



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109948223 B

(45) 授权公告日 2021.03.16

(21) 申请号 201910186102.X

(22) 申请日 2019.03.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109948223 A

(43) 申请公布日 2019.06.28

(73) 专利权人 中山大学
地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路135号

(72) 发明人 黄土琛 付琪铤

(74) 专利代理机构 广州市深研专利事务所(普通合伙) 44229

代理人 姜若天

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 17/15 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 208580212 U, 2019.03.05

CN 106353788 A, 2017.01.25

黄土琛等.SiPM 阵列作为闪烁体读出用于伽马谱仪的研究.《第十八届全国核电子学与核探测技术学术年会》.2016,第1-8页.

周新志.脉冲幅度信号获取系统.《核电子学与探测技术》.1998,第18卷(第2期),第1-4页.

审查员 李会

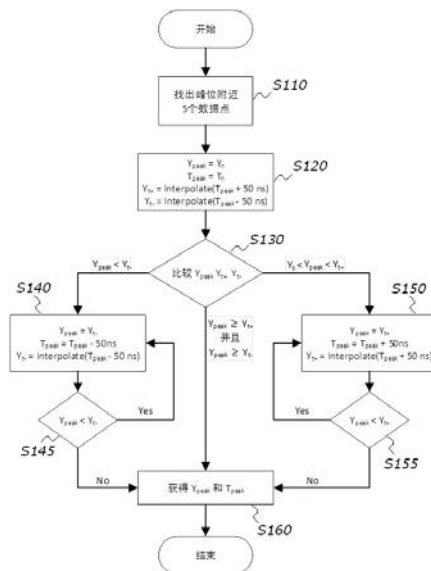
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,采样脉冲信号波形峰值附近多个连续数据点的时刻和幅度,从幅度最大的第n个数据点开始,以 Y_n 作为起始峰值 Y_{peak} ,向前指定时间间隔 Δt_1 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{peak} - \Delta t_1)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t-} ;向后指定时间间隔 Δt_2 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{peak} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} ;比较 Y_{t-} 、 Y_{peak} 和 Y_{t+} 之间的大小:若 Y_{peak} 最大,则获得脉冲信号波形的峰值;由于采用了拉格朗日插值算法重建脉冲信号幅度,只需采用低速率的模数转换器,使得电路的结构更加简单,既不需要采用峰值保持电路等额外的硬件电路,也不需要搭配可编程逻辑器件或者数字信号处理器来进行数据处理,成本低、功耗小。



CN 109948223 B

1. 一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其特征在于,包括以下步骤:

A、采样脉冲信号波形峰值附近至少3个连续数据点的时刻和幅度,且这些数据点的幅度根据其时间顺序同时满足从小到大再到小的关系;

B、将所述数据点的时刻和幅度代入拉格朗日插值函数式

$$\text{Interpolate}(T) = \sum_{j=0}^{k-1} Y_j \prod_{\substack{0 \leq m \leq k \\ m \neq j}} \frac{T - T_m}{T_j - T_m} \text{ 中, 得到新的时刻 } T \text{ 对应的幅度 } Y(T), \text{ 其中,}$$

Interpolate() 为拉格朗日插值函数, T 为时间变量, k 是用来插值的数据点个数, (T_j, Y_j) 表示第 j 个数据点的时刻和幅度, T_m 表示第 m 个数据点的时刻, $0 \leq m \leq k, m \neq j$;

C、从幅度最大的第 n 个数据点开始,以该数据点的幅度 Y_n 作为起始峰值 Y_{peak} , Y_{peak} 代表经拉格朗日插值函数插值后得到的峰值,向前指定时间间隔 Δt_1 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} - \Delta t_1)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t-} , T_{peak} 代表得到 Y_{peak} 峰值所对应的时刻;同时,向后指定时间间隔 Δt_2 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} ;

D、比较 Y_{t-} 、 Y_{peak} 和 Y_{t+} 之间的大小:若 Y_{peak} 最大,则获得脉冲信号波形的峰值并结束;若 $Y_{\text{peak}} < Y_{t-}$,则进入步骤E之后结束;若 $Y_{t-} < Y_{\text{peak}} < Y_{t+}$,则进入步骤F之后结束;

E、以 Y_{t-} 作为新的峰值 Y_{peak} ,继续向前指定时间间隔 Δt_1 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} - \Delta t_1)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t-} ,并比较 Y_{peak} 和 Y_{t-} 的大小,直到当 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t-}$ 时,获得脉冲信号波形的峰值;

F、以 Y_{t+} 作为新的峰值 Y_{peak} ,继续向后指定时间间隔 Δt_2 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} ,并比较 Y_{peak} 和 Y_{t+} 的大小,直到当 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t+}$ 时,获得脉冲信号波形的峰值。

2. 根据权利要求1所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其特征在于:在所述步骤A中,采样脉冲信号波形峰值附近5个连续数据点的时间和幅度,且这5个数据点的幅度根据其时间顺序同时满足 $Y_{n-2} < Y_{n-1}$ 、 $Y_{n-1} \leq Y_n$ 、 $Y_n \geq Y_{n+1}$ 、 $Y_{n+1} > Y_{n+2}$ 的关系式。

3. 根据权利要求1所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其特征在于:所述指定时间间隔 Δt_1 和 Δt_2 相等,且均与采样率相关。

4. 根据权利要求3所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其特征在于:对于2MHz采样率的ADC,重建采样率20MHz的数据序列,对脉冲信号波形峰值段进行拟合,指定时间间隔 Δt_1 和 Δt_2 均为50ns。

5. 根据权利要求1所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其特征在于:所述脉冲信号波形为高斯滤波成形信号。

6. 根据权利要求5所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其特征在于:所述高斯滤波成形信号采用CR-RC²成形电路输出,成形时间1.5 μ s。

一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核探测技术领域,尤其涉及的是一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法。

背景技术

[0002] 脉冲幅度获取是核探测技术里最常见的测量需求,用于实现该功能的仪器称为多道脉冲分析器。

[0003] 目前,脉冲幅度获取手段主要有以下两种方案:

[0004] 1) 模拟化方案:首先采用峰值保持电路对脉冲信号进行峰位的保持和展宽,然后利用低速率的模数转换器(ADC)对峰位电平进行采样,采样完成后再对峰值保持电路进行复位,以便响应下一个脉冲;

[0005] 2) 数字化方案:直接采用高速率的ADC直接采样脉冲信号,然后对采样数据进行数字化的处理获得幅度信息,例如寻找最大值,复杂的方案如梯形滤波等。

[0006] 模拟化方案的优点是采用了峰值保持电路,峰位电平已被锁住,因此不需要高速率的ADC;但缺点是需要采用额外的硬件电路,例如峰值保持电路。

[0007] 数字化方案的优点是可直接对信号进行采样,不需要模拟方案中的峰值保持电路;但缺点是需要高速的ADC,成本高、功耗大;而且,高速ADC还需搭配可编程逻辑器件(FPGA)或者数字信号处理器(DSP)来进行数据处理,导致电路结构变得复杂。

[0008] 因此,现有技术尚有待改进和发展。

发明内容

[0009] 为解决上述技术问题,本发明提供一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,电路结构更加简单,不需要采用额外的硬件电路,且成本低、功耗小。

[0010] 本发明的技术方案如下:一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,包括以下步骤:

[0011] A、采样脉冲信号波形峰值附近至少3个连续数据点的时刻和幅度,且这些数据点的幅度根据其时间顺序同时满足从小到大再到小的关系;

[0012] B、将所述数据点的时刻和幅度代入拉格朗日插值函数式

$$\text{Interpolate}(T) = \sum_{j=0}^{k-1} Y_j \prod_{\substack{0 \leq m \leq k \\ m \neq j}} \frac{T - T_m}{T_j - T_m}$$
 中,得到新的时刻T对应的幅度Y(T),其中,

Interpolate()为拉格朗日插值函数,T为时间变量,k是用来插值的数据点个数,(T_j, Y_j)表示第j个数据点的时刻和幅度, T_m 表示第m个数据点的时刻, $0 \leq m \leq k, m \neq j$;

[0013] C、从幅度最大的第n个数据点开始,以该数据点的幅度 Y_n 作为起始峰值 Y_{peak} , Y_{peak} 代表经拉格朗日插值函数插值后得到的峰值,向前指定时间间隔 Δt_1 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到($T_{\text{peak}} - \Delta t_1$)时刻数据点的幅度 Y_{t-} , T_{peak} 代表得到 Y_{peak} 峰值所对应的时刻;

同时,向后指定时间间隔 Δt_2 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} ;

[0014] D、比较 Y_{t-} 、 Y_{peak} 和 Y_{t+} 之间的大小:若 Y_{peak} 最大,则获得脉冲信号波形的峰值并结束;若 $Y_{\text{peak}} < Y_{t-}$,则进入步骤E之后结束;若 $Y_{t-} < Y_{\text{peak}} < Y_{t+}$,则进入步骤F之后结束;

[0015] E、以 Y_{t-} 作为新的峰值 Y_{peak} ,继续向前指定时间间隔 Δt_1 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} - \Delta t_1)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t-} ,并比较 Y_{peak} 和 Y_{t-} 的大小,直到当 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t-}$ 时,获得脉冲信号波形的峰值幅度;

[0016] F、以 Y_{t+} 作为新的峰值 Y_{peak} ,继续向后指定时间间隔 Δt_2 ,代入所述拉格朗日插值函数式,得到 $(T_{\text{peak}} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} ,并比较 Y_{peak} 和 Y_{t+} 的大小,直到当 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t+}$ 时,获得脉冲信号波形的峰值。

[0017] 所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其中:在所述步骤A中,采样脉冲信号波形峰值附近5个连续数据点的时间和幅度,且这5个数据点的幅度根据其时间顺序同时满足 $Y_{n-2} < Y_{n-1}$ 、 $Y_{n-1} \leq Y_n$ 、 $Y_n \geq Y_{n+1}$ 、 $Y_{n+1} > Y_{n+2}$ 的关系式。

[0018] 所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其中:所述指定时间间隔 Δt_1 和 Δt_2 相等,且均与采样率相关。

[0019] 所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其中:对于2MHz采样率的ADC,重建采样率20MHz的数据序列,对脉冲信号波形峰值段进行拟合,指定时间间隔 Δt_1 和 Δt_2 均为50ns。

[0020] 所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其中:所述脉冲信号波形为高斯滤波成形信号。

[0021] 所述的基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,其中:所述高斯滤波成形信号采用CR-RC²成形电路输出,成形时间1.5 μ s。

[0022] 本发明所提供的一种基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法,由于采用了拉格朗日插值算法重建脉冲信号幅度,只需采用低速率的模数转换器,使得电路的结构更加简单,既不需要采用峰值保持电路等额外的硬件电路,也不需要搭配可编程逻辑器件或者数字信号处理器来进行数据处理,成本低、功耗小。

附图说明

[0023] 图1是本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法实施例的流程图;

[0024] 图2是本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法实施例的重建波形图;

[0025] 图3是本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法实施例所用测试波形图;

[0026] 图4是本发明没有经过任何插值处理的脉冲幅度谱图;

[0027] 图5是本发明经过拉格朗日插值处理的脉冲幅度谱图。

具体实施方式

[0028] 以下将结合附图,对本发明的具体实施方式和实施例加以详细说明,所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并非用于限定本发明的具体实施方式。

[0029] 如图1所示,图1是本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法实施例的流程图,本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法包括以下步骤:

[0030] 步骤S110、找出脉冲信号波形峰值附近多个连续的数据点用来进行插值；以5个数据点为例，如果采样数据中有5个连续数据点的幅度根据其时间顺序同时满足 $Y_{n-2} < Y_{n-1}$ 、 $Y_{n-1} \leq Y_n$ 、 $Y_n \geq Y_{n+1}$ 、 $Y_{n+1} > Y_{n+2}$ 的关系式，即这些数据点的幅度根据其时间顺序同时满足从小到大再到小的关系，就可以采用这5个数据点的时刻和幅度数据进行插值，其中， Y_n 代表采样数据中第n个数据点的幅度；

[0031] 理论上讲，用于进行插值的数据点越多，插值重建的精度就越高，但是所需的运算时间也就越长，运算的时间与 K^2 （ K 是用来插值的数据点个数）成正比关系，而且，随着数据点个数的增加，精度的提高程度也越来越不明显；因此，对于核探测里最常用的高斯滤波成形信号，选用5个数据点已能够满足插值重建的精度要求，而选用3个数据点或者4个数据点进行插值重建的结果则要稍差一点；

[0032] 另外，在上面的关系式中，由于脉冲信号的波形都是从最大值（即峰位）处向两边递减的，因此不管采样时刻如何，总能在脉冲波形峰值左右找到5个满足上述关系式的数据点。

[0033] 步骤S120、将这5个数据点的时刻和幅度数据代入拉格朗日插值函数式

$$\text{Interpolate}(T) = \sum_{j=0}^{k-1} Y_j \prod_{\substack{0 \leq m \leq k \\ m \neq j}} \frac{T - T_m}{T_j - T_m}$$

中，得到新的时刻 T 对应的幅度 $Y(T)$ ；其中，

$\text{Interpolate}()$ 为拉格朗日插值函数， T 为时间变量， k 是用来插值的数据点个数， (T_j, Y_j) 表示第 j 个数据点的时刻和幅度， T_m 表示第 m 个数据点的时刻， $0 \leq m \leq k, m \neq j$ ；

[0034] 从幅度最大的第 n 个数据点开始，以该数据点的幅度 Y_n 作为起始峰值 Y_{peak} ，向前指定时间间隔 Δt_1 例如50ns，代入所述拉格朗日插值函数式，得到 $(T_{\text{peak}} - \Delta t_1)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t-} ；

[0035] 同时，向后指定时间间隔 Δt_2 例如50ns，代入所述拉格朗日插值函数式，得到 $(T_{\text{peak}} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} 。

[0036] 步骤S130、比较 Y_{t-} 、 Y_{peak} 和 Y_{t+} 之间的大小，这里分成三种情况：

[0037] 1) 若 Y_{peak} 最大，即 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t+}$ 并且 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t-}$ ，则获得脉冲信号波形的峰值并结束（即步骤S160）；

[0038] 2) 若 $Y_{\text{peak}} < Y_{t-}$ ，说明脉冲波形峰值在左侧，则进入步骤S140；

[0039] 3) 若 $Y_{t-} < Y_{\text{peak}} < Y_{t+}$ ，说明脉冲波形峰值在右侧，则进入步骤S150。

[0040] 步骤S140、以 Y_{t-} 作为新的峰值 Y_{peak} ，继续向前指定时间间隔 Δt_1 例如50ns，代入所述拉格朗日插值函数式，得到 $(T_{\text{peak}} - \Delta t_1)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t-} ；比较 Y_{peak} 和 Y_{t-} 的大小，直到当 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t-}$ 时（即步骤S145），获得脉冲信号波形的峰值并结束（即步骤S160）。

[0041] 步骤S150、以 Y_{t+} 作为新的峰值 Y_{peak} ，继续向后指定时间间隔 Δt_2 例如50ns，代入所述拉格朗日插值函数式，得到 $(T_{\text{peak}} + \Delta t_2)$ 时刻数据点的幅度 Y_{t+} ，并比较 Y_{peak} 和 Y_{t+} 的大小，直到当 $Y_{\text{peak}} \geq Y_{t+}$ 时（即步骤S155），获得脉冲信号波形的峰值并结束（即步骤S160）。

[0042] 在本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法的优选实施方式中，以2MHz采样率的ADC为例，目前市面上的许多单片机的内置ADC都可达到该采样水平，采样时间间隔500ns，以核探测里最常用的高斯滤波成形信号作为测试信号，得到由2MHz采样信号点P1（即空心点）组成的原始信号波形s1（即实心线）图如图2所示，图2是本发明基于拉格朗日插

值的脉冲幅度获取方法实施例的重建波形图,横坐标为时间Time,单位是 μs ,纵坐标为电压信号,单位mV,由图2可知,该测试信号波形的达峰时间约 $2\mu\text{s}$,波形底部宽度约 $10\mu\text{s}$,可以满足几十KHz计数率以下的测量需求;本实施例中将拉格朗日插值算法的数据间隔 Δt_1 和 Δt_2 均设定为 50ns ,即重建一个 20MHz 采样率的数据序列,并最终得到由拉格朗日插值的数据点(即实心点)组成的峰值位置处的波形S2(即点化线),显然所述指定时间间隔 Δt_1 和 Δt_2 均与采样率相关;不难看出,尽管采用了低速率的ADC,使得原始采样数据难以保证准确采样到峰值电平,但是经过拉格朗日插值算法之后,在不增加峰位保持电路等额外硬件电路的情况下,仍然可以准确地重建脉冲信号幅度,且成本低、功耗小。

[0043] 最后,以核电子学里常用的CR-RC2成形电路为例,成形时间 $1.5\mu\text{s}$,其输出波形如图3所示,图3是本发明基于拉格朗日插值的脉冲幅度获取方法实施例所用测试波形图,横坐标为时间,单位是 μs ,纵坐标为幅度,无单位;本实施例测试了10000个脉冲信号,对每个脉冲信号从随机位置开始采样,ADC采样频率 2MHz ,如果没有后续的拉格朗日插值处理,直接将采样最大值作为幅度,获得的幅度谱图如图4所示,图4是本发明没有经过任何插值处理的脉冲幅度谱图,横坐标为幅度,纵坐标为计数;而经过5点拉格朗日插值处理之后获得的幅度谱图如图5所示,图5是本发明经过拉格朗日插值处理的脉冲幅度谱图,横坐标为幅度,纵坐标为计数;可以看出,没有后续的任何插值处理或者不增加峰位保持电路,确实难以准确重建脉冲信号幅度,而经过后续的拉格朗日插值处理,即使不增加峰位保持电路,仍然可以准确地重建脉冲信号幅度,非常适合用于计数率要求不高的测试场合:采用低速率的ADC对信号直接进行采样,然后利用拉格朗日插值算法获取幅度信息。低速率的ADC采样,并不能保证可以准确采集到脉冲的峰值电平,但是经过拉格朗日插值算法之后,却可以很好地还原信号的幅度。

[0044] 应当理解的是,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不足以限制本发明的技术方案,对本领域普通技术人员来说,在本发明的精神和原则之内,可以根据上述说明加以增减、替换、变换或改进,而所有这些增减、替换、变换或改进后的技术方案,都应属于本发明所附权利要求要求的保护范围。

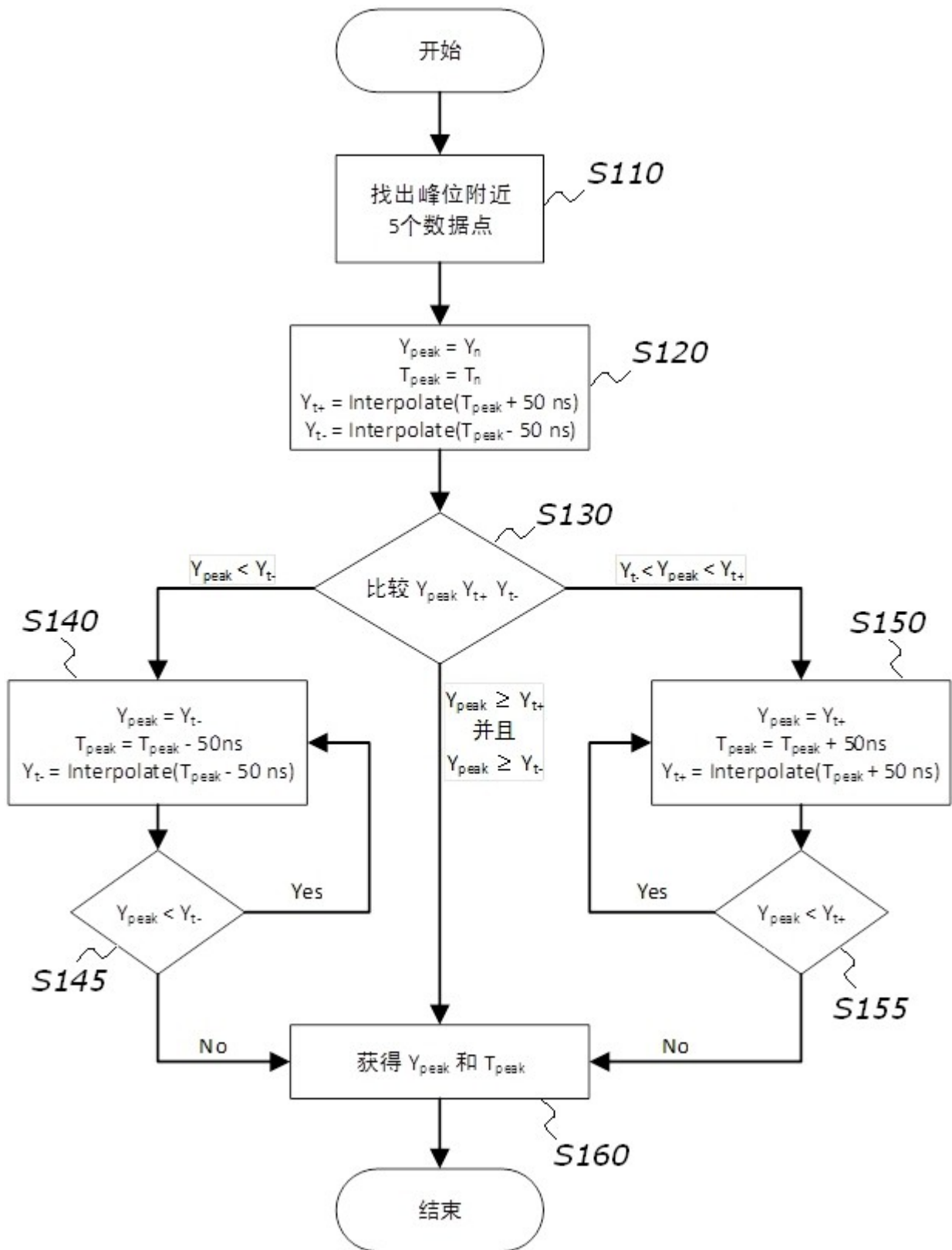


图1

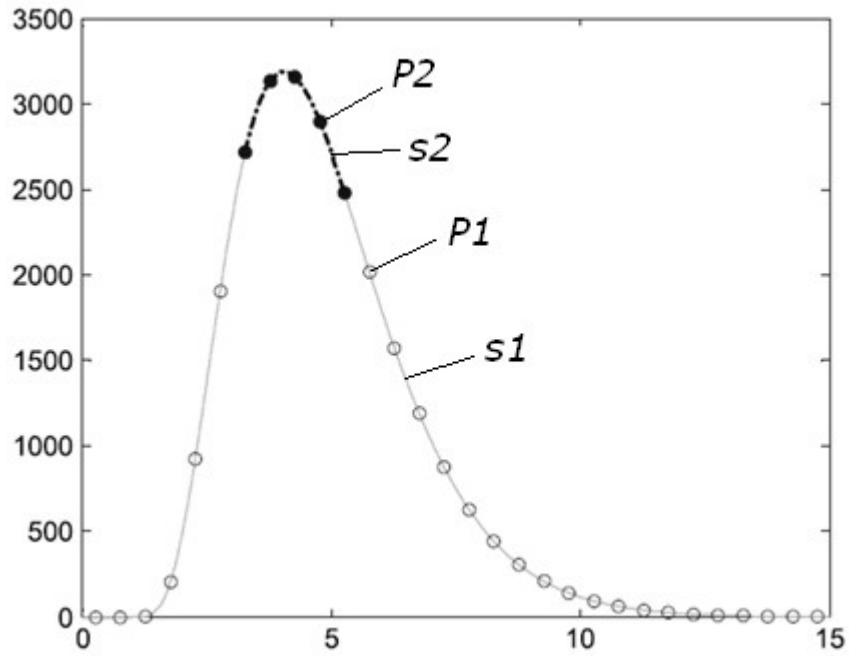


图2

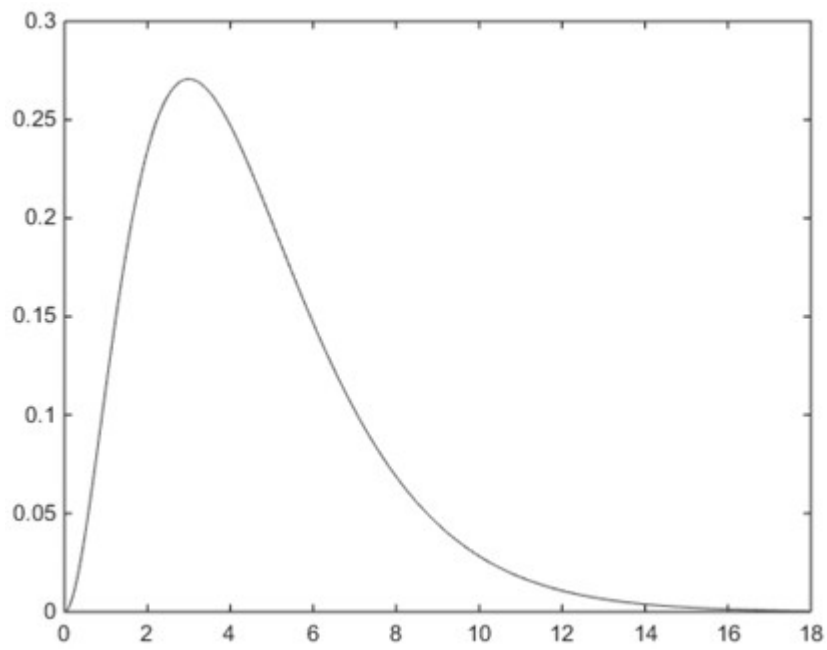


图3

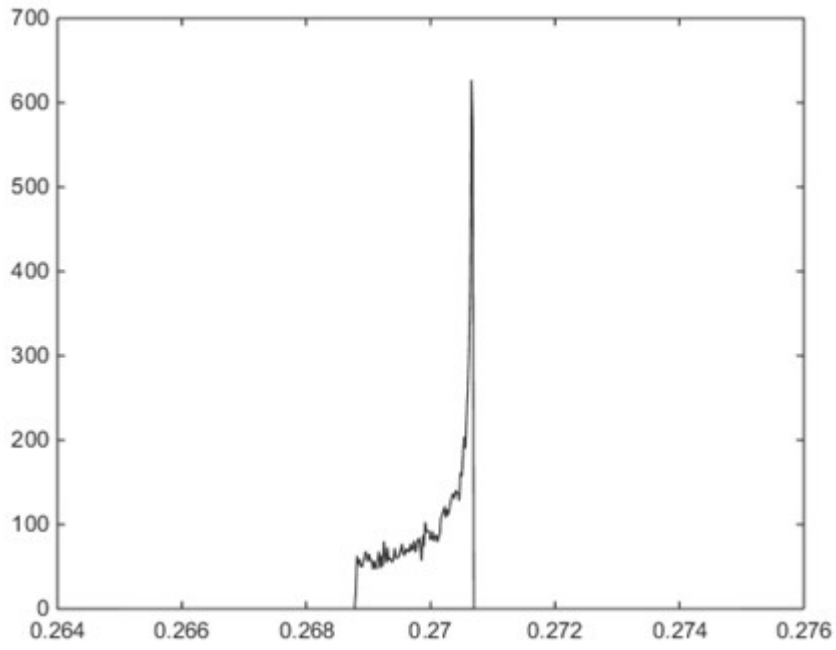


图4

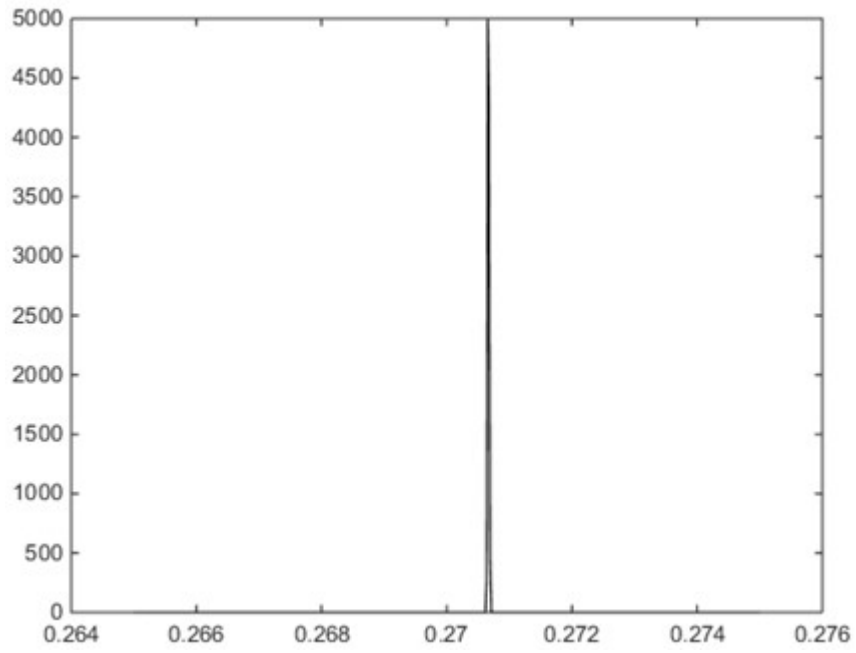


图5