



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94292 (13) C2
(51) МПК
G01T 1/36 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ІМОВІРНІСНИЙ ШИРОКОДІАПАЗОННИЙ СПЕКТРОМЕТР

1

(21) а200904650

(22) 12.05.2009

(24) 26.04.2011

(46) 26.04.2011, Бюл.№ 8, 2011 р.

(72) САПОЖНИКОВ МИКОЛА ЄВГЕНОВИЧ, МОІСЄЄВ ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

(56) UA 85612 C2, 10.02.2009

SU 1512341 A1, 10.07.1996

RU 2018949 C1, 30.08.1994

US 4035645 A, 12.07.1977

GB 1475601 A, 01.06.1977

(57) Імовірнісний широкодіапазонний спектрометр, що містить сцинтилятор, фотоелектронний помножувач, передпідсилювач, амплітудний аналізатор, який **відрізняється** тим, що виходи суматора по модулю 2 пов'язані з дозволяльними входами регістрів пам'яті, що зберігають поправкові коефіцієнти, і з дозволяльними входами лічильників

2

вимірювальних каналів, а також з входами L-розрядної схеми АБО, вихід якої приєднаний до другого входу двовходової схеми АБО, перший вхід якої підімкнено до виходу лічильника кількості випробувань, навантаженої на рахунковий вхід Т-триггера, вихід якого є дозволяльним сигналом для цифрової схеми порівняння, на входи якої подаються значення з регістрів пам'яті, що зберігають поправкові коефіцієнти через блок мультиплексування, і значення з генератора псевдовипадкових рівномірно розподілених чисел, вихід цифрової схеми порівняння підімкнено до входів лічильників вимірювальних каналів, до входу лічильника експозиційної дози і до входу лічильника потужності експозиційної дози, вихід якого підімкнено до регістра потужності експозиційної потужності, на дозволяльний вхід якого подається сигнал з лічильника реального часу, вхід якого разом з входами лічильника кількості випробувань і цифрової схеми порівняння підімкнено до генератора тактових імпульсів.

Винахід належить до галузі автоматики і вимірювальної техніки і може бути використаний в пристроях вимірювання і реєстрації енергетичного спектра, експозиційної дози (ЕД) і потужності експозиційної дози (ПЕД) радіоактивного випромінювання.

Відомі сцинтиляційні вимірники потужності дози з автокомпенсацією енергетичної залежності чутливості (ЕЗЧ) аналогічного призначення, до складу яких входять сцинтилятор (Сц), фотоелектронний помножувач (ФЕП) в імпульсному режимі, підімкнений до багатоканального амплітудного аналізатора, в якому з метою компенсації ЕЗЧ для кожного значення енергії в піддіапазоні вводять заздалегідь визначену поправку. [Патент України № 85612].

Основним недоліком прототипу є великий апаратний об'єм, визначуваний апаратною складністю комбінаційних суматорів групового типу, кількість яких росте пропорційно кількості піддіапазонів вимірювання.

Суть винаходу полягає у вимірюванні енергетичного гамма-спектра, експозиційної дози і поту-

жності експозиційної дози в широкому енергетичному діапазоні з одночасним підвищенням точності вимірювань за рахунок застосування автокомпенсації енергетичної залежності чутливості, в зниженні апаратного об'єму пристрою в цілому, порівняно з прототипами, і можливості застосування переваг імовірнісної форми надання інформації, що дозволяє значно прискорити подальшу обробку отриманих результатів.

Рішення технічної задачі досягається шляхом використання імовірнісної форми надання даних, у зв'язку з чим змінюється схема визначення спектра, експозиційної дози і потужності експозиційної дози.

Технічного результату досягають шляхом заміни в схемі прототипу [Патент України № 85612] багатоканального амплітудного аналізатора комбінаційних суматорів на цифрову схему порівняння, Т-триггер, генератор псевдовипадкових рівномірно розподілених чисел, лічильник кількості випробувань, лічильники вимірювальних каналів, експозиційної дози та потужності експозиційної дози, і блок мультиплексування, для можливості

(13) C2

(11) 94292

(19) UA

вимірювання потужності експозиційної дози в схему додають лічильник реального часу, реєстри пам'яті і блок логічних елементів.

Запропонована функціональна схема імовірнісного амплітудного аналізатора сцинтиляційного спектрометра показана на кресленні, до складу якого входять:

- аналогова схема порівняння (СхП);
- генератор тактових імпульсів (ГТІ);
- Q-розрядна цифрова схема порівняння (ЦСхП);
- генератор псевдовипадкових рівномірно розподілених чисел (ГПРРЧ);
- лічильник кількості випробувань;
- блок мультиплексування (БМ), що складається з Q логічних елементів АБО на L входів;
- лічильник реального часу (ЛРЧ);
- L логічних елементів, що виконують підсумовування за модулем 2 (mod2);
- блок логічних елементів;
- L реєстрів пам'яті на Q розрядів, що зберігають поправкові коефіцієнти в цифровому позиційному коді (Pr);
- L+2 двійкових накопичувальних лічильників результатів вимірювань; де L - число піддіапазонів вимірювання; Q - розрядність.

Перебіг процесів у схемі імовірнісного широкodiaпазонного спектрометра має викладену нижче послідовність.

Вимірювання починаються після подачі на схему електроживлення і програмування блока L реєстрів пам'яті. Іонізуюче випромінювання, взаємодіючи з речовиною детектора, викликає в ньому сцинтиляції, за інтенсивністю пропорційні енергії іонізуючих частинок. За рахунок оптичного зв'язку сцинтиляцій з катодом ФЕП на останньому формуються електричні імпульси, амплітуда яких пропорційна інтенсивності окремих сцинтиляцій, тобто енергії іонізуючих частинок. Ці імпульси з виходу ФЕП посилюються передпідсилювачем, який, як і сцинтилятор, і ФЕП, на схемі не показані, і передаються на вхід амплітудного селектора, що виконує функцію перетворювача амплітуди в унітарний L-розрядний двійковий код, де L - число піддіапазонів вимірювання.

Схема порівняння СхП і блок логічних елементів підсумовування за mod2 нічим не відрізняються від прототипу. Тобто, СхП на вході в амплітудний аналізатор є сукупністю двовходових елементів порівняння (в ролі якої може виступати як компаратор, так і тригер Шмітта), на перший вхід i-го з яких подається опорна напруга $U_{оп}$, причому ця напруга відрізняється одна від одної на величину ΔU , яка визначається відповідно до L піддіапазонів вимірювань і реалізується за допомогою резистивного подільника. Другі входи елементів порівняння об'єднані і на них подана напруга, рівна амплітуді вхідного імпульсу $U_{вх}$. При виконанні умови $U_{оп} = U_{вх}$ на виході відповідного елемента порівняння з'являється "1". Оскільки сусідні виходи елементів порівняння попарно подаються на входи суматорів по модулю 2, то одиничний сигнал з'явиться на виході того з них, на вхід якого будуть одночасно подані "1" і "0". Останні, по суті, спрацьовують при попаданні імпульсу в певний піддіа-

пазон напруги. Таким чином, кожній амплітуді імпульсу з виходу ФЕП відповідатиме "своя одиниця" на виході i-го суматора за mod2, де $i = 1, 2, \dots, L$. Ця "одиниця" подається на дозволяльний вхід i-го реєстра пам'яті, що зберігає поправковий коефіцієнт, після чого значення поправкового коефіцієнта через блок мультиплексування потрапляє на перші паралельні входи цифрової схеми порівняння, на другі входи ЦСхП подається значення з ГПРРЧ, внаслідок чого відбувається імовірнісне перетворення значень поправкових коефіцієнтів. Ця ж "одиниця" через схему АБО з L-входами перемикає лічильний Т-тригер в одиничний стан, подаючи дозволяльний сигнал на ЦСхП, тим самим починаючи підцикл вимірювання, ця ж "одиниця" подається на дозволяльний вхід лічильника i-го каналу. Імовірнісні відображення з виходу ЦСхП надходять через елементи АБО на лічильники-інтегратори, лічильник ЕД і через лічильник реального часу на лічильник ПЕД.

З кожним імпульсом з ГТІ значення в лічильнику кількості випробувань інкрементується на "1", при досягненні значення, рівного K, лічильник кількості випробувань подає сигнал обнуління, який, проходячи через схему АБО, перемикає лічильний Т-тригер в нульовий стан, закінчуючи тим самим підцикл вимірювання.

Після закінчення вимірювань на паралельних виходах лічильників-інтеграторів, відповідних кожному енергетичному каналу, знаходиться енергетичний спектр вимірюваного сигналу, на виході лічильника-інтегратора ЕД - експозиційна доза, а на виході лічильника-інтегратора ПЕД - потужність його експозиційної дози в задану одиницю часу.

Модуль лічби ЛРЧ розраховують таким чином, щоб, залежно від частоти роботи ГТІ за вибрану одиницю часу, ЛРЧ, наповнюючись, дозволяв запис у лічильник ПЕД, а переповнюючись, ініціалізував сигнал переписування значення з лічильника ПЕД в реєстр ПЕД і обнуління лічильника ПЕД, тим самим в реєстрі ПЕД знаходиться приріст ЕД в одиницю часу - потужність ЕД.

Частоту роботи ГТІ розраховують так, щоб за відрізок часу між можливими появами одиниці на виході амплітудного аналізатора, з урахуванням всіх затримок на логічних елементах і елементах пам'яті, ЦСхП провела K випробувань, і було отримано K імовірнісних відображень, причому кількість випробувань безпосередньо впливає на точність імовірнісного перетворення.

Загалом, суть стохастичного або імовірнісного перетворення полягає в тому, що будь-якому значенню параметра перетворюваної величини можна привести у відповідність деяку вірогідність:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } x_i > R(t_{ij}) \\ 0 & \text{при } x_i \leq R(t_{ij}) \end{cases},$$

де - x_i - i-е значення параметра перетворюваного сигналу $X(t)$;

$R(t_{ij})$ - j-е значення параметра допоміжного випадкового сигналу $R(t)$, що змінюється в інтервалі зміни $X(t)$;

$i = \overline{1, N}$ - число циклів перетворення сигналу $X(t)$;

$j = \overline{1, K}$ - кількість статистичних випробувань кожного значення x_i всередині тимчасового інтервалу $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$;

y_{ij} - значення імовірнісного відображення параметра сигналу x_i з ряду

$$Y_i(t) = \{y_{i1}; y_{i2}; \dots; y_{ij}; \dots; y_{iK}\}.$$

У разі, коли допоміжний випадковий сигнал підпорядковується рівномірному закону розподілу, вираз для математичного сподівання переписується у вигляді

$$M[Y_i(t)] = P(y_{ij} = 1) = x_i.$$

Як оцінку x_i , що задовольняє вимоги незсуненості, спроможності і ефективності, відповідно до теореми Чебишева, приймають

$$x_i^* = \{M[Y_i(t)]\}^* = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K y_{ij}.$$

Ураховуючи, що величина, піддана імовірнісному перетворенню, нормована в одиничному інтервалі, величина приведеної похибки буде рівна

$$\gamma_{\text{ВП}} = \frac{\Delta_{\text{ВП}}}{1} \cdot 100\%$$

Вираз для абсолютної похибки переписується у вигляді:

$$\Delta_{\text{ВП}} = \frac{\sqrt{2F^{-1}(P)}}{\sqrt{K}} \sqrt{x_i(1-x_i)},$$

де $F^{-1}(P)$ - функція, зворотна функції Лапласа;
 P - вірогідність того, що дійсне значення $F_X(R)$ знаходиться всередині інтервалу з межами $I_p = \{F_{x_i}^*(R) - \Delta_{\text{ВП}}; F_{x_i}^*(R) + \Delta_{\text{ВП}}\}$.

При заданому значенні $\Delta_{\text{ВП}}$ 6 % оцінкою зверху для K буде:

$$[K] = \left(\frac{\sqrt{2F^{-1}(P)}}{\Delta_{\text{ВП}}} \sqrt{x_i(1-x_i)} \right)^2, K = 256$$

Задана точність $\Delta_{\text{ВП}}$ 6 % цілком задовольняє задані метрологічні параметри поставленої задачі.

Апаратний об'єм запропонованого імовірнісного сцинтиляційного спектрометра підвищеної точності для схеми, що містить $L = 32$ енергетичних

каналів, що працює з $Q = 10$ розрядними поправковими коефіцієнтами і зберігає результат в $S = 16$ розрядних лічильниках-інтеграторах (регістрах), в елементах Булевого базису складає ≈ 5640 логічних елементів, в той час як для другого прототипу ≈ 7380 елементів, а для першого прототипу ≈ 12320 логічних елементів. У даному випадку апаратний об'єм запропонованого пристрою, порівняно з першим прототипом, менше на 54 %, а порівняно з другим прототипом - менше на 23 %.

Для схеми, що містить $L = 64$ енергетичних каналів і працює з $Q = 16$ -розрядними поправковими коефіцієнтами, яка зберігає результат в $S = 32$ -розрядних лічильниках-інтеграторах (регістрах), апаратний об'єм в елементах Булевого базису складає ≈ 19220 логічних елементів, в той час, як для другого прототипу - ≈ 27300 , а для першого прототипу - ≈ 45630 . У даному випадку апаратний об'єм запропонованого пристрою, порівняно з першим прототипом, менше на ≈ 58 %, а порівняно з другим прототипом, менше на ≈ 30 %.

Для прискорення роботи схеми, або підвищення точності, можна скористатися паралельним імовірнісним перетворенням. У даному випадку необхідно ввімкнути в схему додаткові блоки імовірнісного перетворення (ГПРРЧ і ЦСхП).

У разі додавання додаткових трьох блоків імовірнісного перетворення апаратний об'єм для першого і другого випадку зростає на ≈ 600 елементів Булевого базису, а швидкодія всієї схеми збільшиться в 4 рази.

Запропоноване технічне рішення дозволяє скористатися перевагами імовірнісної форми надання інформації, для чого необхідно в схемі амплітудного аналізатора імовірнісного сцинтиляційного спектрометра підвищеної точності замінити лічильники-інтегратори на K -розрядні регістри, до яких з виходу ЦСхП подаватиметься безпосередньо імовірнісне відображення.

Техніко-економічна ефективність запропонованого імовірнісного сцинтиляційного спектрометра підвищеної точності полягає в можливості вимірювання енергетичного спектра, експозиційної дози і потужності експозиційної дози іонізуючого випромінювання в реальному масштабі часу з одночасним зменшенням похибок вимірювань і апаратного об'єму пристрою, а також в можливості використання переваги імовірнісної форми надання інформації для подальшої обробки отримуваних даних.

