

# 基于 DS3501 的 APD 偏压温度补偿电路设计

石朝毅<sup>1</sup>, 张玉钧<sup>1</sup>, 殷高方<sup>1</sup>, 王志刚<sup>1,2</sup>, 肖雪<sup>1</sup>, 赵南京<sup>1</sup>, 刘文清<sup>1</sup>

(1. 中科院 安徽光学精密机械研究所 国家环境光学监测技术重点实验室, 安徽 合肥 230031;

2. 扬州大学 环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:**介绍了 DS3501 的工作原理, 针对 APD 偏置电压需要进行精确温度补偿的要求, 设计了一种高精度、宽动态范围的 APD 偏压自动补偿电路。经实验测试, APD 偏压相对误差小于 0.25%。将该补偿电路应用于荧光法溶解氧测量系统中, 显著提高了系统测量精度, 测量结果相对误差小于 1%。

**关键词:** APD; 自动偏压补偿; DS3501; 精度

中图分类号: TN364

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2012)03-0001-03

## Design of automatic APD bias voltage compensation circuit based on DS3501

SHI Chao-yi<sup>1</sup>, ZHANG Yu-jun<sup>1</sup>, YIN Gao-fang<sup>1</sup>, WANG Zhi-gang<sup>1,2</sup>, XIAO Xue<sup>1</sup>, ZHAO Nan-jing<sup>1</sup>, LIU Wen-qing<sup>1</sup>

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Optical Monitoring Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

2. School of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** The function of DS3501 is introduced. According to the requirement of accuracy compensation of APD bias voltage, a compensation circuit with high accuracy and wide dynamic range is designed. The circuit performed well with a relative error less than 0.25%. The circuit obviously improved the performance of dissolved oxygen measuring system, with a relative error less than 1%.

**Key words:** APD; bias voltage compensation; DS3501; accuracy

雪崩光电二极管 (APD) 具有很高的灵敏度和内部增益, 可大大提高探测系统的探测灵敏度和信噪比, 因而在微弱光电信号测量系统中得到了广泛应用。但同时它也有一个很大的缺点, 即增益随温度变化, 因而应用时需做偏压温度补偿, 以保证 APD 的增益恒定<sup>[1-2]</sup>。但现有的补偿方法中, 或需要微处理器进行控制, 或电路设计比较复杂。由此, 文中提出了一种基于 DS3501 的 APD 偏压温度补偿电路, 可以自动实现 APD 偏压精确补偿, 无需微处理器控制, 简化了电路设计。

## 1 温度对 APD 增益的影响及补偿方法

SILICON-SENSOR 公司 AD 系列 APD 的增益  $Gain$  由偏置电压  $U_R$  与  $U_{BR}$  的比值  $k$  决定,  $k$  越大, 增益越大。但是, APD 的击穿电压  $U_{BR}$  受温度影响, 温度系数为  $0.45 \text{ V}/^\circ\text{C}$ , 在偏置电压  $U_R$  不变的情况下,  $U_{BR}$  随温度发生变化, 导致出现波动<sup>[3-4]</sup>, 如图 1 所示。APD 增益的变化将直接影响到光信号的测量, 导致测量值出现较大误差。

由以上分析可知, 当温度发生变化而引起击穿电压  $U_{BR}$  变化时, 需调整偏置电压  $U_R$ , 使保持不变, 以保证 APD 增益  $Gain$  恒定。假设温度时, APD 击穿电压为  $U_{BR0}$ , 偏置电压为

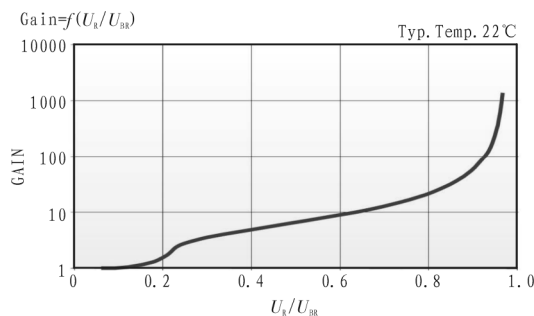


图 1 APD 增益曲线

Fig. 1 APD gain curve

$U_{R0}$ , 可得偏压计算公式:

$$U_R = k(U_{BR0} + 0.45(T - T_0)) \quad (1)$$

以此公式为基础, 设计 APD 偏压温度补偿电路。

## 2 DS3501 工作原理

DS3501 是一款 7 位、非易失 (NV) 数字电位器, 端到端电阻为  $10 \text{ k}\Omega$ , 可通过 I<sup>2</sup>C 接口对其进行编程设置。内置温度传感器和对应的模/数转换器 (ADC), 温度传感器带有一个 36 字节的 NV 查找表 (LUT), 以存储不同温度下对应的输出阻值,

收稿日期: 2011-11-14

稿件编号: 201111075

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2007AA061502) (2009AA063005), 国家重大科技专项 (2009ZX07420-008-005), 安徽光学精密机械研究所所长基金项目 (Y03AG31144), 中国博士后基金 (20100470861)

作者简介: 石朝毅 (1986—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生。研究方向: 光电信息处理。

每4℃的温度区间对应一个阻值,覆盖温度范围-40~+100℃。

DS3501原理框图如图2所示。芯片具有3种工作模式:Default模式,LUT模式和LUT Adder模式。Default模式最简单,抽头位置直接由控制器通过I2C总线控制;LUT模式和LUT Adder模式都是通过LUT查找表控制抽头位置,二者的区别在于:LUT Adder模式中,抽头寄存器WR中的值等于LUT查找表的输出值加上初始值寄存器IVR中的值,而LUT模式中则不加IVR中的值。以上3种模式中,系统上电时,抽头寄存器WR默认读取初始值寄存器IVR中的值作为初始值。

本设计通过配置相关寄存器使DS3501工作于LUT模

式,电位器的抽头位置直接由LUT的输出控制。如图2所示,芯片以周期 $T_{FRAME}$ 查询温度传感器的输出,将ADC转化后的温度值存贮于温度寄存器(0Ch),根据此温度确定一个地址值并存储于LUT地址寄存器LUTAR(08h),读取LUT查找表中对应地址内的阻值并存入抽头寄存器WR(09h),实现抽头位置的自动调整。这一特性使得仅通过此芯片就可以完成对APD的偏压温度补偿,而不用借助微处理器进行计算和控制,简化了电路设计。其中,LUT查找表中的存储的阻值由APD的性能参数及环境温度决定。同时,温度值还可通过PC总线由主机读取。

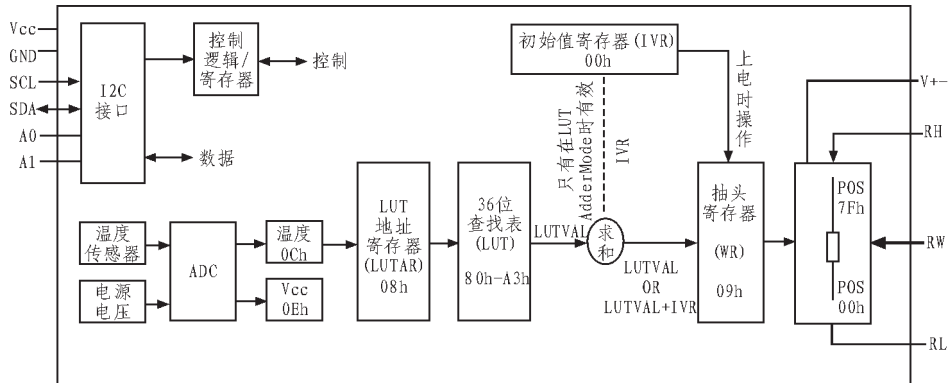


图2 DS3501原理框图  
Fig. 2 Block diagram of DS3501

### 3 偏压温度补偿电路设计

#### 3.1 电路设计原理

偏压温度补偿电路<sup>[9]</sup>如图3所示,将DS3501的RH、RL和RW在外部连接成分压器形式,RW端电压可方便地通过下式计算:

$$V_{adj} = V_{RW} = V_{RL} + \frac{WR}{127} (V_{RH} - V_{RL}) \quad (2)$$

其中,WR为十进制表示的寄存器WR中的值。

设计中的高压模块为线性升压模块,放大倍数为80倍,即:

$$U_R = 80 \times V_{adj} \quad (3)$$

根据电路设计,得:

$$U_R = \frac{V_{ADD}}{R_1 + R_2 + 10} \times \left( \frac{10WR}{127} + R_2 \right) \quad (4)$$

因此,通过改变寄存器WR中的值,就可以获得不同的偏置电压。

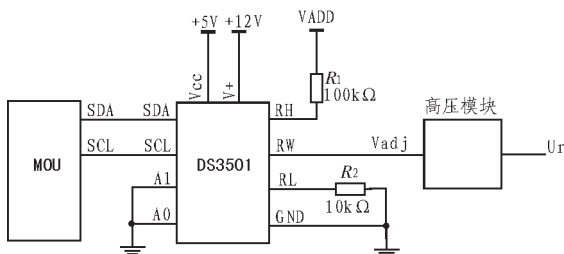


图3 偏压温度补偿电路  
Fig. 3 Bias voltage compensation circuit

#### 3.2 电路参数设计

参数设计需要满足以下两点要求:

- 1) 为保证偏压温度补偿的精度,必须有 $\Delta V_{RW} < \Delta V_{adj}$ ,即相邻两档电阻对应的 $V_{RW}$ 的变化值小于 $V_{adj}$ 的最小变化值;
- 2) 工业环境温度一般为-40~+85℃,因此该电路必须能在-40~+85℃范围内进行APD偏压温度补偿。

查APD手册得:22℃时,APD击穿电压 $U_R = 153V$ ,为了保证APD工作在较大的放大倍数,同时受温度影响又相对较小,取偏置电压 $U_R = 122.4V$ ,即 $k = 0.8$ 。

由(1)、(3)式得:

$$\Delta V_{RW} < 0.018 = 0.0045 \Delta T \quad (5)$$

因为DS3501每4℃温度区间对应一个阻值,因此 $\Delta T = 4$ ,故 $V_{adj} = 0.018$ 。

因此需要有:

$$\Delta V_{RW} < 0.018 \quad (6)$$

同时,在-40~+85℃范围内,由(1)、(3)式得:

$$1.251 < V_{adj} < 1.8135 \quad (7)$$

电路参数设计必须满足(6)、(7)式所示条件。

取 $V_{ADD} = 12V$ , $R_1 = 100k$ , $R_2 = 10k$ ,得 $\Delta V_{RW} = 0.0079$ , $1.000 < V_{adj} < 2.000$ ,满足(6)、(7)式。根据确定的参数,由(1)、(4)式得:

$$WR = 54.737 + 0.57157 \quad (8)$$

由(8)式计算出不同温度下对应的WR的值,并转换成十六进制,通过I2C总线写入DS3501的查找表LUT对应地址中,芯片就可以根据温度传感器的温度控制抽头位置,进

而实现偏压的控制。

### 4 测试结果

根据电路选取的参数,由(4)、(8)式得:

$$U_R=114.48+0.36T \quad (9)$$

根据(9)式可以计算得到某温度下偏置电压  $U_R$  的理论值。

为了测试电路的补偿效果,在不同的温度下测量一组偏置电压  $U_R$ , 将其与理论值进行相关性分析, 相关系数为 0.999 67,斜率为 1.002 48,标准偏差为 0.006 64,具有较好的一致性,如表 1 及图 4 所示。

表 1 偏置电压理论值与测量值对照表  
Tab. 1 Compare of theoretical value and measured value of bias voltage

$U_R$ 理论值	116.64	118.08	119.52	120.96	122.40	123.84	125.28	126.72	128.16
$U_R$ 测量值	116.54	117.80	119.69	120.94	122.20	124.09	125.35	126.61	127.87
$U_R$ 理论值	129.60	131.04	132.48	133.92	135.36	136.80	138.24	139.68	
$U_R$ 测量值	129.76	131.02	132.28	134.17	135.43	136.69	137.95	139.84	

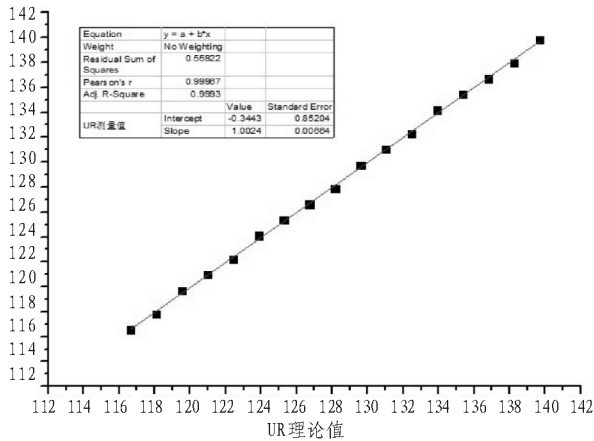


图 4 偏置电压理论值与测量值关系曲线  
Fig. 4 Relation curve of theoretical value and measured value of bias voltage

### 5 应用

将该温度补偿电路应用于荧光法溶解氧测量仪,在一组不同温度下, 分别用 APD 偏压补偿前和补偿后的测量仪测量同一浓度的溶解氧(8.15 mg/L),测量结果如表 2 及图 5 所示,补偿前测量值最大相对误差为 4.17%,标准偏差为 0.160 6,补偿后测量最大相对误差为 0.98%,标准偏差为 0.038 8,可见,仪器性能指标得到了较大的提升,且具有较好的精确度及稳定性。

### 6 结束语

通过实验测试可见,本文设计的基于 DS3501 的 APD 偏压温度补偿电路,能够根据环境温度准确自动补偿 APD 偏

表 2 偏压补偿前后同一溶解氧浓度测量结果对比 (mg/L)  
Tab. 2 Measured value of dissolved oxygen before and after compensation (mg/L)

温度 / $^{\circ}\text{C}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
补偿前浓度	8.00	8.05	8.08	8.14	8.18	8.25	8.28	8.33	8.37	8.40	8.41	8.44	8.49
补偿后浓度	8.10	8.09	8.17	8.15	8.16	8.12	8.18	8.11	8.16	8.13	8.18	8.14	8.15

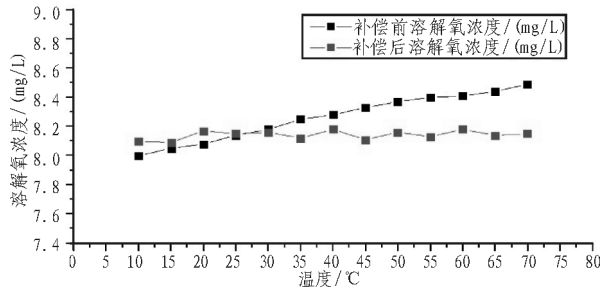


图 5 偏压补偿前后同一溶解氧浓度测量值曲线  
Fig. 5 Curve of measured value of dissolved oxygen before and after compensation

置电压,较好的满足了溶解氧测量系统对 APD 测量精度的要求,具有优良的性能和很好的实用性。

### 参考文献:

- [1] 吴伟,邹建. 基于 ADL5317 的 APD 偏压控制/光功率监测电路[J]. 电子设计工程, 2007(6):62-64.  
WU Wei,ZOU Jian. APD bias control/optical power monitor circuit based on ADL5317[J]. Electronic Design Engineering, 2007(6):62-64.
- [2] 江月松.光电技术与实验[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2000.
- [3] 李桂英,陈殿仁.APD 光电探测器温度补偿方法研究[J].长春光学精密机械学院学报,1998, 21(2):49-52.  
LI Gui-ying, CHEN Dian-ren. Study of temperature compensation of APD photoelectric detector[J]. Journal of Changchun Institute of Optics and Fine mechanics, 1998, 21(2):49-52.
- [4] 张志强,王萍,邹宇,等. 低纹波低功耗自动控制 APD 偏压电路[J]. 测绘工程, 2007(1):62-65.  
ZHANG Zhi-qiang, WANG Ping, ZOU Yu, et al. APD bias voltage automatic control circuit with low ripple and low power consumption[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2007(1):62-65.
- [5] 童诗白,华成英.模拟电子技术基础[M]. 3版.北京:高等教育出版社,2001.
- [6] 高晶,张志伟.基于 I<sup>2</sup>C 总线的温度测量系统设计[J]. 电子测试, 2011(10):75-78.  
GAO Jing, ZHANG Zhi-wei. Design of temperature measuring system based on I<sup>2</sup>C bus[J]. Electronic Test, 2011(10):75-78.