

СИСТЕМА СЧЕТА ФОТОНОВ

В. Л. Афанасьев, А. В. Журавков, А. А. Пимонов

В статье представлено развитие идей и методов исследования статистических свойств регистрируемого потока фотонов. Предложена система регистрации световой вспышки с экрана ЭОП, основанная на методе счета фотонов. Приведены результаты экспериментальных исследований предложенной системы счета фотонов.

Some ideas and methods of investigation of statistical properties of the registered photon flux are presented. The system of registering the light outburst of an image tube based on the photon counting method is suggested. The results of experimental investigations of this system are given.

В настоящей работе представлено дальнейшее развитие идей и методов исследования статистических свойств регистрируемого потока фотонов, обсуждавшихся в предыдущей работе [1]. Применение современных электронно-вычислительных машин в астрофизическом эксперименте позволяет значительно расширить возможности исследования быстрой и сверхбыстрой переменности

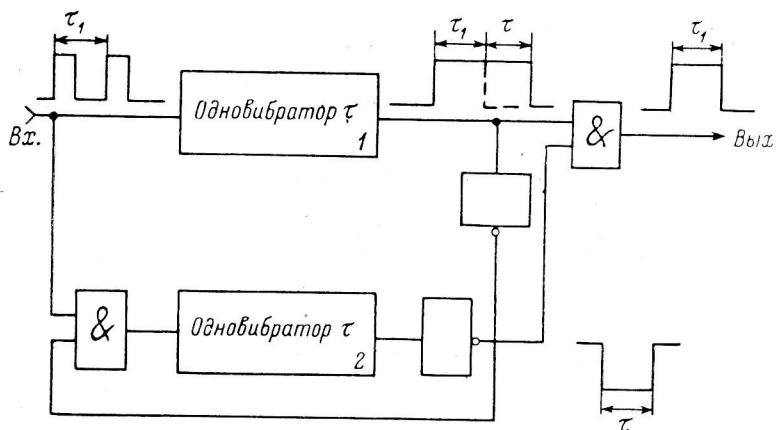


Рис. 1. Блок-схема узла для измерения и дискриминации текущего значения частоты поступающих импульсов.

ряда астрофизических объектов. Для этих целей в памяти ЭВМ фиксируется момент времени поступления каждого фотона с точностью до 30 нс, а затем на этапе обработки используется лишь необходимая для решаемой задачи часть информации. В работе [1] приведено описание системы регистрации моментов времени поступления каждого фотона, поступившего по одному из каналов. В системе предусмотрена регистрация по $N=2^6$ числу каналов, но реально использованы только 2 канала. Это было связано с отсутствием блока кодировки номера канала, по которому поступил фотон, сохраняющего момент времени поступления фотона с точностью до 30 нс. Хотя переход от малоканальных к многоканальным системам такого типа представляется вполне естественным и необходимым, имеется целый ряд трудностей на этом пути.

Известно, что телевизионные одномерные и двумерные системы, а также системы с диодными или ПЗС-матрицами с успехом решают задачи кодировки одной или двух пространственных координат (номера канала) поступившего

фотона. Однако, к сожалению, такие системы позволяют регистрировать моменты времени поступления фотона лишь с точностью до периода следования кадров в телевизионных системах или до периода считывания строк в ПЗС-матрицах. Эти системы не позволяют дойти до точностей регистрации момента

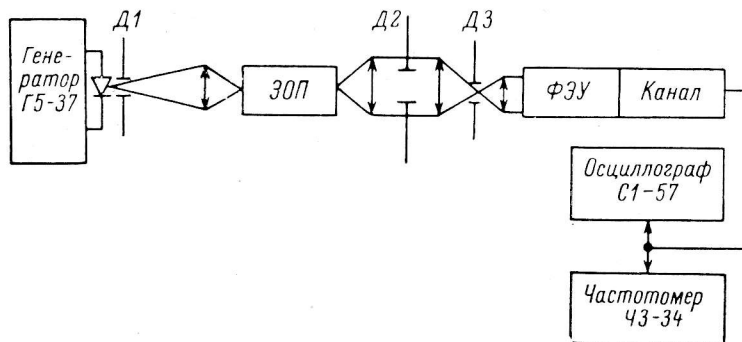


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки.

времени прихода фотона порядка 30 нс. Обусловленное этим мертвое время накладывает сильное ограничение на исследование статистических свойств регистрируемого потока фотонов.

От такого недостатка избавлен «масочный» метод формирования координат точечного объекта, являющийся принципиально методом мгновенного действия [2], где в роли точечного объекта выступает или регистрируемый фотон, или вспышка на экране электронно-оптического преобразователя, отвечающая зарегистрированному фотону. За более подробным изложением принципов кодировки мы отсылаем к работам [3—5]. Отметим лишь, что во всех случаях перед кодирующим блоком устанавливается электронно-оптический преобразователь (ЭОП), усиливающий «яркость» отдельного фотона до величины, необходимой для работы кодирующего блока. А с выхода кодирующего блока оптический сигнал поступает на входы фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), причем число ФЭУ N связано с числом кодируемых каналов M выражением $M=2^N$. Рассматривая сигналы с выходов N ФЭУ как N -разрядный двоичный

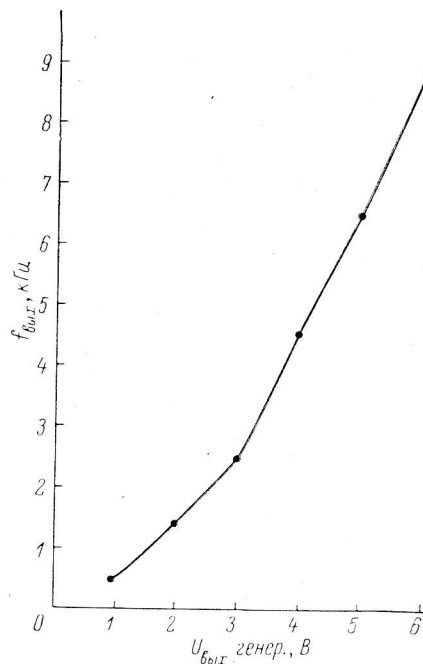


Рис. 3. Зависимость частоты следования импульсов на выходе узла регистрации от амплитуды импульсов с генератора.

код номера канала, а момент появления кода как момент времени поступления фотона, мы решаем задачу регистрации в полном объеме. Неясным в предлагаемой схеме регистрации остается лишь вопрос регистрации вспышки с экрана ЭОП, отвечающей зарегистрированному фотону, с помощью ФЭУ. Обсуждению этого вопроса и посвящена настоящая работа.

Описание метода регистрации. Яркость вспышки на экране ЭОП, а следовательно, и частота следования фотонов в этой отдельной вспышке имеют достаточно крутой фронт нарастания с характерным временем порядка 10 мкс и довольно пологий спад с характерным временем около 1 мс [6]. В принципе эти вспышки уверенно регистрируются с помощью ФЭУ путем интегрирования

числа фотонов за характерное время порядка 1 мс, и в случае превышения этим интегралом определенного порога фиксируется наличие вспышки. Однако получаемое при этом эффективное мертвое время системы регистрации значительно ограничивает предельную загрузку канала регистрации (не более 500—800 за 1 с), искажает статистические свойства исследуемого потока фотонов. Кроме того, масочный метод ослабляет яркость вспышки (общее число фотонов во вспышке), поступающей на вход фотоэлектронного умножителя, по крайней мере в N раз, где N — число ФЭУ в системе регистрации. По этим причинам мы использовали для регистрации вспышек с экрана ЭОП хорошо развитый метод счета отдельных фотонов [8] с последующим измерением частоты поступающих фотонов. В случае если частота регистрируемых фотонов превышает

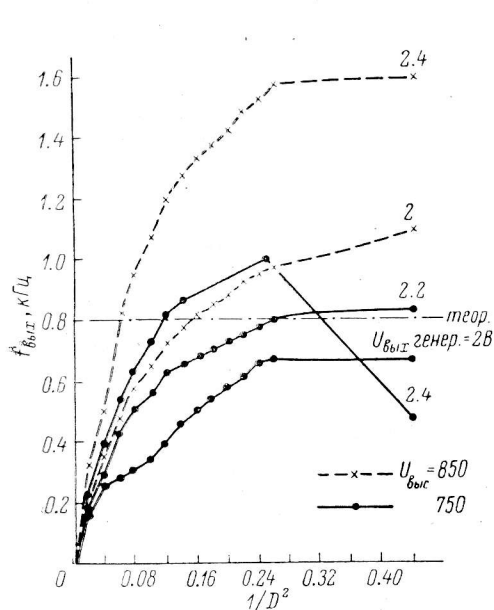


Рис. 4. Зависимость частоты следования импульсов на выходе узла регистрации от величины ослабления яркости вспышки диафрагмой при различных коэффициентах усиления ЭОП.

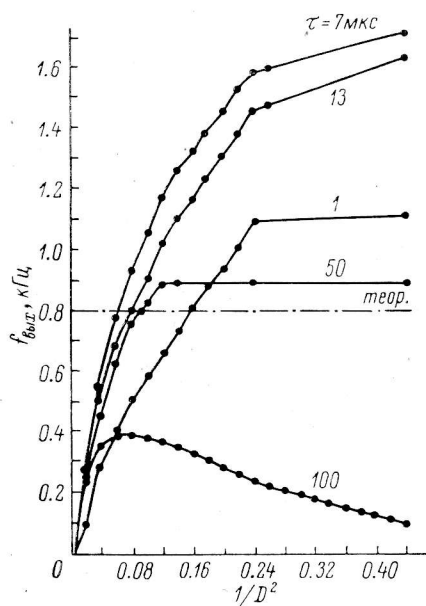


Рис. 5. Зависимость частоты следования импульсов на выходе узла регистрации от длительности импульсов τ , формируемых одновибраторами.

некую пороговую, мы говорим о факте регистрации вспышки с экрана ЭОП, а тем самым и о факте регистрации отдельного фотона на входе ЭОП. На этом пути есть надежда довести предельную загрузку канала регистрации до 100 фотонов за 1 с, что определяется в основном характерным временем фронта вспышки.

С целью упрощения аппаратной реализации избранного метода мы использовали для измерения и дискриминации текущего значения частоты фотонов во вспышке два одновибратора с «нулевым» мертвым временем [9]. Блок-схема этого узла представлена на рис. 1. Длительность импульсов, формируемых одновибраторами, равна τ . Если расстояние между двумя любыми соседними импульсами, поступающими на вход узла, τ_1 больше τ , то на выходе узла не появится никакого импульса. В случае если расстояние между двумя импульсами или между каждыми импульсами в группе τ_1 меньше τ , на выходе узла появится один импульс. Факт появления импульса на выходе узла можно с определенной достоверностью интерпретировать как факт регистрации вспышки с экрана ЭОП (группы или «пачки» фотонов).

Для исследования возможностей такой регистрации нами создана установка, включающая в себя ЭОП УМ-92 с системой питания [10], канал счета отдельных фотонов [8], блок оптической кодировки, ослабляющий яркость вспышки с экрана ЭОП примерно в 10 раз, и узел, представленный на рис. 1. Блок-схема созданной установки представлена на рис. 2. На вход ЭОП поступают фотоны со светодиода АЛ102В, на который подаются импульсы напряжения с генератора

Г5-37. Амплитуда импульсов на светодиод выбиралась с таким расчетом, чтобы он работал в микротоковом режиме и на каждый импульс с генератора излучал примерно 10 фотонов. Яркость вспышек с экрана ЭОП ослаблялась диафрагмой в параллельном пучке до поступления на ФЭУ.

Результаты экспериментальных исследований. Все эксперименты проводились на ограниченной области экрана ЭОП (диафрагма диаметром 1.25 мм). Характеристики по темновому потоку относятся к этой области. При закрытом экране ЭОП темновой поток, определяемый свойствами ФЭУ, составлял по выходу с узла (рис. 1) 0.2—2 имп/с. Темновой поток с ЭОП при закрытом фотокатоде составлял около 700 имп/с. На светодиод подавались с генератора

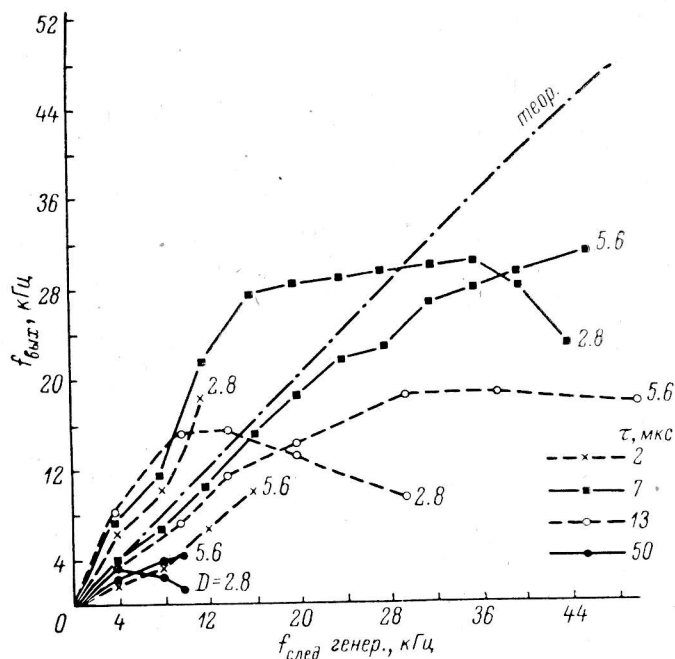


Рис. 6. Зависимость частоты следования импульсов на выходе узла регистрации от частоты следования импульсов с генератора при различных значениях длительности импульсов τ .

импульсы длительностью около 1 мкс. Частота следования этих импульсов 800 Гц. Для выбора оптимального режима питания светодиода строилась зависимость частоты сигнала на выходе от амплитуды импульсов с генератора. Для дальнейшей работы использовалась амплитуда, при которой частота импульсов на выходе $f = 800 + f_T$, где f_T — частота темновых импульсов. Пример такой зависимости представлен на рис. 3.

Для определения минимальной допустимой яркости вспышки на экране ЭОП, необходимой для уверенной регистрации, строилась зависимость частоты следования импульсов с выхода от величины ослабления яркости вспышки диафрагмой. Зависимости строились при различных коэффициентах усиления ЭОП $U_{\text{выс}}$ в условных единицах и при различных амплитудах импульсов на светодиоде. Примеры этих зависимостей представлены на рис. 4. Как видно из этих результатов, при ослаблении вспышки в 8 раз ($N=8$, $M=256$) рабочими режимами могут являться все $U_{\text{выс}} \geq 800$. При ослаблении в 10 раз необходимо использовать для работы режим с $U_{\text{выс}} \geq 870$. В этом случае яркости вспышек еще достаточно для однозначной и уверенной регистрации.

Очень важным параметром для надежной регистрации является величина τ (рис. 1). Для ее определения строилось семейство зависимостей f от величины ослабления вспышки при разных τ . Результаты представлены на рис. 5. Как следует из этих зависимостей, наиболее оптимальными для уверенной регистрации являются $\tau = 7 \div 40$ мкс. С точки зрения предельной загрузки необходимо использовать τ , близкие к 7 мкс. Для определения предельной за-

грузки строились зависимости выходной частоты от частоты следования импульсов с генератора на светодиод при значениях $\tau=7$ и 13 мкс. Эти результаты представлены при разных величинах ослабления яркости вспышки на рис. 6. Отсюда следует, что при $\tau=7$ мкс можно достигать предельных загрузок вплоть до 25 кГц.

Измерение итоговой квантовой эффективности такой системы регистрации проводилось по Полярной звезде, поток фотонов от которой на заданную площадь известен. Сопоставление этого потока с числом импульсов на выходе дает значение квантовой эффективности на длине волны, отвечающей максимуму чувствительности фотокатода ЭОП, 25% при $\tau=13$ мкс.

Выводы. Проведенная нами поисковая работа позволяет по совокупности приведенных данных сделать однозначный вывод о работоспособности выбранного способа регистрации. Дальнейшая работа в этом направлении представляется актуальной.

В заключение авторы выражают благодарность Г. А. Георгиевой за измерение коэффициентов пропускания оптики, использованной при исследовании итоговой квантовой эффективности системы.

Литература

1. Пимонов А. А. Система счета фотонов. — Сообщ. САО, 1979, 25, с. 31—37.
2. Берковская К. Ф., Подласкин Б. Г. Координатоуказатель светящегося объекта. — В кн.: Оптическая обработка информации. Л.: Наука, 1978, с. 127—135.
3. Берковская К. Ф., Подласкин Б. Г. Пространственно распределенный фотоприемник. Авт. свид. СССР № 442742. — Бюл. изобр., 1976, № 7.
4. Возможности реализации адамаровского спектроанализатора на светоприемном устройстве типа «масков». К. Ф. Берковская, Г. К. Григорьев, Н. В. Кириллова и др. — В кн.: Оптическая обработка информации. Л.: Наука, 1978, с. 147—164.
5. Берковская К. Ф., Лаптева Н. В., Подласкин Б. Г. Оптоэлектронный анализатор изображений. Авт. свид. СССР № 360000. — Бюл. изобр., 1974, № 14.
6. Бутслов М. М., Степанов Б. М., Файченко С. Д. Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях. Л.: Наука, 1978, с. 138—140.
7. Методика и аппаратура измерения числа и яркости многоэлектронных сцинтилляций в электронно-оптическом преобразователе/А. Е. Меламид, Т. А. Архипова, Г. З. Кушова, А. М. Потапов. — ПТЭ, 1975, № 6, с. 191—196.
8. Неизвестный С. И., Пимонов А. А. Электрофотометр первичного фокуса БТА. — Сообщ. САО, 1978, 23, с. 56—67.
9. Мелешко Е. А. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике. М.: Атомиздат, 1977, с. 192.
10. Афанасьев В. Л., Пимонов А. А. Опыт наблюдений с электронно-оптическим преобразователем УМ-92 на БТА. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1981, 13, с. 76—84.

Поступила в редакцию 17.04.84