

Рис. 7. Результаты обработки импульсного сигнала:  
 а, б —  $f_c = 8000$  Гц;  $f_p = 200$  Гц; в, г —  $f_c = 7970$  Гц;  $f_p = 200$  Гц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куземко В. И. и др. Магнитооптический спектроанализатор с частотной коррекцией.— В кн.: Тез. докл. на IV Всесоюз. школе по оптической обработке информации. Минск, 1982, с. 343.
2. Thomas C. E. Optical spectrum analysis of large space-bandwidth signals.— J. Appl. Opt., 1966, vol. 36, N 5, p. 1782.
3. Юу Ф. Т. С. Введение в теорию дифракции, обработку информации и голографию.— М.: Мир, 1979.

*Поступило в редакцию 25 ноября 1983 г.;  
 окончательный вариант — 18 июня 1984 г.*

УДК 535.853 : 681.142

И. Г. ЕРИН, Д. В. ЯКОВИН  
 (Новосибирск)

#### БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ КОРРЕЛЯТОР ФОТОНОВ

В работах, связанных с исследованием веществ или процессов в них, методами светорассеяния обычно измеряют младшие статистические моменты двумерной функции распределения вероятностей флуктуаций рассеянного света, т. е. средние значения и функции корреляции (или фурье-трансформанту функции корреляции —

спектр мощности). Обусловлено это тем, что практически в большинстве случаев функция поля рассеянного света является нормальным процессом и старшие моменты факторизуются. Если характерные времена флуктуаций рассеянного света  $\tau_c$  не превышают  $10^{-8}$  с, то высокое разрешение оптических фильтров (интерферометр Фабри — Перо, дифракционные решетки) позволяет измерять спектр мощности флуктуаций непосредственно на оптической частоте. В области же характерных времен флуктуаций  $10^{-8} - 1$  с применяются системы с квадратичным фотодетектированием, осуществляющим перенос спектра флуктуаций в диапазон радиочастот с последующей обработкой анализаторами спектра или корреляторами. Однако наиболее удачным решением является применение здесь так называемых корреляторов фотонов (КФ), представляющих собой сочетание чувствительного счетчика фотонов на основе специальных ФЭУ и коррелятора числа импульсов, приходящих со счетчика фотонов. Их преимущества по сравнению с традиционными корреляторами аналоговых сигналов и спектроанализаторами таковы: простота, повышенная чувствительность, удобство в эксплуатации и дешевизна [1]. В настоящее время серийный выпуск КФ в СССР не налажен, за рубежом КФ среднего быстродействия (минимальное время выборки 50 нс) выпускает несколько фирм: «Malvern», «Saicor» и др. Быстродействующие КФ, предназначенные для лазерной доплеровской анемометрии (типа К7026 с минимальным временем выборки 10 нс), производятся лишь фирмой «Malvern». Круг задач, решаемых с помощью быстродействующих КФ, достаточно широк: исследование внутренних движений макромолекул [2], эксперименты по исследованию эффекта интерференции интенсивностей [3], построение лазерных доплеровских измерителей сверхзвуковых скоростей газов [4] и др. Таким образом, разработка быстродействующего универсального КФ представляется актуальной задачей.

В данной работе описан многоканальный цифровой коррелятор фотонов с минимальным временем выборки около 6 нс (максимальная тактовая частота 160 МГц), выполненный в стандарте КАМАК. Использование КАМАК-стандарта позволило упростить разработку КФ и сделать его универсальным. Коррелятор вычисляет корреляционную функцию последовательности фотоотчетов по алгоритму с одноканальной привязкой [5]. Это означает, что в  $i$ -м канале коррелятора накапливается величина

$$G(\tau_i) = \sum_{j=1}^N n_1(t_j + \tau_i, T) n_k(t_j, T),$$

где  $n_1(t_j, T)$  — число фотоотчетов, зарегистрированных первым фотоприемником за время выборки  $T$ , взятой в момент времени  $t_j$ ;  $\tau_i = iT$  — время задержки в  $i$ -м канале;  $n_k(t, T) = 1$ , если  $n_1(t, T) \geq k$ , и  $n_k(t, T) = 0$ , если  $n_1(t, T) < k$ , для режима автокорреляции;  $n_k(t, T) = 1$ , если  $n_2(t, T) \geq k$ , и  $n_k(t, T) = 0$ , если  $n_2(t, T) < k$ , для режима взаимокорреляции;  $n_2(t, T)$  — число фотоотчетов второго фотоприемника;  $k$  — целое число, так называемый уровень привязки.

Применение одноканальной привязки существенно упрощает техническую реализацию коррелятора, однако при этом несколько сужается круг решаемых задач, а именно: возникают серьезные трудности в интерпретации получаемых оценок корреляционных функций в случае интенсивных негауссовых световых полей [5].

Блок-схема коррелятора приведена на рис. 1. В качестве фотоприемников используются быстродействующие ФЭУ, пригодные для работы в режиме счета фотонов (специально отобранные экземпляры ФЭУ-135, ФЭУ-130, ФЭУ-87). Одноэлектронные импульсы ФЭУ дополнительно усиливаются предварительным токовым операционным усилителем с коэффициентом передачи 2 В/мА и полосой пропускания 200 МГц (разработан на основе схемы из [6]). Усилитель расположен непосредственно вблизи выводов ФЭУ и конструктивно вместе с ФЭУ составляет блок фотоприемника 1, 2. Усиленные одноэлектронные импульсы передаются по кабелю на двухуровневые дискриминаторы 3 и 4. Уровни дискриминации подбираются для каждого экземпляра ФЭУ таким образом, чтобы выделить импульсы, принадлежащие пику в амплитудном распределении одноэлектронных импульсов, которые в дальнейшем стандартизируются по амплитуде (уровень ЭЛС) и длительности (4 нс) и поступают в блок управления коммутации и привязки (УКП) 5. Блок УКП содержит триггеры пуска и остановки, схему установки уровня привязки и коммутатор режима работы (автокорреляция, взаимокорреляция, многоканальное усреднение). Последовательность импульсов со схемы привязки (выход «а» УКП) —  $n_k(t, T)$  — поступает на вход регистра задержки 6, роль которого выполняет одноразрядный сдвиговый регистр. Сдвиг осуществляется в конце каждого интервала выборки  $T$  импульсами синхронизации, которые поступают от опорного кварцевого генератора 9 через управляемый делитель 11 и дестахастизатор 10.

Выход каждой ячейки сдвигового регистра подключен к одному из двух входов соответствующей ячейки перемножителя 7. Вторые входы подключены к выходу «б» УКП, по которому поступает незадержанная последовательность фотоотчетов (без привязки). Поскольку согласно алгоритму работы с привязкой в каждой ячейке сдвигового регистра находится либо логический «0», либо «1», то перемножение сводится к стробированию, выполняемому логическими вентилями И. Выходы схем И (т. е. перемножителя) соединены со счетчиками многоканального буферного накопителя 8. Информация из буферного накопителя (оценка корреля-

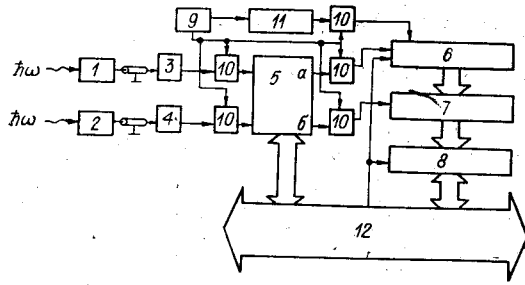


Рис. 1. Функциональная схема коррелятора:  
1, 2 — фотоприемники, 3, 4 — дискриминаторы, 5 — устройство коммутации и привязки, 6 — регистр задержки, 7 — перемножители, 8 — многоканальный буферный накопитель, 9 — опорный кварцевый генератор, 10 — дестохастизаторы, 11 — управляемый делитель, 12 — магистраль КАМАК.

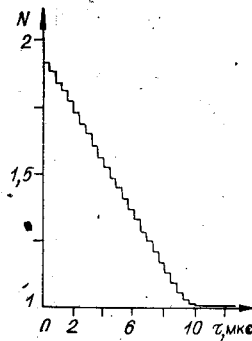


Рис. 3. Автокорреляционная функция прямоугольного импульса света.

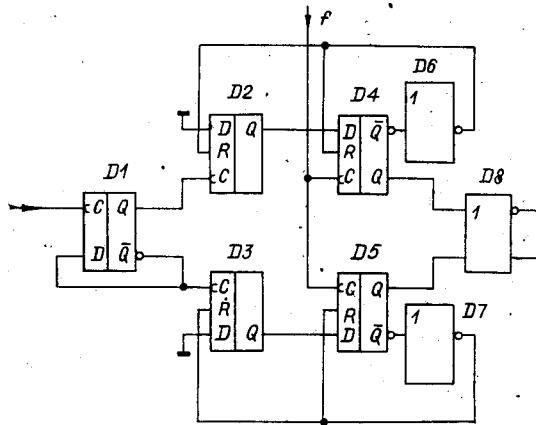


Рис. 2. Схема дестохастизатора:  
D1 ... D5 — K100TM231; D6 ... D8 — K100JM105.

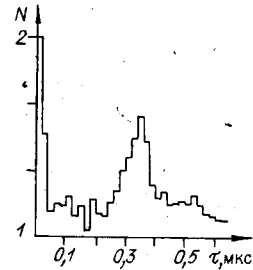


Рис. 4. Послеимпульсная характеристика ФЭУ-87.

ние всех блоков и модулей коррелятора обеспечивается временной привязкой импульсных потоков в различных узлах устройства к периоду основного тактового генератора 9, работающего на частоте 160 МГц, при помощи дестохастизаторов 10. Дестохастизатор (рис. 2) в ответ на импульс, пришедший на вход, пропускает ближайший к нему во времени импульс тактового генератора, синхронизируя тем самым работу всех узлов и исключая влияние нестабильных задержек в элементах и возможные сбои из-за наложения импульсов сигналов и синхроимпульсов. При разработке дестохастизатора за основу была взята схема из работы [7].

Конструктивно КФ включает в себя:

- модуль КАМАК шириной 4 М, в котором размещены дискриминаторы, УКП, опорный кварцевый генератор, управляемый делитель и дестохастизаторы;
- модуль КАМАК шириной 4 М (модуль корреляции), в котором размещены регистр задержки, перемножители и буферный накопитель на 16 каналов. Нарращиванием числа модулей корреляции до 3 число каналов коррелятора доводится до 48. Дальнейшее наращивание ограничивается возможностями источника питания крейта. Емкость буферных счетчиков  $2^{15}$ . Диапазон интервалов выборки  $T$   $6 \cdot 10^{-9} \dots 1$  с.

Для программного управления коррелятором применяются следующие команды КАМАК:

- $NA(0)F(0) \div NA(15)F(0)$  — чтение содержимого буферных накопителей;
- $N(F(9) + C + Z)S2$  — сброс буферных накопителей и регистра задержки;
- $NA(0)F(24)S1$  — остановка накопления корреляционной функции;
- $NA(0)F(26)S1$  — начало накопления корреляционной функции;
- $NA(1)F(25)S2$  — установка уровня привязки;
- $NA(0)F(8)$  — проверка запроса «Переполнение».

Кроме того, используются следующие безадресные сигналы: X — команда принята; I — запрет действий в модулях; L — переполнение 1-го канала буферного накопителя.

Для иллюстрации работы коррелятора на рис. 3 и 4 приведены оценки автокорреляционных функций прямоугольного импульса света длительностью  $\tau_n = 10$  мкс, получаемого от светодиода, и кривая послеимпульсов в ФЭУ-87 № 2410.

Расхождение оценки автокорреляционной функции импульса с расчетной 1,5% и обусловлено статистической погрешностью из-за конечного времени накопления. Послеимпульсная характеристика ФЭУ-87 имеет максимум при времени задержки 0,36 мкс, доля послеимпульсов, в общем числе анодных импульсов приблизительно 0,1%. Форма и положение максимума на кривой послеимпульсов находятся в хорошем согласии с результатами работы [8], а доля послеимпульсов, по нашим данным, существенно меньше. Расхождение может быть следствием работы с различными партиями ФЭУ, а также более эффективной дискриминации послеимпульсов.

В настоящее время с помощью описанного КФ проводятся работы по исследованию эффектов при интерференции интенсивностей [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оливер С. Д. Методы корреляционной спектроскопии.— В кн.: Спектроскопия оптического смещения и корреляция фотонов/Под ред. Г. Камминса, Э. Пайка. М.: Мир, 1978, с. 146.
2. Chu B. Laser light scattering and polymer physics.— В кн.: Нелинейная оптика. Тр. VII Варилловской конф. Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1982, ч. 2, с. 138.
3. Stockmann M. I. Effect of photon synchronization in intensity interference: new effect and new possibilities.— Phys. Lett., 1980, vol. 80A, N 2/3, p. 146.
4. Pike E. R. Photon correlation velocimetry.— In: Photon Correlation Spectroscopy and Velocimetry/Ed. H. Z. Cummins, E. R. Pike. N. Y.: Plenum Press, 1977, p. 246.
5. Джейкман Е. Корреляция фотонов.— В кн.: Спектроскопия оптического смещения и корреляция фотонов/Под ред. Г. Камминса, Э. Пайка. М.: Мир, 1978, с. 71.
6. Мелешко Е. А., Морозов А. Г. Быстрый усилитель с высокой нагрузочной способностью.— ПТЭ, 1977, № 1, с. 141.
7. Lowton M., Bolden R. C., Shaw M. J. A 10 ns multichannel photon counter.— J. of Phys. E. Sci. Instrum, 1976, vol. 9, N 8.
8. Глуховский Б. М., Ярошенко И. Ф. Послеимпульсы в фотоэлектронном умножителе.— Радиотехника и электроника, 1977, т. 22, № 4, с. 815.

*Поступило в редакцию 2 февраля 1983 г.*

УДК 681.324

В. А. ДЫБОЙ, В. В. КАШТАНОВ, В. О. ЛАЗАРЕВ, А. А. ФОКИН

(Воронеж)

#### БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПЕРИФЕРИЙНЫЙ ПРОЦЕССОР «ЭЛЕКТРОНИКА МС 1603»

В последние годы широкое применение нашли быстродействующие периферийные процессоры (БПП), сочетающие большую скорость вычислений, высокую надежность, компактность, малую потребляемую мощность. Примером такой системы может служить БПП «Электроника МТ-70»\*, в течение ряда лет серийно выпускаемый отечественной промышленностью.

Представителем нового поколения периферийных процессоров является БПП «Электроника МС 1603», разработанный с учетом опыта эксплуатации БПП «Электроника МТ-70» и совместимый с последним на уровне прикладных программ.

БПП «Электроника МС 1603» может быть использован совместно с любой ЭВМ, имеющей межмодульный магистральный параллельный интерфейс (МПИ) типа общей шины. Основное его назначение при работе в комплексе с ЭВМ типа «Электроника-60» — выполнение большого количества векторизованных операций умножения — сложения.

БПП «Электроника МС 1603» имеет следующие технические характеристики: разрядность 16 бит; способ представления чисел — с фиксированной запятой; емкость ОЗУ программ 512 32-разрядных слов; емкость ОЗУ данных 32 Кслов; максимально адресуемый объем памяти данных 256 Кслов; цикл обращения к памяти данных 200 нс; время параллельного выполнения операций умножения и сложения 200 нс.

По сравнению с «Электроникой МТ-70» БПП «Электроника МС 1603» имеет в два раза более высокую тактовую частоту, в 1,5 раза меньшие габариты и потребляемую мощность. Производительность БПП «Электроника МС 1603» при решении типовых задач втрое выше, чем у его предшественника (в частности, время выполнения БПП под массивом из 1024 комплексных чисел составляет менее 11 мс). Улучшение характеристики обусловлено применением новых схмотехнических решений

\* Толстых Б. Л., Талов И. Л., Плотников В. В., Бондарович Г. Г. Быстродействующий периферийный процессор «Электроника МТ-70». — УСиМ, 1983, № 4, с. 122—125.