

В. А. АЛЕКСЕЕВ, В. А. БЕЛОМЕСТНЫХ, В. Н. ВЬЮХИН,
 А. Н. КАСПЕРОВИЧ, Ю. А. ПОПОВ, В. И. СОЛОНЕНКО
 (НОВОСИБИРСК)

МНОГОТОЧЕЧНАЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА СБОРА И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

При исследованиях быстропротекающих процессов в ряде случаев и, в частности, в физическом эксперименте возникает задача преобразования в цифровую форму большого объема аналоговых сигналов с целью их последующего ввода в ЭВМ.

Для решения этой задачи в ИАЭ СО АН СССР была разработана описываемая ниже многоточечная быстродействующая цифровая система сбора и хранения информации.

Блок-схема измерительной системы представлена на рис. 1. Она со-

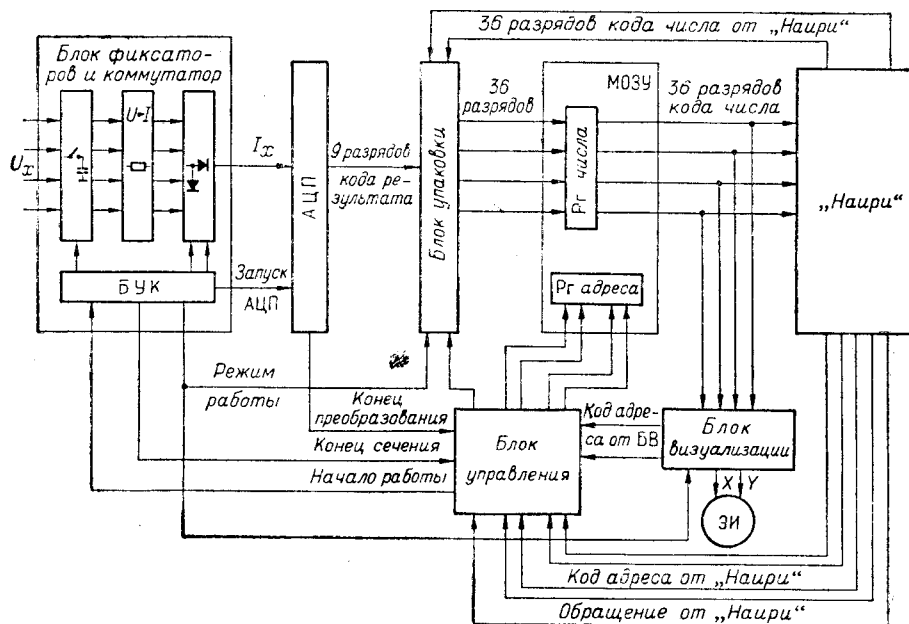


Рис. 1.

держит блок фиксаторов и коммутатор со своим блоком управления (БУК), аналого-цифровой преобразователь, блок упаковки данных, серийное оперативное запоминающее устройство на магнитных сердечниках (МОЗУ), блок управления системой, а также блок визуализации данных с помощью электроннолучевого индикатора.

Исследование экспериментально полученных осциллограмм типовых процессов, для изучения которых предназначена разрабатываемая система, показало, что для восстановления процессов методом линейной аппроксимации на участках с наибольшей кривизной с приведенной погрешностью порядка 1% необходимо получать отсчеты с интервалом времени между ними порядка 30 мкс. Для этого необходим аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с погрешностью в 0,5% (на 9 разрядов) и временем измерения 2 мкс (поскольку число каналов, по которым необходимо получать информацию, было принято равным 16).

Так как скорость изменения измеряемого напряжения в разных каналах может быть различной, все каналы было целесообразно разбить на две группы: так называемые «быстрые» (0—7 каналы) и «медленные» (8—15 каналы). Каждому «быстрому» каналу поставлен в соответствие «медленный» канал (0—8, 1—9 и т. д.). Это связано с тем, что в эксперименте часто каналу, в котором сигнал быстро изменяется, соответствует калибровочный канал с медленным изменением сигнала.

В связи с тем, что темп получения цифровых данных (2 мкс) превышает темп записи в оперативную память многих ЭВМ, было разумно включить в состав системы собственное запоминающее устройство на магнитных сердечниках. Использование подобного МОЗУ, кроме того, дает возможность освободить ЭВМ от непосредственного участия в эксперименте, оставив за ней только присущую ей обработку информации, позволяет в любой момент считать интересующий результат измерения при обработке или визуализации процесса.

В соответствии с тенденцией управлять экспериментом от ЭВМ было бы желательным функции управления работой системы (коммутацию каналов, упаковку и распаковку информации и т. п.) возложить на ЭВМ. Однако в связи с высоким быстродействием системы оказалось, что обычная ЭВМ делать этого не может. Помимо этого, при таком управлении затрудняется автономная проверка системы и ее узлов.

Следует сказать, что при создании подобной измерительной системы является важной организация потока не только измерительной, но и управляющей и контрольной информации. Необходимо было найти достаточно простые способы реализации гибкого управления режимами работы этой системы так, чтобы при изменении числа каналов соответственно изменялся интервал времени между отсчетами; создать канал связи с ЭВМ.

Блок фиксаторов и коммутатор. *Фиксаторы уровня* используются для уменьшения динамической погрешности аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а также для привязки измерений во всех каналах к единому моменту времени. В системе использованы фиксаторы с обратной связью [1], в состав которых входит усилитель рассогласования выходного и входного сигналов фиксатора. Эти фиксаторы являются совершенными устройствами, позволяющими получить высокую точность. На рис. 2 приведена электрическая схема одного из фиксаторов, в состав которого входят: формирователь импульса выборки на триодах T_1 — T_2 , дифференциальный усилитель на T_3 — T_5 и защитных диодах D_3 , D_4 зарядная цепь на T_6 — T_8 и ключевые диоды D_7 , D_8 , накопительный конденсатор C_n и буферный каскад на T_9 — T_{11} . Корректирующий конденсатор C_2 устраняет возбуждение, а конденсатор C_1 уменьшает погрешность

при выключении фиксатора. Динамическая погрешность подобного фиксатора может быть выражена $\delta_{\text{дин}} = U'_{\text{вх}}(t) [\tau_s - t_a]$, где $U'_{\text{вх}}(t)$ — скорость изменения сигнала; τ_s — эквивалентная постоянная времени зарядной цепи фиксатора; t_a — апертурное время фиксатора.

Использование в фиксаторе биполярных транзисторов типа КТ315 и полевого транзистора ТН-1 позволило получить скорость заряда 20 В/мкс.

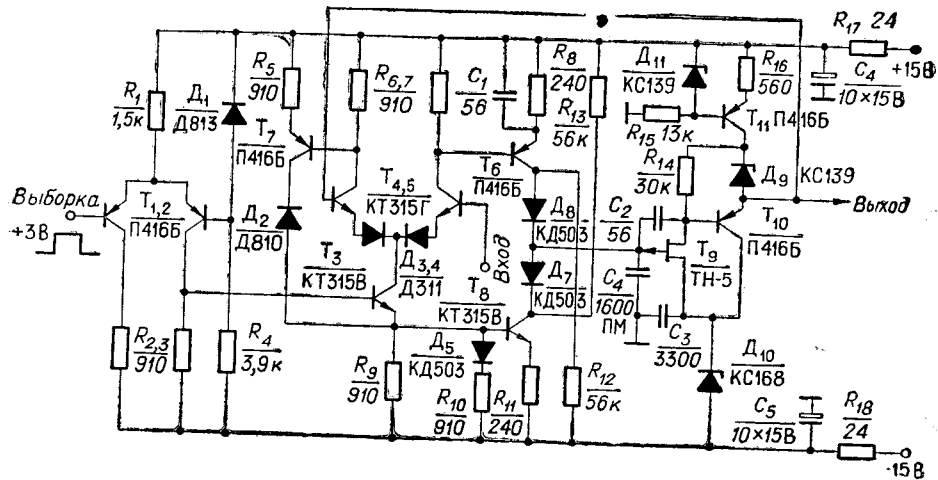


Рис. 2.

При этом эквивалентная постоянная времени фиксатора имела значение $\tau_s = 10$ нс; требуемая длительность импульса выборки для погрешности недозаряда $\Delta U = 5$ мВ и диапазона входного сигнала $U_{\text{вх max}} = \pm 5$ В составляла $T_{\text{зар}} < 0,6$ мкс. С учетом времени затухания колебаний, возникающих в фиксаторе при высоких скоростях заряда, время выборки принято равным 1 мкс. При этом статическая погрешность фиксатора составляет 0,1—0,2%, апертурное время 50 нс.

Коммутатор. Для построения коммутаторов обычно используются ключи на полевых и биполярных транзисторах. Анализ переходных процессов в таких коммутаторах показывает, что время коммутации в них трудно сделать меньшим 1 мкс. При более высоких скоростях переключения необходимо использовать диодные ключи. Известные коммутаторы на диодных мостовых ключах могут обеспечить время коммутации менее 100 нс, но требуют для согласования с АЦП применения точного широкополосного буферного каскада с высоким входным сопротивлением. Кроме того, управляющие потенциалы подобных коммутаторов не соответствуют выходным уровням микросхем, вследствие чего для управления ими необходимы дополнительные инверторы на дискретных элементах.

В связи с этим в системе был использован коммутатор с предварительным преобразованием напряжение — ток (ПНТ) и последующей коммутацией токов диодными переключателями [2]. Подобная схема коммутатора обеспечивает хорошие метрологические характеристики, легко стыкуется с АЦП, входным сигналом которого является ток, и позволяет управлять коммутатором непосредственно от микросхем.

На рис. 3 приведена электрическая схема одного канала коммутатора. В состав ПНТ входит дифференциальный усилитель (ДУ) $T_1 - T_4$ и регулирующей элемент (РЭ) T_5, T_6 , обеспечивающий 100%-ную отрицательную обратную связь для входного сигнала и высокое выходное со-

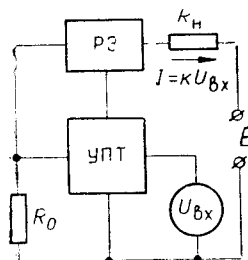
противление для выходного тока. ДУ собран по схеме с динамической нагрузкой, обеспечивающей высокий коэффициент усиления при широкой полосе пропускания. В качестве РЭ используется эмиттерный повторитель на составном транзисторе с целью уменьшения неконтролируемой утечки регулируемого тока в выходную цепь усилителя.

Для обеспечения преобразования двуполярного входного сигнала ± 5 В при потенциале выхода коммутатора $+1,5$ В сигнал, подаваемый на вход ПНТ, смещается на -9 В с помощью генератора тока I_1 и стабилитрона D_1 . Полоса пропускания ПНТ в значительной степени ограничивается плохими частотными свойствами транзистора T_6 , работающего в режиме микротоков. Конденсатор $C_2 = (50 \div 100)$ пФ, включаемый параллельно базо-эмиттерному переходу T_6 , значительно расширяет полосу пропускания и устраняет самовозбуждение схемы. Корректирующая цепочка $R_1 C_1$ выравнивает частотную характеристику ПНТ в области высоких частот. Постоянная составляющая тока всех ПНТ выбирается на выходе коммутатора с помощью вспомогательного генератора начального тока.

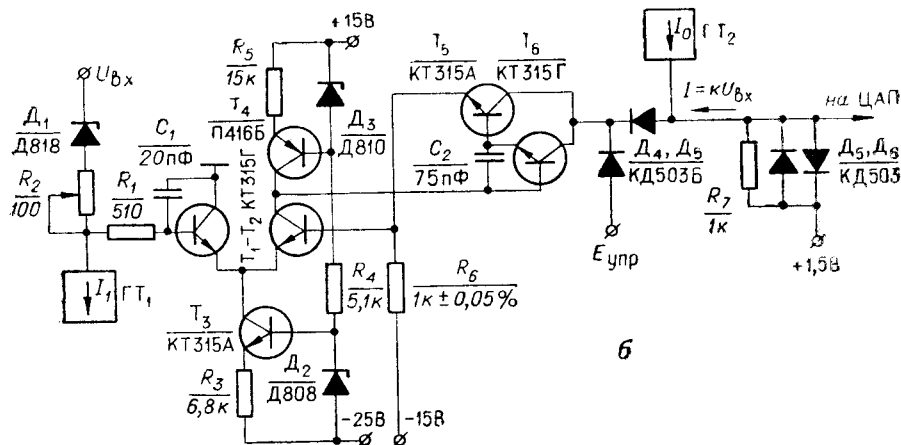
ПНТ имеет следующие характеристики: статическую погрешность $0,1\%$; фронт сигнала на выходе при скачке на входе $50-70$ нс на уровне $2-3\tau$; динамический диапазон по входу ± 5 В, по выходу $0-10$ мА; номинальный масштаб преобразования 1 мА/В; статическое выходное сопротивление ПНТ $20 \cdot 10^6$ Ом; параметры входной цепи: $R_{вх} = 5 \cdot 10^6$ Ом; $I_{0\text{вх}} = 10$ мкА.

Блок управления фиксаторами и коммутатором (БУК) предназначен для формирования сигналов, управляющих фиксаторами и ключами коммутатора в зависимости от выбранной перед экспериментом программы опроса, определяющей количество и очередность подключения каналов. Помимо этого, блок вырабатывает синхронизирующие импульсы, соответствующие моментам запуска АЦП и конца измерений в сечении, код двух старших разрядов двоичного номера канала и сигнал совпадения кода опрашиваемого канала с кодом, набранным переключателями для индикации результата измерения.

В состав БУК входят генератор, два счетчика, дешифратор, цифровой компара-



а



б

Рис. 3.

тор и три кнопочных переключателя режима работы (рис. 4). БУК работает следующим образом. От БУ поступает потенциал, разрешающий запуск генератора. Импульсы, вырабатываемые генератором, считаются шестиразрядным $Sч_1$, в соответствии с состоянием которого дешифратор образует сигналы, распределенные в пространстве и времени. Сигналы дешифратора используются для управления фиксаторами и ключами коммутатора.

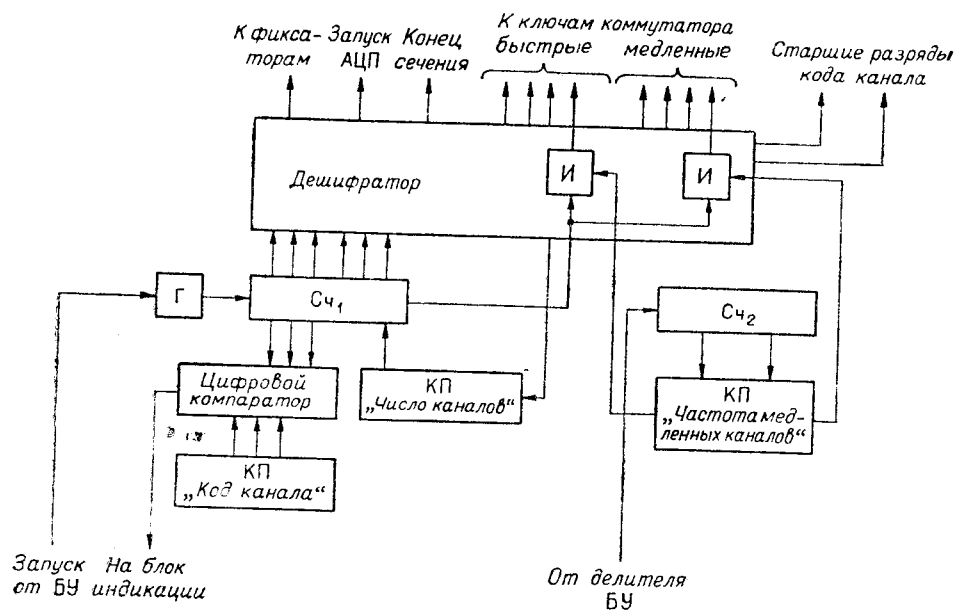


Рис. 4.

чами коммутатора. При частоте генератора 1 МГц БУК имеет следующие временные характеристики: время выборки 1 мкс, время, в течение которого включен любой опрашиваемый канал, 2 мкс.

Для изменения числа быстрых каналов сброс $Sч_1$ в исходное состояние производится с первой, второй, четвертой и восьмой шин дешифратора через кнопочный переключатель «Число каналов». Вследствие этого изменение числа каналов производится по двоичному закону — могут быть включены соответственно один, два, четыре, восемь каналов, причем включение всегда начинается с нулевого канала.

Пятиразрядный $Sч_2$ предназначен для управления включением медленных каналов. Этот счетчик запускается импульсами «Конец сечения», которые поступают на его вход через БУ. Коэффициент пересчета $Sч_2$ определяется положением переключателя «Частота медленных каналов». При достижении $Sч_2$ конечного состояния его сигнал поступает на дешифратор и включает медленные каналы. Подобный способ построения цепи управления обеспечивает на один цикл измерения в медленных каналах выполнение 15, 7, 3 или 1 цикла измерения в быстрых каналах. Кроме того, при разрыве входной цепи $Sч_2$ измерения в медленных каналах вообще не производятся. Помимо дешифратора, код канала поступает на один из входов цифрового компаратора, который сравнивает его с кодом, установленным на переключателе «Код канала» и поданным на второй вход. При совпадении кодов выдается сигнал для индикации результата измерения. Для исключения потерь времени на переходные процессы $Sч_1$ и $Sч_2$ выполнены по схеме со сквозным переносом.

Аналого-цифровой преобразователь осуществляет аналого-цифровое преобразование тока, поступающего с выхода коммутатора. АЦП работает по методу поразрядного уравнивания, его измерительная цепь основана на сравнении токов [3].

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) выполнен по схеме с суммированием разрядных токов, формируемых взвешенными по двоичному закону резисторами. В качестве переключающих элементов применены диодные переключатели тока, которые обладают минимальной инерционностью и допускают управление сигналами непосредственно с

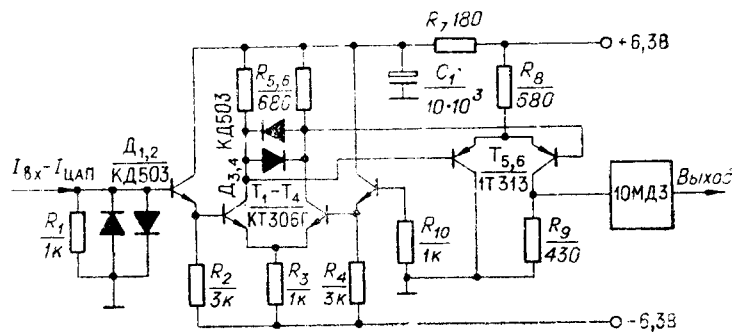


Рис. 5.

выхода микросхем. Статические погрешности такого ЦАП рассмотрены в [3], а динамические — в [4]. В ЦАП используется ряд схемных особенностей, позволяющих обеспечить скорость преобразования до 100 нс/такт при 9—10 разрядах [4].

Компаратор АЦП выполнен в виде двухкаскадного дифференциально-усилителя (рис. 5) с ограничительными диодами на выходе и входе первого каскада. С целью устранения возбуждения первый каскад питается через фильтр R_7C_1 . Выходной сигнал компаратора формируется усилителем с повышенной нагрузочной способностью на микросхеме типа 10МД3 и поступает в блок управления АЦП. В первом каскаде (триоды $T_1 - T_4$) может быть использована гибридная микроэлектронная транзисторная сборка, но при этом возрастает дрейф нуля, что связано со значительным тепловым сопротивлением транзисторов микросхемы. Статический коэффициент усиления двухкаскадного усилителя 200, порог чувствительности 10 мВ, время установления 150 нс.

Цифровая часть АЦП содержит регистр, управляющий ключами ЦАП, распределитель синхропотенциалов с генератором тактовой частоты, буферный регистр с высоковольтными ключами и устройство индикации на неоновых лампах.

Генератор выполнен по схеме мультивибратора с эмиттерной связью; максимальная частота повторения импульсов 10 МГц. Длительности переднего и заднего фронтов импульса на уровне 0,2—0,8 соответственно равны 5 и 20 нс.

Распределитель синхропотенциалов основан на использовании схемы с двухфазной синхронизацией. При создании быстродействующего АЦП существенным становится достижение минимальных паразитных потерь времени в цифровой части АЦП. Для того чтобы их снизить, были приняты следующие меры. Сигнал опроса состояния компаратора, используемый для сброса триггеров регистра в «0», желательно иметь возможно ближе к концу такта. Для этого формирование сигнала опроса осуще-

ствляется за счет совпадения перекрывающихся импульсов с соседних шин распределителя. Таким путем время опроса состояния компаратора удается сделать не превышающим 20 нс, а передний фронт импульса опроса совместить с передним фронтом импульса установки триггера в «1». Для формирования коротких импульсов установки триггеров регистра в «1» потенциалы с шин распределителя дифференцируются с помощью *RC*-цепей.

В целом девятиразрядный АЦП имеет время кодирования 1,5 мкс, причем быстродействие ограничивается в основном инерционностью компаратора. По-видимому, полученное быстродействие является предельным для АЦП поразрядного уравнивания при использованных в нем элементах.

Блок упаковки предназначен для формирования 36-разрядных слов из последовательно поступающих на его входы 9-разрядных слов с целью их одновременной записи в регистр числа МОЗУ. Кроме того, через блок упаковки осуществляется запись информации из ЭЦВМ «Наири», а также запись информации о режиме работы измерительной системы.

Блок упаковки содержит восемь девятиразрядных запоминающих регистров; цифровой коммутатор выходов регистров, входов от «Наири» и переключателей режимов; 36 инверторов, согласующих уровни сигналов системы и МОЗУ. Управление цифровым коммутатором, записью в регистры и формирование импульса перезаписи осуществляются по командам блока управления (БУ).

Результаты измерений поочередно записываются в регистры. После запоминания «четверка» результатов одновременно перезаписывается в МОЗУ. В течение этого времени перезаписи запоминается следующая «четверка» результатов. После этого осуществляется новый цикл перезаписи, в течение которого опять запоминаются результаты в регистрах первой «четверки». Время, необходимое для записи из регистров в МОЗУ, равно времени записи четырех результатов в регистры, так что применение такого способа упаковки позволяет избежать потерь времени на запись информации в МОЗУ.

Код числа из «Наири» и код режима работы системы поступают в виде 36-разрядных слов, в упаковке не нуждаются и поэтому проходят через цифровой коммутатор, минуя запоминающие регистры.

Блок управления предназначен для формирования сигналов, управляющих блоками системы. БУ осуществляет запуск ждущего генератора блока управления коммутатором, управление блоком упаковки (БУп), управление МОЗУ при записи и считывании, формирование кода адреса, а также изменение времени между сечениями исследуемого процесса и управление записью в МОЗУ служебной информации о режиме работы системы.

Запуск системы в рабочем режиме может осуществляться дистанционно — одновременно с началом исследуемого процесса или от кнопки разового запуска. Система может работать в циклическом режиме, используемом для контроля, когда импульсом, следующим по окончании измерений во всех сечениях и записи служебной информации, система запускается снова. Система имеет также режим визуализации исследуемых процессов и режим переписи информации в ЭВМ для ее обработки и записи результатов обработки в МОЗУ.

Блок управления состоит из пяти функциональных узлов: устройства запуска, устройства управления БУп, устройства управления МОЗУ, устройства формирования кода адреса и устройства выбора сечений. Устройство запуска включает в себя формирователь импульса установки

всех узлов системы в исходное состояние и триггер, управляющий генератором БУК. Устройство управления БУп состоит из счетчика числа включений АЦП, дешифратора и цепей, формирующих сигналы управления БУп. Устройство управления МОЗУ представляет собой цепочку одновибраторов, осуществляющих временные задержки, соответствующие нужным соотношениям управляющих МОЗУ сигналов. Устройство выбора сечений состоит из двоичного счетчика, кнопочного переключателя, задающего число неопрашиваемых сечений, и цифрового компаратора, выходным сигналом которого стробируются импульсы включения АЦП, поступающие из БУК. Устройство формирования кода адреса состоит из счетчика числа выбранных сечений, регистра внутренней оперативной памяти кода адреса, в котором хранится адрес, соответствующий первому из четырех измерений, образующих заносимое в МОЗУ 36-разрядное слово, и устройства переноса кода адреса в МОЗУ, включающее в себя логические цепи и элементы, осуществляющие согласование по уровню напряжений выходных сигналов системы с выходом адреса МОЗУ. В режимах визуализации и обработки счетчик числа сечений выключается, а поступающие коды адреса заносятся непосредственно в регистр временной оперативной памяти (ВОП) адреса, откуда по сигналу обращения, поступающего из блока визуализации или ЭВМ, переносятся в регистр адреса МОЗУ.

Система адресации. Серийное МОЗУ БЭСМ-4, использованное в системе, позволяет хранить 4096 45-разрядных чисел. Регистр адреса этого куба содержит 12 разрядов, а регистр числа — 45 разрядов. Вследствие того, что разработанная система предназначена для работы совместно с ЭВМ «Наири», регистр числа которой имеет 36 разрядов, оказалось целесообразным в кубе памяти использовать также 36 разрядов из 45. При этом перепись информации из куба в «Наири» осуществляется весьма просто. Поскольку один результат измерения на выходе АЦП представляется 9 двоичными разрядами, то в одном слове куба полезно размещать четыре результата измерения.

Запись информации в куб должна производиться так, чтобы в любой момент можно было считать результат в интересующих нас канале и сечении. Для этого код адреса должен однозначно определять номер сечения и канала.

В связи с тем, что порядок размещения результатов измерения в разных каналах в слове куба («четверке») может быть установлен заранее, а общее число каналов равно 16, для однозначного отнесения результата измерения (слога слова куба) определенному каналу необходимо знать, к какой «четверке» результатов он относится. Очевидно, что для этого достаточно двух двоичных разрядов.

Таблица 1

В каждом слове 9 разрядов				
V слог не используется	IV слог— результат измерения	III слог— результат измерения	II слог— результат измерения	I слог— результат измерения

Для указания номера сечения принято девять разрядов, что дает возможность регистрировать 512 сечений. Один разряд в коде адреса используется для разделения памяти пополам: одна половина используется для записи результата эксперимента, а другая — результатов обработки. Итак, код числа (45 разрядов) и код адреса (12 разрядов) формируется следующим образом (табл. 1 и 2).

Было принято, что в первый слог первого слова обязательно записывается результат измерения в первом канале, а в остальные слоги первого слова и последующих слов записываются по порядку результаты измерения в следующих 15 каналах. При этом оказывается, что для кодирования «четверок» результатов удобно использовать два старших разряда кода канала, результат которого записан в первом слоге.

Таблица 2

1 разряд	2 разряда	9 разрядов
Код режима	2 старших разряда кода канала	Код номера сечения

В том случае, если измерения выполняются при меньшем числе каналов (до 4), то соответственно уменьшается число слов; если же измерения проводятся при числе каналов 1 или 2, то в одно слово записываются результаты соответственно четырех или двух измерений. Для последнего случая результаты измерения в медленных каналах при частотах обращения к ним, меньших 1—1, будут записываться в последние слоги.

Блок визуализации (БВ) предназначен для визуального наблюдения процессов, записанных в МОЗУ во время эксперимента по двум любым каналам, а также для оперативной проверки работоспособности системы. Для этого БВ формирует код адреса и импульс запуска БУ, по которым вызывается из МОЗУ необходимое слово, и образует напряжения, подаваемые на входы «Х» или «У» электроннолучевого индикатора (ЭИ).

БВ (рис. 6) содержит блок распаковки, блок управления БУВ, цифро-аналоговые преобразователи ЦАП и кнопочный переключатель, на котором набираются коды номеров визуализируемых каналов. Блок распаковки, в свою очередь, состоит из логических цепей и регистра результата, выполняющего функцию оперативной памяти. Использование регистра необходимо для того, чтобы напряжение ЦАП не падало до нуля при сбросе регистра числа в «0» при каждом обращении к МОЗУ, а также в тех случаях, когда измерения выполняются в быстрых каналах, а в мед-

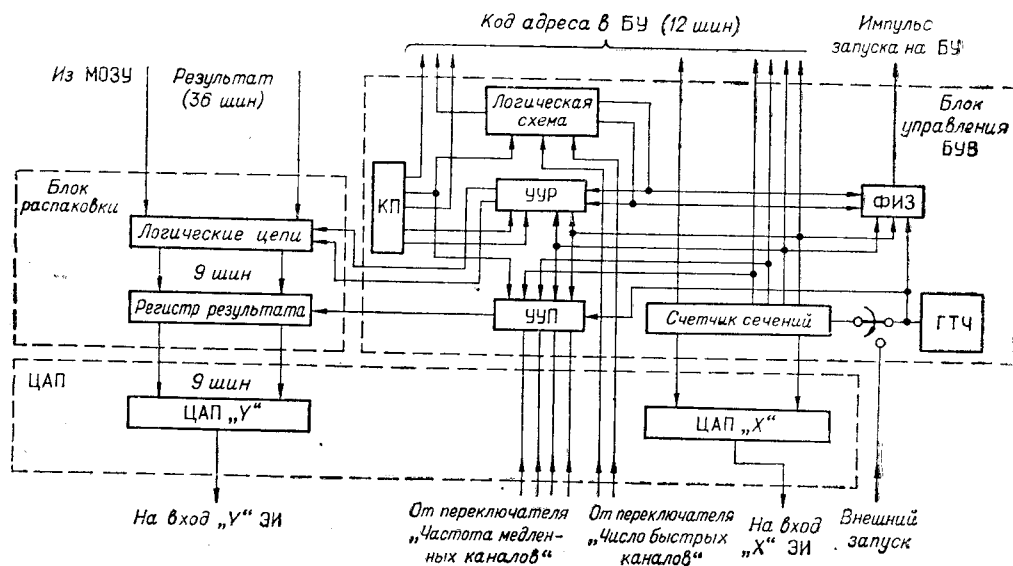


Рис. 6.

ленных каналах данного сечения измерений не производится (и наоборот). БУВ содержит генератор тактовой частоты (ГТЧ), счетчик сечений, формирователь импульса обращения к МОЗУ, устройство управления распаковкой слова куба, а также устройство управления перезаписью числа в регистр результата. БВ работает следующим образом. По формируемому старшими разрядами кода номера канала и счетчиком сечений адресу из МОЗУ по импульсу запуска БУ вызывается необходимое слово, нужный слог которого после распаковки поступает на ЦАП «У». Одновременно на ЦАП «Х» поступают сигналы со счетчика сечений. Таким образом, при визуализации процесса, записанного в любом канале, 3 старших разряда кода адреса не изменяются, а 9 младших разрядов могут пробегать все возможные значения. Поскольку вызываемое слово может содержать несколько сечений (одно, два, четыре) визуализируемого канала, целесообразно обращаться к МОЗУ только тогда, когда использована вся информация о нужном канале, содержащаяся в слове. Импульс обращения к МОЗУ формируется либо с каждым импульсом ГТЧ, либо через один импульс, либо через три, а код адреса меняется на единицу с каждым импульсом ГТЧ независимо от режима работы.

Устройство управления распаковкой выбирает нужный слог из четырехслового 36-разрядного слова. Поскольку число сечений в слове переменное, устройство управления распаковкой, помимо основных сигналов — двух младших разрядов кода канала, использует сигналы с двух первых триггеров счетчика и сигнал о положении переключателя «Число быстрых каналов».

Устройство управления перезаписью (УУП) разрешает перезапись из блока распаковки слогов, в которых записана информация о тех сечениях, где производились измерения в интересующих нас каналах. Для этого формируется строб по сигналам от переключателя «Частота медленных каналов», четырех младших триггеров счетчика сечений и по сигналу старшего разряда кода номера канала. Так, например, в режиме, когда измеряются один быстрый и один медленный канал с частотой опроса медленных каналов 1—3, при выводе быстрого канала на ЭИ устройство управления перезаписью разрешает перезапись в регистр результата первых трех слогов слова МОЗУ и не разрешает перезаписи четвертого. В случае записи в МОЗУ результатов измерений в одном или двух каналах, чтобы вывести на ЭИ медленный канал, нужно при формировании кода адреса инвертировать сигнал старшего разряда кода номера канала. Это выполняется логической схемой, на которую поступают сигналы от переключателя «Число быстрых каналов» и сигнал старшего разряда кода номера канала.

Для привязки наблюдаемых процессов к системе координат входы ЦАП по очереди присоединяются к выходам счетчика сечений. При этом на экране индикатора рисуются оси координат с реперными штрихами. Блок визуализации позволяет наблюдать два процесса в произвольно выбранной паре каналов (причем один может быть экспериментально измеренным, а другой вычисленным с помощью ЭВМ и занесенным в МОЗУ в той же системе адресации информации). Кроме того, второй процесс по желанию может быть сдвинут по оси «У» относительно первого. Для обеспечения возможности фотографирования визуализированных процессов предусмотрена синхронизация затвора фотоаппарата разверткой ЭИ.

Первые результаты испытаний изготовленного макета показали, что технические характеристики системы соответствуют требованиям, заложенным при проектировании.

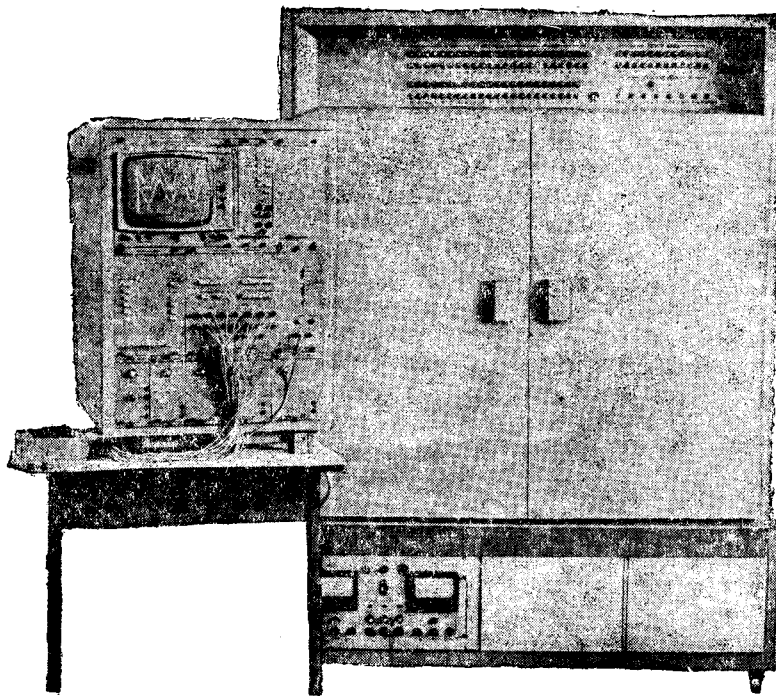


Рис. 7.

Конструктивно система выполнена в виде двух стоек — собственно система и МОЗУ. Внешний вид системы показан на рис. 7. Узлы блоков смонтированы на платах из стеклотекстолита размером 190×340 с выполнением монтажа фотопечатным способом. Система содержит 600 корпусов микросхем ДТЛ типа 10МД и 360 дискретных транзисторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Вьюхин. Компараторный фиксатор уровня напряжения. — Автометрия, 1968, № 6.
2. В. Н. Вьюхин. Широкополосный преобразователь «напряжение — ток» для быстродействующего коммутатора. — В сб. «Аналого-цифровые преобразователи (принципы построения и элементы)» (труды семинара). Новосибирск, «Наука», 1971.
3. В. А. Беломестных, В. Н. Вьюхин, А. Н. Касперович, Ю. А. Попов, В. И. Солоненко. Многоточечная измерительная система с коммутатором на полевых транзисторах. — Автометрия, 1970, № 2.
4. В. Н. Вьюхин. Цифро-аналоговые преобразователи с суммированием токов. — Автометрия, 1971, № 4.

Поступила в редакцию
28 сентября 1970 г.