

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.3Г

Г-944

745/4-79

10 - 11940

В.А.Гуляев, В.Н.Замрий, В.С.Иванов

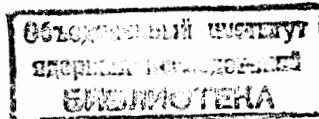
АНАЛОГО-ШИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ДЛЯ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ

1978

10 - 11940

В.А.Гуляев,* В.Н.Замрий, В.С.Иванов*

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ДЛЯ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ



* Физико-энергетический институт, г. Обнинск

Аналого-цифровой преобразователь для модульных систем

Описывается выполненный в стандарте КАМАК модуль 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя, предназначенный для работы в информационно-измерительной системе сбора и обработки статических и динамических параметров установки, измерительные линии которой подвержены интенсивному воздействию промышленных помех.

Измерительная схема АЦП, работающая по методу конвейерно-циклического преобразования, заключена в "плавающий" экран и имеет достаточно высокие импедансы между входами и "землей" системы. Схема управления обеспечивает последовательность преобразования одного из двух измеряемых сигналов и коррекцию смещения нулевого уровня, регистрацию и индикацию результата измерения, а также связь с магистралью КАМАК. Пределы измеряемых сигналов - (0,001-4,095) В при единице дискретности - 1 мВ. Время преобразования - 48 мкс, время выборки входного сигнала - 2 мкс. Подавление синфазного сигнала помехи (50 Гц) - 100 дБ.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Analog-to-Digital Converter for Module Systems

A CAMAC module of 12-bit analog-to-digital converter of data acquisition system for measuring the statistic and dynamic parameters of installation which measurement lines are exposed to industrial noises is described. The measurement ADC system, utilizing the successive approach method by means of recycling, is located in the flowing screen with high impedance between inputs and the system ground. The control circuit provides the sequence of conversion of one in two measured signals and stabilization of offset voltage, registration and displaying of measurement results, and the interface for CAMAC dataway. The measurement signal range is (0.001-4.095)V if the last significant bit is 1 mV. The conversion time is 48 μ s, time of sampling is 2 μ s. The common noise suppression (50 Hz) is 100 dB.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Разработан и выполнен в стандарте КАМАК модуль АЦП, предназначенный для работы в информационно-измерительной системе сбора и обработки статических и динамических параметров установок, измерительные линии которых подвержены интенсивному воздействию промышленных помех^{1/}.

Измерительная схема АЦП работает по методу конвейерно-циклического преобразования. Выбор этого метода обусловлен причинами общесистемного порядка. АЦП должен работать с двумя типами измерительных каналов: с каналом, включающим трехпроводный релейный мультиплексор сигналов низкого уровня/МСНУ/ и групповой нормирующий преобразователь/ГНП/, а также с каналом, включающим однопроводный полупроводниковый мультиплексор сигналов высокого уровня/МСВУ/^{2/} к входам которого могут подключаться индивидуальные нормирующие преобразователи. Известно^{3/}, что оптимальные методы ослабления влияния продольной помехи в указанных каналах различны, но общим требованием к АЦП является высококачественное гальваническое разделение между входами /от мультиплексоров/ и в цепях передачи управляющих сигналов и кода величины, т.е. измерительная схема должна быть заключена в "плавающий" экран и иметь достаточно высокие импедансы между входами и "землей" системы. В связи с этим к измерительной схеме предъявляются требования малой мощности питания и возможно меньшего количества логических связей с "заземленной" частью системы.

Сравнение метода конвейерно-циклического преобразования^{4,5/} с наиболее распространенными методами поразрядного уравнивания и время-импульсного преобразования^{6-8/} показывает, что он лучше подходит для удовлетворения вышеперечисленных требований при условии получения одинаковой разрешающей способности, точности и быстродействия. Это объясняется тем, что АЦП конвейерно-циклического типа имеет ряд преимуществ на схемном уровне, а именно:

- отсутствие многоразрядной сетки прецизионных резисторов и ключей /управление которыми обычно требует количества связей, равного длине двоичного числа/;
- наличие в измерительной схеме аналогового запоминающего устройства /позволяет не вводить "блок АЗУ" в измерительные каналы с целью уменьшения динамической ошибки измерения^{7/} /;
- схема не создает тока во входные линии, подобного тому, который создает АЦП поразрядного уравнивания при больших кодовых переходах /что облегчает согласование импедансов между блоками системы и исключает необходимость применения буферного усилителя с большой нагрузочной способностью/;
- наличие линейной схемы пропускания на два входа, которая подключает измерительную схему АЦП к выходу мультиплексора только на короткий момент времени /уменьшает чувствительность АЦП к шумам на входных линиях и позволяет осуществлять переключение мультиплексора во время аналого-цифрового преобразования/;
- простое введение коррекций шкалы преобразователя по нулевой мере и мере половины шкалы;
- легко регулируемая дифференциальная нелинейность преобразователя /дает возможность более точного измерения статистических гистограмм/.

Линейная связь времени преобразования и количества разрядов двоичного числа обуславливает большее быстродействие рассматриваемого метода по сравнению с методом время-импульсного преобразования, при условии использования элементов одинакового быстродействия и получения одинаковых метрологических характеристик.

Указанные преимущества определили разработку описываемой схемы АЦП, позволили заключить ее в достаточно малогабаритный "плавающий" экран с большим импедансом входов по отношению к "земле" системы и тем самым создать необходимые условия для ослабления влияния продольных помех на результат измерения.

Схема преобразователя, размещенная в "плавающем" экране, изображена на *рис. 1*, а временные диаграммы работы АЦП - на *рис. 2*. Период преобразования, начинающийся при поступлении импульса "Начало измерения" /НИ/ или импульса "Начало коррекции" /НК/ и заканчивающийся с приходом импульса "Конец преобразования" /КП/, состоит из N циклов, где N - количество двоичных разрядов числа, получаемого в АЦП. Длительность каждого цикла можно разделить на два интервала: t_1 - интервал решения и t_2 - интервал установления. Интервал t_1 в первом цикле несколько больше, чем во всех остальных, вследствие переходных процессов

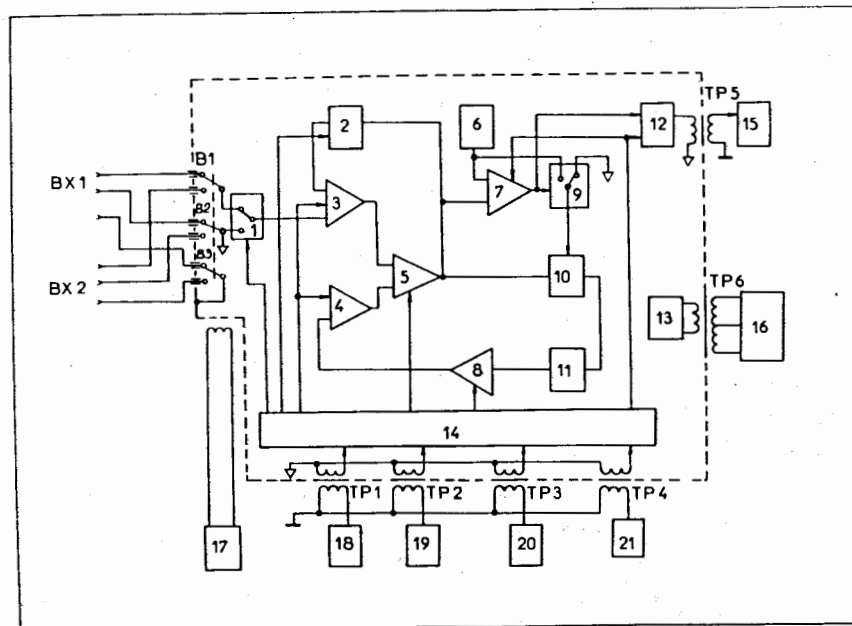


Рис.1. Измерительная схема преобразователя.

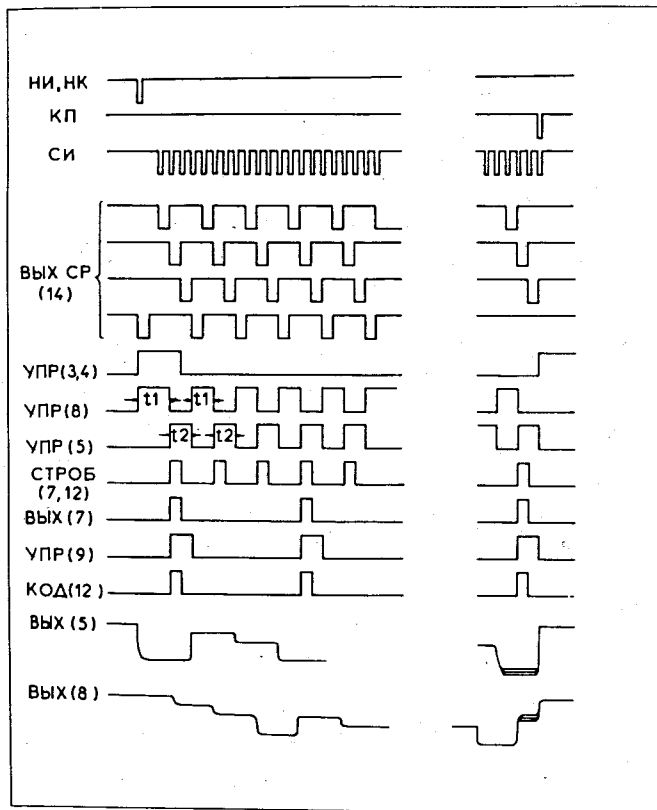


Рис.2. Временные диаграммы.

во входном переключателе /1//. В течение первого интервала t_1 устанавливающаяся амплитуда входного напряжения ($U_{ВХ}$) на выходе переключателя /1/, затем линейной схемы пропускания /3/ и схемы выборки и запоминания /5/ сравнивается компаратором /7/ с величиной $U_{\Pi} / 2$, где U_{Π} - предельное значение измеряемого напряжения. Напряжение $U_K = U_{\Pi} / 2$, получаемое от источника /6/, является одновременно опорным для компаратора и компенсирующим для схемы алгебраического суммирования /10/. Если $U_{ВХ} < U_K$, компаратор остается в состоянии "0", а переключатель /9/ - подключенным к общей шине "0". Если $U_{ВХ} \geq U_K$, компаратор

переходит в состояние "1", и переключатель /9/ подключает компенсирующее напряжение U_K к схеме /10/. При состоянии "1" компаратора по импульсу "Строб" срабатывает формирователь /12/, и импульс "1" кода передается через разделительный трансформатор /ТР 5/ на вход сдвигающего регистра /15/. В течение интервала t_1 вторая схема выборки и запоминания /8/ находится в режиме "Запоминание" /хранит в последующем цикле величину напряжения, установленную в предыдущем цикле/. В конце первого интервала t_1 схема /5/ переключается в режим "Запоминание", схема /3/ закрывается /с небольшой задержкой/, а вторая линейная схема пропускания /4/ открывается. Это состояние схем пропускания /3 и 4/ остается неизменным во всех последующих $N-1$ циклах. В течение интервала установления t_2 происходит алгебраическое сложение в схеме /10/ выходного напряжения схемы /5/ с $U=0$ или U_K /в зависимости от положения переключателя 9/, умножение результата сложения на 2, в схеме умножения /11/, и установление выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ схемы /8/ до заданной точности, так как эта схема переключена в состояние "Выборка", т.е.

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} \times 2, \quad \text{при } U_{ВХ} < U_{\Pi} / 2,$$

$$U_{ВЫХ} = (U_{ВХ} - U_{\Pi} / 2) \times 2, \quad \text{при } U_{\Pi} \geq U_{ВХ} \geq U_{\Pi} / 2. \quad /1/$$

В конце интервала t_2 схема /8/ переходит в режим "Запоминание". $U_{ВЫХ}$ является входным напряжением для схемы /5/ в начале следующего цикла преобразования. Очевидно, что выходное напряжение схемы /8/ находится в пределах $U_{\Pi} \geq U_{ВЫХ} \geq 0$. Обозначая коэффициент передачи всех схем в петле через K , можно записать зависимость выходного напряжения /8/ от $U_{ВХ}$ в последнем цикле / на интервале t_2 /:

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} \cdot K^N - U_K \cdot \sum_{n=1}^N K^{N-n+1}, \quad /2/$$

где n - номер цикла / $n=1, 2, \dots, N$ /.

Суммирование ведется только для тех n , для которых в коде величины на соответствующих позициях получена "1". При $U_K = U_{II} / 2$ и $K=2$ преобразователь вырабатывает последовательный двоичный код, и выражение $/2/$ принимает вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot 2^N - U_{\text{II}} \cdot \sum_{n=1}^N 2^{N-n} \quad /3/$$

причем $n=1$ соответствует старшему разряду двоичного числа. Для $U_{\text{ВХ}} = U_0$, где U_0 - величина входного напряжения, меньшего единицы дискретности, должен быть получен код 00...0, поэтому

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_0 \cdot 2^N \quad /4/$$

Величина U_0 может быть обусловлена напряжением смещения нулевого уровня, его температурным и временным дрейфом. Свойство схемы преобразователя усиливать смещение "нуля" в 2^N раз использовано для его коррекции. С этой целью введены входной переключатель $/1/$ и схема коррекции $/2/$. По сигналу НК выполняется подключение $/1/$ нулевой меры $/U_{\text{ВХ}} = 0/$, смещение U_0 усиливается в 2^{N-1} раз и подается из $/5/$ в схему коррекции $/2/$ для введения соответствующей поправки в схему пропускания $/3/$. Благодаря этому значительно повышена стабильность "нуля" преобразователя. Временные последовательности подключения и работы узлов измерительной схемы $/1-8, 12/$ заданы сигналами управления, вырабатываемыми в схеме $/14/$ сдвигающим регистром $/СР/$, на который подаются синхриимпульсы $/СИ/$ серии 1 МГц. Импульсы СИ, НП, НК и КП передаются в схему $/14/$, а импульсы мощности - в схему источника напряжения питания $/13/$, через разделительные трансформаторы $/ТР1-ТР4, ТР6/$ из внешних формирователей $/18-21, 16/$. АЦП имеет два измерительных входа $/ВХ1, ВХ2/$, которые тщательно изолированы друг от друга и подключаются к преобразователю через релейный коммутатор, управляемый схемой $/17/$. Контакты реле $/В1-В3/$ позволяют, например, подсоединять к АЦП одновременно 3-проводный релейный мультиплексор и однопроводный полупроводниковый /который имеет общую с системой "земляную" шину $/2/$ /.

Важнейшими узлами измерительной схемы АЦП являются:

1. Линейная схема пропускания.
2. Схема выборки и запоминания.
3. Компаратор.
4. Генератор стабильных токов.

Совмещенная схема первых двух узлов представлена на рис. 3. Линейная схема пропускания представляет собой операционный усилитель с двумя коммутируемыми входными дифференциальными каскадами /на транзисторах $T1, T2, T3$ и $T4/$. Во включенном состоянии может находиться один из этих каскадов. К входу $T3$ переключатель $/T19, T20/$ по сигналу управления $/УПР 1/$ подключает либо измеряемое напряжение, либо "нулевое" /для коррекции/. Транзисторы $T2$ и $T4$ вместе с транзистором $T13$ образуют каскодную схему с динамической нагрузкой /на транзисторе $T14/$. Такая схема имеет достаточное быстродействие и усиление порядка $5 \cdot 10^4$.

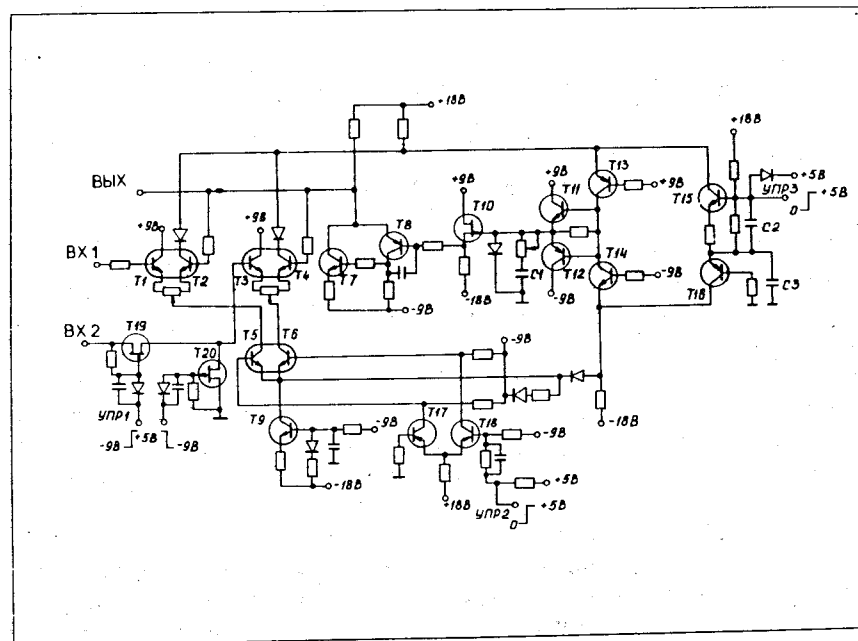


Рис.3. Линейная схема пропускания, выборки и запоминания.

Для обеспечения низкоомного выхода операционного усилителя включены истоковый повторитель /Т10/ и повторитель на транзисторах Т7, Т8. Емкость конденсатора С1 определяет низкочастотный полюс на частотной характеристике, обеспечивая устойчивую работу схемы операционного усилителя при 100% инвертирующей обратной связи. В режиме большого сигнала эмиттерные повторители /Т11, Т12/ позволяют зарядить емкость С1 до 99% выходного сигнала за время $\sim 0,2$ мкс. Таким образом, если по сигналу управления /УПР 2/ включен генератор тока /Т5/, на выход проходит сигнал, поступивший на вход 1, а если включен генератор тока /Т6/, на выход проходит сигнал, поступивший на вход 2. Погрешность "нуля" схемы $\leq 0,005\% U_{II}$, погрешность коэффициента передачи - 0,01%. Время установления выходного сигнала /с погрешностью $\leq 0,02\% U_{II}$ / не превышает, 2 мкс. Это время обращения АЦП к измеряемому сигналу определяет абсолютную погрешность датирования времени измерения.

Схема может работать в двух режимах: "Выборка" и "Запоминание". Управление этими режимами /УПР3/ осуществляется через транзисторы Т15, Т16, которые образуют "байпасную схему" для рабочего тока входного каскада и тока, протекающего через транзисторы Т13, Т14. Если транзисторы Т15, Т16 закрыты, схема работает в режиме "Выборка". Если транзисторы Т15, Т16 открыты, входной каскад на транзисторах Т6, Т3, Т4, а также транзисторы Т13, Т14 обесточиваются, и схема приходит в режим "Запоминание" / то есть на емкости С1 сохраняется напряжение, которое было в момент переключения из режима "Выборка" в режим "Запоминание"/. Паразитный заряд емкости С1, возникающий при переключении схемы из одного состояния в другое, можно компенсировать подбором емкостей С2, С3 так, что разность напряжений в момент переключения не превышает 0,1 мВ. Постоянная времени разряда емкости С1 в режиме "Запоминание" находится в пределах 300-400 с, поэтому погрешность за счет разряда емкости /при времени преобразования ~ 50 мкс/ пренебрежимо мала.

При единице дискретности преобразуемого напряжения 1 мВ требования к стабильности порога срабатывания компаратора являются достаточно жесткими. В связи с этим применена инвертирующая схема операционного усилителя /К1УТ531А/ с диодной обратной связью. Принципиальная схема компаратора изображена на рис. 4. Она включает операционный усилитель А1 с элементами коррекции. Резисторы R1, R3 и диоды Д1, Д2 образуют цепь обратной связи /для получения достаточного быстродействия применяются диоды типа КД514А с минимальной емкостью при напряжении, равном 0 В/. В указанной схеме при скачке 1 мВ задержка - 1 мкс. Для приведения выходного напряжения А1, которое равно $U_K \pm 0,4$ В, к уровням напряжения логических схем подключена схема усилителя А2 /типа 521СА1/.

Принципиальная схема генератора токов изображена на рис. 4. Компенсационный ток I_K подается /по сигналу УПР/ в схему суммирования /10/, чтобы уменьшить выходное напряжение этой схемы на величину $U_{II} / 2$.

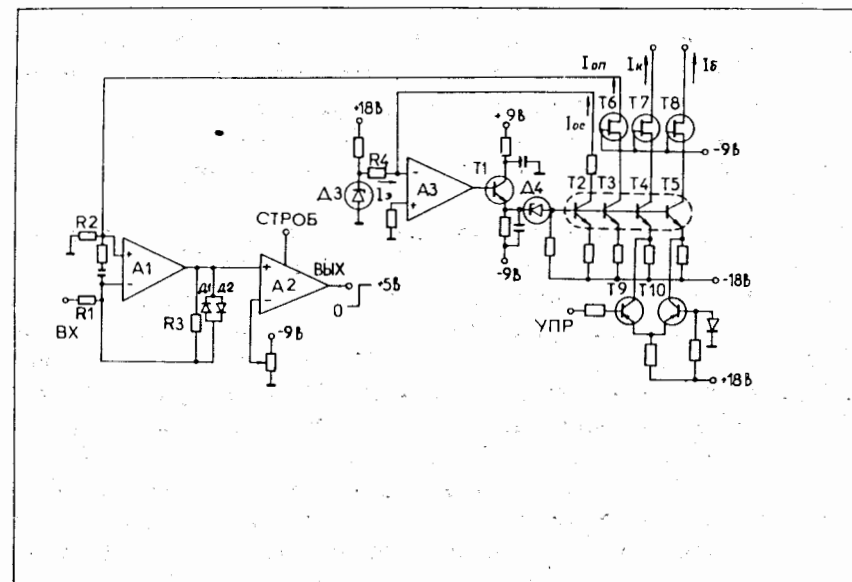


Рис.4. Компаратор и генератор токов.

Балластный ток I_G такой же величины подается в выходную цепь той же схемы, чтобы обеспечить постоянную нагрузку схемы. В цепь компаратора подается ток $I_{оп} = 4 \text{ мА}$ для создания на резисторе R2 опорного напряжения, равного $U_{II} / 2$. Поскольку погрешность задания токов $I_{оп}$ и I_K полностью входит в погрешность коэффициента преобразования, применена схема стабилизации токов на операционном усилителе АЗ. В этой схеме транзисторы T2÷T5 идентичны друг другу /выполнены на одном кристалле микросхемы К1НТ981/, и их температурный режим одинаков при одинаковых токах коллектора и рассеиваемой мощности. Поэтому транзистор T2 можно использовать в качестве датчика тока в цепи обратной связи (I_{OC}), сравниваемого с эталонным током (I_0). Как только возникает разность токов $I_0 - I_{OC}$, вследствие изменения параметров ($\beta, U_{БЭ}$) транзистора T2, выходное напряжение усилителя АЗ изменяется так, чтобы $I_0 - I_{OC} = 0$. Поскольку это напряжение является входным напряжением для транзисторов T2÷T5, то поддерживается равенство $I_{оп} = I_K = I_0 = I_{OC} = I_0$. Стабильность указанных токов, определяемая, в основном, стабильностью диода Д3 и резистора R4, получена ~ 0,001%. Транзисторы T6÷T8 включены для увеличения выходного сопротивления генератора токов.

Схема модуля АЦП изображена на рис. 5. Она состоит из рассмотренной выше измерительной схемы /12/ и схемы управления.

Измерительная схема выполняет аналого-цифровое преобразование одного из двух входных сигналов, поступающего в зависимости от положения коммутатора /10/. Управление коммутатором осуществляется схемой /29/ по сигналу "НУ" или "ВУ" статусного регистра /5/, а также по командам КАМАК магистрали F/26/ и F/24/ /названия сигналов НУ и ВУ связаны с использованием входа 1 для подключения мультиплексора МСНУ, а входа 2 - для МСВУ/. Для того, чтобы в момент переключения входов и во время преобразования не пришел сигнал запуска измерения из других модулей системы, предусмотрена генерация схемой /9/ сигнала блокировки /P1/. Измерительная схема /12/ вместе с коммутатором /10/ заключена в "плавающий" экран

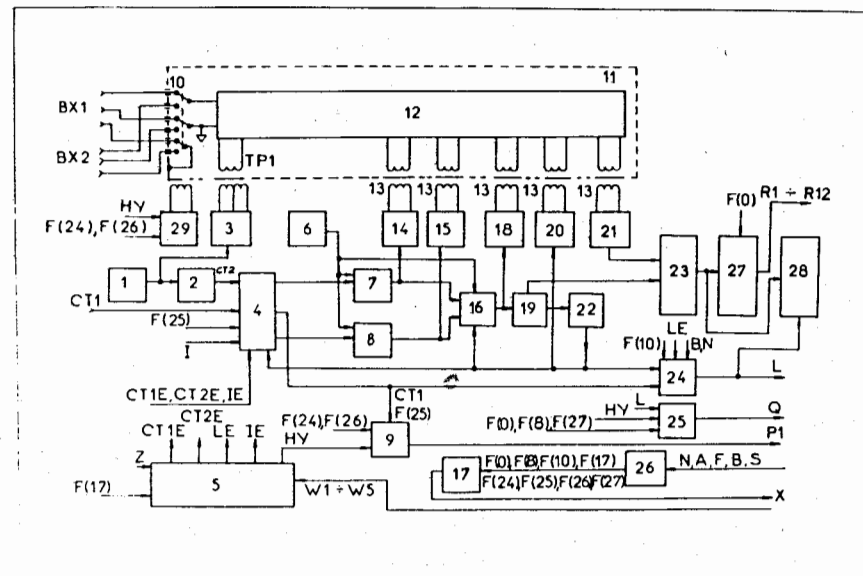


Рис.5. Схема модуля АЦП.

/11/. Связь с измерительной схемой осуществляется через разделительные импульсные трансформаторы /13/. Для того, чтобы получить высококачественное гальваническое разделение входов АЦП от "земли" системы, особое внимание уделено методу подачи питания измерительной схемы. Для уменьшения габаритов трансформатора питания /ТР 1/ и увеличения импеданса связи между вторичной и первичной обмотками через усилитель мощности /3/ подаются импульсы повышенной частоты /2,5 кГц/, получаемые от генератора /1/.

Схема управления обеспечивает последовательность преобразования измеряемого сигнала и нулевой меры /с целью коррекции/, регистрацию и индикацию результата преобразования, а также связь с магистралью КАМАК. Начало работы АЦП может быть задано по сигналу внешнего запуска "Старт 1", по команде F/25/ или от внутреннего сигнала "Старт 2", поступающего с делителя /2/ с частотой 250 Гц. Последний сигнал используется для запуска в АЦП в режиме "Коррекция".

Схема /4/ пропускает эти сигналы в зависимости от состояния регистра /5/. Запускающие сигналы /СТ 1 и СТ 2/ независимы и асинхронны, поэтому схема /4/ пропускает первый пришедший сигнал и запоминает второй, пришедший во время преобразования. Сразу же после окончания преобразования второй сигнал вызовет новый запуск АЦП. Выделенный сигнал проходит на схеме /7/ или /8/, где происходит синхронизация с импульсами /1 МГц/, получаемыми от генератора /6/. Если выделен сигнал СТ 1, в схеме /15/ формируется импульс "Начало измерения", а если выделен сигнал СТ 2, - в /14/ формируется импульс "Начало коррекции". Схема /16/ после поступления импульсов НИ или НК подает на формирователь /18/ серию синхроимпульсов /СИ/. Импульсы СИ поступают в схему выделения тактовых импульсов /19/, для сдвига числа в регистре /23/, и схему деления /22/, которая вырабатывает сигнал "Конец преобразования". Сигнал КП проходит через формирователь /20/ в измерительную схему, прекращая преобразование, закрывает схему /16/ и опрашивает запоминающие ячейки в схеме /4/. При этом в схеме /4/ определяется наличие сигнала запуска /СТ 1 или СТ 2/, пришедшего во время преобразования. КП вызывает установку в /24/ сигнала L при наличии разрешения /5/, причем сигнал L может устанавливаться только после окончания измерения входного сигнала. Кодовые импульсы с формирователя /21/ поступают на сдвигающий регистр /23/. После двенадцати сдвигов в этом регистре фиксируется 12-разрядное число, пропорциональное измеряемому сигналу. Сигнал L разрешает световую индикацию числа в схеме /28/, а также считывание /27/ в магистраль /R1 -12/ по команде F/O/.

В АЦП реализован следующий набор команд КАМАК:

- N · A(0) · F(0) - считывание регистра числа /ответ из /25/ Q=1, если L=1/;
- N · A(0) · F(8) - проверка запроса L (Q=L);
- N · A(0) · F(10) - сброс запроса L (Q=0);
- N · A(0) · F(17) - запись в статусный регистр / Q=0/;
- N · A(0) · F(24) - включение входа 2 / Q=0/;
- N · A(0) · F(25) - запуск преобразования / Q=0/;

- N · A(0) · F(26) - включение входа 1 / Q=0/;
- N · A(0) · F(27) - проверка включения входов / Q=1, если включен вход 2/.

При выполнении команд /26/ модуль /17/ формирует сигнал X.

Общие сигналы управления:

- I - блокировка запуска АЦП;
- Z - начальная установка статуса /СТ2Е, IЕ, НУ, СТ1Е, LЕ /, сброс L;
- PI - блокировка модулей системы на время работы АЦП.

Коды регистра статуса:

- W1 - коррекция разрешена/не разрешена (СТ2Е/СТ2Е);
- W2 - блокировка I. разрешена/не разрешена (IЕ/IЕ);
- W3 - включение входа 1 разрешено/не разрешено (НУ/НУ);
- W4 - измерение разрешено/не разрешено (СТ1Е/СТ1Е);
- W5 - запрос L разрешен/не разрешен (LЕ/LЕ).

Основные метрологические и конструктивные характеристики АЦП:

Число входов аналоговых сигналов	- 2 /вход 1 для сигнала МСНУ, вход 2 - для сигнала МСВУ/.
Время переключения входов	- 1 мс.
Время выборки входного сигнала	- 2 мкс.
Количество разрядов числа	- 12.
Время преобразования	- 48 мкс.
Пределы измеряемых сигналов /при единице дискретности - 1 мВ/	- /0,001-4,095/ В.
Интегральная нелинейность	- 0,02%.
Входное сопротивление /в момент подключения входа/	- $2 \cdot 10^6$ Ом.
Температурная стабильность коэф-фициента преобразования	- 0,002%/°С.
Температурное смещение нулевого уровня	- 10 мкВ/°С.
Подавление синфазного сигнала помехи /50 Гц/	- 100 дБ.

Частота следования импульсов
запуска
Ширина блока

- до 20 кГц.
- 2М или 3М
в "плавающем"
экране!

В заключение авторы приносят искреннюю благодарность С.И.Чубарову и Г.П.Жукову за участие в обсуждении ряда аспектов проделанной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев В.А. и др. Аналоговая подсистема для измерения статических и динамических параметров. ОИЯИ, 10-11926, Дубна, 1978.
2. Гуляев В.А., Замрий В.Н., Иванов В.С. Мультиплексоры аналоговых сигналов для модульных помехоустойчивых измерительных систем. ОИЯИ, 10-11927, Дубна, 1978.
3. "Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами", т. 1. Под редакцией Т.Харрисона, "Мир", М., 1975.
4. Kandiah K., Stirling A., Trotman D. "An Analogue-to-Digital Converter Employing Recycled Successive Approximations". IEEE Trans. on Nucl.Sci., October 1969.
5. Алещенков В.Б. и др. Измерительный модуль для исследования нестационарных процессов. "Автоматика и вычислительная техника", изд-во "Зинатне", Рига, 1975.
6. "Преобразование информации в аналого-цифровых вычислительных устройствах и системах". Под ред. Г.М.Петрова, "Машиностроение", М., 1973.
7. Островерхов В.В. "Динамические погрешности аналого-цифровых преобразователей", "Энергия", Л., 1975.
8. "Электронные методы ядерной физики". Под ред. Л.А.Маталина, "Атомиздат", М., 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 октября 1978 года.