

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 53.082.52+53.083

СЧЕТЧИК КОРРЕЛЯЦИЙ НА БАЗЕ ОСЦИЛЛОГРАФА И КОМПЬЮТЕРА

© 2019 г. М. В. Казачек*, Т. В. Гордейчук**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43*

* e-mail: *mihail@poi.dvo.ru*

** e-mail: *tanya@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 18.05.2018 г.

После доработки 18.05.2018 г.

Принята к публикации 20.06.2018 г.

Разработан двухканальный счетчик корреляций и автокорреляций для анализа фотонных импульсов, поступающих с фотоэлектронных умножителей, отличающийся низкой стоимостью. В его состав входят цифровой осциллограф с функцией запоминания и передачи сигнала и компьютер, выполняющий функции установки порогов, счета импульсов и их корреляций. Временное разрешение определяется осциллографом и составляет половину наименьшего времени оцифровки, в нашем случае 1 нс. Счетчик может применяться в ядерной физике, лазерной локации, в нашем случае исследуются короткие импульсы солюминесценции.

DOI: 10.1134/S0032816219010117

Для измерения длительностей и относительных задержек быстропротекающих случайных процессов применяются счетчики корреляций и автокорреляций [1]. Нашей целью было извлечь из солюминесценции многопузырьковой системы корреляции, связанные с длительностями и последовательностями вспышек, которые носят случайный характер в силу крайней сложности процесса. Подробно явление солюминесценции описано в [2, 3].

Схема содержит цифровой осциллограф RIGOL DS1104Z для оцифровки и передачи сигналов, в котором используются два канала, и компьютер, оборудованный авторской программой для задания порогов, счета импульсов и их корреляций, и для визуализации корреляционных спектров. Установка имеет временное разрешение ~1 нс, позволяет накапливать сигнал длительное время, вычислять одновременно 4 взаимно корреляционных функции. Недостатком является низкая временная эффективность, обусловленная задержкой на линии связи осциллограф – компьютер по кабелю USB, что не является существенным при исследовании процессов, для которых время накопления не критично.

Алгоритм нахождения зависимостей между двумя потоками импульсов $f_1(t)$ и $f_2(t)$ от двух каналов следующий. Вычисляем четыре корреляционные функции k_{12} , k_{21} , k_{11} , k_{22} , где, например, функция $k_{12}(\tau)$ означает распределение количе-

ства событий “импульс в первом канале и следом за ним импульс во втором канале” по временному интервалу τ между импульсами. Корреляционные функции для дискретного случая определяем как $k_{ij}(\tau) = \sum f_i(t_m) f_j(t_m + \tau)$, где $i, j = 1, 2$, m – номер точки внутри массива сигнала длиной $M = 60000$ точек, прочитанного из осциллографа. Длительность точки, равная времени оцифровки, в нашем случае составляла 2 нс. Сигнал фотоэлектронного умножителя (ф.э.у.) в режиме счета фотонов представляет собой импульсы отрицательной полярности на фоне незначительного шума. Зададим порог g и условие наличия импульса в данной точке m следующее: если $f(t_{m-1}) \geq g$ и $f(t_m) < g$, то импульс есть. Проходя по всем значениям m от 1 до M , вычисляем интервалы τ и заполняем массивы $k_{ij}(\tau)$, после чего переходим к отображению этих функций или к следующему массиву сигнала.

Для проверки временной разрешающей способности на вход осциллографа подавали импульсы от одного ф.э.у., второй вход соединяли с первым входом кабелями различной длины. В этом случае функция k_{12} имела вид пика шириной в одну точку, который сдвигался пропорционально длине кабеля. Это означало, что, несмотря на значительную ширину самого импульса, привязка к фронту импульса работает превосходно. Фронт импульса имел длительность < 1 нс, что меньше разрешающего времени осциллографа.

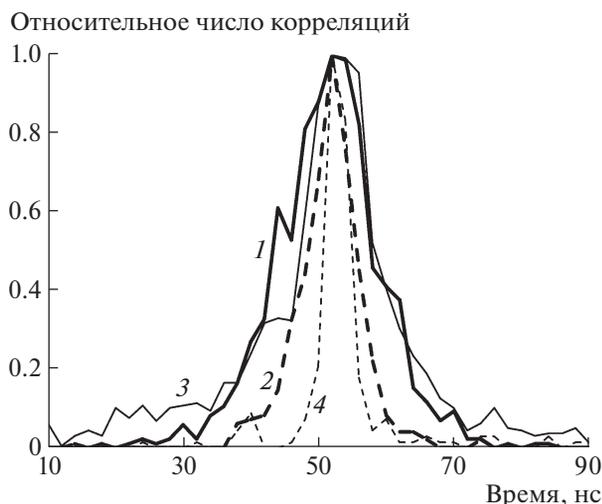


Рис. 1. Задержанные корреляции между пакетами фотонных импульсов, полученных от генератора импульсов 18 нс и светодиодов: 1 — зеленого, 2 — красного; при сонолюминесценции 5 мМ водного раствора додецилсульфата натрия с использованием светофильтров: 3 — желтого (D-линия натрия 589 нм), 4 — синего (континуум 350–450 нм).

Для тестирования установки на световых импульсах использовали генератор импульсов RIGOL DG4062 и излучающие светодиоды. Использовали минимальную длительность импульса генератора 18 нс с минимальными фронтами 11 нс. Оба ф.э.у. освещали одним и тем же светодиодом, в этом случае функция k_{12} являлась автокорреляционной. Во втором канале между ф.э.у. и входом осциллографа здесь и далее был добавлен кабель длиной 8 м, который давал задержку около 52 нс. Таким образом, был реализован метод задержанных совпадений. На рис. 1 приведены нормированные функции типа k_{12} , полученные от светодиодов зеленого (кривая 1) и красного цвета (кривая 2). Полуширина максимумов автокорреляционных функций соответствует длительности светового импульса. Видно, что светодиоды различных типов генерируют различную полуширину импульса, которая составляет ~16 нс для зеленого и ~10 нс для красного светодиода.

Сонолюминесценция представляет собой вспышки света длительностью от сотен пикосе-

кунд до десятков наносекунд. Метод счета корреляций в случае сонолюминесценции подходит для оценки как длительности вспышки, так и очередности вспышек различного типа. Мы наблюдали сонолюминесценцию при облучении ультразвуком частотой 20 кГц 5 мМ водного раствора додецилсульфата натрия, насыщенного аргоном. Установка для измерения спектров описана в [3]. Спектр содержит континуум (350–450 нм — “синяя область”) и интенсивную D-линию Na (~590 нм — “желтая область”). “Синюю” и “желтую” области спектра выделяли с помощью светофильтров. На рис. 1 приведены автокорреляционные функции типа k_{12} , полученные при одновременном облучении двух ф.э.у. светом одного и того же диапазона (кривые 3 и 4). Длительность вспышек оценена по полуширине автокорреляционной функции и составила для континуума ~4 нс, для натрия ~16 нс. Взаимная задержка импульсов континуума и натрия оценена по сдвигу корреляционной функции при использовании различных светофильтров перед ф.э.у. на двух каналах и составила ~1 нс, т.е. излучение континуума опережает излучение натрия.

На основе цифрового осциллографа, компьютера и авторской программы (с использованием Visual Basic и Microsoft Excel), реализующей алгоритм счета импульсов и их корреляций, создан доступный счетчик корреляций с наносекундным временным разрешением, пригодный для исследования длительностей пакетов импульсов в двух измерительных каналах, в частности от двух ф.э.у. в режиме счета фотонов, и задержек между ними. Особенностью разработки также является одновременное вычисление четырех взаимно корреляционных функций по эффективному алгоритму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев В.Н., Ковалень В.А., Разов В.И., Соболев Б., Штоцкий Ю. // ПТЭ. 1980. № 6. С. 5.
2. Gompf B., Gunther R., Nick G., Pecha R., Eisenmenger W. // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 79. P. 1405. <https://doi.org/doi.1103/PhysRevLett.79.1405>
3. Didenko Y.T., Gordeychuk T.V. // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 5640. <https://doi.org/doi.1103/PhysRevLett.84.5640>