



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118671812 A

(43) 申请公布日 2024. 09. 20

(21) 申请号 202410825898.X

(22) 申请日 2024.06.25

(71) 申请人 成都理工大学

地址 610059 四川省成都市成华区二仙桥
东三路一号

(72) 发明人 杨剑 曾国强 李欣月 邓皓文
胡传皓 杨新宇 田成帅
欧阳晓平

(74) 专利代理机构 成都方圆串联专利代理事务
所(普通合伙) 51241
专利代理师 邓永红

(51) Int. Cl.

G01T 1/17 (2006.01)

H03F 3/70 (2006.01)

H03M 1/12 (2006.01)

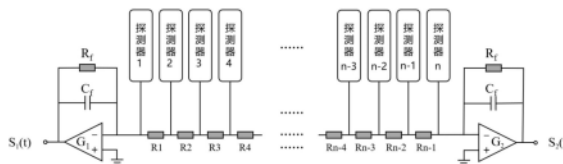
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种核辐射探测器的串联读出电路及位置识别方法

(57) 摘要

本发明涉及核辐射探测领域技术领域,其公开了一种核辐射探测器的串联读出电路及位置识别方法,串联读出电路包括串联分流电阻网络、位于所述串联分流电阻网络两端的电荷灵敏前置放大器以及共有线路;所述串联分流电阻网络包括n个探测器接入所述共有线路;每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻R,所述分流电阻R的数量为n-1个;单个所述电荷灵敏前置放大器包括运算放大器G、反馈电容 C_f 和反馈电阻 R_f , C_f 与 R_f 均并联在运算放大器G的负向输入和输出端。本发明与传统的多通道读出电子学相比,大幅减少了电子学通道数,仅包含2个,并且提高了信噪比、降低了电子学功耗,进行响应探测器的快速定位,实现准确位置识别。



1. 一种核辐射探测器的串联读出电路,其特征在於:其包括串联分流电阻网络、位於所述串联分流电阻网络两端的电荷灵敏前置放大器以及共有线路;所述串联分流电阻网络包括n个探测器接入所述共有线路,所述探测器用於核辐射探测,n为大于2的自然数;每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻R,所述分流电阻R的数量为n-1个;单个所述电荷灵敏前置放大器包括运算放大器G、反馈电容 C_f 和反馈电阻 R_f , C_f 与 R_f 均并联在运算放大器G的负向输入和输出端,两个运算放大器分别为 G_1 和 G_2 。

2. 根据权利要求1所述核辐射探测器的串联读出电路,其特征在於:所述探测器接入所述共有线路之前还连接有交流耦合的电容C。

3. 一种如权利要求1~2任一所述核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法,其特征在於:依次包括以下步骤:

S0: 组装串联读出电路:首先组装所述串联分流电阻网络,其包括n个探测器接入所述共有线路;每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻R,所述分流电阻R的数量为n-1个;在组装好的所述串联分流电阻网络的共用线路的两端分别设置两个所述电荷灵敏前置放大器,对两个所述电荷灵敏前置放大器的供电方式为双电源供电或单电源供电;

S11: 检测输出信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$:对两个电荷灵敏前置放大器输出信号进行检测,这两个信号代表探测器两端的响应,两个电荷灵敏前置放大器分别输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$,其信号波形为指数衰减信号;

S12: 计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的幅度,用於提取放大系数,分别记为 A_1 和 A_2 ,计算式如下:

$$S_1(t) = A_1 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(k-1)R_i C_f}} \right) + B_1 \quad (1)$$

$$S_2(t) = A_2 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(n-k)R_i C_f}} \right) + B_2 \quad (2)$$

其中 B_1 、 B_2 为常数, A_1 、 A_2 为放大系数, B_1 、 B_2 常数由探测器的参数决定;i为具体的分流电阻的序号;

S13: 计算公式单个读出信号幅度与两个读出信号总幅度的比值F,计算式如下:

$$F = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (5)$$

;

S14: 确定比值F与位置关系:在已知位置下,通过模拟和大量实验得到位置与比值直接的关系,所述大量实验即为循环执行步骤S11~S13,直至确定不同探测器位置对应的比值F的范围,建立探测器位置与比值F的关系图表;

S15: 确定探测器位置:正式测量时,通过执行S11~S13测量当前信号的比值F,并利用S14步骤中建立的关系图表来确定探测器的位置。

4. 根据权利要求3所述位置识别方法,其特征在於:还包括校正步骤S3,具体如下:

S31: 根据步骤S12,在获得的能谱图中,得到实际测试能量 E_{p_i} ,每个放射源的标准能量为 E_r 不同的放射源能量不同同一个放射源标准能量相同,并记录相应的实际测试能量 E_p ;

S32: 求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,对每个位置 i ,使用标准能量 E_r 和实际测试能量 E_{pi} 进行线性回归,求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,匹配步骤S14建立的关系图表,建立对应的校正关系图表;将测得的比值 F 与预先建立的关系图表匹配,找到最接近的位置 i ;

S33: 补偿计算,进行精确校正:

根据S32匹配到的位置 i ,使用对应的校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,对实际测试能量 E_{pi} 进行校正,校正公式如下:

$$E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i \quad (7)$$

校正后的能量 E 等于标准能量 E_r 。

5. 一种如权利要求1~2任一所述核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法,其特征在于:依次包括以下步骤:

S0: 组装串联读出电路:首先组装所述串联分流电阻网路,其包括 n 个探测器接入所述共有线路;每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻 R ,所述分流电阻 R 的数量为 $n-1$ 个;在组装好的所述串联分流电阻网络的共用线路的两端分别设置两个所述电荷灵敏前置放大器,对两个所述电荷灵敏前置放大器的电源供电选择双电源供电;

S21: 检测输出信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$:对两个电荷灵敏前置放大器输出信号进行检测,这两个信号代表探测器两端的响应,两个电荷灵敏前置放大器分别输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$;

S22: 提取上升时间 τ_1 和 τ_2 :根据输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的上升时间,直接读取测量信号从基线到峰值的一段时间或通过计算提取时间常数分别记为 τ_1 和 τ_2 ,计算式如下;

$$\tau_1 = R_f \cdot C_f \cdot (k - 1) \quad (3)$$

$$\tau_2 = R_f \cdot C_f \cdot (n - k) \quad (4)$$

S23: 比值 T :计算单个读出信号上升时间与两个读出信号总上升时间的比值 T ,计算式如下:

$$T = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \quad (6)$$

S24: 确定比值 T 与位置关系:在已知位置下,通过模拟和大量实验得到位置与比值直接的关系,所述大量实验即为循环执行步骤S21~S23,直至确定不同探测器位置对应的比值 T 的范围,建立探测器位置与比值 T 的关系图表;

S25: 确定探测器位置:正式测量时,通过执行S21~S23测量当前信号的比值 T ,并利用S24步骤建立的关系图表确定探测器的位置。

6. 根据权利要求5所述位置识别方法,其特征在于:还包括校正步骤S3,具体如下:

S31: 根据步骤S22,在获得的能峰图中,得到实际测试能量 E_{pi} ,每个放射源的标准能量为 E_r 不同的放射源能量不同同一个放射源标准能量相同,并记录相应的实际测试能量 E_p ;

S32: 求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,对每个位置 i ,使用标准能量 E_r 和实际测试能量 E_{pi} 进行线性回归,求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,匹配步骤S24建立的关系图表,建立对应的校正关系图表;将测得的比值 F 与预先建立的关系图表匹配,找到最接近的位置 i ;

S33: 补偿计算, 进行精确校正:

根据S32匹配到的位置*i*, 使用对应的校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 对实际测试能量 E_{pi} 进行校正, 校正公式如下:

$$E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i \quad (7)$$

校正后的能量 E 等于标准能量 E_r 。

一种核辐射探测器的串联读出电路及位置识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核辐射探测领域,尤其涉及一种核辐射探测器的串联读出电路及位置识别方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着现代核工业的迅速发展,作为核能领域研究重点的核探测技术,被广泛应用于医学成像、物理学、军事、能源等领域。同时,核安全保障也成为日益关注的话题。核辐射的探测以及准确定位对核安全、核保障措施、环境监测和国土安全至关重要。随着核工业技术的进步,核辐射探测器能够在广阔的视野内准确识别和定位放射源,大大提高了辐射检测效率。如何对探测器输出的核脉冲信号进行处理,是一个重要的研究领域。

[0003] 目前,传统处理核辐射探测的核脉冲信号存在以下途径:

[0004] 1.核辐射探测器通过电荷灵敏前置放大器的信号读出电路,再经过多道脉冲幅度分析器,模拟多道包括极零相消、滤波成形、峰值保持,进入低速ADC采样,最后给处理器进行设计处理。探测器输出的脉冲信号采用模拟电路进行处理,完成多道脉冲分析幅度功能,获得能谱。

[0005] 2.核辐射探测器通过电荷灵敏前置放大器的信号读出电路,借助高速ADC采集脉冲波形,并通过数字信号处理电路进行梯形成形、脉冲波形甄别、基线恢复、脉冲抗堆积、脉冲幅度分析等处理,最终获取能谱。

[0006] 核辐射探测器是将射线转换为电信号,电信号通过电荷灵敏前置放大器进行处理。常见的核辐射探测器有气体电离探测器、半导体探测器、闪烁体探测器等。闪烁体探测器可以广泛应用于各种常见的辐射探测领域,包括安检、工业检测、空间探测和医疗成像等,也是被应用得较多的一类核辐射探测器。

[0007] 在核辐射检测系统中,前置放大器读出电路探测器的输出信号幅度较小,因此需要搭配前置放大电路对其信号进行放大。核辐射探测器的核心前置放大电路主要有电荷灵敏、电压灵敏、电流灵敏3类。由于电荷灵敏前置放大电路在增益稳定性以及噪声性能上的优势,电荷灵敏前置放大电路在核辐射探测领域应用更广泛。在选择电荷灵敏前置放大电路的核心运放芯片时,通常要求运放芯片有足够的增益、较高的带宽以及尽量小的电流噪声。

[0008] 当核辐射探测器用于射线成像时,需要的探测器数量较多,一般每个探测器采用单独的读出电路,以保证探测性能。如果采用横竖方向电阻分流方式进行四角信号读出,能够大幅度减少读出电子学通道数量,但其电荷分流会造成电荷损耗,输出信号幅值会衰减。同时多通道电子学共享,也会使得噪声增加,从而影响能量分辨率。

发明内容

[0009] 为了克服或缓解以上一个或多个技术问题,本发明目的是提供一种核辐射探测器的串联读出电路及位置识别方法,可以解决对多个探测器、多个通道电路读出电子学电路

数量较多的问题,利用串联读出电路减少读出电子学通道数量,并保证较好的能量分辨率,再通过两个前放的读出信号幅度和时间信息识别探测器的位置。

[0010] 本发明提供了如下的技术方案:

[0011] 第一方面,本发明提供了一种核辐射探测器的串联读出电路,其包括串联分流电阻网络、位于所述串联分流电阻网络两端的电荷灵敏前置放大器以及共有线路;所述串联分流电阻网络包括n个探测器接入所述共有线路,所述探测器用于核辐射探测,n为大于2的自然数;每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻R,所述分流电阻R的数量为n-1个;单个所述电荷灵敏前置放大器包括运算放大器G、反馈电容 C_f 和反馈电阻 R_f , C_f 与 R_f 均并联在运算放大器G的负向输入和输出端,两个运算放大器分别为 G_1 和 G_2 。

[0012] 在上述实施方式中,对于一种核辐射探测器的串联读出电路,其结构特征包括n($n > 2$)个核辐射探测器、2个电荷灵敏前置放大器,n-1个分流电阻R。电荷灵敏前置放大器由运算放大器 G_1 、 G_2 ,反馈电容 C_f 和反馈电阻 R_f 组成。探测器可以通过导线直接连接到分流电阻,也可以通过电容交流耦合到分流电阻。然后通过导线串连到两个电荷灵敏前置放大器,实现探测器产生的电荷信号分流读出 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 。该串联读出电路减少了读出电子学的通道数量,并保障了较好的电荷收集,从而提高读出信号的信噪比。

[0013] 根据一些实施方式,所述探测器接入所述共有线路之前还连接有交流耦合的电容C。

[0014] 在上述实施方式中,探测器与分流电阻耦接方式分为直接耦合和交流耦合。直接耦合是将探测器输出的脉冲信号直接接入运算放大器的输入端。交流耦合是为了去除探测器输出的直流偏移量,通过电容接入运算放大器的输入端。

[0015] 第二方面,本发明提供了一种如上述核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法,其特征在于:依次包括以下步骤:

[0016] S0: 组装串联读出电路:首先组装所述串联分流电阻网络,其包括n个探测器接入所述共有线路;每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻R,所述分流电阻R的数量为n-1个;在组装好的所述串联分流电阻网络的共用线路的两端分别设置两个所述电荷灵敏前置放大器,对两个所述电荷灵敏前置放大器的供电方式为双电源供电或单电源供电;

[0017] S11: 检测输出信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$:对两个电荷灵敏前置放大器输出信号进行检测,这两个信号代表探测器两端的响应,两个电荷灵敏前置放大器分别输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$,其信号波形为指数衰减信号;

[0018] S12: 计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的幅度,用于提取放大系数,分别记为 A_1 和 A_2 ,计算式如下:

$$S_1(t) = A_1 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(k-1)R_f C_f}} \right) + B_1 \quad (1)$$

[0019]

$$S_2(t) = A_2 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(n-k)R_f C_f}} \right) + B_2 \quad (2)$$

[0020] 其中 B_1 、 B_2 为常数, A_1 、 A_2 为运算放大器的放大系数, B_1 、 B_2 常数由探测器的参数决

定; i 为具体的分流电阻的序号;

[0021] S13: 计算公式单个读出信号幅度与两个读出信号总幅度的比值 F , 计算式如下:

$$[0022] \quad F = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (5)$$

[0023] S14: 确定比值 F 与位置关系: 在已知位置下, 通过模拟和大量实验得到位置与比值直接的关系, 所述大量实验即为循环执行步骤 S11 ~ S13, 直至确定不同探测器位置对应的比值 F 的范围, 建立探测器位置与比值 F 的关系图表;

[0024] S15: 确定探测器位置: 正式测量时, 通过执行 S11 ~ S13 测量当前信号的比值 F , 并利用 S14 步骤中建立的关系图表来确定探测器的位置。

[0025] 在上述实施方式中, 计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的信号幅度, 用于提取放大系数 A_1 、 A_2 , 然后利用 A_1 、 A_2 进行位置识别。基于两个电荷灵敏放大器输出信号的大小, 通过大量测试确定不同探测器位置的比值 F 范围, 其中 F 为单端个读出信号幅度与两个读出信号总幅度的比值; 然后通过测量比值 F 与事先求得的探测器位置与比值 F 的关系来确定探测器的位置。该读出方法直接处理放大器后端的模拟信号, 提供了更好的电荷收集, 同时最小化了电阻性读出链的噪声贡献。

[0026] 根据一些实施方式, 还包括校正步骤 S3, 具体如下:

[0027] S31: 根据步骤 S12, 在获得的能峰图中, 得到实际测试能量 E_{pi} , 每个放射源的标准能量为 E_r 不同的放射源能量不同, 同一个放射源标准能量相同, 并记录相应的实际测试能量 E_p ;

[0028] S32: 求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 对每个位置 i , 使用标准能量 E_r 和实际测试能量 E_{pi} 进行线性回归, 求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 匹配步骤 S14 建立的关系图表, 建立对应的校正关系图表; 将测得的比值 F 与预先建立的关系图表匹配, 找到最接近的位置 i ;

[0029] S33: 补偿计算, 进行精确校正:

[0030] 根据 S32 匹配到的位置 i , 使用对应的校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 对实际测试能量 E_{pi} 进行校正, 校正公式如下:

$$[0031] \quad E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i \quad (7)$$

[0032] 校正后的能量 E 等于标准能量 E_r 。

[0033] 第三方面, 本发明还提供了一种如上述核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法, 其依次包括以下步骤:

[0034] S0: 组装串联读出电路: 首先组装所述串联分流电阻网路, 其包括 n 个探测器接入所述共有线路; 每两个相邻的所述探测器接入所述共有线路的接入点之间设有分流电阻 R , 所述分流电阻 R 的数量为 $n-1$ 个; 在组装好的所述串联分流电阻网络的共用线路的两端分别设置两个所述电荷灵敏前置放大器, 对两个所述电荷灵敏前置放大器的电源供电选择双电源供电;

[0035] S21: 检测输出信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$: 对两个电荷灵敏前置放大器输出信号进行检测, 这两个信号代表探测器两端的响应, 两个电荷灵敏前置放大器分别输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$;

[0036] S22: 提取上升时间 τ_1 和 τ_2 : 根据输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的上升时间, 直接读取测量信号从基线到峰值的一段时间或通过计算提取时间常数分别记为 τ_1 和 τ_2 , 计算式如下;

$$[0037] \quad \tau_1 = R_f \cdot C_f \cdot (k-1) \quad (3)$$

[0038] $\tau_2 = R_f \cdot C_f \cdot (n-k)$ (4);

[0039] S23: 比值T: 计算单个读出信号上升时间与两个读出信号总上升时间的比值T, 计算式如下:

$$T = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \quad (6)$$

[0041] S24: 确定比值T与位置关系: 在已知位置下, 通过模拟和大量实验得到位置与比值直接的关系, 所述大量实验即为循环执行步骤S21 ~ S23, 直至确定不同探测器位置对应的比值T的范围, 建立探测器位置与比值T的关系图表;

[0042] S25: 确定探测器位置: 正式测量时, 通过执行S21 ~ S23测量当前信号的比值T, 并利用S24步骤建立的关系图表确定探测器的位置。

[0043] 在上述实施方式中, 计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的上升时间, 用于提取时间常数 τ_1 和 τ_2 , 然后利用 τ_1 和 τ_2 进行位置识别。基于两个电荷灵敏放大器两端输出信号的, 上升时间, 通过大量测试确定不同探测器位置的比值T范围, 其中T为单个读出信号上升时间与两个读出信号总上升时间的比值; 然后通过测量的比值T与事先求得的探测器位置与比值T的关系来确定探测器的位置。

[0044] 根据一些实施方式, 还包括校正步骤S3, 具体如下:

[0045] S31: 步骤S22, 在获得的能量峰图中, 得到实际测试能量 E_{pi} , 每个放射源的标准能量为 E_r 不同的放射源能量不同, 同一个放射源标准能量相同, 并记录相应的实际测试能量 E_p ;

[0046] S32: 求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 对每个位置i, 使用标准能量 E_r 和实际测试能量 E_{pi} 进行线性回归, 求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 匹配步骤S24建立的关系图表, 建立对应的校正关系图表; 将测得的比值F与预先建立的关系图表匹配, 找到最接近的位置i;

[0047] S33: 补偿计算, 进行精确校正:

[0048] 根据S32匹配到的位置i, 使用对应的校正系数 K_i 和偏移量 a_i , 对实际测试能量 E_{pi} 进行校正, 校正公式如下:

$$E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i \quad (7)$$

[0050] 校正后的能量E等于标准能量 E_r 。

[0051] 在上述实施方式中, 核辐射探测器共享两个电荷灵敏放大器进行信号读出, 核辐射探测器产生的电荷量会在分流的过程中部分耗散在串连的电阻网络上, 导致两个电荷灵敏放大器的读出信号的总幅度变小, 其不再与探测器中的能量沉积大小, 也就是探测器产生的总电荷量成正比。因此根据由比值F和T识别核辐射探测器的位置, 然后根据探测器的位置对其读出信号总幅度进行校正, 使探测器中能量沉积的大小与读出信号的总幅度成正比关系。

[0052] 相比于现有技术, 本发明具备以下有益效果:

[0053] 与传统的多通道读出电子学相比, 本发明大幅减少了电子学通道数, 仅包含2个电子学通道数, 并且具有较好的信噪比、降低了电子学功耗。将n个探测器产生的电荷信号通过电阻分流为2个电荷信号输出, 串联读出电路的结构简单。信号只分成2份使得提取到的信号幅度大, 噪声小, 通过对双端读出电路的脉冲幅度进行分析, 统计能量分辨率以及响应

探测器的具体位置,对核辐射探测器相应通道进行准确辨别。同时减少了电路的运算量,降低相关电路的功耗和面积,也降低了低能成像装置的体积和重量。

[0054] 本发明与现有其它读出电路通道相比在大幅度减少电子学读出通道数量的同时保证了较好的信噪比,并实现了对多个探测器位置的准确定位。同时减少电路的规模,降低相关电路的功耗和面积,也减小低能成像装置的体积和重量,使得系统结构简单便于搭建,能够以低成本实现位置的准确定位,有利于便携式射线成像设备的研制。

附图说明

[0055] 图1为本发明实施例提供的核辐射探测器的串联读出电路直接耦合的实现原理。

[0056] 图2为本发明实施例提供的核辐射探测器的串联读出电路交流耦合的实现原理。

[0057] 图3为本发明实施例提供的核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法的实现原理。

[0058] 图4为本发明实施例提供的核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法的幅度比值法的流程框图。

[0059] 图5为本发明实施例提供的核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法的上升时间比值法的流程框图。

[0060] 图6为本发明实施例提供的 ^{137}Cs 放射源16个探测器位置谱线图。

[0061] 图7为本发明实施例提供的16个探测器位置散点关系图表。

[0062] 图8为本发明实施例提供的16个探测器能量校准前图。

[0063] 图9为本发明实施例提供的16个探测器能量校正后图片。

具体实施方式

[0064] 以下结合实施例和附图对本发明进行详细描述,但需要理解的是,所述实施例和附图仅用于对本发明进行示例性的描述,而并不能对本发明的保护范围构成任何限制。所有包含在本发明的发明宗旨范围内的合理的变换和组合均落入本发明的保护范围。

[0065] 下面结合附图对本发明进行进一步说明。

[0066] 对于多通道电子学处理,如果将每个信号都逐一读出进行处理,那么将得到每一个完整的信息,进而定位也会更准确,但是信号读出电路部分会非常庞大,相应的后端信号处理会十分困难,例如成像需要处理大量通道,庞大而复杂的电子学获取系统不仅实现困难,而且即便可以实现,成本也会非常的高昂。因此,需要研究如何将多输出信号信号读出电路进行有效的简化。本发明创新提出了核辐射探测器的串联读出电路。

[0067] 本发明提供了一种核辐射探测器的串联读出电路,以下简称为串联读出电路,其结构包括位于两端的两个电荷灵敏前置放大器以及两个电荷灵敏前置放大器之间的串联分流电阻网络;具体地,包括2个电荷灵敏前置放大器、 n (n 为大于2的自然数)个用于核辐射探测的探测器和 $n-1$ 个分流电阻 R 。电荷灵敏前置放大器由运算放大器 G_1 、 G_2 ,反馈电容 C_f 和反馈电阻 R_f 组成。 A 是运算放大器的放大系数, C_f 与 R_f 并行连接在运算放大器的负向输入和输出端;时间常数 $\tau=R_f \cdot C_f$ 。电荷灵敏前置放大器的输出幅度反映了输入电荷的大小,且与输入电容无关,因此具有良好的低噪声性能,并且输出信号幅度基本上不受探测器极间电容的影响。探测器可以通过导线直接连接到分流电阻,也可以通过电容交流耦合到分流电

阻。然后通过导线串连到两个电荷灵敏前置放大器,实现探测器产生的电荷信号分流读出 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 。该串联读出电路减少了读出电子学的通道数量,并保障了较好的电荷收集,从而提高读出信号的信噪比。

[0068] 实施例1

[0069] 如图1所示,串联分流电阻网络的两端均通过对应的共用线路与2个电荷灵敏前置放大器的运算放大器 G_1 、 G_2 连接。具体地,左端的运算放大器 G_1 朝向左端输出,右端的运算放大器 G_2 朝向右端输出,每个运算放大器的负向输入端和输出端上并联有反馈电容 C_f 和反馈电阻 R_f ,每个运算放大器的正向输入端接地。

[0070] 探测器可以通过导线直接连接到分流电阻,也可以通过电容交流耦合到分流电阻。然后通过导线串连到两个电荷灵敏前置放大器,实现探测器产生的电荷信号分流读出 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 。探测器产生的电荷信号通过串行连接的电阻网络分流为双端信号输出,共享双端读出电路,节约电子学读出通道数量。探测器的接入方式包括直接耦合(如图1所示)和交流耦合(如图2所示);直接耦合是将探测器输出的脉冲信号直接接入运算放大器的输入端。交流耦合是为了减少探测器输出的直流偏移量,通过电容接入运算放大器的输入端。探测器可以通过导线直接连接到分流电阻,也可以通过电容交流耦合到分流电阻。

[0071] n 个接入共用线路的探测器,每两个相邻的探测器接入共用线路的端口之间设有分流电阻,分流电阻共计 $n-1$ 个。共用线路两端通过电荷前置灵敏放大器对采集到的信号进行放大处理。

[0072] 计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的信号幅度,用于提取放大系数 A_1 、 A_2 ,然后利用 A_1 、 A_2 进行位置识别。基于两个电荷灵敏前置放大器输出信号的大小,通过大量测试确定不同探测器位置的比值 F 范围,其中 F 为单个读出信号幅度与两个读出信号总幅度的比值;然后通过测量比值 F 与事先求得的探测器位置与比值 F 的关系来确定探测器的位置。

[0073] 计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的上升时间,用于提取时间常数 τ_1 、 τ_2 ,然后利用 τ_1 、 τ_2 进行位置识别。基于两个电荷灵敏前置放大器输出信号的大小,上升时间,通过大量测试确定不同探测器位置的比值 T 范围,其中 T 为单个读出信号上升时间与两个读出信号总上升时间的比值;然后通过测量比值 T 与事先求得的探测器位置与比值 T 的关系来确定探测器的位置。

[0074] 以上述核辐射探测器的串联读出电路作为核辐射识别电路,可对待测区域的核辐射位置进行精准识别,如图3,该识别原理是基于上述核辐射探测器的串读出电路的两端输出的两端电荷灵敏前置放大器的输出的信号,分别为 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$,由于不同位置的探测器产生的响应会导致双端电荷灵敏前置放大器输出的脉冲信号幅度不同,可通过两端信号的比值进行准确定位。

[0075] 具体而言,多个探测器探测放射源产生的核脉冲信号,处理器读取上升时间,测得的输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$,基于两端输出信号的大小,大量测试串联分流电阻网络在各个位置的比值;

[0076] 处理器通过计算大量输出信号的比值以及对应的串联分流电阻网络范围相比较得到各信号具体的采集位置,上升时间和探测器响应 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 之间的关系分别表示为式(1)和式(2):

$$S_1(t) = A_1 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(k-1)R_i C_f}} \right) + B_1 \quad (1)$$

[0077]

$$S_2(t) = A_2 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(n-k)R_i C_f}} \right) + B_2 \quad (2)$$

[0078] 其中 B_1 、 B_2 为常数, A_1 、 A_2 为运算放大器的放大系数, B_1 、 B_2 常数由探测器的参数决定。

[0079] 当 $R_1=R_2=R_3=R_4 \cdots \cdots =R_{n-1}=R_i$ 时,第 k 个探测器的时间常数 τ_1 、 τ_2 ,分别由式(3)和式(4)得到:

$$[0080] \quad \tau_1 = R_f \cdot C_f \cdot (k-1) \quad (3)$$

$$[0081] \quad \tau_2 = R_f \cdot C_f \cdot (n-k) \quad (4)$$

[0082] 此外,也可以调节 R_1 、 R_2 、 $\cdots \cdots R_{n-2}$ 、 R_{n-1} 内阻序列的阻值修改核脉冲信号的变化趋势。

[0083] 作为另一种实施方式,处理器也可以通过放大系数的比值与对应的串联分流电阻网络范围相比较得到各信号具体的采集位置,具体地,放大系数的比值为 F ,时间常数的比值为 T ,它们之间的关系分别表示为式(5)和式(6):

$$[0084] \quad F = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (5)$$

$$[0085] \quad T = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \quad (6)$$

[0086] 其中, F 为单端核脉冲信号幅度与两端总核脉冲信号幅度的比值, T 为单端核脉冲信号上升时间与两端总核脉冲信号上升时间的比值。 F 和 T 的取值范围均为0-1,划分为 m 个区间,比值落在哪个区间就是哪个值。

[0087] k 常数根据不同探测器选择, F 值范围为0-1,此范围划分为 m 个区间,然后通过测量计算2个电荷灵敏前置放大器输出信号的比值 T 与事先求得的探测器位置与比值 T 的关系来可得到具体的探测器响应确定位置。比值落在哪个区间就是哪个值的定位。处理器接收到的两端测试输出信号数据的大小成比值,以此比值进行数据的准确定位。

[0088] 根据以上识别原理,本实施例还提供了上述核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法,用于确定探测器位置。识别方法涉及两种主要技术:幅度比值法和上升时间比值法,分别包括以下步骤:

[0089] S0: 组装串联读出电路,在组装好的串联分流电阻网络的共用线路的两端分别设置两个电荷灵敏前置放大器,在本实施例中对两个电荷灵敏前置放大器的电源供电选择双电源供电或单电源供电;

[0090] 正电源(+V)连接到电路的正电源输入端。负电源(-V)连接到电路的负电源输入端。地线(GND)连接到电路的地线端。

[0091] 将正负电源电压设定到所需值,但不打开电源。设置电源供应器的电流限制,防止过流。

[0092] 先打开正电源(+V),观察电流和电压,确保正常。再打开负电源(-V),同样观察电

流和电压。使用万用表测量电路各关键点的电压,确保在正常范围内。检查电路工作状态,确认无异常情况。

[0093] 根据需要调整电源电压,进行必要的调试和校准,确保电路正常工作。确保电源线和地线无短路现象。在上电后监测电路温度,防止过热。

[0094] 通过以上步骤,确保双电源供电电路安全可靠地上电,并且能正常工作。如果在上电过程中遇到问题,及时断电并检查电路,进行必要的调整和修复。然后再根据幅度比值法或者上升时间比值法进行位置识别,对两个电荷灵敏前置放大器供电方面,幅度比值法供电选择双电源供电或单电源供电,而上升时间比值法选择双电源供电,两种方法具体地步骤如下:

[0095] 1. 幅度比值法

[0096] 如图4,S11:检测输出信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$:对两个电荷灵敏前置放大器输出信号进行检测,这两个信号代表探测器两端的响应,两个电荷灵敏前置放大器分别输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 。为了减小噪声影响,对这两个信号进行滤波处理。

[0097] S12:计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的幅度,用于提取放大系数分别记为 A_1 和 A_2 ,计算式如下:

$$S_1(t) = A_1 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(k-1)R_f C_f}} \right) + B_1 \quad (1)$$

[0098]

$$S_2(t) = A_2 \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f C_f}} - e^{-\frac{t}{(n-k)R_f C_f}} \right) + B_2 \quad (2)$$

[0099] S13:计算公式单个读出核脉冲信号幅度与两个读出总核脉冲信号总幅度的比值 F ,计算式如下:

$$F = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (5)$$

[0101] S14:确定比值 F 与位置关系:变化探测器不同的探测位置,通过大量测试,确定不同探测器位置对应的比值 F 的范围,建立探测器位置与比值 F 的关系图表。这些关系图表比值是在已知位置下,通过模拟和大量实验得到的。

[0102] S15:确定探测器位置:使用预先建立的关系图表,将当前测得的比值 F 和 T 与已知位置对应的比值进行匹配。找到最接近的比值对,从而确定探测器的位置。正式测量时,通过执行S11~S13测量当前信号的比值 F ,并利用S14步骤中建立的关系图表来确定探测器的位置。

[0103] 2. 上升时间比值法

[0104] 如图5,S21:检测输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$:两个电荷灵敏前置放大器分别输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 。

[0105] S22:提取上升时间 τ_1 和 τ_2 :上升时间 τ_1 和 τ_2 可直接通过测量信号从基线到峰值的一段时间直接在示波器上显示读出或通过,也可经计算输出信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 的上升时间,用于提取时间常数分别记为 τ_1 和 τ_2 ,计算式如下:

$$\tau_1 = R_f \cdot C_f \cdot (k-1) \quad (3)$$

$$\tau_2 = R_f \cdot C_f \cdot (n-k) \quad (4)$$

[0108] S23:比值T:计算单个读出信号上升时间与两个读出信号总上升时间的比值T,计算式为下式:

$$[0109] \quad T = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \quad (6)$$

[0110] S24:确定比值T与位置关系:变化不同探测器探测位置,通过大量测试,确定不同探测器位置对应的比值T的范围,建立探测器位置与比值T的关系图表。这些关系图表的比值是在已知位置下,通过模拟和大量实验得到的。

[0111] S25:确定探测器位置:使用预先建立的关系图表,将当前测得的比值T与已知位置对应的比值进行匹配。找到最接近的比值对,从而确定探测器的位置。正式测量时,通过执行S21~S23测量当前信号的比值T,并利用S24步骤建立的关系图表来确定探测器的位置。

[0112] 通过幅度比值法和上升时间比值法,可以实现对探测器位置和沉积能量的精确测量。幅度比值法主要利用信号幅度的比值,而上升时间比值法则利用信号上升时间的比值。这两种方法的都可以提供更精确的定位。

[0113] 在本实施例根据由比值F和T识别核辐射探测器的位置后,然后根据探测器的位置对其读出信号总幅度进行校正,使探测器中能量沉积的大小与读出信号的总幅度成正比关系。

[0114] 在实际应用中,测量当前信号的放大系数为或上升时间 τ_1 和 τ_2 。计算当前信号的比值F和T。建立关系图表:使用预先已知位置下,通过模拟和大量实验得到关系图表比值。匹配关系图表将当前测得的比值F和T与已知位置对应的比值进行匹配。确定位置找到最接近的比值,从而确定探测器的位置。

[0115] 通过上述步骤,基于信号幅度和上升时间的比值,能够精确确定探测器的位置。

[0116] 实施例2

[0117] 由于核辐射探测器共享两个电荷灵敏放大器进行信号读出,核辐射探测器产生的电荷量会在分流的过程中部分耗散在串连的电阻网络上,导致两个电荷灵敏放大器读出信号的总幅度变小,其不再与探测器中的能量沉积大小,也就是探测器产生的总电荷量成正比。因此,可以对信号进行校正。

[0118] 由比值F或T识别核辐射探测器的位置,然后根据探测器的位置对其读出信号总幅度进行校正,使探测器中能量沉积的大小与读出信号的总幅度成正比关系。

[0119] 在每个已知位置下,记录信号幅度 A_1 和 A_2 ,计算比值F或T,以及实际能量沉积对应的校正系数K。将新的校准数据加入关系图表,确保比值F或T对应的校正系数K是最新的。

[0120] 校正公式如下:

$$[0121] \quad E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i \quad (7)$$

[0122] 其中,i是不同位置标号, E_r 是标准能量,为定值,不同放射源的标准能量不同,但同一个放射源的标准能量相同。 E_{pi} 是实际测试能量。 K_i 和 a_i 是校正系数和偏移量,与位置i相关。

[0123] E_r 是标准能量为定值, E_{pi} 为实际测试能量,大量测试求取 K_i 和 a_i 。在已知位置情况下对实际测试能量进行校准使得等于标准值。

[0124] 因此,本实施例提供的核辐射探测器的串联读出电路的位置识别方法还包括以下校正步骤S3,具体如下:

[0125] S31:在步骤S12或S23中,在获得的能峰图中,得到实际测试能量 E_{pi} ,每个放射源的标准能量为 E_r 不同的放射源能量不同一个放射源标准能量相同,并记录相应的实际测试能量 E_p ;

[0126] S32:求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i ;

[0127] 对每个位置 i ,使用标准能量 E_r 和实际测试能量 E_{pi} 进行线性回归,求取校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,匹配步骤S14或S23建立的关系图表,建立对应的校正关系图表;将测得的比值 F 或 T 与预先建立的关系图表匹配,找到最接近的位置 i 。

[0128] S33:补偿计算,进行精确校正:

[0129] 应用校正公式,根据S32匹配到的位置 i ,使用对应的校正系数 K_i 和偏移量 a_i ,对实际测试能量 E_{pi} 进行校正:

$$[0130] \quad E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i \quad (7)$$

[0131] 校正后的能量 E 应该等于标准能量 E_r 。通过已知位置大量测试,对能谱进行实时补偿,实现能谱的精确校正。

[0132] 使探测器中能量沉积的大小与读出信号的总幅度成正比关系。

[0133] 实施例3

[0134] 在本实施例中,以 4×4 SIPM阵列组成探测器阵列,组成核辐射探测器的串联读出电路,并进行位置识别实验和校正实验。

[0135] 首先进行串联读出电路的组装:

[0136] 1. 组装 4×4 SIPM阵列,共16个实验选用EQR1511-6060D-S型号的SIPM。串联15个 30Ω 电阻(R_1 - R_{15})。

[0137] 2. 连接两个LT6236电荷灵敏前置放大器(G1和G2)。放大器负向输入端和输出端并联反馈电容 $C_f = 1nF$ 和反馈电阻 $R_f = 50k\Omega$,正向输入端接地。

[0138] 3. 提供+38V偏置电压给SIPM阵列,提供3.3V电压给LT6236运放。

[0139] 4. ^{137}Cs 射线打在闪烁体(CsI)上,产生光子进入SIPM阵列,输出微弱电流脉冲信号。

[0140] 其次,信号通过导线连接到分流电阻,读出信号 $S1(t)$ 和 $S2(t)$ 。

[0141] 5. 使用高速ADC采集读出信号脉冲波形幅度,记为 A_1 和 A_2 。使用MATLAB处理左右两端脉冲幅度数据,根据计算 F 的公式5,绘制二维散点图(如图7)和16个探测器位置谱线图(如图6)。散点图显示探测器在物理空间中的相对位置和信号响应关系。谱线图显示16个SIPM探测器的信号计数率分布,用于定位和分析。

[0142] 6. 在能谱图中获得每个探测器的实际测量能量 E_{pi} ,记录标准能量 E_r (^{137}Cs 为662keV)。使用校正公式 $E_r = K_i \cdot E_{pi} + a_i$ 在MATLAB中对实际测量能量进行校正,使校正后的能量等于标准能量,如图8和如图9所示。

[0143] 以上实施例仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不局限于上述实施例。凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应该指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下的改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

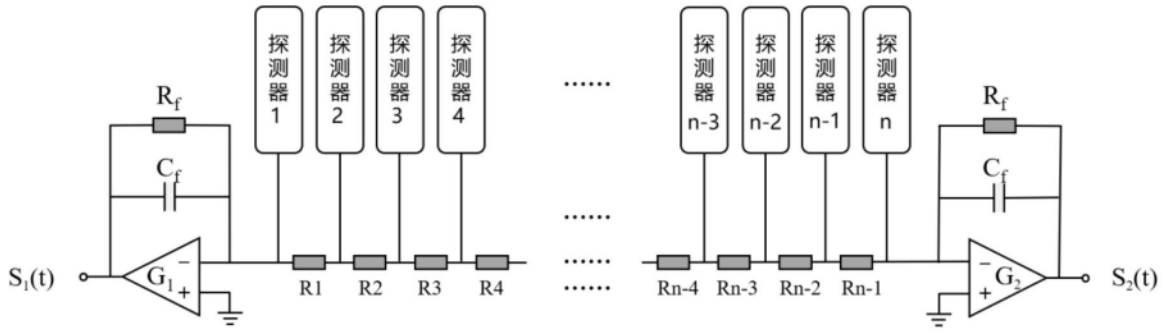


图1

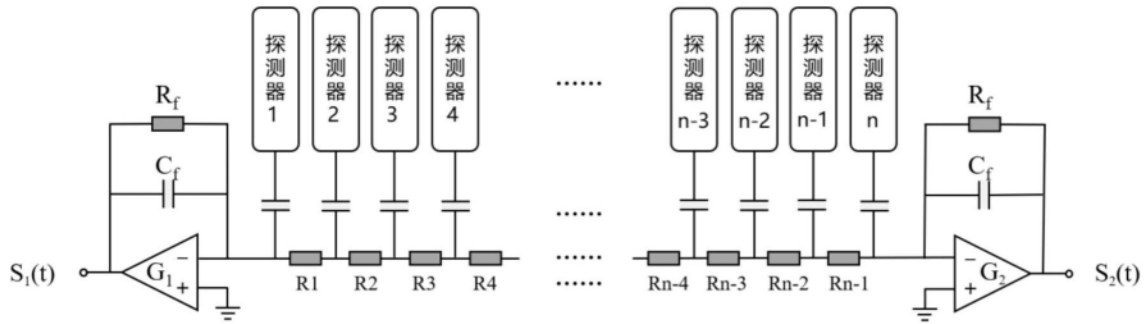


图2

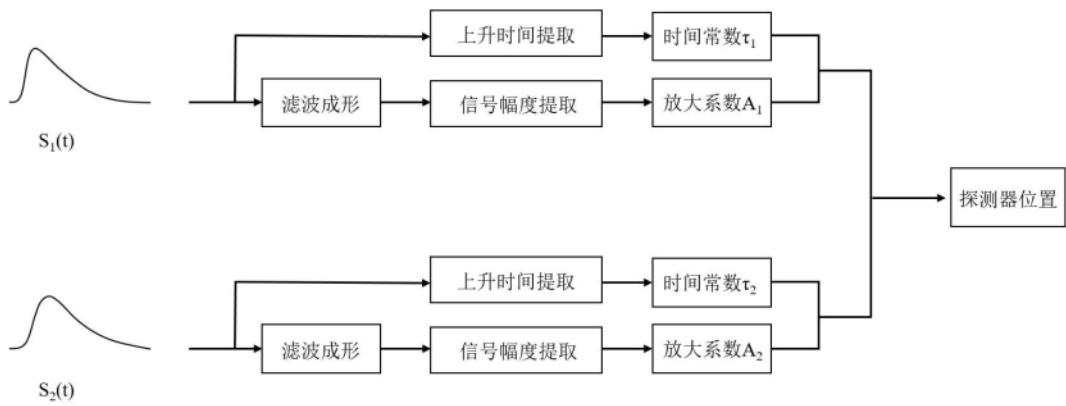


图3

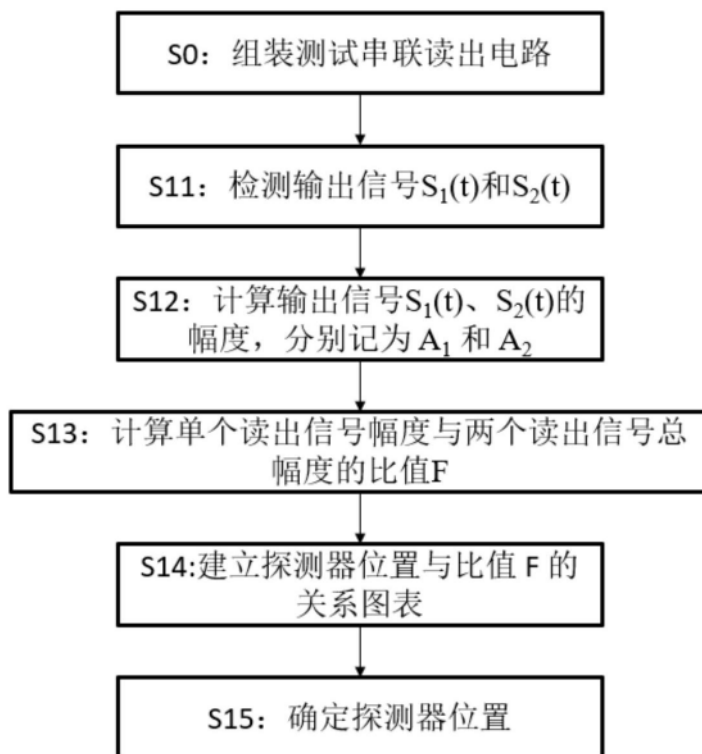


图4

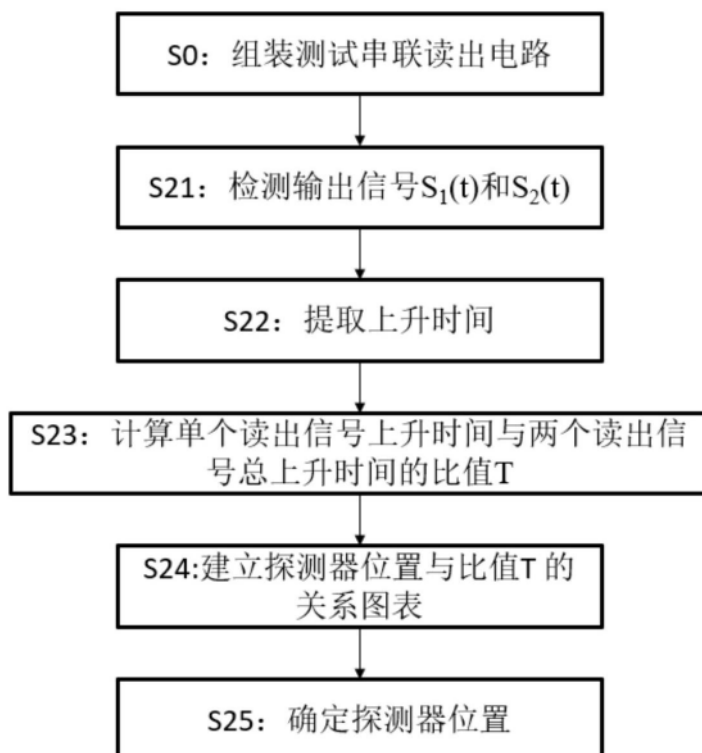


图5

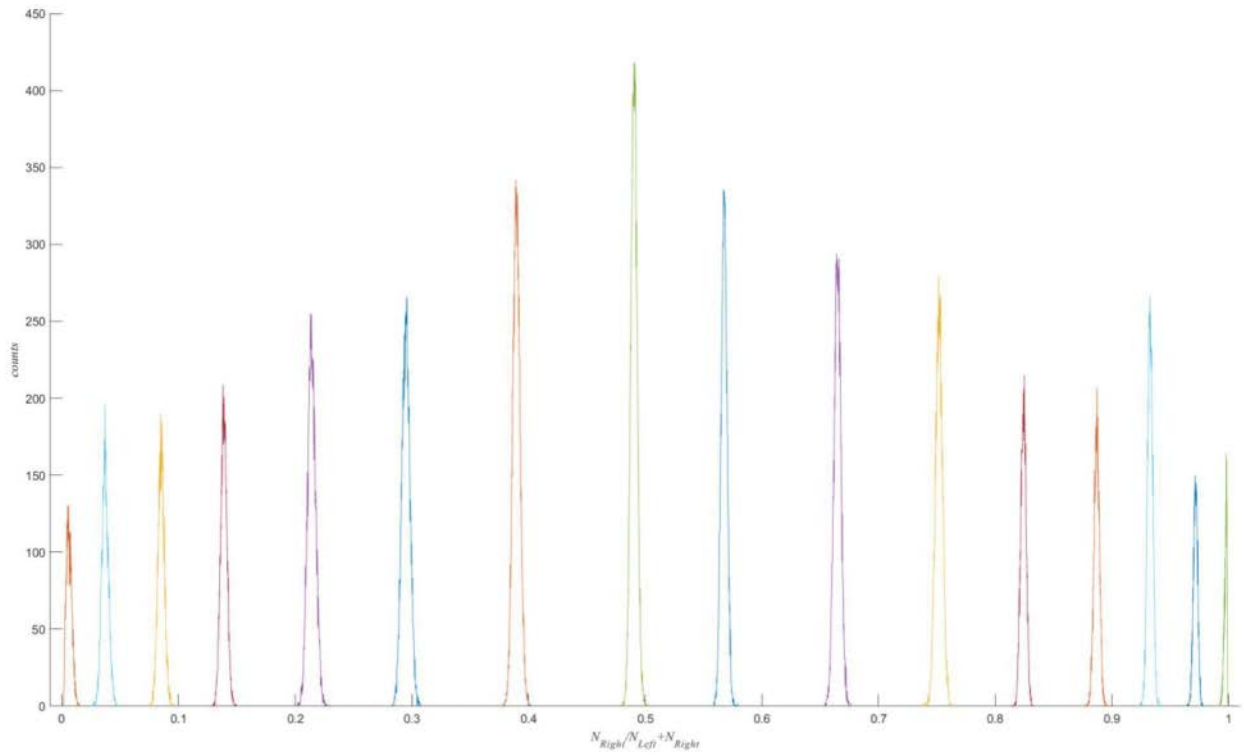


图6

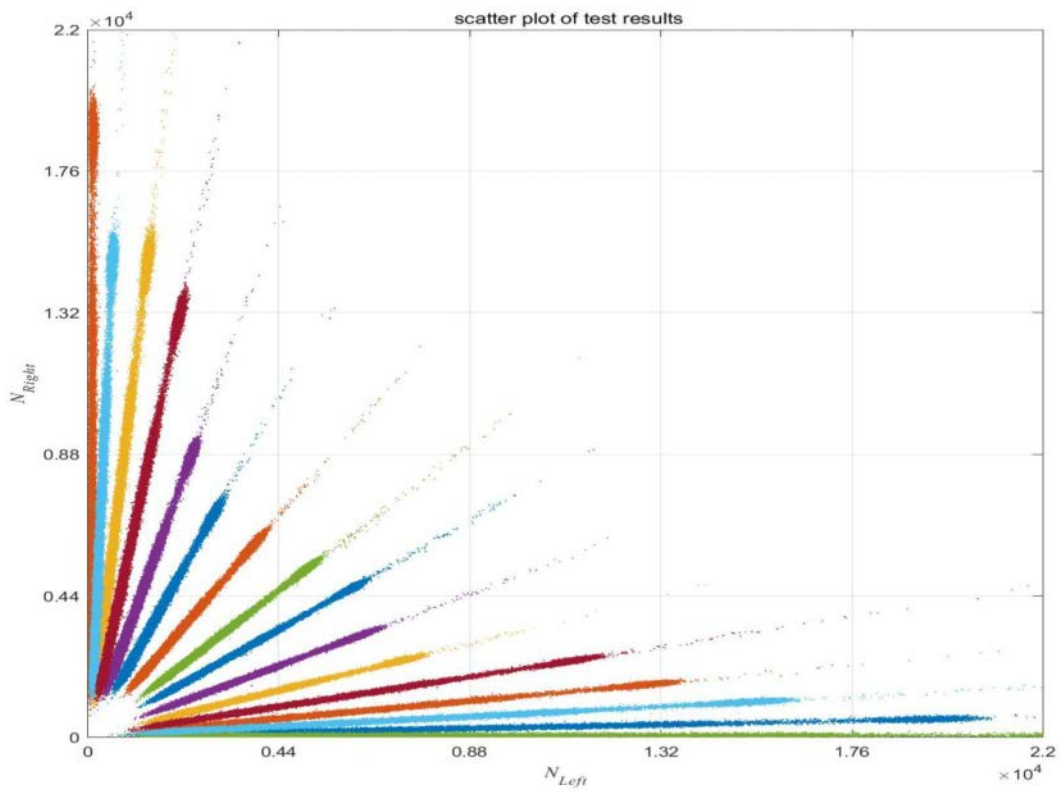


图7

能量校正前

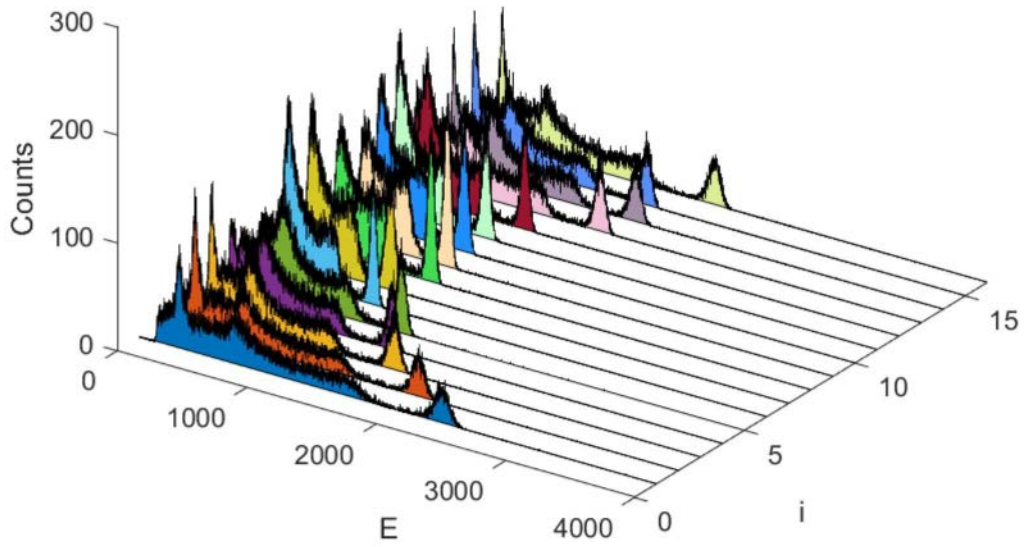


图8

能量校正后

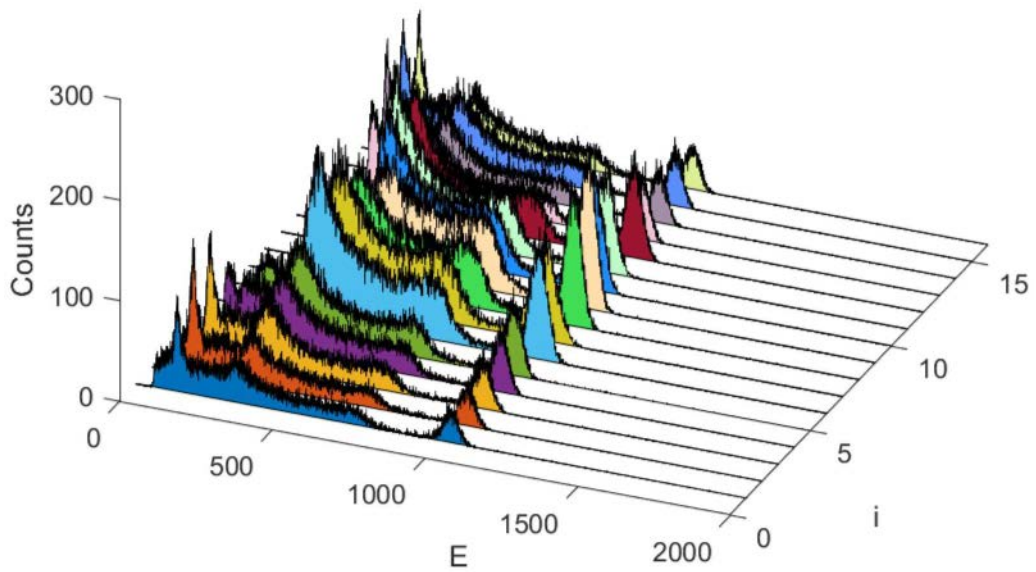


图9