

为了简化分析, 作如下近似和假定:

1. A_{o1} 和 A_{o2} 分别为主放大器 A_1 和调零放大器 A_2 的放大倍数。
2. A'_{o1} 和 A'_{o2} 分别为从 N_1 和 N_2 作为输入端时放大器 A_1 和 A_2 的放大倍数。
3. $V_{o\cdot 1}$ 和 $V_{o\cdot 2}$ 分别为 A_1 和 A_2 的输入失调电压。当 SB_1 和 SB_2 断开, 调零放大器 A_2 输入电压 $V_i = 0$, 此时输出电压 V_{o2} 由下式表示:

$$V_{o2} = A_{o2} \cdot V_{o\cdot 2} - A'_{o2} \cdot V_{o2} \quad (1)$$

化简后得:

$$V_{o2} = -\frac{A_{o2}}{1 + A'_{o2}} \cdot V_{o\cdot 2} \cong -\frac{A_{o2}}{A'_{o2}} \cdot V_{o\cdot 2} = V_{e2} \quad (2)$$

A_2 的输出电压 V_{o2} 全部寄存在电容 C_2 中。在时钟信号第二阶段, SA_1 和 SA_2 断开, SB_1 和 SB_2 闭合, 输入信号 V_i 分二个通路进行放大, 此时 A_2 的输出电压 V_{o2} 为:

$$V_{o2} = A_{o2}(V_{o\cdot 2} + V_i) \quad (3)$$

由于 SA_2 断开, 上半周期充入 C_2 的失调电压 V_{o2} 又从调零输入端 N_2 进入 A_2 进行放大, 该输出电压 V'_{o2} 由下式表示:

$$V'_{o2} = A'_{o2} \cdot V_{o2} = A'_{o2} \cdot \frac{A_{o2}}{A'_{o2}} V_{o\cdot 2} = A_{o2} \cdot V_{o\cdot 2} \quad (4)$$

因为 N_2 是 A_2 的反相输入端, 以上两部分输出在 A_2 输出端为:

$$\begin{aligned} V_{o2} &= A_{o2}(V_{o\cdot 2} + V_i) - V'_{o2} \\ &= A_{o2}(V_{o\cdot 2} + V_i) - A_{o2}V_{o\cdot 2} \\ &= A_{o2} \cdot V_{o\cdot 2} + A_{o2} \cdot V_i - A_{o2} \cdot V_{o\cdot 2} \\ &= A_{o2} \cdot V_i \end{aligned} \quad (5)$$

可见在时钟的后半周期中, 放大的 A_2 的失调电压已被抵消。这个没有失调的电压 V_{o2} 由于 SB_2 的接通而送入寄存电容 C_1 中并加到 N_1 上由 A_1 进行放大。 A_1 的输出电压 V_{o1} 为:

$$V_{o1} = A_{o1}(V_i + V_{o\cdot 1}) + A'_{o1} \cdot V_{o2} \quad (6)$$

将关系式(5)代入上式得:

$$\begin{aligned} V_{o1} &= A_{o1}(V_i + V_{o\cdot 1}) + A'_{o1}A_{o2}V_i \\ &= A_{o1}V_i + A_{o1}V_{o\cdot 1} + A'_{o1}A_{o2}V_i \\ &= (A_{o1} + A'_{o1}A_{o2})V_i + A_{o1}V_{o\cdot 1} \end{aligned} \quad (7)$$

式中 $(A_{o1} + A'_{o1}A_{o2})$ 为放大器的总增益, $A_{o1}V_{o\cdot 1}$ 为失调电压的误差项, 该误差项对输入端来说即等效系统输入失调电压 $V_{o\cdot}$:

$$V_{o\cdot} = \frac{A_{o1}V_{o\cdot 1}}{A_{o1} + A'_{o1}A_{o2}} \cong \frac{V_{o\cdot 1}}{1 + A_{o2}} \cong \frac{V_{o\cdot 1}}{A_{o2}} \quad (8)$$

接收器选用英制9558B光电倍增管, 它和15G7650集成电路组成的微电流放大器, 如图2所示。为了提高信噪比和线性度, 特将信号电流直接进行电压转换。

为确保不同波长范围的探测灵敏度, 要求放大器具有尽可能高的放大倍数。电流放大器对地几乎呈现为零输入阻抗, 输入电流流经反馈电阻 R_f 。因而产生的输出电压

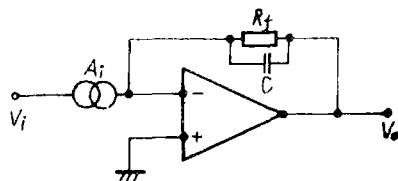


图2

V_o 为:

$$V_o = R_f \cdot A_i \quad (9)$$

电流放大器的时间常数对光谱曲线的响应速度和噪声有影响时间常数大,对减小噪声有利。但对光谱曲线的响应速度不利,必须折衷选择。考虑到所使用的记录仪的响应时间为满量程0.5秒,选择电流放大器响应时间为0.2秒。由下式得出:

$$\tau = R_f \cdot C \quad (10)$$

在电路设计上还要考虑光电倍增管暗电流的补偿调整电路。

三、电路的制作

具体电路如图3所示。5G7650集成电路接成微电流放大器,输出使用F007运算放大器组成跟随器。

该电路是全反馈电流放大器,反馈电阻 $R_3 \sim R_6$ 选用高精度金属膜电阻。 R_3 为固定反馈电阻,用于保证系统在改变放大倍数时处于稳定状态。波段开关 K 能在1、2、3档进行增益变换。 R_7 、 R_8 、 D_1 、 W_1 组成暗电流补偿网路, R_8 的阻值要选在 $10^6 \Omega$ 以上,以达到电路匹配。 R_9 、 C_2 用于滤除斩波开关而造成的脉冲尖峰。

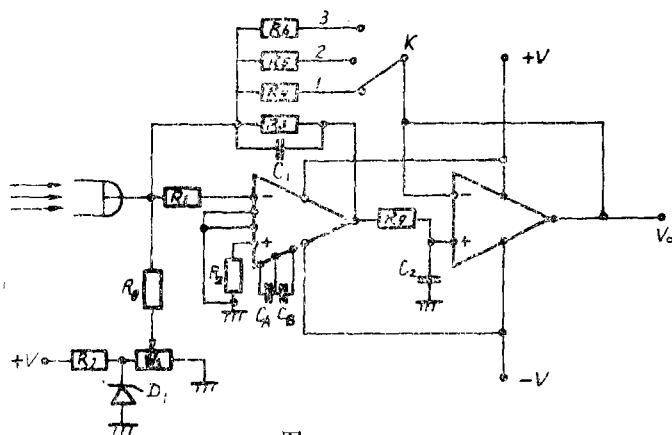


图3

为确保测量精度,要求供电电源的稳定度优于0.1%,一般要求 R_f 反馈电阻的温度系数低于 $50 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。由于反馈电阻 R_f 上的噪声电压全部反映到输出电压 V_o 。之中,所用电阻要选用低噪声电阻如精密线绕电阻。

放大器制作工艺:

1. 5G7650是CMOS器件,电源电压在 $\pm 3\text{V} \sim \pm 8\text{V}$,最好串接 $200\Omega \sim 500\Omega$ 的限流电阻。 C_1 、 C_2 记忆电容必须是高阻抗的优质电容。
2. 放大器所有元器件的焊点必须焊牢,输入端引线应尽量短,在印制电路板上将输入端用保护环包围并接地。
3. 保持电路板面清洁干燥,有良好的绝缘。反馈电阻不能距其他元件太近。
4. 波段开关 K 处于反馈回路中,要有较高的绝缘性能。其接触点应接在放大器的输出端,不能接在输入端。
5. 放大器整体密封在一个用铜片和坡膜合金制成的双层屏蔽的金属盒内,以对磁场和

静电场都有良好屏蔽作用。

四、主要指标

1. 测量灵敏度: $1 \times 10^{-12} \text{A}$
2. 噪声: $1 \times 10^{-13} \text{A}$
3. 时漂: $1 \times 10^{-13} \text{A/h}$
4. 放大器线性范围: 4V
5. 放大器线性度: 0.1%
6. 放大器时间常数: 0.2s

上述电流放大器的指标是在开机后30分钟后测得。

Photo-Current Amplifier for UV Spectrometer

Zhang Fucheng

Abstract

The paper described practical circuit of a simple reliable high-sensitivity photo-current amplifier and its the result of application. Analysed operation principle of the circuit and useing method of technology.