

小尺寸电荷灵敏前置放大器

魏海鹏 廖西征 王 浩 邱 实

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 介绍了一种应用于半导体探测器的小尺寸电荷灵敏前置放大器的实例,并分析了测量其噪声的方法,给出了降低前放噪声的几种手段。

关键词 电荷灵敏,探测器,噪声,表贴元件

中图分类号 TN722.7

在核仪器的运用中,为了减少探测器输出端到放大器输入端之间的分布电容的影响,减少外界干扰,提高信噪比,需要在探测器附近放置前置放大器对信号作初步放大^[1]。由于前置放大器难以集成化,体积都偏大,成为制约探测器体积的主要因素,而核医疗仪器这一特殊应用对探测器的尺寸要求都比较严格,如何在不增大噪声的情况下减小电荷灵敏放大器的尺寸就成了关键因素。结合金硅面垒半导体探测器,我们设计了一种与之相配合的,以结型场效应管、集成运放为主要部件的电荷灵敏前置放大器。其部件除了场效应管、反馈电阻和反馈电容外均为表贴元件,总尺寸为 10mm × 5mm × 100mm,非常适合手持式探测器。

1 原理分析

采用带反馈电容 C_f 的电荷灵敏前置放大器,它的特点是在 $AC_i \gg C_i$ (C_i 为输入电容) 时,输出电压

$$V_{OH} = V_{IM} A_o = V_{IM} \frac{A_o Q}{C_i + (1 + A_o) C_f} \approx \frac{Q}{C_f} (V_{OH} \text{ 为输出电压, } A_o \text{ 为放大器开环放大倍数, } Q \text{ 为输入电荷, } C_i \text{ 为反馈电容})$$
。放大器的输出基本不受探测器极间电容、放大器开环时输入电容和电压增益等参数的影响,稳定性很高。我们以高阻抗低噪声的结型场效应管作为输入级,后面接一集成运放以提高放大器的负载能力和抗干扰能力,提高放大器的开环放大倍数 A ,避免输出端负载对电荷灵敏放大节特性的影响。电路所采用的集成运放 MAX437 开环增益为 100dB,完全可以满足要求。此时前放的电荷灵敏度约为 $1/C_f$ 。

2 电路分析

前置放大器的电路原理见图 1。输入级场效应管采用共源方式,其栅极通过反馈电阻 R_f 来稳定其静态工作点,使其在 0V 左右以获得最低噪声。 R 为

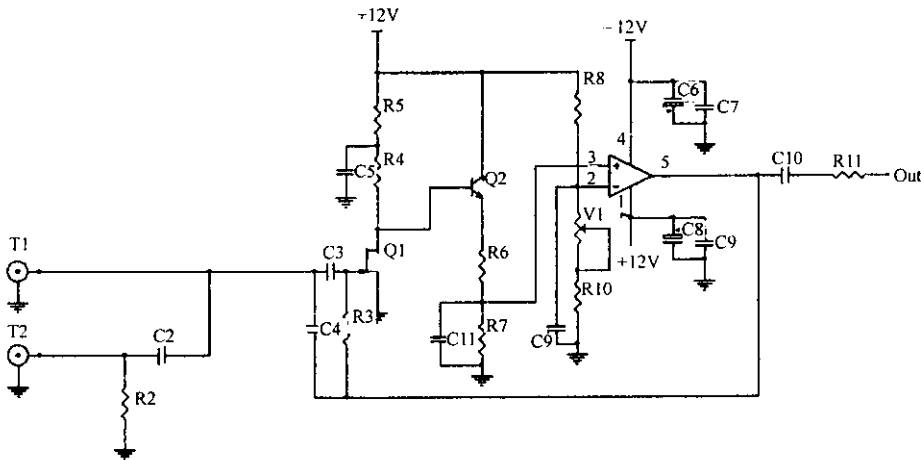


图1 前置放大器电路原理图

Fig. 1 Basic circuit of the charge sensitive preamplifier

限流电阻,其值根据场效应管的转移特性曲线 $i_D \sim V_{GS} [i_D = I_{DSS} (1 - V_{GS}/V_P)^2 (0 \geq V_{GS} \geq V_P)]$ 确定(i_D 为漏极电流, V_{GS} 为栅源电压, I_{DSS} 为漏极 - 源饱和电流, V_P 为夹断电压)。在场效应管后接一晶体管射极跟随器以满足运放的共模输入要求,集成运放采用高增益宽带运算放大器。电容 C_f 接于输出和输入端之间实现交流反馈,电容 C 实现输入和输出交流耦合, R 实现阻抗匹配。电源采用 12V 双电源,通过 RLC 滤波电路消除纹波,由于 i_D 很小的扰动都可以产生很大的噪声,所以在 R 上另加了一级 RC 滤波电路,以减小电源产生的干扰。另外,在集成运放的输入端也各加了一级 RC 滤波电路。

3 噪声分析

前置放大器的噪声源包括反馈电阻的热噪声、场效应管的沟道热噪声和闪烁噪声以及场效应管栅极漏电流噪声等。要降低噪声应通过选择合适的元器件,采用合理的布线。

输入级采用低噪声器件。JFET 相对于 BJT/MOSFET/MESFET 具有更低低频噪声和散粒噪声,所以选取 JFET 作为前放的输入节。在同型的场效应管中筛选出跨导较大而噪声更小的器件。我们选用的是 3DJ7 结型场效应管。

C_f 采用合适的反馈电容。若 C_f 大则噪声大,而 C_f 过小,则反馈深度相应较小,会使输出幅度稳定性变坏,而且可能产生自激震荡,这两者都将使能量分辨率降低。我们选用了 0.5pF 的高压陶瓷零温度系数电容器作为反馈电容。反馈电阻选用 1GΩ 的玻璃合成高阻,为了减小输入端的分布电容,将其一端直接焊接在场效应管栅极上^[2]。

由于电荷灵敏前置放大器使小信号放大电路,遵循此类电路的设计原则,在实际设计中要合理安

排器件的布局和走线以减少信号的延迟和干扰,注意信号和电源、不同信号之间的布线尽量要分开,电路板两边尽可能的大面积接地。

4 噪声测量

将整个放大器放入一铜制金属屏蔽盒中,输入输出信号通过高频射线头接出,避免了由于信号线的移动所造成的干扰。

将精密脉冲发生器产生的等幅度的信号输入待测装置时,其输出信号幅度谱的半高宽相当于噪声线宽。以能量为单位的噪声线宽 $FWHM_{NE} = \frac{\overline{\omega}}{e} V \cdot C_{cal} \cdot (FWHM_X)$ 。式中, V 为每道代表的电压值, $FWHM_X$ 为幅度谱的半高宽, e 为电子电荷, $\overline{\omega}$ 为平均电离能, C_{cal} 为测试电容^[3]。

由于噪声满足高斯分布,我们可以得出 $FWHM_{NE} = 2.36 \frac{\overline{\omega}}{e} \frac{1}{A} \cdot C_{cal} \cdot \overline{V_{no}}$ 。式中, $\overline{V_{no}}$ 为无信号输入时电压表的读值, A 为测量系统的放大倍数。当 C_{cal} 取 1pF,如果噪声用 Ge ($\overline{\omega}$ 为 2.96eV) 来表示,取 $C_{cal} = 1pF$, $V_{cal} = 10mV$,调节主放大器使 $V_0 = 4.25V$,撤掉输入信号,读取此时均方根电压表的数值,此时每 1mV 的输出相当于 100eV 的等效噪声能量(此种条件下正好把相关系数约掉)^[4]。

5 性能测量

由于大部分器件均采用表贴元件,尺寸为 10mm × 5mm × 100mm,因此,测得噪声为 1.8keV (Ge),上升时间 < 30ns,下落时间为 1.5ms,前置放大器的上开、下落时间测量图见图 2。图 2 中,Ch1 为前置放大器的输入信号,Ch2 为测量系统的输出信号(采用时间常数为 1μs 的高斯成形放大器)。

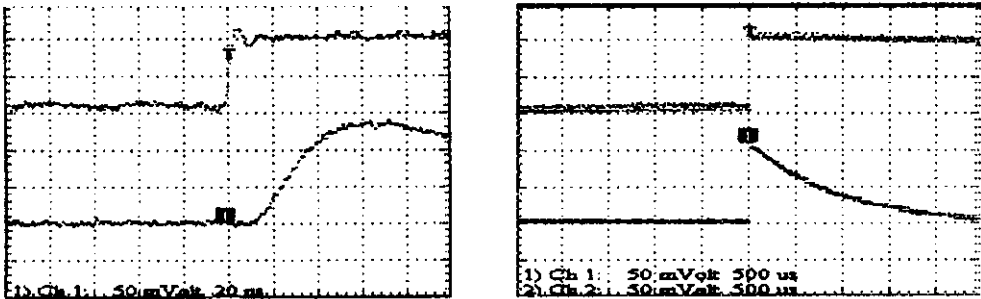


图 2 前置放大器的上升、下落时间测量图
Fig.2 Rise time and fall time of the preamplifier

6 结语

小尺寸电荷灵敏前置放大器绝大部分元件为表贴元件,并将场效应管嵌在电路板上,通过实验最大限度的减少了元件的数量,缩小了电路板的高度和体积,同时减少了元件间走线的距离,线路产生的延迟和噪声都大大减小。由于此前置放大器元件数量少,而且体积小,所以可以采取灵活的布局来满足不同探测器的需要。本产品现已应用于手持式肿瘤探测仪之中,大大缩小了探头的尺寸,既方便了医生的操作,又提高了肿瘤定位的准确性。如果它配以不

同的探测器还可以完成其它多种功能。

参 考 文 献

1 王芝英. 核电子技术原理. 北京:原子能出版社, 1989
WANG Zhiying. Theory of nuclear electronics. Beijing :Atomic Energy Press, 1989

2 Booth N E, Cabrea B, Fiorini E. Ann Rev Part Sci, 1996, 46 : 471—532

3 Press W H, Teukolsky S A, Vetterling W T, *et al.* Numerical recipes in C. New York :Cambridge University Press, 1992. 699—705

4 Fazzi A, Pignatell G U, Dalla Betta G F, *et al.* IEEE Trans Nucl Sci, 2000, 47(3) 829—833

A charge – sensitive micropreamplifier

WEI Haipeng LIAO Xizheng WANG Hao QIU Shi
(Shanghai Institute of Nuclear Research, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract

This article introduces an instance of the charge sensitive preamplifier with small size used in semiconductor detector. The techniques of how to measure noise and how to reduce it are also described.

Key words Charge sensitive, Nuclear detector, Noise, SMD
CLC TN722.7