

CNIC-01450
CIRP-0028

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

基于多丝正比计数管的表面污染监测仪核电子学部件

NUCLEAR ELECTRONIC COMPONENTS OF
SURFACE CONTAMINATION MONITOR BASED ON
MULTI-ELECTRODE PROPORTIONAL COUNTER

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01450, CIRP-0028: 基于多丝
正比计数管的表面污染监测仪核电子学部件/杜向阳等著.
—北京: 原子能出版社, 1999. 11

ISBN 7-5022-2123-9

I. 中... II. 杜... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 68616 号

©原子能出版社. 1999

原子能出版社出版发行

责任编辑: 郭向阳

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 mm 1/16 印张 1 1/2 字数 13 千字

1999 年 11 月北京第一版 1999 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1—150

定价: 5.00 元



杜向阳：工程师。1989年毕业于湖南国防科技大学应用物理系，获理学学士学位，1992年毕业于哈尔滨工程大学电子工程系，获工学硕士学位。1992年到中国辐射防护研究院工作，主要从事表面污染系列仪器研制开发工作。

Du Xiangyang: Engineer. Graduated from Defense Science and Technology University, Hunan, China, in 1989, received the degree of Bachelor of Physics. Graduated from Haerbin Engineering University in 1992, received the degree of Bachelor of Engineering. Majoring in development of instruments for monitoring surface contamination.

CNIC-01450
CIRP-0028

基于多丝正比计数管的表面污染 监测仪核电子学部件

杜向阳 张 勇 韩淑萍
(中国辐射防护研究院, 太原, 030006)
饶贤明 方金土
(秦山核电站, 浙江, 314300)

摘 要

介绍了基于现代集成电路开发研制的一套用于全身表面污染监测仪及手脚表面污染监测仪的核电子学部件, 分析了电路设计及制造工艺中的一些具体要点。

Nuclear Electronic Components of Surface Contamination Monitor Based on Multi-electrode Proportional Counter

(In Chinese)

DU Xiangyang ZHANG Yong HAN Shuping
(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan, 030006)
RAO Xianming FANG Jintu
(Qinshan Nuclear Power Company, Zhejiang, 314300)

ABSTRACT

The nuclear electronic components applying in Portal Monitor and Hands and Feet Surface Contamination Monitor were based on modern integrated circuit are introduced. The detailed points in circuit design and manufacturing technique are analyzed.

前 言

随着原子能技术和和平利用的不断发展,越来越多的民用核技术正在不断发展,目前,我国的核电正以世界上最大的规模在建设之中。无论是核电站还是其它民用核生产工厂,工作人员进出控制区时,都要接受全身表面放射性污染检查,或手脚表面污染检查,有的工厂在控制区作业服装收集及清洗过程中还设有服装表面污染检查仪。目前世界上这些表面污染监测仪基本上是大面积流气式正比多丝计数器。一台全身表面污染监测仪所用的计数器个数在 15~17 个左右,对于脚表面污染监测仪在 5~6 个左右,由于每个计数器对应监测身体一定部位的,因此,要求每个计数器对应一套核电子部件,这样每台仪器的核电子部件就很可观,使核电子部件高度集成,减小各部件的体积,保障结构简单,调试维修简便表面污染监测仪最优化设计的目的之一。

1 电荷灵敏前置放大器

全身表面污染监测仪主要用于监测 β 表面污染,因 β 射线为连续能谱,所以要保持仪器的探测效率等性能指标的稳定性,前置放大器输出信号应具备较好的能量分辨率,选择电荷灵敏前置放大器是必要的。常用的电荷灵敏前置放大器可由图 1 简单表示。

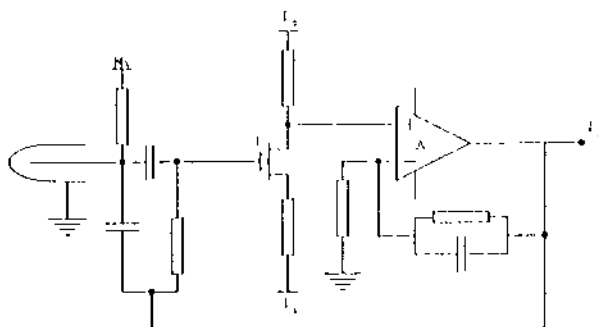


图 1 电荷灵敏前置放大器示意图

图中场效应管 T 为输入级,通常选用低噪声场效应管,例如国产的 3DJ7, 3DJ9 等,进口的低噪声场效应管如 2N4416, 2N4393 等。放大器 A 通常主要由共基极放大电路构成,并采用高频晶体管。现在集成电路技术已能制造出许多性能优越的运算放大器,在一般的应用场合放大器 A 完全可用集成运算放大器来代替。运算放大器的选择主要考虑转换速率、带宽、等效输入噪声、输入电容及电压增益等性能指标,例如 LH0032, LM6164, LM6165/ 6265/6365, LF157/257/357 等。以下是 LF157A, LH0032, LM6165 的主要性能参数^[1](见表 1)。

表 1 LF157A, LH0032, LM6165 的主要性能参数

参数名称	符号	LF157A	LH0032	LM6165
输入失调电压/ mV	V_{os}	2	2	3
增益带宽乘积/ MHz	GBW	20	70	725
稳定时间	t_s	1.5 μ s (0.01%)	0.3 μ s (0.1%)	80 ns (0.1%)
输入电容/ pF	C_{in}	3	5	6
转换速率/ $v \cdot \mu s^{-1}$	SR	50	500	300
输入电阻/ Ω	R_{in}	10^{12}	10^{12}	20 k
输入噪声电流/ $A \cdot Hz^{-1/2}$	I_n	0.01 p	0.01 p	1.51
电压增益/ dB	A_{VOL}	112	70	78

由于放大器为高转换速率型运放, 印刷电路板工艺设计稍有不慎就会产生振荡, 因而设计上应使信号输入引线尽可能短, 输入与输出引线最好被地线或电源引线隔开, 避免平行走向, 同时采用大面积地线布局。尽管如此, 还是不容易彻底消除振荡, 因为当输出容性负载较大时将产生很大的相移, 使负反馈成为正反馈, 从而产生振荡; 另外受电源电压耦合作用可能产生寄生振荡。为消除第一种振荡, 可在放大器的输出与反馈之间串接一个 47~100 Ω 左右的阻尼电阻来改变频率响应, 对第二种振荡只要在电源引脚上加 0.1 μ F (无感性) 左右的滤波电容即可^[2, 3]。考虑以上主要因素后, 一个实用的电荷灵敏前置放大器如图 2 所示。

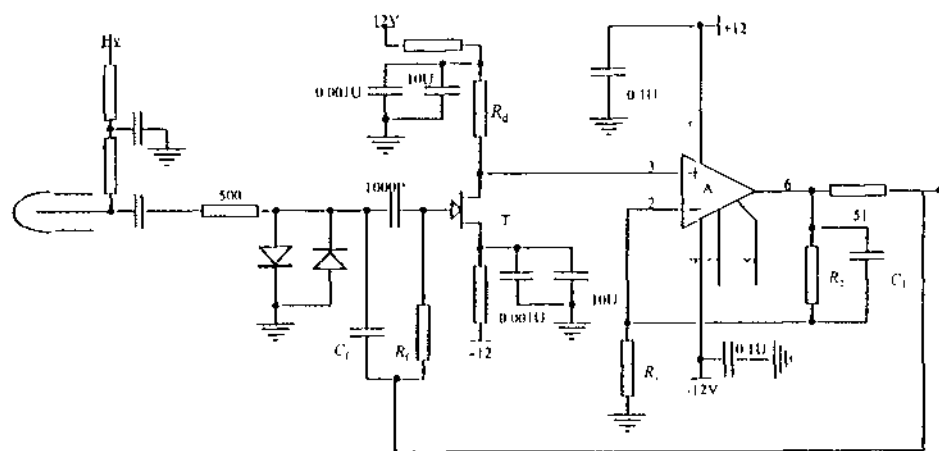


图 2 实用的电荷灵敏前置放大器示意图

为了保证输出电压幅度的稳定, 前置放大器的开环放大倍数应人于一定的值。设输出电压幅度为 V_m , 电路开环放大倍数为 A , C_i 为输入电容, g_m 为场效应管的跨导, 则有^[4]

$$\frac{dV_M}{V_M} = \frac{-1}{AF} \frac{dC_i}{C_i} = - \frac{R_i (C_i + C_f)}{g_m \cdot R_d (R_2 + R_1) C_f} \frac{dC_i}{C_i}$$

设 $dC/C_1 = 5\%$, $C_1 = 1 \text{ pF}$, $g_m = 6000 \mu\text{S}$, $C_1 = 10 \text{ pF}$, 当 $dV_M/V_M < 0.01\%$ 时, 有:

$$g_m \cdot R_d (R_2 + R_1) / R_1 \geq 550$$

通常 R_d 为几 $\text{k}\Omega$ 到 $10 \text{ k}\Omega$ 左右 ($I_{DSS} \approx 3 \sim 10 \text{ mA}$), 设 $R_d = 5 \text{ k}\Omega$, 则有 $R_2/R_1 \geq 18$ 。

2 滤波成形电路

在能量分辨要求较高的场合往往采用 $[CR-(RC)^m]$, ($m \geq 4$), 滤波电路来达到最佳信噪比, 对全身及手脚表面污染仪来说, 一般一级 ($CR-RC$) 电路就可满足要求。RC 电路可由后级线性放大器来实现, 为使电路满足白化滤波器条件, 可引用如下电路 (见图 3)。

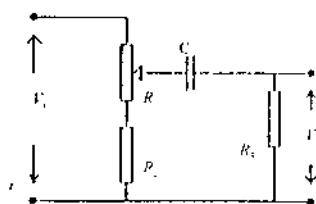


图 3 滤波成形电路示意图

通过 R_3 的调节, 可使时间常数接近噪声转角时间。

$$\tau = \frac{R_1 R_3 + R_2 R_3 + k(1-k)R_1^2 + kR_1 R_2 + R_1 R_3}{R_1 + R_2} \quad C(0 \leq k \leq 1)$$

3 线性放大器

对要求较高的谱仪来说, 其线性放大器主要由分立元件构成, 因为现有的运算放大器综合指标很难满足要求。对正比计数器构成的表面污染监测仪来说, 由现代许多运算放大器构成的线性放大器完全可满足实际需要, 在运算放大器的选择上主要考虑转换速率、增益带宽、电压放大倍数、稳定性、负载驱动能力等性能指标。综合指标较好的运算放大器有 LM6165/6265/6365, LM6164, LH4124, LH0024, LH0032^[1] 等, LH0003 和 LF157/257/357 的 A_{VOL} 值较大, 也能达到较好的效果。

实际使用中, 表面污染监测仪监测对象以弱放射性为主, 出现高计数的情况很少, 因此电路设计可省去极零相消与基线恢复器部分, 尽管如此, 电路也完全可满足实际需要。但对用于地板表面污染监测仪来说, 出现高计数率是经常性的, 因为核技术产业工厂地板严重放射性污染事件是相当频繁的, 为满足实际需要, 对地板表面污染监测仪来说就应考虑极零相消及基线恢复器的设计。

综上所述, 对于全身及手脚表面污染监测仪可用如图 4 所示的简单集成线性放大器。

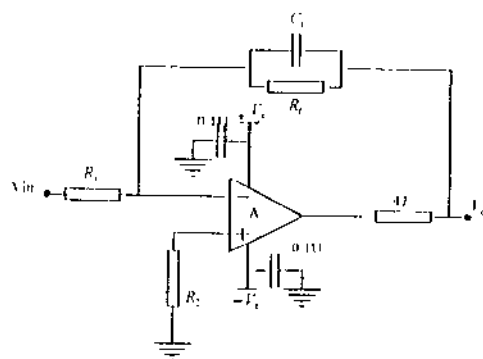


图4 集成线性放大器示意图

由于线放的后级电路为甄别成形电路，而为了提高线放的计数率过载特性，它与后级电路应采用直流耦合连接方式。这就要求线放有较小的输出失调电压，为此，电路设计上应使 $R_2 = R_i \parallel R_f$ 来保证输入失调电流引起的失调电压误差最小。当然输出失调电压误差大还会降低线放输出信号幅度范围及负载驱动能力。电路的冲击响应为：

$$H(t) = \frac{-1}{R_i C_f} e^{-t/R_i C_f} U(t)$$

设正比计数管工作气体为氩甲烷混合气体，氩气平均电离能 $\bar{W}$ 为 26.4 eV，气体放大系数 M 为 10^3 ，前置放大器 C_f 为 1 pF，则前放变换增益：

$$A_{CE} = \frac{1 \text{ MeV}}{\bar{W} C_f} = \frac{1000 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}}{26.4 \text{ eV} \times 10^{-12} \text{ pF}} \approx 6060 \text{ mV/MeV}$$

所以，线放的电压放大倍数 R_f/R_i 在 10~20 之间既可满足要求。

4 甄别成形

甄别成形电路主要功能是为后续计算机处理部分提供标准的信号脉冲，同时对 α 、 β 信号进行分辨，分别给出标准的 α 、 β 信号脉冲供微机部分使用。甄别器选择集成电压比较器构成，对高计数率场合可选用响应时间极短的高速电压比较器，象 LM161/261/361 及 LM160/260/360 等响应时间为十几纳秒，或响应时间为几十纳秒的比较器 LM306/206/106 及 LM319/219/119 等。对一般的应用场合响应时间为几百纳秒的比较器也能满足要求，这类比较器有 LF111/211/311 及 LM111/211/311，LM2311 等。

一个实用的由 LF311 构成的甄别器如图 5 所示。

电路设计中应考虑避免振荡技术，因为 LF311 为高电压增益，且响应速度也较快。为了避免振荡，输入端电阻应避免采用感性电阻，在平衡引脚 5、6 脚之间跨接小电容来消除对交流耦合的敏感性，采用大面积地线，输出与输入引线之间用地线或电源线隔开，输入端引线接点尽可能小，元件布局紧凑，引线最短。

成形电路选用集成单稳多谐振荡器有结构简单，调式方便的特点，且大部分集成单稳多谐振荡带清除控制端，可方便地构成反符合器。CMOS 结构的集成单稳多振荡器抗

干扰性强，输入电压要求与甄别器输出电压匹配。但传输延迟时间稍大；TTL型集成单稳多振荡器抗干扰性差些，输入电压的要求与一般甄别器输出电压不匹配，但传输延迟时间较小，可用于高计数率应用场合，常见的集成单稳多谐振荡器有^[5]：MC14528，MC14538，74LS4MC4538，74/54LS/222 74/54LS/23 74/54LS/221 等。

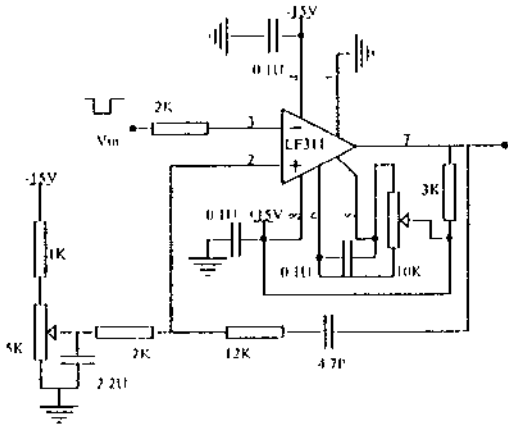


图5 实用的由LF311 构成的甄别器电路图

对表面污染监测仪，可采用MC14528 或MC14538 来组成成形及 α 、 β 信号分辨的反符合电路（见图6）。

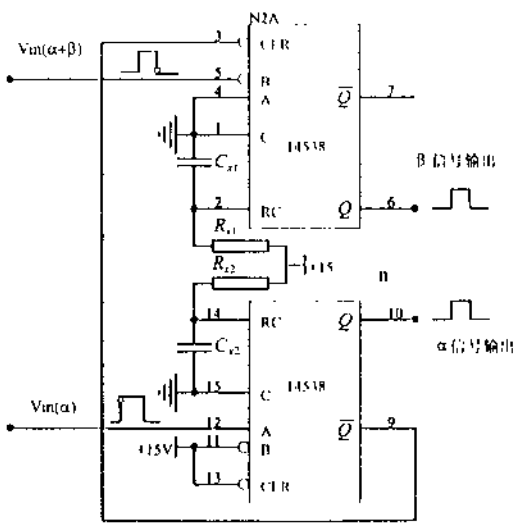


图6 α 、 β 信号分辨的反符合电路图

α 甄别器的甄别阈远高于 β 甄别器的甄别阈，为剔除 β 甄别器输出信号中的 α 信号，用 α 道单稳的 Q 控制 β 道单稳的清除端就可实现，为确保 α 道反符合信号能完全覆盖 β

道的 α 信号， α 道用上升沿触发， β 道用下降沿触发。其控制逻辑图如下（见图7）。

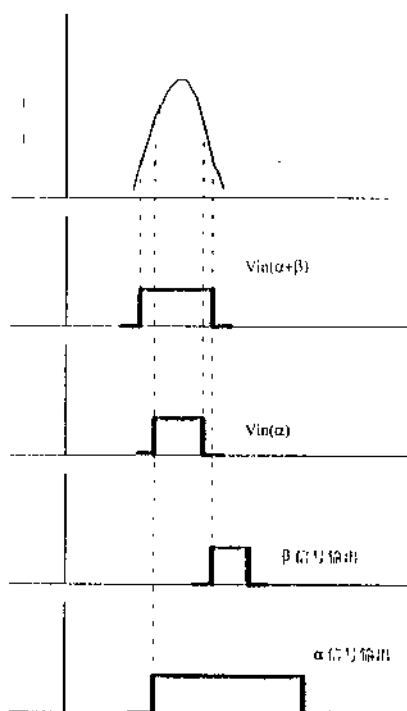


图7 α 、 β 信号分辨的反符合控制逻辑图

5 高压电路

全身及手脚表面污染监测仪因探头较多，也曾有过多探头共高压的设计，这样不仅可降低成本还可简化结构。但是这种设计也存在许多不足之处，如高压引线过长，给整机布局带来不便，同时由于共高压电源则要求所有计数管坪曲线完全一致，这实际上是很难做到的；另外个别探头故障造成高压放电将导致整机瘫痪。不能正常工作，这不符合故障单一原则的设计思想。为提高仪器的可靠性，保证探头工作在坪曲线上最佳位置，每个探头高压单独设计是必要的。高压的产生通常用串联型开关电源，有自激式的双管推挽间歇振荡高压变换器和他激式高压变换器。高压产生的有关原理比较简单，技术也较成熟，在此对高压原理不再赘述。只对印刷板制造及设计要点做简单说明。

由于高压电源和电荷前放是制作在同一块印刷板上，消除高压电源振荡脉冲对电荷前放的干扰是工艺设计的重点。为此，高压部分应单独屏蔽，与前放严格隔离，印刷板设计应该用地线把高压与前放部分隔离，且两部分应保持最可能远距离，高压振荡部分设计用大面积地线最大限度地吸收辐射，屏蔽壳应保持一点接地。

为提高高压的稳定性，在器件选择上高压取样电阻最好选用精密电阻，调整电压控制的比较器选择相对高电压增益型。

6 故障自诊断、自监测和信号隔离

为提高系统的可靠性,各信号处理单元与微机之间的一切信号连接都采用光电耦合技术,在光电耦合器的选择上,对 α 、 β 信号脉冲应选择转换速度高的光耦器。

为提高仪器的智能化水平,对高压取样电压经过一级比较器后通过光耦输出一个高电平信号给微机,作为高压正常的一个判别信号,当高压低于正常值或无高压时,则光耦输出低电平,经微机判别可给出故障提示。高压取样电压还经过一级跟随器后送给模数变换器用以测量高压值,模数变换器与微机通讯供微机部分显示高压值及判别高压是否选择在合适的工作点。当高压部分的调整电压控制比较器的基准电压用一个DAC的输出电压来控制时,可通过微机来自动调整高压和做高压坪曲线。

电路中还设计了一个固定频率的多谐振荡器,其输出经过 1 pF 左右的电容送到电荷前放的输入端,振荡器工作以“否”和“是”通过光耦器由微机控制,当微机发出命令后,多谐振荡器开始工作,微机受到对应的 α 道或 β 道送来的固定频率的自检信号。

7 结 论

根据以上的综合设计考虑制作出来的用于全身及手脚表面污染监测仪的核电子学部件,不但高度集成、结构简单实用,而且在与单片微机部分结合起来时,具有较高的智能水平,适应当代核仪器的发展潮流。仪器的整机框图见图 8。

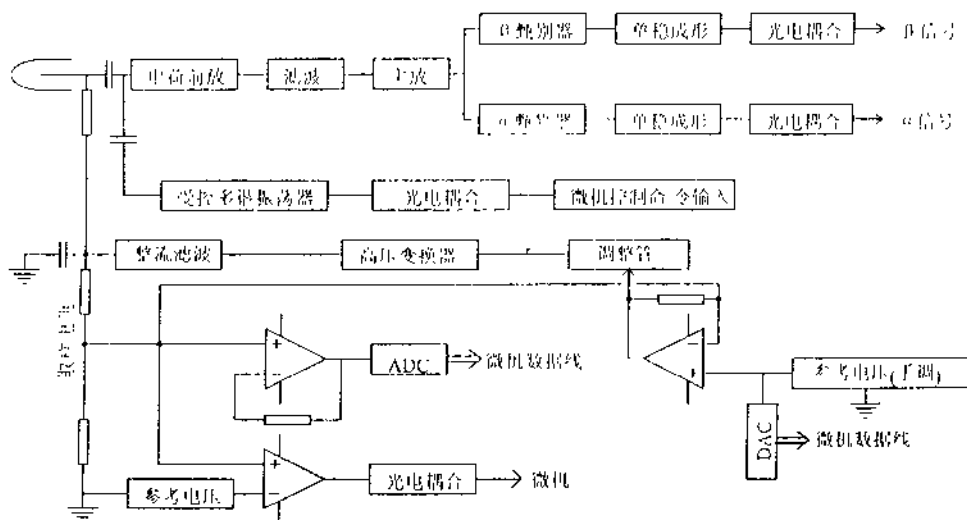


图 8 仪器使用的电荷灵敏前放整机框图

参 考 文 献

- 1 王纪增等编. 核电子学 上册. 北京. 原子能出版社, 1983
- 2 何希才、苏文平编. 集成电路常见故障分析与处理, 1997
- 3 坚如等译. 线性集成电路应用指南. 北京. 电子工业出版社, 1994
- 4 王成端等译. 通用线性电子器件手册. 北京. 科学出版社, 1995
- 5 赖金福编. 数字集成电路简明手册. 北京. 电子工业出版社, 1997

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2123-9



9 787502 221232 >