

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗАТОР

© 1997, Ю.А.Пиотровский, Ю.А.Толмачев

НИИ физики СПб Государственного Университета, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 09.11.93

Описан многоканальный временной анализатор, имеющий 1024 канала с минимальной шириной канала 25 нс, позволяющий регистрировать до 256 импульсов за один запуск прибора. Принцип действия прибора рассмотрен на примере анализа временной зависимости яркости свечения в оптическом эксперименте.

Введение

Задача определения времени, прошедшего с некоего, принимаемого за $t = 0$, момента до одного или нескольких последующих случайных событий часто встречается в физическом эксперименте. В спектроскопии типичной проблемой подобного рода является определение с помощью фотоумножителя, работающего в режиме счета фотонов, зависимости яркости свечения некоторого источника света, например - импульсной лампы, от времени. За момент времени, соответствующий $t = 0$ принимают момент начала импульса возбуждения свечения. После этого на выходе фотоумножителя возникает серия фотоимпульсов, вероятность появления которых в любом времен-

ном интервале t пропорциональна средней за интервал яркости свечения (рис.1.). В этом случае за разрешающую способность эксперимента можно принять величину $r = 1/t$.

Для больших значений разрешающей способности, $r > 10^7 \text{ с}^{-1}$, такая задача измерения времени часто решается следующим образом [1]. В момент $t = 0$ запускается генератор пилообразного напряжения, который останавливается первым же пришедшим после этого фотоимпульсом. Полученное на выходе генератора напряжение измеряется с помощью амплитудного анализатора. Если вероятность появления фотоимпульса в течение анализируемого временного интервала достаточно мала, то в результате многократного повторения опыта в накопительном устройстве анализатора формируется одномерный массив, номер элемента которого соответствует времени появления фотоимпульса, выраженного в единицах t , а число, накопленное в элементе - числу фотоимпульсов, попавших во временной интервал t , т.е. яркости. Подобная процедура измерений накладывает жесткие ограничения на яркость свечения. Поскольку данная схема может зарегистрировать за одно возбуждение не более одного фотоимпульса, яркость свечения выбирают такой, чтобы вероятность появления фотоимпульса за одно возбуждение была много меньше 1. Обычно эту величину выбирают в пределах $10^{-2} - 10^{-3}$. Во многих случаях это требует очень большого времени измерения. Кроме того, описанная процедура накладывает высокие требования на линейность преобразователя время-амплитуда.

Блок-схема такого эксперимента показана на рис. 2. Фотоимпульсы с анодов наиболее распространенных типов фотоумножителей представляют собой импульсы тока с длительностью порядка 10 нс. Эти импульсы поступают на вход форми-

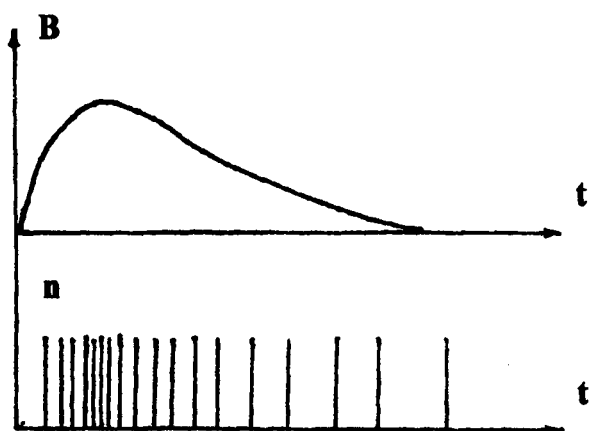


Рис.1. Принцип работы ФЭУ в режиме счета фотонов.

V - яркость свечения.

n - выходной сигнал ФЭУ.

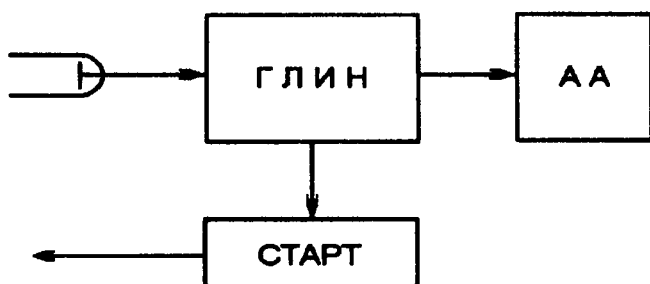


Рис.2. Блок-схема стандартного эксперимента.
 ГЛИН - генератор пилообразного напряжения
 АА - амплитудный анализатор.
 СТАРТ - схема синхронизации ГЛИН и исследуемого объекта.

вателя, который генерирует сигнал со стандартными параметрами, привязанный по времени к какому-либо характерному моменту фотоимпульса (например, к моменту достижения сигналом определенного абсолютного уровня на переднем фронте). Типичный интервал между последовательными фотоимпульсами, в течение которого формирователь релаксирует до исходного состояния, имеет величину порядка нескольких микросекунд. Таким образом, световой поток, попадающий на катод ФЭУ, должен быть таким, чтобы минимальное время между приходом последовательных фотоимпульсов было не меньше этой величины. В то же время, частота импульсов возбуждения есть произвольная величина, выбираемая экспериментатором, и она может быть достаточно малой.

При выборе адекватной частоты импульсов возбуждения задачу оценки зависимости вероятности появления фотоимпульса (яркости) от времени можно свести к возможно более точному (с большой разрешающей способностью) измерению времен появления редких импульсов (с минимальным временем между ними порядка нескольких микросекунд). Импульсы поступают сериями, каждая из которых соответствует одному возбуждению свечения и время между сериями может быть выбрано достаточно большим.

Описание прибора

Эти особенности были использованы при разработке временного анализатора с максимальной разрешающей способностью 25 нс, имеющего 1024 канала емкостью 4096. Анализатор может обработать до 256 импульсов за одно возбуждение свечения.

Блок-схема анализатора показана на рис.3. В первой фазе работы анализатора импульсы с частотой

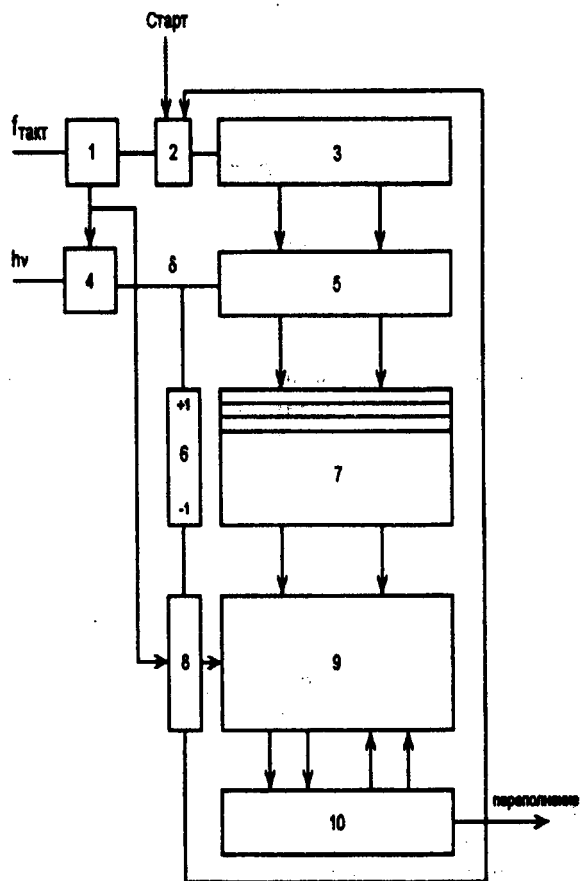


Рис.3. Блок-схема временного анализатора.
 1 - делитель частоты, 2 - электронный ключ, 3 - счетчик 1024,
 4 - схема привязки, 5 - устройство защелка,
 6 - схема управления ОЗУ - стека, 7 - ОЗУ - стек, 8 - схема управления ОЗУ - накопителя,
 9 - ОЗУ - накопитель, 10 - схема +1.

той 100 МГц поступают на вход делителя частоты на 2 (1) и после появления на входе анализатора стартового импульса, соответствующего $t = 0$, с выхода делителя подаются на счетчик 1024 (3). Появление на входе фотоэлектронного импульса вызывает ряд действий. Импульсы $h\nu$ синхронизируются с помощью схемы привязки (4) с фазой работы анализатора, т. е. формируется импульс, передний фронт которого расположен между фронтами импульсов переключающих счетчик 1024 (см. рис.4). Это сделано для того, чтобы считывание состояния счетчика не происходило во время его переключения. С выхода системы привязки фотоимпульсы поступают, во-первых, на вход синхронизации 10-разрядного регистра защелки (5) и, во-вторых, увеличивают на 1 содержимое счетчи-

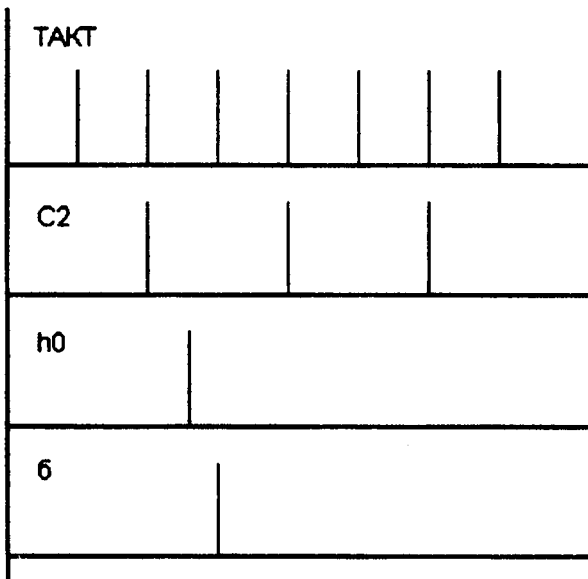


Рис.4. Временная диаграмма синхронизации импульсов.

сигнал запроса. После этого содержимое счетчика адреса стека уменьшается на 1 и читается следующий элемент стека. Процедура накопления повторяется до тех пор, пока адрес стека не станет равным 0, что свидетельствует об обработке всех пришедших за последнее возбуждение свечения фотоимпульсов. Заключительной фазой работы системы является очистка стека.

Анализатор является чисто цифровым прибором, выполненным с использованием микросхем ЭСЛ и ТТЛ - серий, причем быстродействующие микросхемы применены только во входных каналах прибора: задающем генераторе, схеме привязки, счетчике 1024 и регистре-защелке.

Реализация прибора имеет следующие особенности. При максимальной разрешающей способности $\tau = 4 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ анализируемый временной интервал имеет величину 25,6 мкс. Поскольку минимальное время между приходом последовательных фотоимпульсов имеет величину порядка нескольких микросекунд, за анализируемый временной интервал может поступить лишь несколько фотоимпульсов (порядка 10) и с этой точки зрения глубина стека является излишней. Однако при уменьшении разрешающей способности величина анализируемого временного интервала растет и одновременно растет требуемая глубина стека. В изготовленном экземпляре прибора предусмотрены ручная (с помощью переключек) установка величины разрешающей способности $4 \cdot 10^7$, $2 \cdot 10^7$, $1 \cdot 10^7$ и $5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$.

ка адреса стека (6). Считанное со счетчика 1024 значение времени появления фотоимпульса загружается в стек (7), который представляет собой ОЗУ емкостью 256×10 . Все описанные действия осуществляются в промежутке времени в несколько микросекунд между приходом последовательных фотоимпульсов. Сигнал переполнения счетчика 1024 соответствует концу анализируемого временного интервала. Таким образом, к концу этого интервала в стеке содержатся значения времен появления фотоимпульсов, отсчитанных относительно стартового импульса $t = 0$.

После окончания анализируемого временного интервала, т.е. в промежутке между последовательными импульсами возбуждения, наступает вторая фаза работы анализатора. В этой фазе содержимое стека рассматривается как адрес для другого запоминающего устройства - ОЗУ накопителя (9). ОЗУ накопителя представляет собой матрицу 1024×12 . Тактовый импульс с делителя частоты подается на вход схемы управления (8), которая формирует необходимую управляющую последовательность сигналов. Сначала считывается содержимое вершины стека и подается на адресную шину ОЗУ накопителя. Число, записанное по данному адресу увеличивается на 1 с помощью схемы +1 (10), т.е. регистрируется факт прихода фотоимпульса в данный временной интервал. Если после добавления 1 значение содержимого канала превысит 4095 и произойдет переполнение ОЗУ накопителя, схема +1 вырабатывает соответствующий

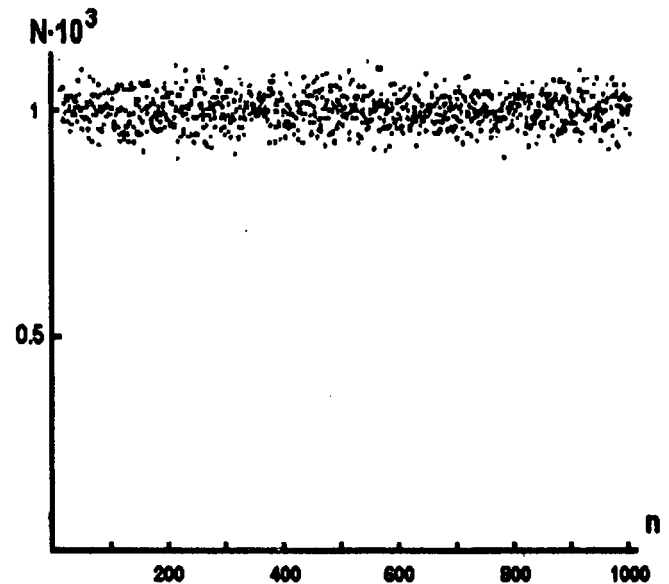


Рис.5. Пример измерения постоянного светового потока

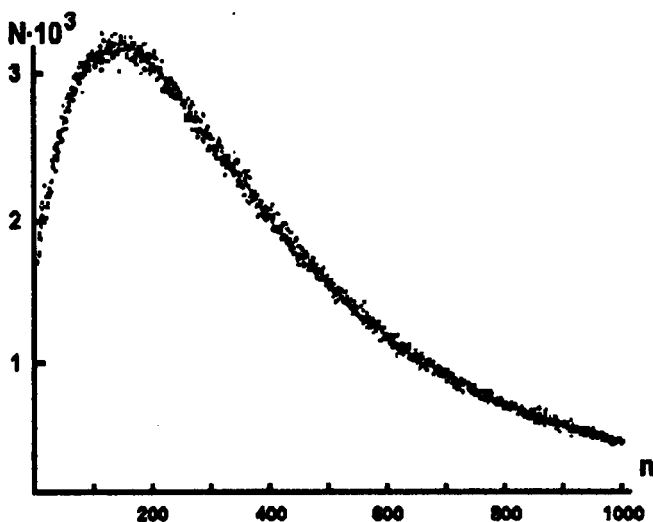


Рис.6. Пример измерения зависимости от времени яркости свечения иона ртути в плазме, возбуждаемой импульсным пучком электронов.

Анализатор выполнен в стандарте КАМАК в виде модуля двойной ширины и кроме элементов, приведенных на рис. 3 содержит схемы обработки необходимых команд КАМАК, в том числе пуск и остановка анализатора, проверка запроса на пере-

полнение ОЗУ накопителя, установка адреса накопителя, чтения по установленному адресу.

Работу анализатора иллюстрирует рис.5, на котором приведены результаты измерения постоянного светового потока со средней частотой прихода фотоимпульсов 300 кГц при разрешающей способности $4 \cdot 10^7$ с⁻¹. На рисунке указана также теоретическая дисперсия сигнала, имеющего пуассоновское распределение [2].

В качестве примера исследования реального физического процесса, проведенного с помощью описанного прибора приведена зависимость от времени яркости свечения спектральной линии иона ртути в плазме, возбуждаемой импульсным пучком электронов (рис.6). В этом измерении минимальное время между последовательными фотоимпульсами было равно 3 мкс при разрешающей способности прибора $2 \cdot 10^7$ с⁻¹.

Литература

1. Мелешко Е.А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат. 1987. 215 с.
2. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. М.: Наука. 1964. 772 с.

MULTICHANNEL TIME ANALYSER

Yu.A.Piotrovsky, Yu.A.Tolmachev

Institute of Physics, St. Petersburg State University, St. Petersburg

A 1024 channel time analyser, with a minimum time resolution of 25 ns is described. The analyser permits one to measure up to 256 pulses per run. The operating principle of the device is illustrated by the analysis of time dependence of glow brightness in the optical experiment.