

Заключение. Эксплуатация редактора в течение года в ИАЭ СО АН СССР показала его высокую эффективность при редактировании программ и любых других документов. В совокупности с системой документирования [3], модернизированный вариант которой был реализован также на HP2116B, редактор является мощным средством для подготовки различного рода документов.

Так как дисплей «Videotop-340» входит в стандартный комплект ЕС 1010 и, по-видимому, будет включаться в другие системы этой серии, адаптация описанной разработки на ЕС ЭВМ представляется перспективной.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Песляк, Э. А. Галыкин. Язык системного программирования для мини-ЭВМ.— Автометрия, 1974, № 4.
2. D. E. Knuth. The Art of Computer Programming. V. 1. Addison. Massachusetts, Wesley Publishing Company, Inc. Reading, 1968.
3. В. А. Мелешихин, П. М. Песляк, Э. А. Галыкин. Система автоматизации документирования на базе ЭВМ «Минск-32».— Автометрия, 1974, № 4.

Поступила в редакцию 30 сентября 1974 г.

УДК 681.833 : 519.2

А. Н. ДОМАРАЦКИЙ, Л. Н. ИВАНОВ, В. А. ПОПОВ

(Новосибирск)

МНОГОПРОЦЕССОРНЫЙ ЦИФРОВОЙ КОРРЕЛЯТОР

Применение достижений современной вычислительной техники предопределяет создание структурных схем оперативных статистических анализаторов в виде многопроцессорных устройств [1]. Поэтому такая структура была положена в основу построения статистического анализатора САДКО [2], предназначенного для решения комплексных задач обработки экспериментальных данных в реальном масштабе времени. В качестве составной части САДКО, осуществляющей оперативный корреляционный анализ случайных сигналов в широкой полосе частот, разработан коррелятор [3], использующий многопроцессорную структуру анализатора.

Подобное построение коррелятора обладает целым рядом преимуществ: повышением быстродействия устройства пропорционально числу процессоров; возможностью обработки данных от нескольких датчиков; расширением частотной полосы устройства [1, 4].

Алгоритм работы коррелятора имеет вид

$$K_x(v\delta\tau + \mu\Delta\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i\Delta t) x(i\Delta t + v\delta\tau + \mu\Delta\tau),$$

$$v = 1, 2, \dots, m; \quad \mu = 1, 2, \dots, l; \quad n = ml, \quad (1)$$

где Δt — шаг дискретизации квантованных по уровню реализаций случайного сигнала $x(t)$, N — объем выборки, n — количество вычисляемых точек корреляционной функции. Частные произведения $x(t)x(t+\tau)$ определяются в m процессорах, работающих с временным сдвигом $\delta\tau$ (величину $\delta\tau$ можно сделать намного меньше интервала Δt).

В корреляторе анализатора САДКО реализован алгоритм (1) при $m=8$, $l=64$, $n=512$, т. е. он является устройством параллельно-последовательным.

довательного действия: процесс вычисления n точек корреляционной функции производится по частям в m каналах, в каждом из которых определяется l точек кривой $K_x(\tau)$. Процесс вычисления в ν -м канале для наглядности можно представить в следующем виде:

$$x(t) \Rightarrow \{x(s\Delta t + \nu\delta\tau + \Delta\tau), x(s\Delta t + \nu\delta\tau + 2\Delta\tau), \dots, x(s\Delta t + \nu\delta\tau + l\Delta\tau)\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ x(s\Delta t)x(s\Delta t + \nu\delta\tau + \mu\Delta\tau) + \sum_{i=0}^{s-1} x(i\Delta t + \nu\delta\tau + \mu\Delta\tau) \right\} \Rightarrow \frac{K_x(\nu\delta\tau + \mu\Delta\tau)}{\Delta\tau},$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^s x(i\Delta t) x(i\Delta t + \nu\delta\tau + \Delta\tau) \\ \dots \\ \sum_{i=1}^s x(i\Delta t) x[i\Delta t + \nu\delta\tau + (\mu-1)\Delta\tau] \\ \dots \\ \sum_{i=1}^{s-1} x(i\Delta t) x[i\Delta t + \nu\delta\tau + (\mu+1)\Delta\tau] \\ \dots \\ \sum_{i=1}^{s-1} x(i\Delta t) x(i\Delta t + \nu\delta\tau + l\Delta\tau) \end{array} \right\} \quad (2)$$

где стрелки обозначают порядок выполнения операций. Запись (2) показывает, что в каждом канале коррелятора осуществляется операция накопления по текущему индексу.

Структурная схема многопроцессорного цифрового коррелятора представлена на рисунке. Каналы 1—8 (каналы грубого отсчета) идентичны и состоят из входных усилителей ($У$); фиксаторов (Φ), предназначенных для выборки и хранения ординат входных сигналов; буферных усилителей и пороговых устройств ($ПУ$), квантующих значение ординаты $x(t)$ на 4 уровня; цифровых линий задержки ($ЦЛЗ$); умножителей ($Ум$); сумматоров ($См$) и запоминающих устройств ($ЗУ$). В канале «0» (канал точного отсчета) вместо порогового устройства применен 7-разрядный аналого-цифровой преобразователь ($АЦП$). $ЦЛЗ$ в каждом канале представляет собой два 64-разрядных регистра сдвига — знака и уровня сигнала, запись и сдвиг в которых производятся с частотой $1/\Delta t$. Все разряды регистра через вентили объединены на общей схеме ИЛИ, с выхода которой коды поступают на умножитель. На вторые входы вентилях подаются импульсы считывания со схемы управления $ЦЛЗ$ (одновременно по всем каналам).

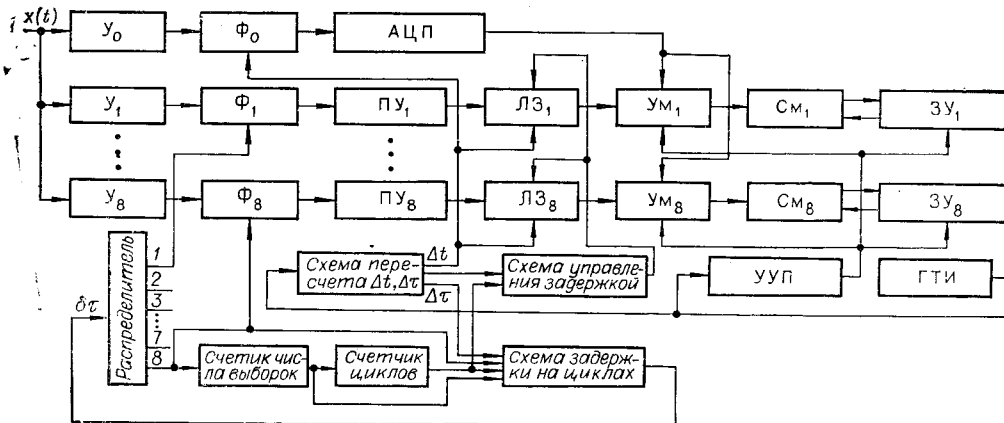


Схема управления коррелятором содержит генератор тактовых импульсов (ГТИ) ($f_T=4$ МГц); схему пересчета Δt , $\Delta \tau$, представляющую собой 20-разрядный двоичный счетчик с логикой; счетчик числа выборок N (16 разрядов); счетчик циклов; схему включения задержки на циклах; 8-канальный распределитель (кольцевой 8-разрядный сдвигающий регистр, в котором с частотой $1/\delta\tau$ сдвигается «1»); схему управления цифровыми линиями задержки и устройство управления процессором (УУП).

Коррелятор может работать в двух режимах как двух- и девятиканальное устройство. В первом случае осуществляется распараллеливание вычислений по восьми каналам. Временный сдвиг $\delta\tau$ между каналами задается при помощи восьмиканального распределителя. Используемая элементная база позволила получить минимальный шаг задержки $\delta\tau$ равным 0,25 мкс. Так как цикл считывание — запись запоминающего устройства составляет 4 мкс, то при малых значениях временного сдвига $\Delta\tau$ (до 32 мкс) за один интервал наблюдения реализации исследуемого случайного сигнала в восьми каналах определяется лишь часть точек корреляционной функции — p в каждом канале. Для получения 512 точек требуется последовательное повторение $r=l/p$ раз процесса вычисления $K_x(\tau)$ с введением дополнительных временных задержек, значения которых указаны в таблице. Осуществляется это при $\delta\tau=0,25$ мкс следующим образом (см. рисунок).

С выхода схемы пересчета Δt , $\Delta \tau$ одновременно поступают импульсы: Δt — на фиксатор Φ_0 , $\delta\tau$ — через схему включения задержки на циклах и распределитель на фиксатор Φ_1 . Поэтому в Φ_0 и Φ_1 в один и тот же момент времени производится выборка ординат входных сигналов. В остальных каналах выборка происходит со сдвигом во времени на $n\delta\tau$. Выбранные значения ординат в каналах грубого отсчета поступают с пороговых устройств в цифровые линии задержки. Импульсы со схемы управления ЦЛЗ опрашивают поочередно с первого по четвертый разряды ЦЛЗ. Считанные коды подаются на умножитель, где перемножаются с отсчетом, поступающим с АЦП. Из ячейки ЗУ с соответствующим адресом ранее полученный код суммы через регистр запоминающего устройства передается в 17-разрядный сумматор комбинационно-накапливающего типа, где суммируется с вновь полу-

№ п/п	Δt , мкс	$\delta\tau$, мкс	р точек	Задержка Δt на циклах, мкс																r циклов
				2	4	6	8	10	12	14	64	66	68	70	72	74	76	78		
1	16	0,25	4	2	4	6	8	10	12	14	64	66	68	70	72	74	76	78	16	
2	32	0,5	8	4	8	12	16	20	24	28									8	
3	32	1	8	8	16	24	256	264	272	280									8	
4	64	2	16	16	32	48													4	
5	64	4	16	32	1024	1056													4	
6	128	8	32	64															2	
7	128	16	32	4096															2	
8	256	32	64																1	

ченным произведением и по тому же адресу записывается в ЗУ. Каждая выборка, производящаяся в восьмом канале, отмечается счетчиком числа выборок. При достижении N установленного значения формируется импульс, включающий схему задержки на циклах. Окончание первого цикла вычислений фиксируется счетчиком циклов.

Во втором цикле первый импульс δt поступит на фиксатор Φ_1 задержанным на 2 мкс ($\tau = m\delta t$) относительно импульса Δt . По окончании второго цикла вводится задержка 4 мкс, а после восьмого цикла импульс со счетчика циклов переводит схему включения задержки на циклах в исходное состояние и устанавливает схему управления цифровыми линиями задержки на опрос пятого — восьмого разрядов, что соответствует введению задержки на 64 мкс ($\tau = l\Delta t$). Работа следующих восьми циклов повторяется, а полное вычисление 512 точек кривой $K_x(\tau)$ производится в 16 приемов (см. таблицу).

В режиме девятиканального устройства возможно одновременное определение взаимных корреляционных функций от восьми датчиков. Дискретизация входных сигналов в этом случае осуществляется с шагом $\Delta t = \Delta \tau = 256$ мкс. На один вход процессоров всех каналов подаются коды чисел с АЦП, а на другие — коды с ЦЛЗ соответствующих входных устройств.

В процессорах коррелятора в качестве основной программы работы принят рекуррентный алгоритм

$$a_{j,i} = a_{j,i-1} + \beta(z_i + a_{j,i-1}), \quad (3)$$

где $\beta = 2^{-\alpha}$ ($\alpha = 0, 1, \dots, 15$); j — текущий индекс запоминающего устройства, для которого проводятся вычисления в данный момент времени; a_{i-1} — код числа, выбранный из ЗУ по индексу j ; z_i — произведение двух сомножителей, полученное в умножителе; a_i — код числа, вычисленный по формуле (3) и записываемый в ЗУ по тому же индексу j вместо ранее выбранного кода a_{i-1} . Умножение суммы в (3) на параметр β производится путем переноса в сумме запятой на α разрядов влево. Это реализовано при помощи набора электронных ключей, управляемых сигналом установки α , причем изменение величины β (установка α) осуществляется автоматически по заданной программе или вручную. Задавая различные значения параметра β , можно определять как мгновенные оценки корреляционных функций, так и оценки, полученные путем усреднения на всем интервале наблюдения реализации исследуемых случайных сигналов.

Выбранная структура коррелятора дает возможность без дополнительных затрат оборудования осуществлять операции синхронного накопления, вычисления первых конечных разностей и тестовой проверки. При синхронном накоплении используется один из каналов коррелятора (исключая ЦЛЗ), а первые конечные разности определяются для ординат функций, записанных предварительно в запоминающем устройстве. В качестве тестового сигнала применяется псевдослучайная последовательность прямоугольных импульсов.

Разработанный коррелятор обеспечивает оперативную обработку случайных сигналов в частотном диапазоне $0,5 \div 10^6$ Гц, позволяет устанавливать временную задержку в пределах от 0,25 мкс до 32 мс, производить автоматический останов вычислений при объеме выборки N от 2^6 до 2^{15} . Предусмотрены также ручной останов, внешний запуск и прерывание вычислений на время отсутствия сигнала на входе.

Блоки коррелятора выполнены на интегральных микросхемах. Простота и идентичность основных узлов многопроцессорной структуры коррелятора создают предпосылку к применению больших интегральных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Домарацкий, Л. Н. Иванов. Общий подход к структурному построению оперативных статистических анализаторов.— *Автометрия*, 1975, № 2.
2. Р. Н. Вильданов, А. Н. Домарацкий, Л. Н. Иванов, В. А. Попов, А. Н. Смородинов, Ю. И. Юрлов. Многоцелевой статистический анализатор САДКО.— В кн.: *Уникальные приборы*. М., СЭВ, 1972, № 10.
3. А. Н. Домарацкий, Л. Н. Иванов, Е. Н. Карышев, В. А. Попов, А. И. Скурлатов, А. Н. Смородинов. Коррелятор. Авт. свид. № 292169.— *ОИПОТЗ*, 1971, № 4.
4. Р. Н. Вильданов, А. Н. Домарацкий, Л. Н. Иванов, В. А. Попов, А. Н. Смородинов, Ю. И. Юрлов. Выбор параметров алгоритмов прикладного статистического анализа.— *Автометрия*, 1971, № 1.

Поступила в редакцию 27 сентября 1974 г.

УДК 532.584; 615.471; 573.0 87.8

**Л. А. АНДРИАНОВ, М. А. АХМАМЕТЬЕВ, В. А. МЕЗЕНЦЕВ,
К. М. СОБОЛЕВСКИЙ, Е. В. ХИЖНЯК**

(Новосибирск)

ЦИФРОВОЙ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ СЧЕТЧИК МИКРОЧАСТИЦ

В связи с необходимостью автоматизации эксперимента во многих областях научных исследований (биологии, медицине, химии и др.) все чаще возникает потребность в автоматическом определении числа микрочастиц, содержащихся в единице объема (обычно в 1 см³) тех или иных растворов. В частности, для автоматизации биофизических исследований перспективным оказалось [1, 2] использование кондуктометрического метода [3, 4], предложенного Каултером [5]. К сожалению, до последнего времени соответствующая серийная аппаратура в СССР не выпускалась. Поэтому в связи с исследованием клеток культуры ткани необходимую аппаратуру потребовалось изготовить в индивидуальном порядке. Однако имевшиеся в литературе сведения не были достаточными для практической реализации метода, и изготовление аппаратуры потребовало самостоятельной разработки ряда ее узлов. В результате выполненной работы создан компактный цифровой счетчик микрочастиц СМ-1, построенный с использованием транзисторов и микросхем. Ниже дана техническая характеристика созданного прибора* и рассмотрено устройство его основных узлов.

Основным назначением прибора СМ-1 является измерение концентрации клеток культуры ткани в условиях их культивирования, т. е. в средах, представляющих собой примерно однопроцентный раствор NaCl в воде с добавками питательных веществ. Прибор может быть использован также для измерения концентраций микрочастиц других типов, если выполняются те же условия измерения (а именно: микрочастицы находятся в однопроцентном растворе NaCl и их проводимость более чем на порядок отличается от проводимости раствора).

Прибор состоит из двух частей: устройства дозирования суспензии и устройства счета клеток. Первое из этих устройств предназначено

* Прибор СМ-1 демонстрировался на выставке «Сибирский прибор-73»; за разработку прибора авторскому коллективу присужден диплом Президиума СО АН СССР второй степени.