

基于 MATLAB 闪烁探测器输出回路脉冲形状分析

张军民^{1,2}, 周剑良², 凌 球², 屈国普², 王喜宗²

(1. 湖南衡阳师范学院 物理与电子信息科学系, 湖南 衡阳 421008;

2. 南华大学 核科学与技术学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 本文对闪烁探测器输出回路脉冲计算公式及其极值进行了推导, 利用 MATLAB 强大的数值计算功能讨论了闪烁探测器输出回路脉冲形状与回路 RC 时间常数的关系, 并初步提出信号甄别的方法。

关键词: 闪烁探测器; 输出电流脉冲幅度; 时间常数; MATLAB

中图分类号: TL816.2 **文献标识码:** B

On Output Circuit's Pulse Shape of Scintillation Detector Based on MATLAB

ZHANG Jun-min^{1,2}, ZHOU Jian-liang², LING Qiu²,
QU Guo-pu², WANG Xi-zong²

(1. Department of Physics & Electronic Information Science, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan 421008, China; 2. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The paper performs mathematical calculations for output circuit's pulse shape of scintillation detector its. Based on MATLAB the output pulse of scintillation detector, it can be included that if a scintillation detector is of 1ns transition time, 1ns discrete transition time, once its scintillation's light decay Coefficient is more than 3ns, the influence of discrete transition time may neglected. Thorough analysis is given to the relation between the RC time constant of output circuit and pulse shape, which is helpful with choosing proper RC constant for signal discrimination.

Key words: scintillation detector; output pulse shape; RC time constant; MATLAB

收稿日期: 2008-11-22

基金项目: 衡阳师范学院青年基金资助项目(04C10)

作者简介: 张军民(1973-), 男, 湖南祁东人, 湖南衡阳师范学院讲师, 南华大学核科学与技术学院硕士研究生. 主要研究方向: 核辐射探测与防护。

0 引言

测量安全壳内放射性气溶胶总 β 比活度,可以为壳内环境的污染情况及一回路系统承压边界有无破坏、泄漏提供判断依据;由于 β 衰变常伴随 γ 射线产生,对 β 射线敏感的塑料闪烁体对 γ 也敏感, γ 本底扣除是总 β 准确测量面对的难题.本课题研制的闪烁体探测器组合使用 BGO 闪烁体和塑料闪烁体,根据塑料闪烁体和 BGO 的光衰减时间相差两个数量级的特点,探测器核信号上升时间主要取决于闪烁体的发光衰减时间和 RC 时间常数;在 RC 时间常数相同时,信号的上升时间主要由闪烁体的发光衰减时间决定,利用上升时间差异可以甄别两种不同信号.因此利用 MATLAB 强大的数值计算功能,分析讨论闪烁探测器输出回路脉冲形状与回路 RC 时间常数的关系,并初步提出信号甄别的方法^[1-2].

1 输出脉冲计算式其极值的推导

当射线通过闪烁体时,闪烁体被射线电离、激发,并发出一定波长的光,这些光子射到光电倍增管的光阴极上发生光电效应而释放出电子,电子流经光电倍增管多级阴极线路逐级放大后成为电流脉冲,闪烁体光衰减系数为 τ_s ,电流脉冲^[3-4]

$$i_a(t) = Qe^{\frac{-t}{\tau_s}} \quad (1)$$

式中: Q 表示 PMT 阳极收集到的总电荷数

闪烁探测器 PMT 输出回路等效电阻为 R ,等效电容为 C ,输出电压为 $V(t)$ (见图 1),流过 C 和 $i_c(t)$, $i_R(t) \cdot R$ 的电流为

$$i_a(t) = i_c(t) + i_R(t) \quad (2)$$

$$i_a(t) = C \frac{dV(t)}{dt} + \frac{V(t)}{R} \quad (3)$$

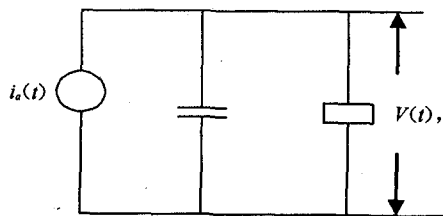


图1 输出电压计算

Fig. 1 Calculation of output voltage

方程式的解为:

$$V(t) = \frac{QR}{RC - \tau_s} \cdot (e^{-(t-\tau_0)/RC} - e^{-(t-\tau_0)/\tau_s}) \quad (4)$$

对式(4)进行一阶求导,当 $\frac{dV}{dt} = 0$ 时, $V(t)$ 取最大值:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{QR}{RC - \tau_s} \cdot \left(\frac{-1}{RC} e^{-(t-\tau_0)/RC} + \frac{1}{\tau_s} e^{-(t-\tau_0)/\tau_s} \right) = 0$$

$$\text{解得: } t_{\max} = \frac{QC\tau_s}{RC - \tau_s} \ln\left(\frac{RC}{\tau_s}\right) + \tau_0 \quad (5)$$

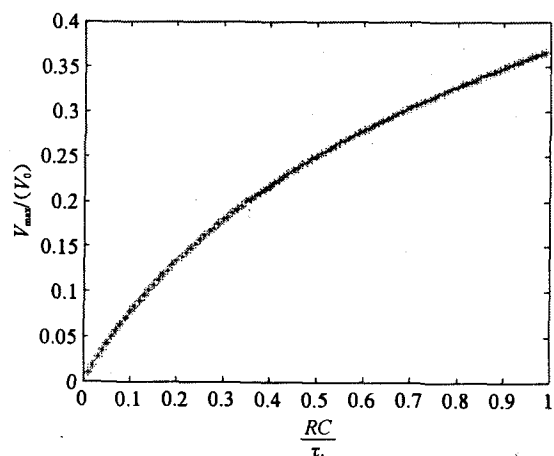
$$V_{\max} = \frac{QR}{RC - \tau_s} \left(\left(\frac{RC}{\tau_s}\right)^{\frac{\tau_s}{RC-\tau_s}} - \left(\frac{RC}{\tau_s}\right)^{\frac{-RC}{RC-\tau_s}} \right) \quad (6)$$

2 基于 MATLAB 输出脉冲最大幅度值的讨论

令 $V_0 = \frac{Q}{C}$, $k = RC/\tau_s$, V_0 表示理论上阳极所能收集到的所有电荷加到收集电路电容上后达到的理想最大电压^[5].

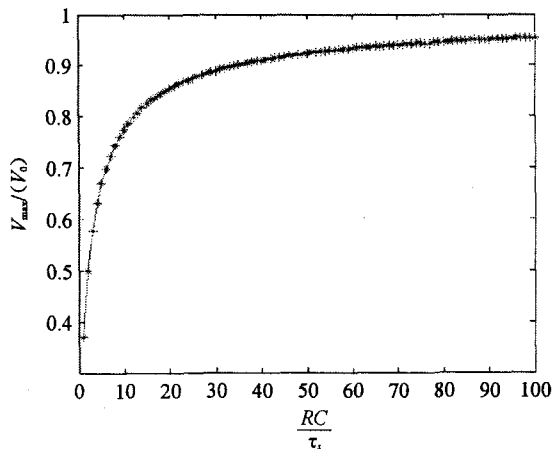
$$\begin{aligned} V_{\text{com}} &= V_{\max}/(V_0) = \frac{RC}{RC - \tau_s} \\ &\quad \left(\left(\frac{RC}{\tau_s}\right)^{\frac{\tau_s}{RC-\tau_s}} - \left(\frac{RC}{\tau_s}\right)^{\frac{-RC}{RC-\tau_s}} \right) \\ &= \frac{1}{1 - \frac{1}{k}} \left((k)^{\frac{1}{k-1}} - (k)^{\frac{-1}{1-1/k}} \right) \\ &= \frac{k}{k-1} \left((k)^{\frac{1}{k-1}} - (k)^{\frac{-k}{k-1}} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

用 MATLAB 绘制 $k = RC/\tau_s$ 与 $V_{\text{com}} = V_{\max}/(V_0)$ 的关系图如图 2.



起始条件为 $V(0) = 0$, 这个一阶非齐次微分

a. ($RC/\tau_s < 1$)



b. ($RC/\tau_i > 1$)

图2 时间常数对最大幅度的影响

Fig.2 Influence on maximal amplitude by RC time constant

由图2可见,当 $RC = 10\tau_i$ 时,输出的最大脉冲值已接近 $0.8V_0$,由于 BGO 的闪烁光衰减常数为 300 ns,塑料闪烁体光衰减系数为 3 ns. 如果考虑把 PMT 输出电流脉冲分成两路,

表1 不同输出回路输出脉冲幅度比

Table 1 Output pulse of different circuit

脉冲来源	$RC = 150 \text{ ns}$	$RC = 6 \text{ ns}$	两回路输出 脉冲幅度比
	输出回路 脉冲幅度	输出回路 脉冲幅度	
BGO 闪烁体	$0.1925V_0$	$0.0185V_0$	10.8
塑料闪烁体	$0.8962V_0$	$0.5000V_0$	1.8

其中一路 $RC = 150 \text{ ns}$,另一路 $RC = 6 \text{ ns}$ 左右,则 BGO 中闪烁光产生的脉冲在两个回路中输出的幅度分别为对应回路的理想最大电压的

0.018 5、0.192 5,两者比值 $A = 10.4$;塑料闪烁体中闪烁光产生的脉冲在两个回路中输出的幅度分别为对应回路的理想最大电压的 0.500 0、0.896 2,两者比值 $B = 1.8$ (见表1);如果把其中 RC 值小的一路放大、延迟、扩展成形,与另一回路成形脉冲一同加到差动放大器输入端;由于 A 远大于 B ,只要两电路的放大倍数调节得合适,即可使塑料闪烁体中闪烁光产生的脉冲在差动放大器的输出端就没有信号输出或者输出幅度很小.只要下级幅度鉴别电路不被负极性脉冲触发,塑料闪烁体中闪烁光产生的脉冲就不会被记录.从而实现两种不同形状的脉冲甄别.

3 结论

把 PMT 输出电流脉冲输入到两个具有不同时间常数的回路,两个回路中输出的脉冲幅度比值会因闪烁体光衰减系数的不同而有一定差异,根据这个差异,经过后续差动放大器电子线路实现两种不同形状的脉冲甄别.

参考文献:

- [1] 张军民,郭兰英,凌 球,等.用于总 β 测量新型组合探测器主探测部件 γ 效率计算[J].核电子学与探测技术,2007,27(2): 336-338.
- [2] 汲长松.核辐射探测器及其实验技术手册[M].北京:原子能出版社,1990.
- [3] 凌 球,郭兰英.核辐射探测[M].北京:原子能出版社,2002.
- [4] 清华大学工程物理系.射线仪器电子学(上,下)[M].北京:原子能出版社,1968.
- [5] 薛定宇.高等数学应用问题 MATLAB 求解[M].北京:清华大学出版社,2004.