

光电扫描系统中前置放大部份

吴华青

(南京天文仪器厂)

一、提 要

本级是磁场望远镜光电扫描系统中前置小信号放大部份。它将内阻高的光电倍增管所产生的微移电流放大后，输入到下一级选放及记录系统，起着 I—V 变换作用，它的输出为电压。

二、本级要求

1. 本级特点

(1) 信号小 直流： $4 \times 10^{-7} \text{ A}$

交流： $2 \times 10^{-11} \text{ A} \sim 6 \times 10^{-8} \text{ A}$ (为 135Hz、270Hz 的正弦波、方波)

(2) 难度大，不仅要放大小信号直流，还要检测微弱交流。

2. 本级要求

(1) 另点漂移：小于输入信号的 $\frac{1}{300}$ ，即小于 $1.2 \times 10^{-9} \text{ A}$

(2) 信噪比，最小交流信号的 $1/5 \sim 1/10$ ，为 $2 \times 10^{-12} \text{ A}$ 。

三、工作原理

1. 方框图一

2. 电原理图二

3. 电路介绍

(1) 输入级：输入级是静电计管 DC—2 (双四极管)。这是一种专为微电流放大而特殊制作的电子管，由于采取种种措施，它的栅流可以下降到 10^{-16} A 。在 DC—2 的屏极负六中接有电位器 W_1 ，称为粗调，调整它，可使 DC—2 二管对称性得到改善。静电计管的电极降压电阻用漆包锰铜线绕制。

(2) 主放大级：主放大级为运算放大器 XFC—75。由于其采用了互补差分及有源负载结构，因而具有增益高，差模、共模输入范围较大，频率补偿简便等特点，细调另电位器 W_2 用作 XFC—75 的调零。

(3) 输出电路：采用 2.5K。这里值得提出注意的是，输出负载不能低于 2.5K。因为输

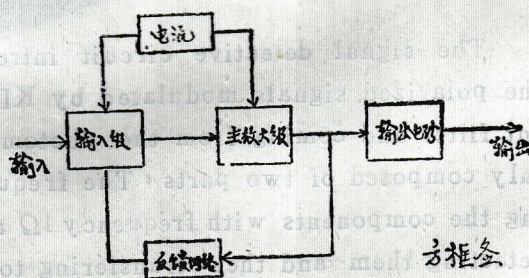


图 1

出电流要小于5mA，按允许最大输出电压12.5V计算，最小负载 $R_L = \frac{12.5V}{5mA} = 2.5K$ ，所以，2.5K这一负载，是本级工作在最不利的情况，负载越大，本级工作越稳定。

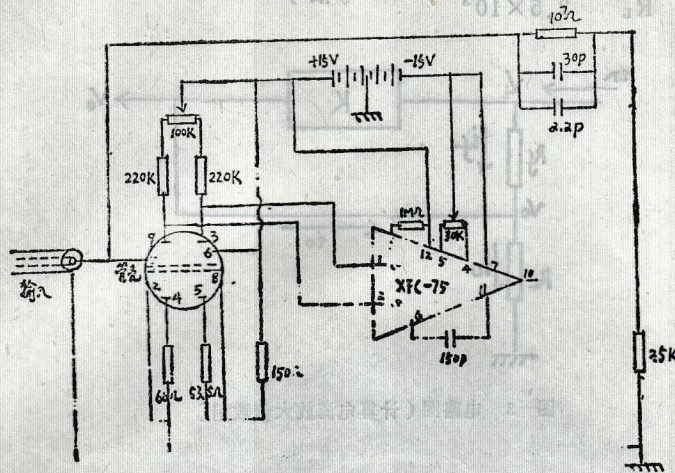


图 2

(4) 反馈网络：在DC—2 静电计管的栅级，接有玻壳真空高阻 $10^7\Omega$ ，实现电压并联负反馈。

(5) 电源：电源是高精度晶体管直流稳压电源 WYJ—2A—1A27V。

(6) 电缆线：全部采用低噪音电缆线 STYV—2

(7) 屏蔽缸：输入级、主放大级、反馈网络全部放在电磁屏蔽的密封缸体内，整个放大器具有另漂小，稳定性好、噪声低等特点。

4. 本级输入阻抗、输入阻抗、放大倍数计算。

(1) 输入阻抗 R_i

A、输入级DC—2放大倍数 K_{V_1} 计算

设跨导 $S = 10\mu A/V$

当输入为1v时，屏压 = $(220 + 50) \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} \approx 3(V)$

$$K_{V_1} = \frac{3v}{1v} = 3$$

B、主放大级XFC—75放大倍数 $K_{V_2} = 2 \times 10^5$

C、本级总的开环电压放大倍数 $K_{V_{总}}$ 的计算

$$K_{V_{总}} = K_{V_1} \times K_{V_2} = 3 \times 2 \times 10^5 = 6 \times 10^5$$

D、输入阻抗 $R_i = \frac{R_f}{1 - K_{V_{总}}} // R_{gh} \approx \frac{10^7 \Omega}{6 \times 10^5} // 10^{15} \Omega \approx 33 \Omega$

其中 R_f 为反馈高阻， R_{gh} 为DC—2的输入阻抗

(2) 输出阻抗 R_o ：即等于 XFC—75的输出阻抗约为 200Ω 。

(3) 电流放大倍数 K_i

电路图如下：

$$V_o = i_L R_L = (i_o + i_i) R_L \approx i_o R_L$$

$$V_o = V_i - i_f R_f \approx -i_f R_f$$

$$\text{则 } i_o R_L \approx i_f R_f$$

$$\therefore K_i = \frac{i_o}{i_f} = \frac{K_f}{R_L} = \frac{10^7}{2.5 \times 10^3} = 4000 \text{ (倍)}$$

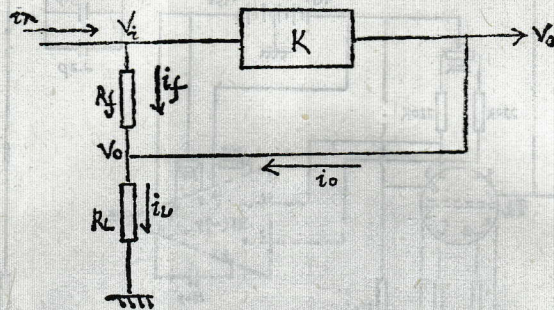


图 3 电路图 (计算电流放大倍数用)

四、本级所达到的技术参数

1. 另类漂移

在本级输出端用 Pz—8 直流数字电压表测, 另点漂移在几百微伏, 折算到输入端, 为 10^{-11} A 数量级, 比原指标要求提高了 1 个数量级多。

2. 信噪比: 无信号时, 在选放输出端看, 135Hz、270Hz 处的噪声多大, 然后折算到本级输入端, 经多年的联试和试观察, 结果都表明该指标优于原设计要求。

3. 本级工作长期稳定可靠, 抗干扰性能强。在整个试观察过程中, 一直正常地工作, 没出任何故障。

五、移用改进情况

本级是在南开大学 NWF—02 型微电流放大器基础上移用改进而成的。NWF—02 型微电流放大器是采用直接放大式, 另漂小, 易与光电倍增管匹配, 测量精度高。但是它只适用于测量 1Hz 以下的慢变化直流信号, 不考虑交流信号的测量, 因此在抑制噪声方面, 没有多加考虑。该放大器本身含有从 50Hz 到 500Hz 之间的噪声在 7×10^{-10} A 数量级。为了移用在磁场上, 采取如下措施:

① 将 ± 300 V 极化电源以及集成化稳压电源 W2—03B 组成的 ± 15 V 电路, 统统甩掉不用, 换上高精度晶体管直流稳压电源。该电源特点, 一是稳定性高, 为几万分之一, 它用线性组件作比较放大器, 基准电压是二级高效能稳压电路并加辅助电源; 二是该电源是一个低噪声电源, 尤其对 50Hz 及其倍频成份 100Hz、200Hz 等低频噪声进行了抑制, 为了避免漏磁, 电源变压器是工作在远离磁滞回线饱和点处, 因此铁心比较大, 一般稳压电源的纹波在毫伏级, 它只有几十微伏, 高两个数量级。

②原来的信号线为氟塑线，输入电容大，易受50Hz等外界电磁波干扰。现采用了芯线上有石墨，铜丝网中有硅油的低噪音电缆线，抗干扰性能大大增强。原来方案，本级是放在望远镜本体上靠近信号源，现移到控制室内，从光电倍增管信号源处，拉了一根近20米的低噪音电缆线到本级，现能抗住几千伏的高压及50Hz市电的干扰，使其能满足信噪比要求。

③电路进行了简化，在反馈回路中，未用基流补偿电路（因为我们的信号源光电倍增管进行了致冷，不需进行暗流补偿。）这样消除了这四个电位器加在输入端的热噪声影响，另外，输出电路中的调基线电路，显示衰减电路都统统不用。电路大大简化以后，不稳定因素大大减小。

④将粗调、细调电位器改用多圈精密线绕电位器，尤其是带有指示，不仅噪声比原炭膜电位器低，而且使调另方便，迅速。

⑤为了以后维修方便，将严格筛选的NG04换上了性能接近易得到组件XFC—75。

六、使用情况

1. 开 Pz8 数字电压表“电源”预热一小时稳定后，可用来监视、测量本级输出。开高精度稳压电源“电源”、“启动”预热一小时。预热时间、工作时间越长，本级越稳定。

2. 调另。由于本级信号小，DC—2 工作电流小特点，调另需往复调。粗调是影响系统另漂，细调一般是为了调运放的失调电压。调另方法如下：

(1) 用细调另调到另，观察如出现 + 偏（- 偏）

(2) 则用粗调朝相反方向调走，为 -（+）。

(3) 细调另调复另位，观察如出现 + 偏（- 偏）

(4) 重复(2)

(5) 用细调另调到另，观察如出现由 - 偏（+ 偏）

(6) 重复(2)，但得朝相反方向调

3. 测量，光电倍增管高压电源加上后，待测信号通入，这时在 Pz8 上可读到本级输出读数为

$$V_o, \text{ 则光电倍增管输出电流 } I_i = \frac{V_o}{R_f} = \frac{V_o}{10^7 \Omega}$$

4. 注意事项

(1) 关机时，要先关高精度稳压电源，然后再关 Pz8 数字电压表

(2) 高精度稳压电源的负载要先接上，然后再开“电源”、“启动”，不能倒过来，先开“电源”、“启动”，然后再接负载。另外，电源的两路输出不能并联使用，因为两路电源不可能调得非常准，易使电流从一电源倒进另一电源，对电容充电。

七、故障及其排除

本级常见故障来自输入电路，电缆沾污受潮使电缆漏电严重，因此使用中要注意保持输入电缆及插头的清洁干燥，另外，该低噪音电缆线易断，使用中须注意，一定要保证各插头、座接触牢靠。

八、维修有关问题

1. 静电计管DC-2选择原则

(1) 板流, $I_p \geq 23\mu\text{A}$ ($23 \sim 60\mu\text{A}$) 太小, 将使 $V_p > 10$ 伏, ($\because V_p = \text{电源} - I_p \times \text{板极负载} 270\text{K}$, V_p 大使组件共模范围不够用), 另外, I_{p1} 、 I_{p2} 两半板流差不超过 $1/4$, (相对于大者), 差太远, 100K调不了。

(2) 跨导 $S \geq 14\mu\text{A}/\text{V}$ (不作严格要求)

(3) 工作栅流 $i_g \leq 3 \times 10^{-14}\text{A}$

(4) 灯丝电源 I_H 规定 $55\text{mA} \pm 5\text{mA}$ (在2V灯丝电源时), 现改为电流供电, 应 $V_H = 2\text{V} \pm 0.2\text{V}$

(5) 第一栅流 $I_{g1} \leq 650\mu\text{A}$

2. XFC-75参数

GOL $5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$

$V_{op} \sim p \pm 12\text{V}$

$V_{os} 1 \sim 5\text{mV}$

$I_{os} 0.01 \sim 0.1\mu\text{A}$

$C_{MRR} 80\text{db}$

P $4 \sim 15\text{mW}$

$I_{omax} \pm 6 \sim \pm 8\text{mA}$

Z_i (输入阻抗) $1\text{M}\Omega$

失调电压温漂D: $3 \sim 15\mu\text{V}/\text{C}$

电压适用范围Z: $\pm 6 \sim \pm 18\text{V}$

负电源灵敏度-SVR: $50\mu\text{V}/\text{V}$

正电源灵敏度+SVR: $50\mu\text{V}/\text{V}$

共模电压范围ECM: 20V

A PREAMPLIFIER FOR THE PHOTOELECTRIC MAGNETOGRAPH

Wu Hua-qing

(Nanjing Astronomical Instrument Factory)

A preamplifier was made for amplifying the weak signal from the EMI photomultiplier of the photoelectric detective system in the 35cm solar magnetic field telescope. The weak photoelectric current (D.C. 10^{-7}A , A.C. $10^{-8} \sim 10^{-11}\text{A}$)

is amplified and transferred into voltage signal by it then fed into the frequency-selective amplifier. Its technical parameters are measured: The zero-point drift of current is less than $10^{-9}A$; the low frequency noise is less than $10^{-12}A$.

The preamplifier is composed of four parts: 1). A specially produced DC-2 electron tube for the input circuit, 2). A XFC-075 operation amplifier, 3). An output circuit, 4). A parallel-voltage negative feedback loop with a high-resistance in a vacuum tube. All circuit except the output one are protected by light and electromagnetic shield and suitable sealing. The low-noise shielded cable is used as signal line. Besides, all electric elements in the amplifier were strictly selected.

