accuracy; optical encoder; filter; automatic calibration

光衰减器是光纤通信设备检测(如光功率计计量、光功率衰减、接收机灵敏度测量等)中必不可少的测试仪器之一。国外一些大的仪器公司,如 JDS、Agilent(HP)、Anritsu 等,自 20 世纪 90 年代初期就开始光衰减器(包括机械光衰减器、电控可调光衰减器<sup>[1-4]</sup>以及可编程光衰减器<sup>[5-6]</sup>)的研制和生产,现已形成系列产品。而国内有关厂家迄今推出的光衰减器仍为机械式的简易光衰减器,其特点简单易用,但其衰减准确度、重复性、稳定性及回波损耗等技术性能均不及可编程光衰减器,可编程光衰减器仍靠进口。AV6381 型可编程光衰减器是根据国内市场实际需要,自主研

制开发的,它不仅具有优良的衰减准确度、重复性和高的回波损耗等技术特点,而且具有操作灵活性和计算机远程控制功能,综合技术性能达到同期国际同类产品水平。AV6381 型可编程光衰减器的主要性能指标之一是衰减准确度,而衰减准确度的校准是点对点的,并且还要考虑到波长的影响,因而工作量极大。能否实现自动校准,关系着光衰减器能否进行批量生产。

### 1 工作原理

#### 1.1 主要控制原理

整机控制由主控电路、伺服控制电路、光机部

收稿日期:2012-06-25;修回日期:2012-09-06

作者简介:王 健(1963—),男,浙江台州人,中国电子科技集团公司第 41 研究所高级工程师。

件、GP-IB 接口电路以及键盘显示电路等组成,如图 1 所示。

本机采用双 CPU 并行处理方式,伺服控制 CPU 用于接受主控 CPU 的命令和数据,计算电机旋转的方向和角度去驱动伺服电机,控制伺服电机转动到指定位置;主控 CPU 用于控制显示、处理键盘和 GP-IB 接口等,根据波长和衰减量大小(由操作面板或 GP-IB 接口输入)以及 E<sup>2</sup>PROM 里的修正数据计算电机的位置,并发送相应的命令和数据给伺服控制 CPU。

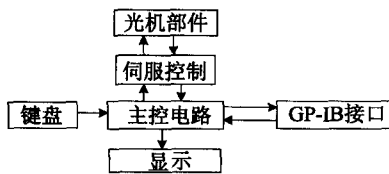


图 1 AV6381 光衰减器控制原理

## 1.2 光机部件

光机部件由 2 片中性密度滤光片<sup>[6]</sup>(ND filter)、直流伺服电机和增量式光电编码器以及光纤准直器组成,如图 2 所示。

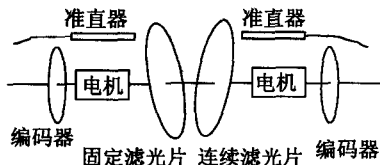


图 2 光机部件示意图

入射光经过 2 片滤光片衰减后,进入输出光纤。2 片滤光片中,一片为固定滤光片,其衰减量为 0~50 dB,以 10 dB 步距变化,另一片为可变滤光片,其衰减量在 360°范围内为 0~10 dB(实际镀制为 270°衰减范围 0~15 dB)连续可变。这样,入射光经 2 片滤光片组合衰减后,可得到 0~60 dB 范围内连续可变的光衰减量,步距为 0.01 dB。

ND 滤光片是在 K9 玻璃基片上,采用真空沉积法镀上中性密度的 Ni 和 Cr 合金而制成,具有优良的均匀性和平坦的光谱透射特性。为防止滤光片的表面反射光产生干涉影响被衰减光源,除在滤光片没有金属镀层的表面加镀宽带增透膜降低反射外,滤光片稍倾斜于光轴安装可阻止反射光回到入射端,大大提高仪器的回波损耗。滤光片表面加镀增透膜还有助于降低插入损耗,扩展仪器的低端可调衰减范围。

## 1.3 电机驱动

AV6381 光衰减器的电机驱动原理如图 3 所示,CPU 将设置的电机应到位置和检测到的电机实际位置送往脉宽调制器,脉宽调制器发出信号控制电机驱动芯片 L298N(是否转动、转动方向、速度控制等)。编码器将电机的位置信息<sup>[7-8]</sup>传送到计数器,CPU 读取计数器的内容并将电机的实际位置发往脉宽调制器,实现闭环控制。

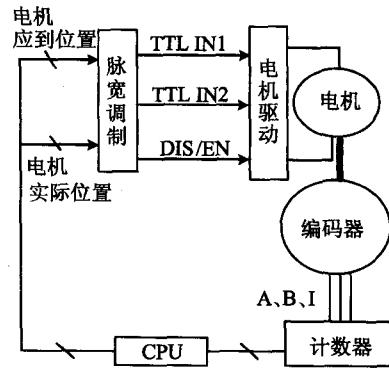


图 3 电机驱动原理

## 1.4 衰减控制

衰减设定可以通过直接旋转 ND 滤光轮片实现,2 片 ND 滤光轮片各自由带旋转光电编码器的直流伺服电机控制。滤光轮片固定在电机轴的前端,实现滤光轮片与光电编码器位置传感系统之间的位置匹配。

2 个光电编码器均采用 A、B、I 三通道递增编码器,A、B 通道各自输出相位相差 90°的方波,根据 A 相和 B 相的超前或滞后关系,伺服控制电路中的计数器可对转动角度进行计数,且能识别电机的转动方向;I 通道输出索引脉冲,用以确定电机的绝对位置。

为获得要求的分辨率,对可变滤光轮片采用 1 024 道递增编码器,对固定滤光轮片采用 512 道递增编码器。编码器对每一个方波的上升沿和下降沿都进行计数,这样,每转的有效分辨率分别是 4 096 道和 2 048 道,从而保证了 0.01 dB 高分辨率的实现。

设计中还采用对滤光轮片的位置进行实时动态调整的措施,每隔 2.048 ms,伺服控制 CPU 的内部定时器产生一个定时中断,中断服务子程序分别调用可变滤光片和固定滤光片的控制程序,采样当前滤光片位置,并计算实际位置与目标位置之差,根据此差值对电机进行相应的调整,以保证设定衰减值的可靠性及稳定性。

### 1.5 数据修正算法

如前所述,AV6381 的连续可变衰减是通过以 10 dB 步进的固定滤光片和 0~10 dB 连续可调滤光片的有机配合实现的。一方面,固定滤光片的衰减量不仅与波长有关,而且即使对于某一确定的波长点,与期望值也有很大悬殊,其 10 dB 步进调节误差必须依靠连续可变滤光片来补偿,所以,可变滤光片的镀制除保证其本该完成的 10 dB 调节量外,还要为固定滤光片提供 5 dB 范围的衰减补偿。另一方面,可变滤光片的衰减和角位置之间的线性关系与期望值也有差距,同时,对于某一确定的角位置,其衰减值也与波长有关。鉴于上述原因,为保证在 1 200~1 650 nm 波长范围内,实现全衰减量程内的衰减准确度(线性)调谐,在 2 种滤光片的设计镀制取得保证之后,软件的数据修正十分必要。

借助于稳定光源和标准光功率计,分别在 1 310 nm 和 1 550 nm 波长点上精确测量固定滤光片的 10、20、30、40、50 dB 档的衰减值,再每隔一定转角(可用步进脉冲个数来计量,如 4 个脉冲)精确测量可变滤光片在对应波长点上的衰减值。

设 2 个波长点的波长值分别为  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ , 滤光片转到第  $n$  个脉冲时衰减值分别为  $T_1$ 、 $T_2$ , 则对于任意波长  $\lambda$ , 滤光片转到第  $n$  个脉冲时衰减值  $T$  为:

$$T = T_1 + (T_2 - T_1) \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (1)$$

设同一波长的光,滤光片转到第  $n$  个脉冲时衰减值为  $T_n$ , 转到第  $m$  个脉冲时衰减值为  $T_m$ , 则对于  $n$  与  $m$  之间的任何整数  $k$ , 此处的衰减值  $T_k$  为:

$$T_k = T_n + (T_m - T_n) \frac{k - n}{m - n} \quad (2)$$

通过上述处理后,经实际检测表明所得数据完全满足指标要求。

## 2 自动校准

为了保证满足衰减准确度(0.4 dB)的要求,必须精确得到可变滤光片角度与衰减值之间的对应关系。一般采用 4 个编码脉冲计一次,这样就需要测量 1 024 个数据,而不同波长的光,经过滤光片时衰减是不一样的,即衰减值还与波长有关。为保证在 1 200~1 650 nm 波长范围内实现全衰减量程内的衰减准确度,至少要测 2 个波长

点。加上固定滤光片的测试数据,一台衰减器在理想情况下的衰减准确度校准,需要测 2 000 多个数据,这是极其浪费时间的。为了衰减器能进行批量生产,必须考虑利用计算机实现自动校准。

滤光片的转动是可以控制的,分辨率约为  $0.09^\circ(360^\circ/4\ 096)$ 。用 1 310 nm 波长的光通过滤光片,用光功率计检测输出光的功率,转动滤光片,每隔一定的角度测量一个数据,这样就可以得到滤光片的不同位置对某波长光的衰减值。同样的方法再测其他波长点,经过线性拟合得到校准数据,写入 E<sup>2</sup>PROM 即可。

校准装置如图 4 所示。

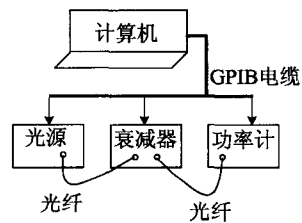


图 4 自动校准系统

光源发出的光经衰减器衰减,由功率计检测,计算机通过 GPIB 接口控制滤光片转动、采集功率计读数,最后把采集到的数据进行处理,得到 Intel-Hex 格式的数据文件,再将此数据文件编程到 E<sup>2</sup>PROM 中即可,控制流程如图 5 所示。

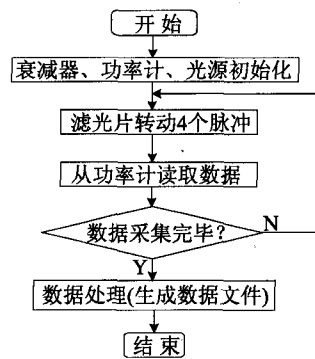


图 5 自动校准控制流程

## 3 结束语

AV6381 型可编程光衰减器可提供高达 60 dB 范围的高准确度衰减调谐,是光损耗特性、光传输特性分析及光功率计计量的理想工具,优于 40 dB 的回波损耗,非常适合于易受反射光影响的设备的测试。

按照上述思路编写完成的自动校准测试程

序,经几个批次的生产,其正确性已得到充分验证,并且工作效率大为提高。

### [参 考 文 献]

- [1] Marxer C, De Jong B, De Rooft N. Comparison of MEMS variable optical attenuator design [C]//Optical MEMS. Switzerland; IEEE/LEOS Int, 2002: 189-190.
- [2] Giles C R, Aksyuk V, Barber B, et al. A silicon MEMS attenuator and its use in lightware subsystems [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 1999, 5 (1): 18-25.
- [3] Riza N A, Surniddetch K S. Digitally controlled fault-tolerant multiwavelength programmable fiber-optic attenuator using a two dimensional digital micromirror device [J]. Optical Letters, 1999, 24: 282-284.
- [4] Cao Z H, Yuan Y, Bao J F, et al. A micromechanical variable optical attenuator based on EDM micromachining [J]. SPIE, 2002, 4928: 225-227.
- [5] Schmidt S, Fischer H. A new design approach for a programmable optical attenuator [J]. HP Journal, 1995 (2): 34-38.
- [6] 赵凯华, 钟锡华. 光学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1984: 10-100.
- [7] 贺永亮. 基于编码器插值技术的光衰减器电机定位系统 [J]. 电子工程师, 2005, 31(8): 18-19.
- [8] 王 刚, 李 冰, 刘 勇, 等. 基于 Wishbone 总线接口的 LDPC 码编码器设计 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2011, 34(9): 1324-1329.

(责任编辑 吕 杰)

### (上接第 1326 页)

的研究较少的情况,研究运用激光冲击处理对疲劳损伤程度为 0.5 的铜薄膜试件进行表面处理来提高其疲劳性能的方法。得到损伤程度为 0.5 的铜薄膜试件,激光强化处理的能量密度为  $5 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ ,最佳脉冲个数为 30,显著地提高了铜薄膜的疲劳性能。对于其他损伤程度下铜薄膜试件的最佳修复参数和不同损伤程度下铜薄膜试件的最佳修复参数有何种共同规律,还有待于进一步研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 范 勇,王声波,吴鸿兴,等. 航空铝合金材料激光冲击强化实验研究 [J]. 激光技术, 2003, 27(4): 273-275.
- [2] 张 宏,唐亚新,余承业,等. 铝合金激光冲击表面强化试验研究 [J]. 航空学报, 1997, 18(2): 248-251.
- [3] 周 磊,李应红,汪 诚,等. 航空发动机叶片激光冲击强化技术的研究 [J]. 控制工程, 2007, 14(Z1): 174-178.
- [4] 李启鹏,何卫锋,仝崇楼,等. 航空发动机叶片的激光冲击强化研究 [J]. 航空精密制造技术, 2008, 44(4): 37-39.
- [5] 何卫锋,李应红,周章文,等. 激光冲击工艺对 GH742 镍基高温合金疲劳性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2009, 30 (3): 42-45.
- [6] 武敬伟,花银群,陈瑞芳. 激光冲击强化对金属显微组织及其机械性能的影响 [J]. 新技术新工艺, 2007(6): 54-57.
- [7] 张 宏,余承业. 激光冲击处理工艺因素对铝合金疲劳寿命影响的研究 [J]. 激光杂志, 1999, 20(1): 9-12.
- [8] 李 伟,李应红,汪 诚,等. 激光冲击中应力状态和显微组织变化对金属疲劳性能影响 [J]. 航空精密制造技术, 2009, 45(3): 37-39.

(责任编辑 吕 杰)