

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0027-04

# 传输线长度对核探测器二线制电路的影响

李 钢, 高玮辰, 李 岩, 杨 斌, 周冬亮, 赵孝文

(黑龙江省原子能研究院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:** 研究探讨传输线长度对核探测器二线制电路的影响。介绍一种基于电源短路技术的二线制供电和数据传输电路, 电路由短路开关、电压比较器、单管振荡器等电路构成, 经实验测试该电路在传输线长度达到 2 km 时仍能正常工作。这种电路设计有助于解决长线传输中的信号干扰、衰减和波形畸变问题, 对于核辐射探测器的应用具有重要意义。

**关键词:** 核辐射探测器; 二线制电路; 短路技术; 电压比较器; 低功耗

**中图分类号:** TP21

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-7241(2026)02-0027-04

## Length of line influencing on two line system circuit of nuclear detector

LI Gang, GAO Weichen, LI Yan, YANG Bin, ZHOU Dongliang, ZHAO Xiaowen

(Heilongjiang Institute of Atomic Energy, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

**Abstract:** This article explores the influence of transmission line length on the two lines system circuit of nuclear detectors. A two lines system circuit power supply and data transmission circuit based on power short-circuit technology is introduced. The circuit consists of a short-circuit switch, voltage comparator, single tube oscillator, and other single circuit components. Experimental have show that the circuit can still function normally when the transmission line length reaches 2 kilometers. This circuit design helps to solve the problems of signal interference, attenuation, and waveform distortion in long-distance transmission, and is of great significance for the application of nuclear radiation detectors.

**Keywords:** nuclear radiation detector; two lines system circuit; short circuit technology; voltage comparators; low power consumption

在工业领域, 二线制电路技术被用于远程监测和控制, 国内外研究机构 and 高校正在积极开展二线制电路技术的研究, 特别是在核辐射探测器领域。二线制电路既能提高探测器的性能, 降低其功耗, 还能增强其在恶劣环境下的稳定性。在长距离传输信号时, 还保持了信号的完整性和可靠性<sup>[1-2]</sup>。

核辐射探测器是一种能够直接或间接给出某种信号或指示以确定核辐射的一个量或几个有关量的器件。在某种意义上来说, 它也是一种非电量转换器件。核辐射探测器所测量的核辐射量通常包括入射辐射的种类、强度或活度、能量、比电离、射程、剂量、时间和空间分布等。核辐射探测器的种类繁多, 工作原理各不相同, 用途也各不相同。常用的核辐射探测器有各种电离室、计数管、闪烁探测器、半导体探测器等等<sup>[3-5]</sup>。

由辐射探测器构成的核检测仪表已渗透到国民经济的各个领域, 并得到了广泛的应用。一般来说, 辐射探测器和处理信号的主机两者是分立的, 两者之间需通过 3 根或更多的电缆相连。探测器一般至少需要高压、信号和公共地线 3 根引线。探测器的输出信号往往是高内阻的, 输

出阻抗很高, 为了与后续的主机输入阻抗相匹配, 往往又需在探测器内就近增加一级前置跟随器或前置放大器, 这样又需增加一至二根低压供电线。特别是在工业现场的应用中, 探测器都是安装在生产车间现场, 而主机常安装于仪表车间操控室内, 两者可相距几十米, 甚至上千米<sup>[6-7]</sup>。高内阻信号或小信号在长线传输过程中极易受到外界空间电磁场的干扰, 也会产生幅度衰减和波形畸变, 甚至产生振荡, 这样会给实际应用造成很多麻烦。人们通过采用屏蔽电缆特性阻抗匹配和金属管道穿线双重屏蔽仍不能彻底解决问题。采用电源短路技术的二线制电路为解决上述问题带来希望。

### 1 二线制电路原理图

电源短路是危险和有害的, 应采取保护措施尽量避免。但在限流保护下, 可受害为利。图 1 为二线制输出电路的原理框图。+12 V 通过限流电阻  $R_0$  和长传输线为探测部分供电, 当探测部分供电  $V_0$  的短路瞬间, 可在  $R_0$  后端产生一负脉冲输出, 同时因  $R_0$  的限流作用, 使得电源+12 V 的短路电流小于其额定输出电流, 因此, 在短路瞬间电源是安全的。

收稿日期: 2024-11-10; 录用日期: 2024-12-11

基金项目: 黑龙江省省属科研院所科研业务费项目 (CZJBKYF2023-04); 黑龙江省科学院重点研发计划 (ZDYF2024YZN03)

作者简介: 李 钢 (1982—), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 核仪表开发。

引用本文: 李钢, 高玮辰, 李岩, 等. 传输线长度对核探测器二线制电路的影响 [J]. 自动化技术与应用, 2026, 45 (2): 27-29, 122. (LI Gang, GAO Weichen, LI Yan, et al. Length of line influencing on two line system circuit of nuclear detector [J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45 (2): 27-29, 122.)

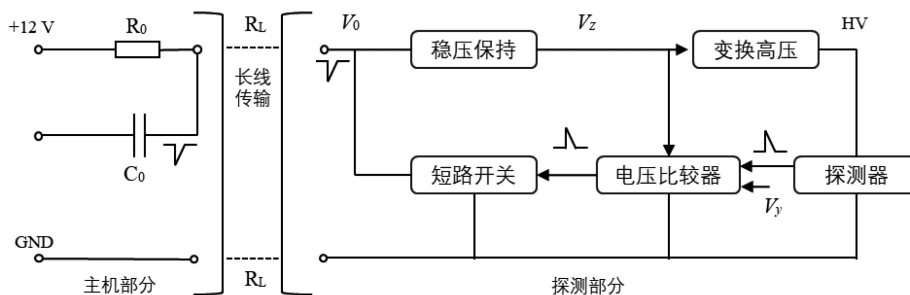


图1 二线制输出电路原理框图

Fig. 1 Two-wire output circuit block diagram

探测部分的供电  $V_0$  通过稳压保持电路提供一稳定电压  $V_z$  为高压电源和电压比较器提供稳定的工作电压,即使在短路瞬间  $V_z$  也几乎稳定不变,从而可保证探测器能连续正常工作。在电离辐射作用下,当核辐射探测器有脉冲信号输出并超过电压比较器设定的甄别阈电压  $V_y$  时,电压比较器的输出脉冲通过短路开关使供电  $V_0$  瞬时短路,并伴有一负脉冲输出,为后续的量化处理提供幅度均

齐的负脉冲信号。

图1中电源线和地线上的虚线表示传输长线,  $R_l$  为长线的线阻。

## 2 核辐射探测器的二线制电路

图2是核辐射探测器的二线制实用电路,图中探测器采用的是G-M计数管,各单元电路如下。

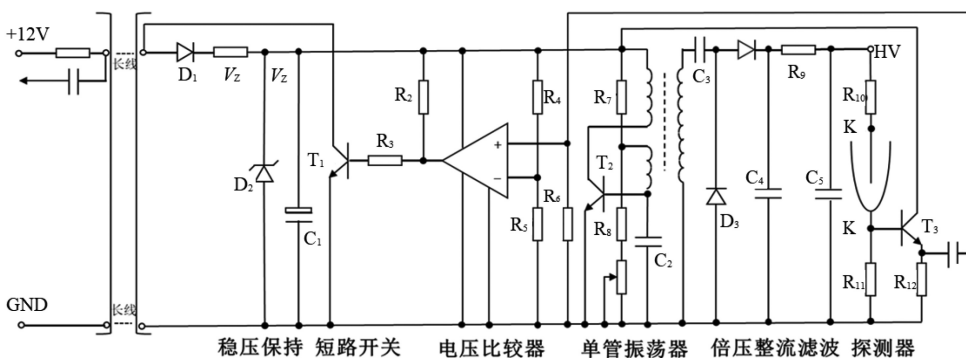


图2 二线制实用电路

Fig. 2 Two-wire practical circuit

### 2.1 稳压保持电路

稳压电源的内阻即输出电阻一般是很低的,通常小于  $1 \Omega$ ,在电源线上串一适当阻值的电阻  $R_0$ ,可使短路电流小于额定输出电流,从而保证了电源的安全<sup>[8]</sup>。供电电压经  $R_0$  降压后为二线制电路提供工作电压  $V_0$ 。

稳压保持电路由  $D_1$ 、 $R_1$ 、 $D_2$ 、 $C_1$  构成,稳压管  $D_2$  为高压电源和电压比较器提供连续稳定的工作电压  $V_z$ 。 $V_z$  约为  $6.2 \text{ V}$ ,二线制电路耗电约  $20 \text{ mA}$ ,其等效负载电阻  $R_{\text{eff}} \approx 300 \Omega$ 。

G-M计数管输出的脉冲宽度  $t_k \approx 25 \mu\text{s} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ s}$ 。在  $V_0$  被短路瞬间,稳压管  $D_2$  的并联电容  $C_1$  上的电压  $V_z$  的不能突变,受串联二极管  $D_1$  的反向阻断,不能通过电源放电,只能通过二线制电路缓慢放电,放电时间常数  $\tau = R_{\text{eff}} C_1 = 300 \times 47 \times 10^{-6} = 1.4 \times 10^{-2} \text{ s}$ ,由于  $\tau \gg t_k$ ,所以在电源短路瞬间,  $C_1$  上的电压  $V_z$  几乎保持不变,保证了二线制电路的供电不间断和稳定<sup>[9]</sup>。

### 2.2 高压电源

高压电源采用DC-AC-DC变换电路,由单管间歇振荡器和倍压整流滤波电路构成。振荡器上的高频磁芯变压器

输出绕组上产生的高频交流高压,经倍压整流滤波产生直流高压 HV。通过调节振荡器的基极偏置电流可改变输出直流高压。电容  $C_2$  为振荡器的基极和射极提供交流通路。

由于G-M计数管只作辐射强度测量,它的输出脉冲幅度较大且与入射辐射的种类和能量无关,它的工作电压范围较宽且较低,因此对所需高压的要求并不严格,整流滤波后可直接为计数管提供高压,可不再稳压<sup>[10]</sup>。

### 2.3 G-M计数管的输出电路

G-M计数管是一种充惰性气体的圆柱形二极管器件,外引两个电极。阳极A和阴极K。计数管的负载电阻较大,为数兆欧。负载电阻的接法比较灵活,可分割为两个或更多,可接在一个电极上,也可接在两个电极上。当分割的电阻分别接在阳极和阴极时,阳极输出负脉冲,阴极输出正脉冲,为选择输出极性提供方便。输出幅度与供电高压和单个负载的大小有关。

本工作从阴极取正脉冲输出<sup>[11]</sup>,其优点是阴极负载接地,平时为低电压,因此对高压的纹波要求可降低;阴极输出的耦合电容的耐压要求也低;调节阴极负载改变输出幅度方便;可直接通过射极跟随器进行阻抗变换。

### 2.4 电压比较器与短路开关

在辐射作用下,G-M计数管阴极输出正脉冲并且其幅度大于比较器的阈电压 $V_y$ 时,电压比较器输出正脉冲,以此来触发短路开关管 $T_1$ 使其饱和,饱和压降 $V_{ce}$ 很低,则使 $V_0$ 短路至 $V_{ce}$ ,在 $R_0$ 之后端输出一负脉冲。

电压比较器LM311的输出端是开路的,应接上拉电阻才会有输出。比较器的阈电压 $V_y$ 的取值是折中的,过大易漏掉小幅度有用信号,过小对剔除噪声干扰不利。

## 3 实验测试与实验结果

### 3.1 低功耗测试

限流电阻 $R_0 = 150 \Omega$ ,在静态下由 $R_0$ 上的压降 $\Delta V$ 可计算出电源的功耗,约为20 mA。

### 3.2 输出幅度调节

输出的负脉冲幅度与二线制电路的供电电压 $V_0$ 或传输长线的前端电压有关,与开关管的饱和深度即 $V_{ce}$ 有关,饱和时 $V_{ce}$ 约为0.1~0.3 V。本工作通过调节基极限流使开关管处于欠饱和状态,使输出幅度在5 V左右,以便与后续数据处理电路相匹配。

### 3.3 频率对功耗和电路参数的影响

用信号源输出的方波信号经微分取其正尖脉冲来触发电压比较器,比较器的阈电压 $V_y = 0.55 V$ ,输入超过0.6 V即可使比较器翻转,这里取正尖脉冲幅度为0.8 V。表1为不同频率下的测试结果。

可以看出,输入频率从500 Hz到10 000 Hz,电源的功耗略有增加,电流从20.3 mA增至21.6 mA;稳压管的稳定电压 $V_z$ 、输出高压HV和输出负脉冲幅度几乎不变。计数管的正常计数率约1 000 cps,由此可见计数率的变化对电路参数没有影响。

表1 频率对电路参数的影响

Tab. 1 Effect of frequency on circuit parameters

频率 $f$ /kHz	$V_0$ /V	$\Delta V$ /V	$I$ /mA	$V_z$ /V	HV/V	$V_{OUT}$ /V
0.5	8.95	3.05	20.3	6.14	377	5.1
1	8.96	3.04	20.3	6.13	377	5.1
1.5	8.93	3.07	20.5	6.13	377	5.1
2	8.92	3.08	20.5	6.12	377	5.1
2.5	8.92	3.08	20.5	6.12	377	5.1
3	8.91	3.09	20.6	6.12	377	5.1
3.5	8.91	3.09	20.6	6.12	377	5.1
4	8.90	3.10	20.7	6.12	377	5.1
4.5	8.88	3.12	20.8	6.11	377	5.1
5	8.86	3.14	20.9	6.11	377	5.1
10	8.75	3.25	21.6	6.12	377	5.1

### 3.4 长线对功耗和电路参数的影响

截面积 $0.5 \text{ mm}^2$ 长100 m的线阻为 $5.6 \Omega$ 。用相同的小阻值电阻分别串在电源线和地线上,用以模拟传输长线,在 $f = 1 \text{ kHz}$ 下不同线长的测试结果列于表2。表中的 $V_z$ 和

HV是以长线的末端作参考地,不能以初始地作参考点。

表2 线长对电路参数的影响

Tab. 2 Effect of line length on circuit parameters

$R_L$ / $\Omega$	$L$ /m	$\Delta V$ /V	$I$ /mA	$V_z$ /V	HV/V	$V_{OUT}$ /V
0	0	3.04	20.3	6.13	377	5.1
5	89	2.94	19.6	6.11	377	5.2
10	178	2.80	18.7	6.11	377	5.4
20	356	2.64	17.6	6.11	377	6.1
30	534	2.44	16.7	6.10	375	6.4
40	712	2.34	15.6	6.10	376	6.5
51	907	2.17	14.5	6.09	375	6.4
75	1 335	1.94	12.9	6.07	374	5.8
100	1 779	1.71	11.4	6.07	374	5.4
110	2 000	1.94	12.9	6.05	372	4.9

可以看出,传输线的长度从100 m增至2 000 m,由于线阻上的压降使二线制电路的供电电压下降,电源的功耗逐渐减小,电流从20.3 mA减小到12.9 mA;稳压管的稳定电压 $V_z$ 和输出高压均有下降,并在可接受的范围内;而输出的负脉冲幅度由于受线阻压降和饱和程度的影响,呈现逐渐增大和逐渐减小的趋势,仍在设计范围内。

### 3.5 稳定性测试

在2 000 m长线下和 $^{241}\text{Am}$ 源与计数管相对位置恒定条件下,测量计数率的变化。

瞬时稳定性。连续记录50次计数率 $n$ ,结果为:平均值 $\bar{n} = 231.32 \text{ cps}$ , $\sigma_n = 15.74$ , $\sigma_n/\bar{n} = 0.068$ 。

长期稳定型。在8 h内连续每半小时随机记录两次计数率 $n$ , $\bar{n} = 228.27$ , $\sigma_n = 19.9\%$ , $\sigma_n/\bar{n} = 0.088$ 。

### 3.6 实验结论

此二线制电路经实验测试,其瞬时稳定性和长期稳定性均满足设计要求,能够满足辐射探测器与二次表之间的长距离优先通讯。

## 4 结论

此文介绍的二线制供电和数据传输电路经实验结果表明,该核辐射探测器的二线制电路在传输线长度达到2 km时仍能保持正常工作,显示出良好的稳定性和适应性。这种电路设计不仅节省了传输电缆,还实现了辐射数据远程监测,特别适用于远程核料位计和辐射剂量监测仪表。该研究为核辐射探测器在工业现场的应用提供了一种有效的技术解决方案。

## 参考文献

[1]王健. 基于STM32的二线制智能仪表研究[J]. 自动化与仪表, 2024, 39(7):119-122.  
[2]刘正华. 二线制火灾自动报警系统设计探讨[J]. 建筑电气, 2023, 42(1):54-59.

(下转第122页)