

14. Б. Я. Красильщик, Ю. В. Фишер. Способ измерения комплексных сопротивлений. Авторское свидетельство № 158627.— БИ, 1963, № 22.
15. Э. И. Арш, А. А. Красин. Метод автоматизации измерений частотных характеристик параметров диэлектриков.— Автометрия, 1966, № 3.
16. П. В. Новицкий и др. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л., «Энергия», 1970.
17. В. А. Строков. Сканирующее резонансное преобразование поля величин.— В сб. «Вопросы технической кибернетики». М., «Наука», 1966.
18. В. П. Сигорский и др. Схемы с многими состояниями. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1965.
19. А. П. Вишнеvский. Исследования вопроса построения полилогических элементов.— Автореферат канд. дисс. Новосибирск, 1971.
20. С. Д. Амромин. Многоканальный бесконтактный коммутатор с частотно-временным разделением каналов.— ПНТ и ПО, № 4-67-1436/78. М., ГОСИНТИ, 1967.
21. С. Д. Амромин, В. Л. Полубинский. Частотное сканирование при многоточечном автоконтроле биологических объектов.— Материалы к итоговой научной конференции за 1966—1967 гг. по вопросам гигиены. Новосибирск, 1967.

Поступила в редакцию 23 августа 1972 г.

УДК 621.317.311

Ю. А. БОЛВАНОВ, Э. А. КУПЕР, В. И. НИФОНТОВ, А. Д. ОРЕШКОВ

(Новосибирск)

МНОГОКАНАЛЬНАЯ ШИРОКОДИАПАЗОННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВВОДА ДАННЫХ В ЭВМ

В Институте ядерной физики СО АН СССР ведутся работы по автоматизации управления комплексом накопителей встречных электрон-позитронных пучков и других физических установок, содержащих элементы, рабочие параметры которых должны поддерживаться с большой точностью и быть взаимно согласованы, для чего необходимо контролировать большое количество аналоговых величин, мгновенных значений импульсных сигналов и интервалов времени. Выполнение задачи программного контроля и управления многими объектами за короткое время и с большой точностью создает необходимость применения ЭВМ с соответствующей системой ввода и вывода информации [1, 2]. Описываемая ниже многоканальная измерительная система для ввода данных в ЭВМ является частью общей системы управления комплексом накопителей [3].

Быстродействующий широкодиапазонный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) рассчитан на применение в тех случаях, когда в числе прочих аналоговых параметров нужно измерять следующие конкретные виды сигналов:

- 1) изменяющиеся напряжения в определенный момент времени, например напряжения на конденсаторных батареях в системе питания импульсных магнитов непосредственно перед моментом инжекции;
- 2) импульсные сигналы, значения которых запоминаются на конечное время с помощью буферных аналоговых запоминателей;
- 3) напряжения на отдельных элементах системы, когда требуется быстрый ввод в ЭВМ большого количества данных о таких элементах.

Система для ввода аналоговых параметров предназначена для работы в условиях сильных электромагнитных помех и наводок, создаваемых силовыми элементами комплекса, поэтому предпринимаются специальные меры для развязки и экранировки измерительных цепей. Особые требования предъявляются и к коммутатору аналоговых сигналов.

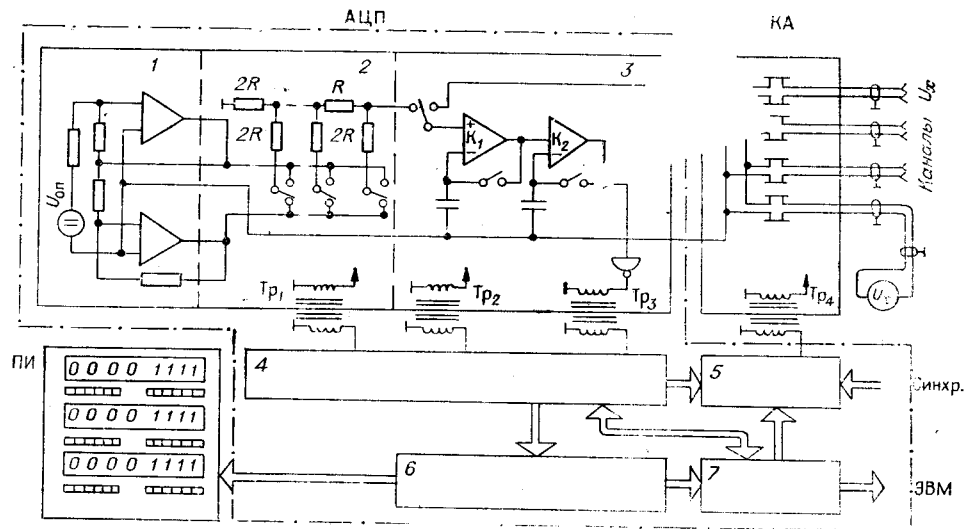


Рис. 1.

Наличие датчиков с большим выходным сопротивлением и конечное сопротивление коммутационных элементов требуют для соблюдения точности высокого входного сопротивления измерителя.

Широкий динамический диапазон измеряемых напряжений в условиях, когда было бы затруднительно переключать пределы измерения, определяет требования к разрядности преобразователя и разрешающей способности нуля-органа.

Число каналов, измеряемых системой для реального физического комплекса, колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен, поэтому коммутатор должен иметь возможность для расширения числа входов.

При реализации системы с быстрым многоканальным преобразованием аналоговых величин следует учитывать, что быстродействие измерителя должно быть согласовано с реальным темпом ввода данных в ЭВМ. Такой ЭВМ для управления комплексом ВЭПП-3 является ОДРА1304, где скорость ввода данных по универсальному каналу составляет 300 кбит в секунду. При синхронной работе измерительной системы с ЭВМ на каждое измерение, содержащее 24 бит информации, может быть отведено с учетом служебных команд 150—200 мкс. Именно таким целесообразно выбрать цикл одного измерения АЦП, так как при этом отпадает необходимость в буферном согласующем ЗУ.

Система связи с ЭВМ обеспечивает адресный вызов любого из измеряемых каналов или передачу массива измерения данных, начиная с любого канала. Принятая система связи с использованием последовательных кодов [3] требует наличия специального блока для связи измерительной системы с ЭВМ.

Работа оператора на комплексе связана с необходимостью наблюдения зачастую одновременно за несколькими измеряемыми каналами. Эта задача выполняется с помощью специального пульта индикации, который может быть удален от измерительной системы. Индикатор должен обеспечивать наблюдение за измеренной величиной по любому из каналов во всех группах измеряемых объектов.

Таковы основные требования, предъявляемые к многоканальной измерительной системе для ввода данных в ЭВМ.

Структурная схема многоканальной измерительной системы приведена на рис. 1. Система состоит из коммутатора аналоговых сигналов КА, АЦП и выносного пульта индикации ПИ.

Аналого-цифровой преобразователь выполнен по принципу поразрядного уравнивания предварительно запоминаемого напряжения. Уравнивание производится по классической схеме с помощью нуля-органа (3) и цифроаналогового преобразователя (ЦАП), выполненного на основе декодирующей сетки $R-2R$ (2). В АЦП использован ЦАП, по принципу действия и параметрам аналогичный описанному в [4].

Двухполярное опорное напряжение получается от термостатированного источника $U_{оп}$ при помощи двух операционных усилителей (1), охваченных отрицательной обратной связью (ООС).

Операционные усилители в интегральном исполнении и масштабные резисторы размещены в термостате. Время выхода термостата на рабочий режим 20 мин.

Логический узел (4) обеспечивает алгоритм поразрядного кодирования. Коммутатор КА, подключающий один из измеряемых каналов к АЦП, переключается схемой управления (5). Взаимодействие с ЭВМ и ПИ осуществляется через узел связи (7) и информационный регистр (6).

Остановимся на некоторых особенностях построения измерительной части системы.

Измерительная часть системы, предназначенная для работы в условиях жестких электрических помех, отличается тщательной экранировкой аналоговых субблоков и хорошей изоляцией их от цифровой части по постоянному и переменному току. Назначение такой изоляции состоит в том, чтобы вся измерительная часть системы могла быстро приобрести «плавающий» потенциал одного из измеряемых объектов с учетом синфазной помехи, наводимой на канал связи данного объекта с измерителем. При этом желательно, чтобы емкость измерительной части относительно экрана и емкость экрана относительно общей «земли» комплекса, с которой связаны обычно все измеряемые объекты, были минимальными. Следует выделить узлы, в которых решается эта задача: коммутатор аналоговых сигналов, цифроаналоговый преобразователь, блок питания для аналоговой части, нуль-орган измерителя.

В первых трех узлах управление производится передачей высокочастотного сигнала («подкачки») через трансформаторы Tr_1-Tr_3 с последующим детектированием [4]. Управление нуль-органом и анализ его состояния осуществляются тоже через импульсные трансформаторы (Tr_4). Для уменьшения величин проходной емкости в системе применены трансформаторы с объемным витком. При этом емкость аналоговой части относительно экрана и емкость экрана относительно «земли» составляют величины около $500 \cdot 10^{-12}$ Ф, что обеспечивает подавление помехи (50 Гц) на уровне 80 дБ.

Для уменьшения влияния сигнала «подкачки» на четкость работы измерителя используется меандр с тактовой частотой поразрядного уравнивания. Эта частота, в свою очередь, синхронизирована с частотой промышленной сети на цикле измерения 64 каналов подстройкой задающего генератора. Такая синхронизация дает дополнительную возможность (при дальнейшей обработке результатов на ЭВМ) учесть систематическую сетевую наводку на каждый из измеряемых каналов.

Другая важная особенность рассматриваемой измерительной системы — способ построения нуля-органа. Нуль-орган должен обладать высоким входным сопротивлением, широкой полосой пропускания, большим коэффициентом усиления и малым дрейфом [1]. При этом необходимо обеспечить его устойчивость при замкнутой отрицательной обратной связи в режиме запоминания измеряемого напряжения с коррекцией дрейфа. Коэффициент усиления должен быть порядка 10^5 . В отличие от обычного данный нуль-орган состоит из двух идентичных последовательно включенных широкополосных усилителей с непосредственными связями K_1, K_2 (рис. 2). В цепи ООС каждого из усилителей включены

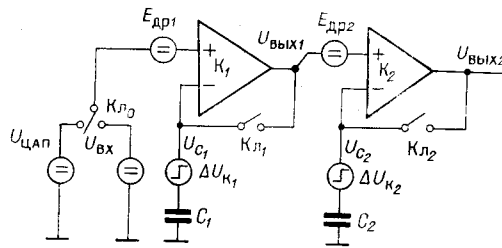


Рис. 2.

запоминающие конденсаторы. Измеряемое напряжение подключается к входу нуль-органа, и при замкнутой ООС происходит отслеживание входного сигнала на запоминающих емкостях с учетом дрейфа усилителя. После этого цепь ООС разрывается, а к нуль-органу подключается выход ЦАП для поразрядного уравнивания запомненного напряжения. Цепи ООС, обеспечивающие заряд емкостей C_1 и C_2 , коммутируются соответственно ключами $K_{л1}$ и $K_{л2}$. При размыкании ключей из-за паразитных параметров этих ключей дополнительный заряд вносится в запоминающую емкость в виде коммутационных э. д. с. ΔU_{K_1} и ΔU_{K_2} . Ключ $K_{л1}$ размыкается несколько позже ключа $K_{л2}$, поэтому коммутационные э. д. с. в значительной степени компенсируются. Такой принцип построения позволяет получить абсолютно устойчивый широкополосный нуль-орган, так как ООС при этом охватываются усилители с коэффициентом усиления порядка 300—500.

В качестве ключей используются биполярные интегральные прерыватели типа КТ241. Исследования показали, что коммутационная помеха ΔU_K при емкости порядка 0,05 мкФ составляет величину около $500 \cdot 10^{-6}$ В. Потенциал общего коллектора ключа зафиксирован относительно напряжения на запоминающей емкости C с помощью истокового повторителя на МОП-транзисторе типа КП305Ж (рис. 3). Ключи $K_{л}$ выполнены на МОП-транзисторах типа КП304, а схема управления этими ключами во входной части нуль-органа реализована на транзисторах типа КТ361 и КП305.

Рассмотрим подробно работу нуль-органа. При замкнутой ООС выходное напряжение первого усилителя

$$U_{\text{вых1}} = (U_{\text{вх}} + E_{\text{др1}}) \frac{K_1}{K_1 + 1}.$$

При размыкании цепи ООС на емкость действует коммутационная помеха ΔU_{K_1} . Напряжение на емкости C_1 $U_{C_1} = U_{\text{вых1}} + \Delta U_{K_1}$. После размыкания ООС

$$U'_{\text{вых1}} = (U_{\text{вх}} + E_{\text{др1}}) \frac{K_1}{K_1 + 1} - \Delta U_{K_1} K_1.$$

На емкости C_2 запоминается напряжение

$$U_{\text{вых2}} = \left[(U_{\text{вх}} + E_{\text{др1}}) \frac{K_1}{K_1 + 1} - \Delta U_{K_1} K_1 + E_{\text{др2}} \right] \frac{K_2}{K_2 + 1}.$$

После размыкания ООС второго усилителя $U_{C_2} = U_{\text{вых2}} + \Delta U_{K_2}$. При поразрядном уравнивании выходное напряжение $U_{\text{ЦАП}}$ становится таким, что $U_{\text{вых2}} = 0$, поэтому

$$U_{\text{вых2}} = \{ (U_{\text{ЦАП}} + E_{\text{др1}}) - U_{C_1} \} K_1 + E_{\text{др2}} - U_{C_2} \} K_2 = 0.$$

Так как $K_2 \neq 0$, то, подставляя U_{C_1} и U_{C_2} в это выражение, будем иметь

$$\begin{aligned} & \left[U_{\text{ЦАП}} + E_{\text{др1}} - (U_{\text{вых1}} + E_{\text{др1}}) \frac{K_1}{K_1 + 1} - \Delta U_{K_1} \right] K_1 + E_{\text{др2}} - \\ & - \left[(U_{\text{вх}} + E_{\text{др1}}) \frac{K_1}{K_1 + 1} - \Delta U_{K_1} K_1 + E_{\text{др2}} \right] \frac{K_2}{K_2 + 1} - \Delta U_{K_2} = 0. \end{aligned}$$

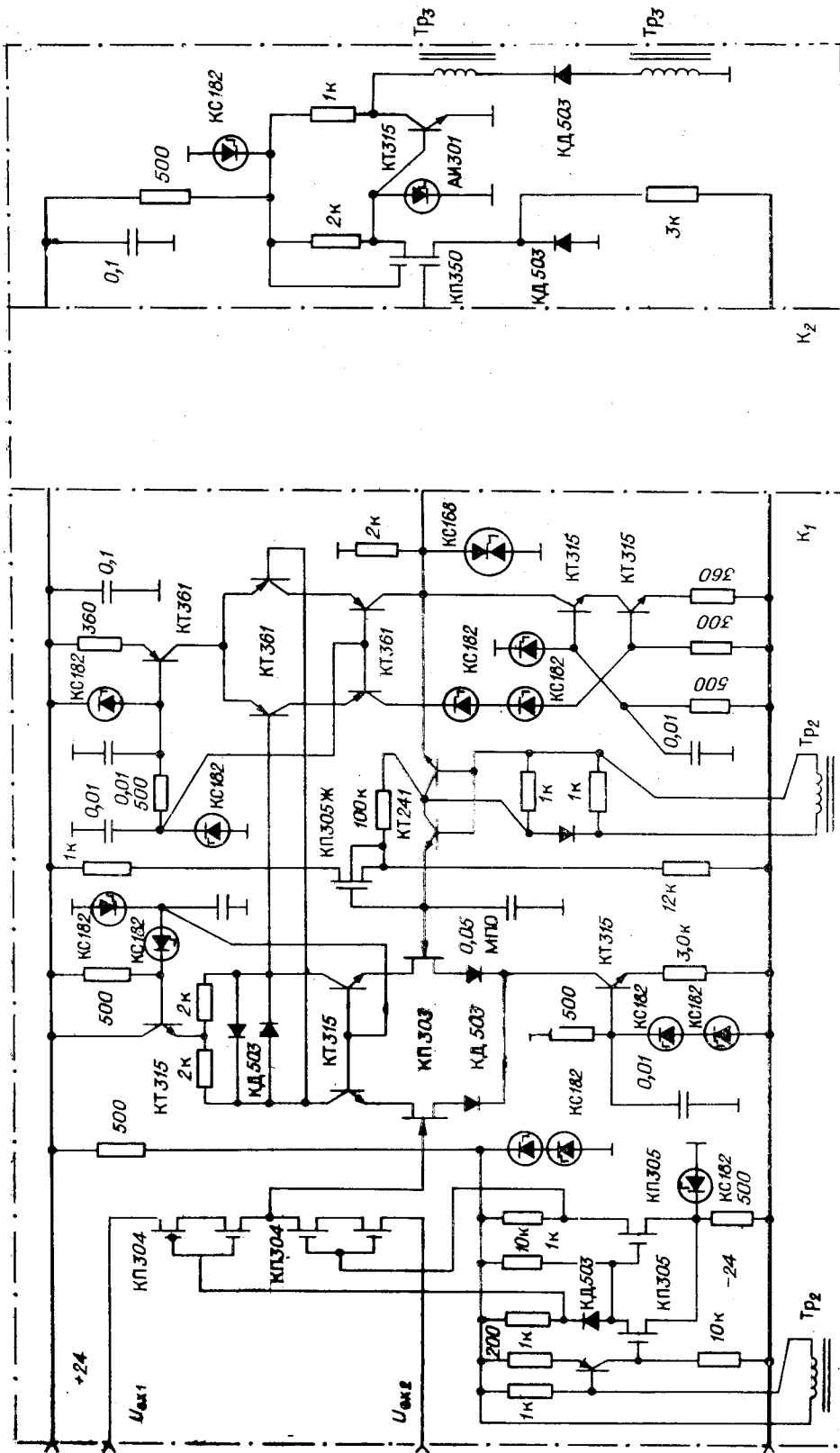


Рис. 3.

После несложных преобразований получим

$$U_{\text{ЦАП}} = U_{\text{вх}} \left(\frac{K_1}{K_1 + 1} + \frac{K_2}{(K_1 + 1)(K_2 + 1)} \right) - E_{\text{др1}} \frac{1}{(K_1 + 1)(K_2 + 1)} - E_{\text{др2}} \frac{1}{(K_1 + 1)(K_2 + 1)} + \Delta U_{K_1} \frac{1}{K_2 + 1} + \Delta U_{K_2} \frac{1}{K_1 + 1}.$$

Ошибка уравнивания $\Delta U = U_{\text{ЦАП}} - U_{\text{вх}}$. Учитывая, что $K_1 \gg 1$, $K_2 \gg 1$, запишем

$$\Delta U = U_{\text{вх}} \frac{1}{K_1 K_2} + E_{\text{др1}} \frac{1}{K_1 K_2} + E_{\text{др2}} \frac{1}{K_1 K_2} + \Delta U_{K_1} \frac{1}{K_2} + \Delta U_{K_2} \frac{1}{K_1}.$$

Из этого выражения видно, что погрешность определяется в основном произведением $K_1 K_2$. При $K_1 \approx K_2 > 10^2$ приведенная величина помехи от коммутационных э.д.с. становится меньше 50 мкВ [5].

Полевые транзисторы в первом каскаде нуля-органа позволяют получить большое входное сопротивление при малом входном токе (10^{-10} А). Приведенное к входу среднеквадратичное значение шумов при использовании транзисторов типа КП303Г не более 10 мкВ. Время выхода усилителя нуля-органа из перегрузки от сигнала 0,5 диапазона измерения до уровня 0,5 кванта измерения составляет $5 \cdot 10^{-6}$ с. Анализ состояния нуля-органа производится с помощью диодно-трансформаторного вентиля (КД503, Тр₃).

В качестве запоминающих применены конденсаторы типа МПО с малым коэффициентом абсорбции.

Коммутатор аналоговых сигналов (рис. 4) для подключения датчиков напряжения к входу АЦП выполнен по двухпроводной схеме и состоит из плат двух типов: платы управления коммутатором (П), предназначенной для гальванической развязки цифровой части системы от аналоговой и плат самих коммутаторов на 16 каналов (П₁—П₄). Номер подключаемого канала задается при помощи 6 адресных шин (А₁—А₆) от АЦП. Плата коммутатора на 16 каналов выполнена по двухступенчатой системе, т. е. входные сигналы объединяются в группы по четыре (К) с последующим объединением групп на один выход. Дешифратор адресных шин расположен на плате коммутатора (Д). Для получения коммутатора на 64 канала четыре платы объединяются с помощью пятой (П₅). Многоступенчатая схема по сравнению с одноступенчатой, где входные сигналы поступают на выход через один ключ, позволяет упростить дешифрацию адресных сигналов и уменьшить погрешность, вносимую коммутатором из-за токов утечки запертых ключей.

Коммутатор выполнен на интегральных МОП-ключах типа КТ682. Применение МОП-ключей значительно упрощает схему управления, что особенно существенно при проектировании многоканального коммутатора.

Для 64-канального коммутатора, выполненного по одноступенчатой схеме при следующих параметрах ключей КТ682: сопротивлении открытого ключа $R_o = 100$ Ом, сопротивлении закрытого ключа $R_z = 10^9$ Ом, токе утечки ключа $I_y = 10^{-8}$ А, — паразитная э. д. с. примет вид $\Delta U = 64 I_y R_o = 64$ мкВ, а шунтирующее вход АЦП сопротивление $R_{ш}$ будет равно $R_o/63 \approx 1,4 \cdot 10^7$ Ом. Для такого же коммутатора с объединением в группы по четыре паразитная э. д. с. ΔU равна

$$4I_y R_o + 4I_y R_o + I_y 3R_o = 24 \text{ мкВ},$$

а шунтирующее сопротивление составит $R_{ш} = R_o/9 = 1,1 \cdot 10^8$ Ом.

Недостаток этого варианта — увеличение количества ключей. Возрастание проходного сопротивления коммутатора при достаточно большом входном сопротивлении АЦП не играет существенной роли. Ступ-

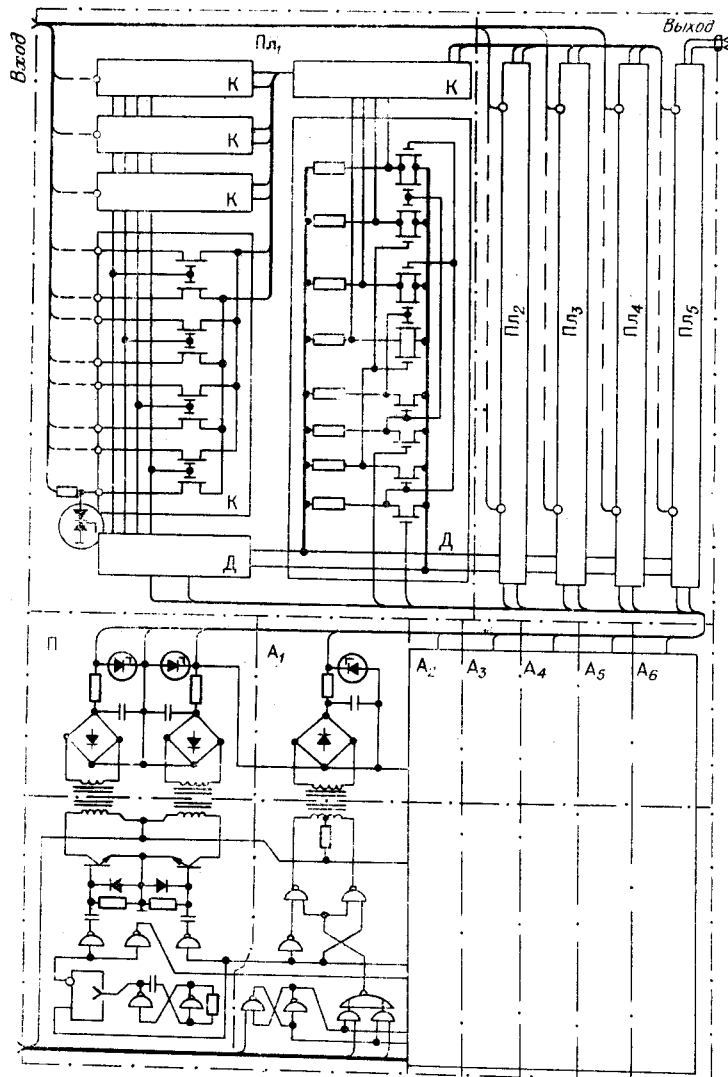


Рис. 4.

пенчатая структура обеспечивает возможность расширения числа входных каналов путем объединения нескольких 64-канальных коммутаторов.

В системе предусмотрено 3 режима работы, отличающихся в основном способом управления коммутатором:

1) непрерывный опрос всех каналов с привязкой к фазе промышленной сети;

2) однократный опрос всех каналов по импульсу запуска;

3) одно измерение по импульсу запуска при внешнем управлении коммутатором.

Полученный в результате измерения двоичный код, содержащийся в регистре АЦП, передается в собственное индикаторное устройство прибора и выносной ПИ. В процессе передачи он преобразуется из дополнительного кода при отрицательном сигнале в прямой с соответствующим знаком. Код также может быть считан в параллельном виде или передан в ЭВМ по байтам. В первом и втором режимах по запросу от ЭВМ АЦП выдает массив данных, где каждое значение сопровождается номером канала. В ждущем режиме коммутатор управляется от ЭВМ

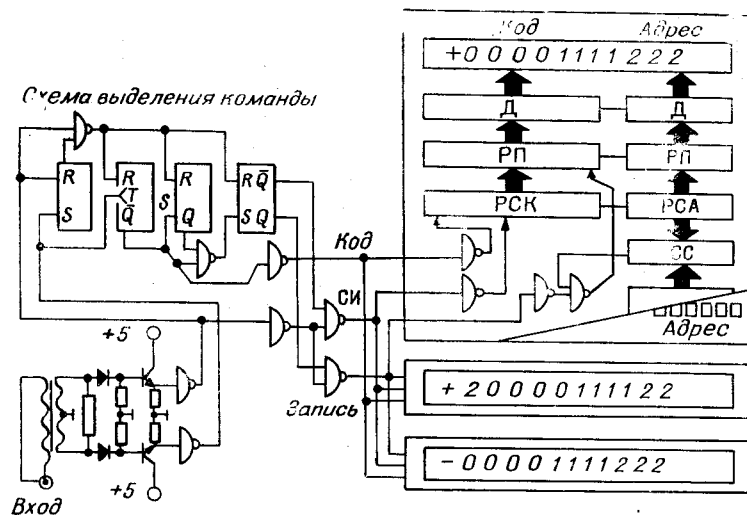


Рис. 5.

через узел связи (см. 6 на рис. 1). По сигналу запроса АЦП измеряет и через 300 мкс выдает код в систему связи.

Взаимодействие ЭВМ и АЦП осуществляется по двум радиочастотным кабелям в режиме запрос — ответ в соответствии с разработанной системой связи ЭВМ с многими объектами контроля и управления, описанной в [3].

В целом измерительная система имеет следующие технические характеристики: диапазон измеряемых напряжений ± 5 В; погрешность измерения $\pm (10^{-4} U_{\text{изм}} + 100 \text{ мкВ})$; входное сопротивление 10^8 Ом; количество каналов 64; время измерения одного канала 200 мкс; время запоминания входного сигнала 40 мкс; подавление синфазной помехи 80 дБ; выходной код 15 двоичных разрядов плюс 1 знаковый разряд.

Выносной пульт индикации ПИ обеспечивает наблюдение за напряжением, измеряемым на АЦП, одновременно по 3 каналам. Код, пропорциональный напряжению каждого из каналов, поочередно измеряемых АЦП, вместе с адресом передается последовательно по радиочастотному кабелю. Информация представляется последовательностью положительных кодовых и отрицательных синхронизирующих импульсов, команда «Запись» — двумя кодовыми импульсами и одним импульсом синхронизации. Расчетная длина линии связи 1 км.

Упрощенная схема ПИ изображена на рис. 5. Во входной части импульсный код (Вход) преобразуется в потенциальный, и выделяется команда «Запись». Принятый код и адрес одновременно записываются в 3 приемных регистра сдвига (РСК, РСА). При совпадении адреса, выбранного на передней панели ПИ, с адресом, пришедшим из АЦП на схему совпадения (СС), формируется импульс записи информации в соответствующий регистр памяти (РП). Принятый код дешифруется (Д) и в восьмеричном виде индицируется вместе со знаком и соответствующим адресом на индикаторном табло.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Алексеев, В. А. Беломестных, В. Н. Вьюхин, А. Н. Касперович, Ю. А. Попов, В. И. Солоненко. Многоточечная быстродействующая цифровая система сбора и хранения информации. — Автометрия, 1971, № 4.
2. 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.

3. Ю. А. Болванов, В. В. Каргальцев, М. М. Карлинер, Э. А. Купер, А. В. Леденев, В. И. Нифонтов, А. Д. Орешков, Ю. И. Ощепков, Г. В. Пискунов. Система контроля и управления ускорительным комплексом на встречных пучках при помощи универсальной ЭВМ.— Труды конференции «Системы автоматизации научных исследований». Рига, «Зинатне», 1973.
4. М. М. Карлинер, В. И. Нифонтов, А. Д. Орешков. Прецизионный цифро-аналоговый преобразователь.— Автометрия, 1972, № 2.
5. Ю. А. Болванов, Э. А. Купер, В. И. Нифонтов, А. Д. Орешков. Многоканальный прецизионный АЦП с повышенной помехозащищенностью.— Труды II Всесоюзного симпозиума «Проблемы преобразования формы информации». Киев, «Наукова думка», 1973.

Поступила в редакцию 17 декабря 1973 г.

УДК 512.52

С. В. ДОЦЕНКО, Ю. А. ХУДЯКОВ

(Севастополь)

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ПРОЦЕССА ПО ДИСКРЕТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ С ПОМОЩЬЮ СКОЛЬЗЯЩЕГО ПОЛИНОМА

При измерении физических процессов и передаче данных о них широко применяется дискретизация процессов по времени, позволяющая наиболее рационально использовать каналы связи и вычислительные средства. Однако часто после приема данных возникает необходимость в восстановлении непрерывного исходного процесса по этим данным. Это достижимо путем применения различных методов интерполяции промежуточных значений процесса по дискретному набору его значений в точках отсчета. Наиболее известными методами восстановления являются интерполяция с помощью полиномов, применение ряда Котельникова, сплайн-интерполяция и т. д. При измерении длительных, но конечных процессов первые два способа мало пригодны для практического использования, так как в первом случае с увеличением числа узлов интерполяции растет степень полинома и объем необходимых вычислений, во втором — требуется бесконечная последовательность результатов измерений.

В настоящей работе рассматривается интерполяция произвольной последовательности с помощью скользящего полинома фиксированной степени и исследуются предельные свойства интерполяционной функции при увеличении степени полинома. Предлагаемый метод имеет определенные преимущества при обработке непрерывно поступающих данных с помощью ЭВМ. Теорема, доказываемая ниже, показывает тесную связь интерполяции с помощью скользящего полинома и ряда Котельникова.

Предположим, что результатом измерения процесса $x(t)$ является последовательность чисел $\{x_k\}$, $-\infty < k < +\infty$, где элемент последовательности x_k соответствует моменту времени kt . Интервал времени τ между соседними членами последовательности будем считать постоянным. Рассмотрим интерполяцию промежуточных точек процесса с помощью скользящего полинома. Для получения интерполяционной функции через каждые $n+1$ последовательные точки x_k, \dots, x_{k+n} проведем полином одной и той же степени n . На рис. 1, а показано использование полинома второй степени: через каждые три последовательные точки проводится парабола. Каждый полином интерполирует измеряемый про-