

科学技术成果报告

JDYQ-1型电压前置放大器

罗英信 江修炳

中国科学院原子能研究所

一九七四年四月

J DYQ -1 型普通电压前置放大器工作总结

一、前 言

J DYQ -1 型电压前置放大器, 通常配合主放大器用于测量光电倍增管、正比计数等等探测器输出的电信号。

探测器性能的充分发挥, 只有应用了低噪音放大器电路才能实现。核电子仪器通常使用的前置放大电路主要分电压灵敏前置和电荷灵敏前置。近年来由于半导体探测器大力发展, 谱仪高分辨率的要求, 电荷灵敏前置发展很快, 而电压前置的国外报导不多。

通常晶体管电压前置主要缺点是: 输入阻抗低; 噪音大(比电子管约大一个数量级)^[1]; 温度稳定性能差; 探测器高压当接通或断开时的电冲击易把输入级管子损坏等。我们采用了结型场效应管 0X402 作输入级并用耐高压保护电路, 测试结果表明: 探测器高压跃阶 1 千伏增减变化时, 前置正常工作。本前置输入阻抗 > 500 千欧, 前置放大“ $\times 10$ ”位置噪音性能如下:

折合输入端噪音 < 3 微伏有效值 (主放微积分为 1 微秒);

$< 2 \cdot 5$ 微伏有效值 (主放微积分为 2 或 $3 \cdot 3$ 微秒)。

二、方案考虑

一般晶体管代替电子管放大器电路有许多优点，但也有其缺点，主要是输入阻抗小以及噪音大，这对子电压前置放大器来说是个严重的问题。电压灵敏前置的特点是要求输入阻抗高、输入电容小。

为了提高晶体管输入阻抗，有人提出高输入阻抗的晶体管前置电路〔2〕。为减小输入电容，采用迭级电路连接来减少米勒效应，在这方面，有很多资料〔2、3、4〕都介绍使用迭级电路连接的低噪音放大器输入级电路，消除了米勒电容。然而一般的晶体管其等效电流噪音都比较大，以致晶体管前置比电子管前置的噪音几乎大一个数量级（6—8倍）〔1、5〕，由于这个原因，常常限制了晶体管电压前置更广泛的应用。

电压前置的噪音主要决定于第一个管子，我们采用结型场效应管 CX 402 作输入级，这样一来，电路结构简单，并且克服了一般的晶体管低输入阻抗、噪音大的缺点。其缺点是这种场效应管截止频率较低，电路做不快。

在场效应管中主要噪音源是导电通道的热噪音，它可以表示为等效噪音电阻：

$$R_n = \frac{0.7}{g_m}$$

或者表示为等效噪声电荷：

$$(ENC)^2 = b C_t^2 C_t^2 R_n T$$

这里： b —— 常数

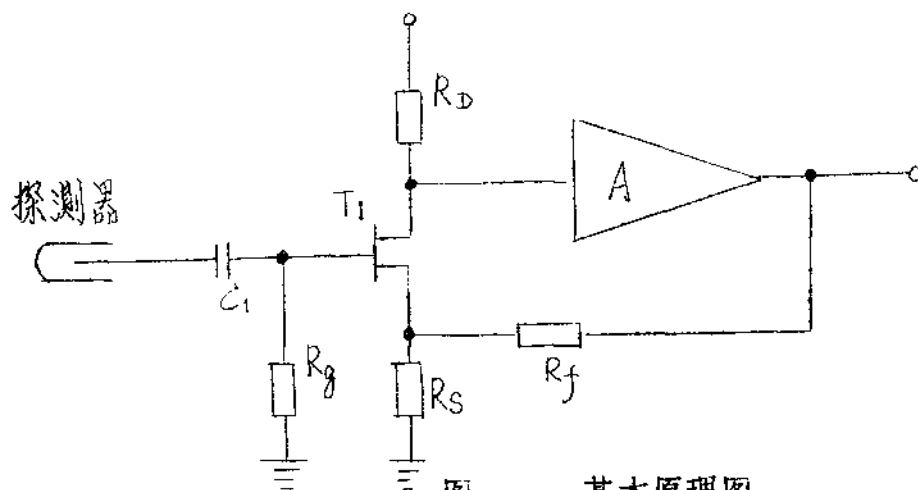
C_t —— 输入电容

g_m —— 增益

T —— 绝对温度

其他噪声源如漏电流或门极噪声电流（被耗尽层宽度的调制所引起）等比较起来可忽略〔6〕。我们所用的 CX402 场效应管按厂家标准其噪声为 $NF < 0.5 \text{ db}$ 。可以用 2 只场效应管组成级联电路连接输入级，以获得低噪声的电压前置〔7〕。

我们手头上有的场效应管不多，况且做成的前置电路与探测器高压连接工作时，能否经得住高压通、断时电的冲击，仍是个问题，因此只用一个 CX402 接成普通的级联电路方案。其原理图如下：



图一、基本原理图

这是普通的电压负反馈所组成的放大器。如果 T_1 的放大倍数为 K ，

$$\text{当: } K \cdot A \gg 1$$

$$\text{输出阻抗} \ll R_f \parallel R_f$$

$$R_D \gg R_S \text{ 时,}$$

那么，反馈放大器的放大倍数：

$$K_f = \frac{K \cdot A}{1 + K \cdot A \beta_f} \approx \frac{R_s + R_f}{R_s} \approx \frac{R_f}{R_s} \dots\dots\dots (1)$$

改变 R_f 便可改变放大倍数。

三、线路说明

放大器完整线路图如图五所示这是个普通的电压负反馈放大电路。共源场效应管 T_1 作为输入级与晶体管 T_2 组成一个负反馈放大环，反馈信号由 T_2 射极跟随器给出，这一级其闭环放大倍数按公式(1)决定于电阻 R_f 与 R_s 的比：5 或 10 倍，开环放大倍数 > 8000 ，保证了足够的负反馈深度。放大器增益的温度稳定性主要取决于 R_f 和 R_s 的稳定性，因此，应选取低温度系数的电阻作 R_f 和 R_s 。目前我们用的是 RJ1 稳定的金属膜电阻次品。

由于输入端要与探测器连接，故选用高压电容 C_1 ，以隔离探测器的高压，若探测器用负高压则可改用普通云母电容。 C_2 是自举电容作用是提高其输入阻抗，高频反馈电容 C_3 在调整中决定。为了获得低的输出阻抗，接入了 T_4 射极跟随器。

从 T_4 射极输出的脉冲的极性与放大器输入的信号的极性相同，输出、输入均为负脉冲，为了该前置的通用性起见，便于配合要求输入正脉冲的主放大器或多道分析器使用，因而加插两个晶体管 T_5 、 T_6 组成的并联电压负反馈放大环，以获得正脉冲输出。这一级的闭环传输系数为 1。

整个放大器内部的连接均采用直接耦合方式，npn型晶体管和PNP型晶体管配合使用。晶体管工作电流都用得比较小，目的是为了降低噪音的作用，因而在电路中选用了硅的PNP管，其漏电流小，稳定性好。

放大器的电源供电，按照电源指标规格供电 ± 24 伏。

四、指标及测量

本电压灵敏前置放大器指标性能有待于实践的检验。初步测试指标如下：

放大倍数：5，10；

输入极性：—；

输入阻抗： >500 千欧；

输出极性： $\pm$ ；

输出阻抗： <50 欧姆

输出幅度： ± 3 伏（饱和值 ± 5 伏）；

上升时间： <20 毫微秒（从前沿起始10%到峰值90%，3伏输出）；

开路噪音： <3 微伏 有效值（折合输入端，主放微积分为1微秒时）；

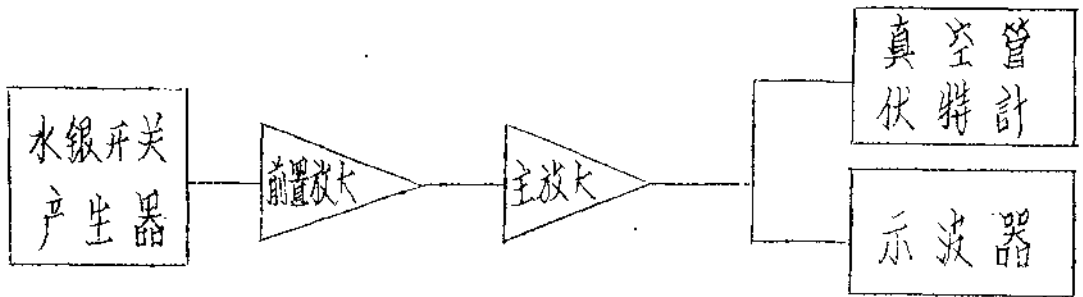
<2.5 微伏 有效值（折合输入端，主放微积分为2微秒或3.3微秒时）；

积分误差：0.3%（在90% 范围内，包括JBF-1主放和多道系统一起）；

增益温度系数： $< 0.03\% / ^\circ\text{C}$ （从 13°C — 45°C ）。

测量方法：

(1) 直观读数法：



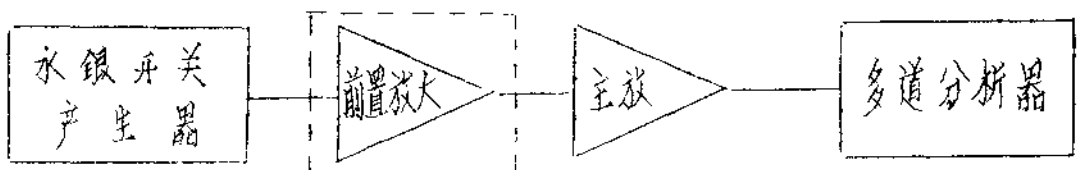
图二 直观读数方块图

噪音的测量如上图所示。前置放大在“ $\times 10$ ”位置，用示波器测量前置的输入与主放的输出，求得总的放大倍数 K ，分别选取主放的微积分时间常数，便有对应的不同的 K 值，这时，断开前置的输入信号，分别读出示波器或真空管伏特计相对应的数值，算得噪音如下表：

（见下页）

其他如前置放大倍数、最大输出幅度、输出阻抗以及上升时间等，用示波器直接观测前置放大的输出即可测得。

(2) 多道测量法：



图三 多道测量方块图

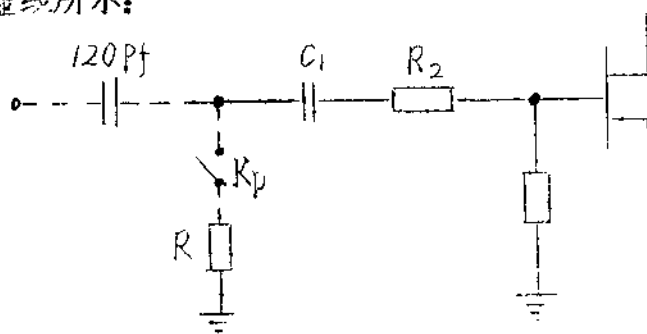
用这种方法来测量放大器的积分线性。水银开关产生器电位用数字电压表监测，当改变产生器的输出信号时，在4096分析器记录下来的峰值位置有相应的变化。作出前置放大的输入信号与多道的道数的关系线，便是放大器的积分线性。

前置输入信号从0.3毫伏到100毫伏分档进行了测量，其积分线性约为0.3%（在90%范围内，包括了JBF-1主放和多道系统一起的线性）。

使用这种方法亦可进行温度系数的测试，仅用512分析器接在主放大的输出或前置放大的输出，而仅把前置放大器部分置入温箱中加热，在一定的温度间隔内，记录下来多道所变化的道数，这变化的道数与平均道数的比值除以变化了的温度间隔，便是前置放大器增益的温度系数。我们曾进行过测试从13℃到45℃范围内，温度系数为0.03%/℃。

(3) 输入阻抗的测量

在前置放大器的输入电路中，接入小电容120Pf和电阻R，如图中虚线所示：



图四、输入阻抗测量连接图

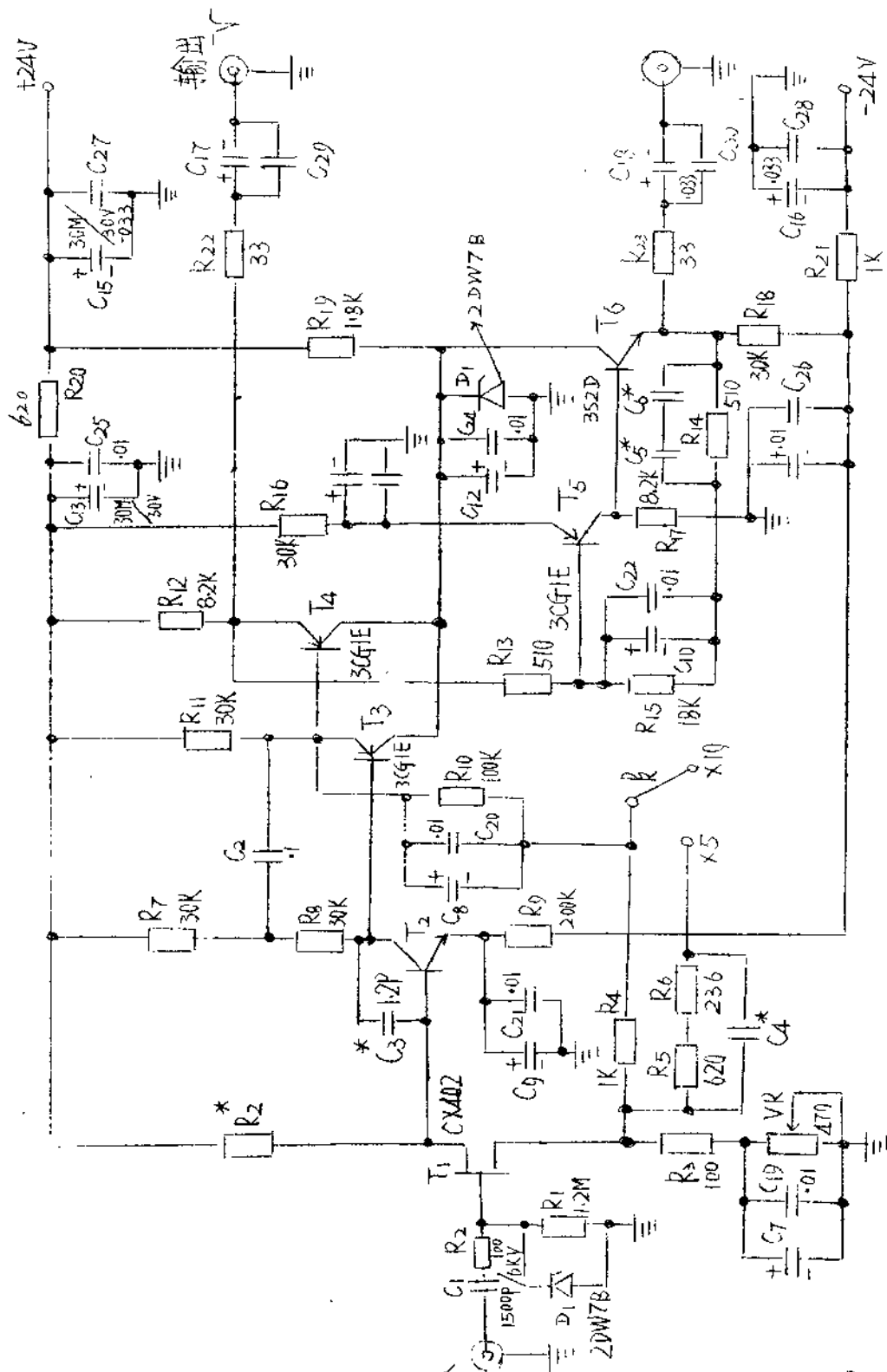
当开关 K_P 断开与接通时，分别用示波器测量其时间常数，后者比前者时间常数减少一半，便可粗略定出其输入阻抗为 R 值，测试结果，输入阻抗为 500 千欧。

五、存在问题

(1) 该前置设有防止探测器高压电源所引起的电的保护措施，虽然一般的高压电源最大变挡为 1 千伏变化，该前置能正常工作，但对于高压突然变化大于 1 千伏时，前置输入级则有被损坏的危险。

(2) 仪器关键性元件——场效应管截止频率较低所限，仪器做不快，上升时间较慢。

该放大器还存在的其他严重问题，有待实践中发现。



参 考 文 献

- [1] 原子能译丛, 1965年第7期, 第531页。
- [2] T.L.Emmer, IRE Trans. on Nucl. Sci., NS-8, No. 1 (1961), 140.
- [3] R.L.Chase, W.A.Heginbotham and G.L.Miller, IRE Trans. on Nucl. Sci., NS-8, No 1 (1961), 147.
- [4] T.W.Nybakken and V.Vali, Nucl. Instr. and Meth., Vol. 32 (1965), 121.
- [5] E.Fairstein, IRE Trans. on Nucl. Sci., NS-8, No. 1 (1961), 129.
- [6] Von Der Ziel, Proc. IRE, Aug., 1962, . . 1808.
- [7] S.Canlarano and G. V. Pallottino, Electr. Engin., Vol. 42, Sept. 1970, .57.