

10 В. Возможно управление коммутаторами КАС-1 и КАС-2 через разъем на передней панели последовательным кодом.

КАС-3. Количество каналов при однопроводных измерениях 32, при двухпроводных — 16; остальные параметры такие же, как и у КАС-2. Используется как коммутатор групп, когда необходимо объединить на один АЦП выходы нескольких коммутаторов, а также в системах с малым количеством измеряемых каналов.

КАС-4. Количество каналов 32, измерения двухпроводные; тип коммутирующих элементов — термокомпенсированные переключатели на германиях; погрешность  $\pm 1$  мкВ; время установления 0,5 мс. Используется в измерительных системах микровольтового диапазона.

**Заключение.** В работе рассмотрены четыре интегрирующих АЦП, приведены их характеристики, методы аналого-цифрового преобразования, на которых они основаны, особенности конструктивного исполнения, функциональные возможности. Приведены также технические параметры четырех типов коммутаторов аналоговых сигналов. Особое внимание при разработке этих приборов уделено мерам по обеспечению высокой помехозащищенности и решению проблем, связанных с многоканальностью измерений. С помощью описанного в данной статье комплекта аппаратуры, выполненной в стандарте КАМАК, можно решить большинство задач по измерению постоянных напряжений в автоматизированных системах управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прищипников В. А. Интегрирующие цифровые вольтметры постоянного тока.— Л.: Энергия, 1976.
2. Меер В. В., Былинский Л. В. Оценка влияния эффекта диэлектрической абсорбции интегрирующего конденсатора на точность быстродействующего вольт-секундного преобразователя.— В кн.: Труды Рязанского радиотехнического института. Рязань, 1972, вып. 30.
3. Голубенко Ю. И., Каргальцев В. В., Пискунов Г. С. Автоматизированная система для отбора прецизионных стабилизаторов.— В кн.: Всесоюзный симпозиум по модульным информационно-вычислительным системам. Кишинев: Штиинца, 1985.
4. Техническое описание вольтметра «Солартрон-7075».

*Поступила в редакцию 30 января 1986 г.*

УДК 681.335.2

**В. М. БОРОВИКОВ, Ю. В. ЗАРУДНЕВ, В. К. ОВЧАР, А. А. ЧАУСОВ**  
(Новосибирск)

### МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЦИФРОАНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

При автоматизации научных экспериментов, особенно на таких крупных установках, какими являются ускорительно-накопительные комплексы, предполагается пропорциональное регулирование параметров установки с высокой точностью, причем количество каналов регулирования может достигать нескольких сотен. В связи с этим объекты управления объединяются по функциональным и территориальным признакам и включаются в многоканальные системы авторегулирования, управление которыми, как правило, осуществляется с помощью многоканальных цифроаналоговых преобразователей. Два таких устройства, выполненных в стандарте КАМАК и разработанных в ИЯФ, СО АН СССР, описываются ниже.

Шестнадцатиканальный цифроаналоговый преобразователь с усилителем сигнала ошибки (ЦАП УСО) предназначен для управления многоканальными системами авторегулирования, расположенными в одной или

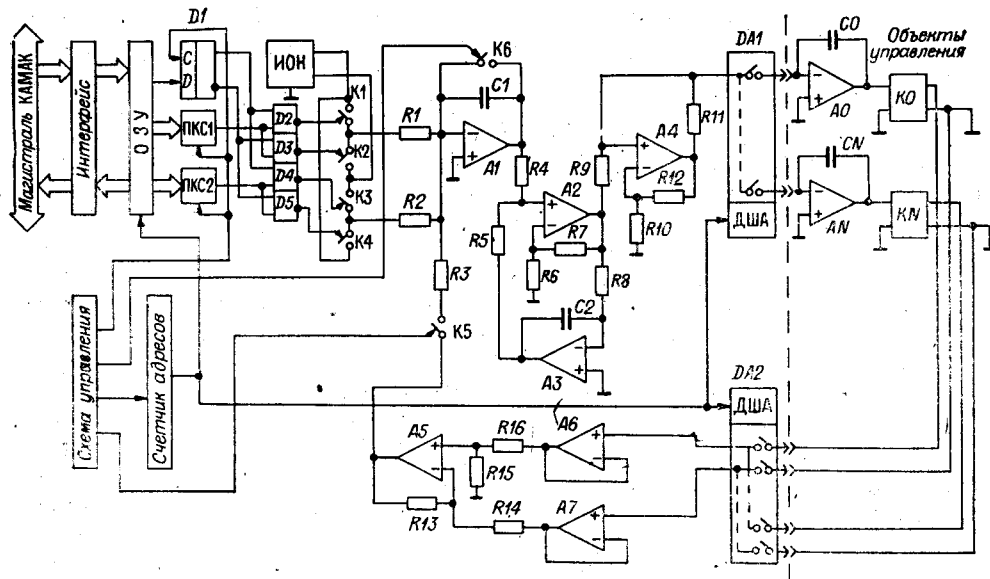


Рис. 1

нескольких соседних стойках (шкафах). Известные схемы многоканальных систем стабилизации содержат быстродействующий ЦАП и аналоговые запоминатели с усилителями сигнала ошибки на входе каждого канала. Создание системы стабилизации с точностью лучше чем 0,1% по такой структурной схеме проблематично, так как требует достаточно точного и быстрого ЦАП, аналоговой памяти с разветвленной сетью выходных концов и стабильного УСО в каждом канале. Очень заманчиво использование для этих целей цифроаналогового преобразователя с широтно-импульсной модуляцией (ЦАП ШИМ) как самого простого и точного с одновременным устранением таких прецизионных элементов в каждом канале стабилизации, какими являются аналоговые запоминатели и УСО. Наиболее подходящим здесь представляется принцип, положенный в основу работы устройства, описанного в публикации\*. Несколько изменив алгоритм его работы, добавив входные и выходные аналоговые коммутаторы и устройство формирования сигнала коррекции ошибки, получим структурную схему многоканального ЦАП УСО, которая приведена на рис. 1.

Шестнадцатиразрядные управляющие слова с магистрали КАМАК через интерфейс заносятся в ОЗУ по шестнадцати адресам. Эта информация циклически с периодом повторения 20 мс переносится в преобразователи «код — скважность» (ПКС) и триггер знака D1: старший разряд — в триггер знака, семь следующих разрядов — в ПКС1, восемь младших разрядов — в ПКС2. На выходе ПКС формируются импульсы, длительность которых пропорциональна занесенному в ПКС коду (диаграмма 1, рис. 2). Эти импульсы через схемы совпадений D2—D5 в зависимости от состояния триг-

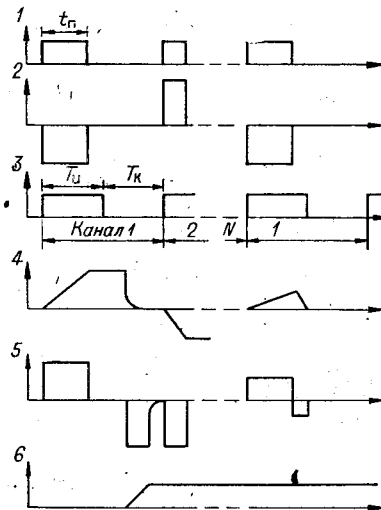


Рис. 2

\* Pat. 3646545 (USA). Ladderless digital-to-analog converter/B. N. Naydan, J. D. Brinkman.— Publ. 29.11.72.

гера знака  $D1$  подаются на управляющие входы ключей  $K1, K4$  или  $K2, K3$ , которые коммутируют положительный или отрицательный источник опорных напряжений (ИОН) через масштабные резисторы  $R1, R2$  на вход интегратора  $A1$  (диаграмма 2). Время работы преобразователя на один канал равно 1,2 мс и разделено на два одинаковых интервала: интервал измерения  $T_{\text{и}}$  и интервал коррекции  $T_{\text{к}}$  (диаграмма 3). При максимальном значении управляющего кода длительность импульса  $t_{\text{п}}$  на выходе ПКС максимальна и равна интервалу измерения  $T_{\text{и}}$ . В течение всего интервала времени  $T_{\text{и}}$  на вход интегрирующего усилителя  $A1$  через масштабный резистор  $R3$  и ключ  $K5$  подается напряжение обратной связи с выхода масштабного усилителя  $A5$ , пропорциональное выходной величине соответствующего канала. К концу интервала измерения  $T_{\text{и}}$  напряжение на выходе усилителя  $A1$  будет равно

$$U_1 = -\frac{T_{\text{и}}}{R_3 C_1} \left[ U_{\text{оп}} \frac{R_3}{R_1} \frac{t_{\text{п}}}{T_{\text{и}}} + U_{\text{ос}} \right] \quad (1)$$

(здесь  $t_{\text{п}}$  — длительность импульса на выходе ПКС1;  $U_{\text{оп}}$  — опорное напряжение;  $U_{\text{ос}}$  — напряжение обратной связи) при условии, что напряжение на выходе ПКС2 (младшие разряды) равно нулю. Напряжение с выхода усилителя  $A1$  подается на вход дифференцирующего устройства, собранного на усилителе  $A2$  с интегрирующим усилителем  $A3$  в цепи отрицательной обратной связи. На интервале коррекции  $T_{\text{к}}$  ключ  $K6$  закорачивается, и на выходе усилителя  $A1$  устанавливаются нулевые условия (диаграмма 4). Скачок напряжения  $\Delta U_1$  с выхода усилителя  $A1$  дифференцируется усилителем  $A2$  (диаграмма 5) и затем поступает на вход генератора тока, состоящего из усилителя  $A4$  с резисторами  $R9 - R12$ . Выходной сигнал генератора тока через аналоговый коммутатор  $DA1$ , управляемый дешифратором адреса (ДША), подается на соответствующий выходной интегратор  $A0$  с емкостью  $C0$ . Выходной усилитель интегрирует этот корректирующий сигнал и изменяет свое выходное напряжение (диаграмма 6), которое является управляющим воздействием для схемы стабилизации выходной величины. Выходное напряжение через аналоговый коммутатор  $DA2$  подано на согласующие усилители  $A6, A7$  и далее на масштабный усилитель  $A5$  с резисторами  $R13 - R16$ .

Условия, при которых выходное напряжение будет устанавливаться на заданный уровень за один цикл измерения и коррекции, определяются из следующих соображений.

Пусть при  $U_{\text{вых}} = 0$  в ЦАП заносится некий управляющий код, при котором на выходе ПКС1 устанавливается импульс управления длительностью  $t_{\text{п}}$ . Тогда напряжение на выходе усилителя  $A1$  к концу интервала измерения  $T_{\text{и}}$  будет равно

$$U_1 = -U_{\text{оп}} (t_{\text{п}}/R_1 C_1). \quad (2)$$

При замыкании ключа  $K1$  на выходе усилителя  $A1$  напряжение изменится на величину  $\Delta U_1 = -U_1$ , а на выходе  $A3$  произойдет приращение напряжения

$$\Delta U_3 = -\Delta U_1 \frac{R_5}{R_4} = -\frac{1}{R_8 C_2} \int_{t_1}^{t_2} U_2(t) dt. \quad (3)$$

Аналогичное приращение  $\Delta U_0$  осуществится на выходе усилителя  $A0$ , так как он интегрирует то же самое напряжение  $U_2(t)$  с выхода усилителя  $A2$ :

$$\Delta U_0 = -\frac{1}{R_9 C_0} \int_{t_1}^{t_2} U_2(t) dt. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) получим

$$\Delta U_0 = -\Delta U_1 \frac{R_8 C_2}{R_9 C_0} \frac{R_5}{R_4}. \quad (5)$$

Тогда выходное напряжение изменится на величину

$$\Delta U_{\text{вых}} = \Delta U_0 K_0 \quad (6)$$

(здесь  $K_0$  — коэффициент передачи схемы стабилизации), а напряжение обратной связи на выходе усилителя  $A_5$  — на величину

$$\Delta U_{\text{ос}} = \Delta U_0 K_0 \frac{R_{13} R_{15}}{R_{14} R_{16}} = -\Delta U_1 \frac{R_8 C_2 R_5 R_{13} R_{15}}{R_9 C_0 R_4 R_{14} R_{16}} K_0. \quad (7)$$

Так как напряжение обратной связи при изменении сигнала ошибки равнялось нулю, то после первого цикла коррекции оно станет равным своему приращению

$$U_{\text{ос}} = \Delta U_{\text{ос}} = -U_{\text{оп}} \frac{t_{\text{п}}}{R_1 C_1} \frac{R_8 C_2 R_5 R_{13} R_{15}}{R_9 C_0 R_4 R_{14} R_{16}} K_0. \quad (8)$$

Напряжение  $U_1$  на выходе усилителя  $A_1$  в конце следующего цикла измерения ошибки в этом канале будет равно нулю, если равно нулю выражение в скобках из соотношения (4):

$$U_{\text{ос}} + U_{\text{оп}} \frac{R_3}{R_1} \frac{t_{\text{п}}}{T_{\text{и}}} = 0. \quad (9)$$

Решая совместно уравнения (8) и (9), получим

$$\frac{T_{\text{и}}}{R_3 C_1} \frac{R_8 C_2}{R_9 C_0} \frac{R_5 R_{13} R_{15}}{R_4 R_{14} R_{16}} K_0 = 1. \quad (10)$$

Следовательно, после каждого цикла измерения и коррекции ошибки выходного напряжения это напряжение изменится на величину, равную ошибке, с той точностью, с какой выполняется равенство (10). Если оно будет выполнено с точностью 10%, то за каждые 20 мс ошибка регулирования уменьшится в 10 раз, стремясь к предельной величине, определяемой в основном уровнем помех в выходных и входных аналоговых цепях. Для уменьшения влияния этих помех трассы, по которым подается обратная связь с выхода системы стабилизации на входной коммутатор ЦАП, следует выполнять витыми парами и экранировать в общий экран. Провода, по которым сигнал коррекции ошибки из ЦАП поступает на вход интегрирующих усилителей  $A_0 - A_N$ , расположенных вне ЦАП УСО, также следует экранировать. Для уменьшения влияния смещения и дрейфа нуля выходных интеграторов  $A_0 - A_N$  корректирующий сигнал на их вход подается с выхода генератора тока.

Для уменьшения влияния сетевых помех на точность преобразования работа счетчика адресов синхронизирована с частотой сети 50 Гц. При этом вносимая ошибка становится систематической и может быть учтена при формировании управляющего кода.

Описанный ЦАП УСО имеет следующие технические параметры: погрешность преобразования  $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ ; количество каналов 16; количество разрядов 15 + знак; время установления 0,5 с; ширина модуля 2М (имеется модификация — 16-канальный ЦАП, выходным сигналом которого является не сигнал коррекции ошибки, а аналог цифрового кода); выходное напряжение  $\pm 6,5536$  В.

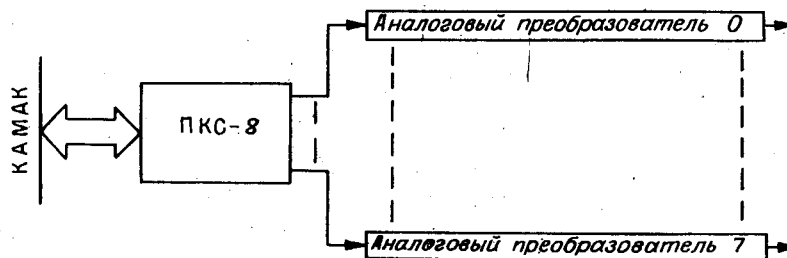


Рис. 3

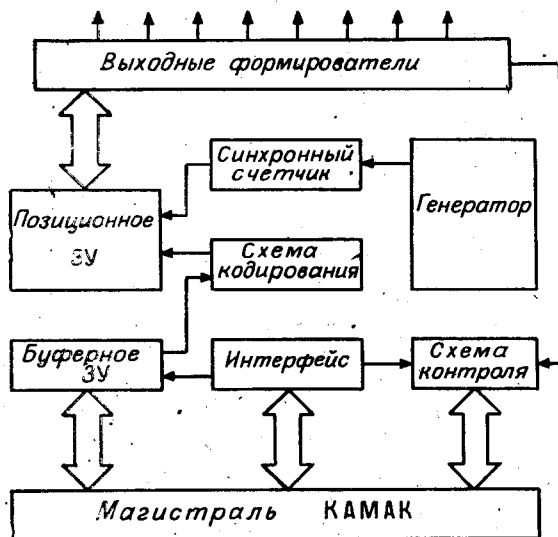


Рис. 4

(ПКС-8) выполнен в стандарте КАМАК в модуле шириной 2М; он управляет восемью аналоговыми преобразователями (рис. 3). Управление осуществляется через один коаксиальный кабель для каждого канала на расстоянии до 200 м.

Рассмотрим работу ПКС, блок-схема которого приведена на рис. 4. Информация из ЭВМ через магистраль КАМАК с помощью интерфейса записывается в буферное запоминающее устройство (ЗУ). В режиме перезаписи информация из буферного ЗУ с помощью схемы кодирования преобразуется в позиционный код и записывается в позиционное ЗУ. При этом в ту ячейку позиционного ЗУ, адрес которой совпадает с входным кодом, записывается «1», а во все остальные ячейки выбранного канала — «0».

В рабочем режиме синхронный счетчик сканирует адреса позиционного ЗУ. В момент совпадения выбранного адреса позиционного ЗУ с выходным кодом на выходе позиционного ЗУ появляется «1», записанная в режиме перезаписи в эту ячейку. Во все остальные ячейки выбранного канала были записаны «0», и на выходе позиционного ЗУ при сканировании остальных адресов будет «0». Так как синхронный счетчик считает в прямом направлении, время от начала сканирования до появления «1» на выходе позиционного ЗУ линейно зависит от входного кода. Сигнал с выхода позиционного ЗУ запускает выходные формирователи. Для оперативного контроля трассы передачи кода и работоспособности ПКС предусмотрена схема контроля, которая измеряет положение выходных импульсов блока.

Основные параметры ПКС-8: количество разрядов входного кода 16; число каналов 8; период ШИМ-сигнала 6,7 мс; амплитуда выходных импульсов 12 В (на 50 Ом); длительность выходных импульсов 200—300 нс; ширина модуля 2 М; потребление +6 В; 2 А; ±24 В; 10 мА.

Аналоговая часть си-

Конструктивно прибор выполнен в модуле КАМАК шириной 2М на двух платах. Используемые КАМАК функции:  $F(0)$  — считывание информации из ОЗУ;  $F(16)$  — запись управляющей информации в ОЗУ.

Для управления территориально разнесенными объектами при высоком уровне электромагнитных помех разработан 8-канальный цифроаналоговый преобразователь, состоящий из цифрового преобразователя «код — скважность» и восьми аналоговых преобразователей «скважность — напряжение».

Цифровой преобразователь «код — скважность»

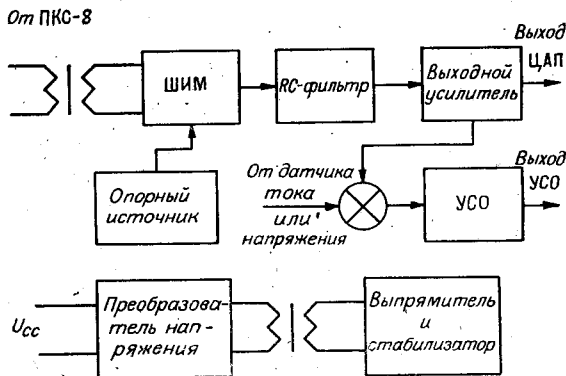


Рис. 5

стемы преобразует импульсный ШИМ-сигнал от ПКС-8 в аналоговое напряжение (рис. 5). Она содержит источник опорного напряжения, широтно-импульсный модулятор (ШИМ) на КМОП-ключах, пассивный RC-фильтр 3-го порядка и выходной усилитель. Сигнал с выхода усилителя — выходной сигнал ЦАП.

Для сопряжения с системой регулирования имеется усилитель сигнала ошибки (УСО), который сравнивает сигнал с выходного усилителя и сигнал от датчика тока или напряжения. Гальваническая развязка по управлению осуществляется одновитковым трансформатором. Гальваническая развязка по питанию выполняется преобразователем напряжения и трансформатором.

В настоящее время на различных установках ИЯФ находится в эксплуатации более 300 каналов этих цифроаналоговых преобразователей. Блок выполнен в конструктиве «Вишня». Размер модуля 40 мм.

Основные параметры аналогового преобразователя: выходное напряжение  $\pm 10,000$  В; дискретность 0,3 мВ; погрешность 0,01%; температурный коэффициент выходного напряжения 0,0003%/К; время установления с погрешностью 0,1% 0,5 с; емкость относительно земли 200 пФ.

*Поступила в редакцию 30 января 1986 г.*