

СЗУУ.39
Б-272

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



УЗ16 / 2-78

13 - 11680

С.Г.Басиладзе, П.К.Маньяков

12-РАЗРЯДНЫЙ

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

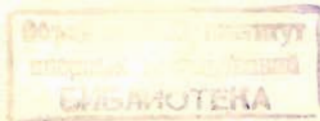
С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ВХОДОМ

1978

13 - 11680

С.Г.Басиладзе, П.К.Маньяков

12-РАЗРЯДНЫЙ
АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ВХОДОМ



Басиладзе С.Г., Маньяков П.К.

13 - 11680

12-разрядный аналого-цифровой преобразователь
с дифференциальным входом

Описан аналого-цифровой преобразователь на двенадцать разрядов, предназначенный для измерения постоянных и медленно меняющихся напряжений. Преобразователь построен по методу поразрядного кодирования с дифференциальным усилителем и устройством выборки и хранения. Диапазон измеряемых напряжений: ± 5 В, $\pm 0,5$ В, $\pm 0,05$ В, интегральная нелинейность - 0,025%, температурная нестабильность коэффициента преобразования $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ /°С, смещения нуля - 1 мкВ/°С. Блок выполнен в стандарте КАМАК. Устройство может быть применено для прецизионных измерений параметров электрофизических установок.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

© 1978 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Описываемый аналого-цифровой преобразователь предназначен для измерений постоянных или медленно меняющихся величин. Он построен по схеме^{1/} усилитель - устройство выборки и хранения - узел аналого-цифрового преобразования /рис. 1/ и реализован в стандарте КАМАК^{2/}.

Усилитель обеспечивает приведение сигналов от датчика к стандартному диапазону узла АЦП ± 5 В. Для подавления синфазных наводок нами выбран измерительный усилитель на основе трех операционных усилителей /ОУ, рис. 2/, имеющий дифференциальный вход^{3,4/}. Эта схема имеет большой коэффициент подавления синфазной помехи и большую величину произведения коэф-

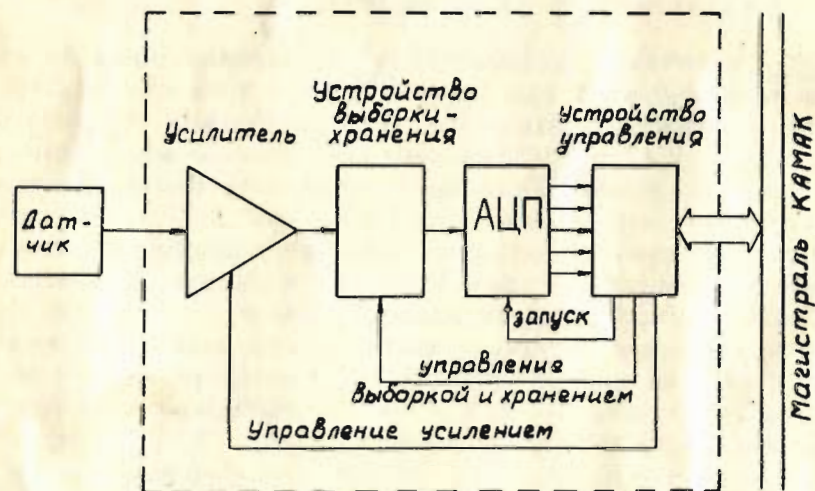


Рис. 1. Контрольно-измерительное устройство.

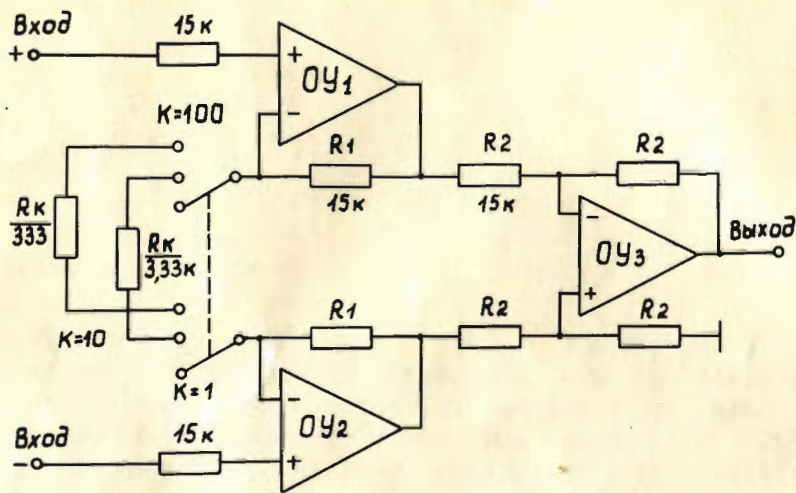


Рис. 2. Измерительный усилитель.

коэффициента усиления на верхнюю граничную частоту. Операционные усилители ОУ₁ и ОУ₂ обеспечивают необходимое усиление, а ОУ₃ работает как инвертирующий повторитель для разностного сигнала. Коэффициент усиления усилителя может меняться ступенями:

$$K = 1 + 2R_1/R_k; \quad K = 1, 10, 100.$$

Для увеличения коэффициента ослабления синфазного сигнала ОУ₃ резисторы R₂ подобраны с точностью 0,01%. Для достижения высокого быстродействия и малого дрейфа "нуля" ОУ₃ выполнен по двухканальной схеме: с широкополосным каналом и стабилизирующим каналом модуляции-демодуляции /М-ДМ/ - рис. 3^{5,6/}. Широкополосный канал образован дифференциальным усилителем У₁ с полевыми транзисторами на входе. Усилитель М-ДМ является интегральной схемой /5/ на МОП-транзисторах с индуцированным р-каналом. Он включает в себя балансный параллельно-последовательный модулятор /ключи S₁-S₄/, безрезисторный дифференциальный усилитель постоянного тока /У₂/, синхронный демодулятор (S₅) и генератор управления ключами (G). Частота генератора задается внешним конденсатором.

Модулированный сигнал усиливается усилителем переменного тока /У₂, У₃/. Уровень постоянной составляющей восстанавливается демодулятором (S₅). Демодулированный сигнал проходит через фильтр R₉C₆, на выходе которого образуется усиленный сигнал постоянного тока или тока низкой частоты, пропорциональный входному. Усилитель У₄ осуществляет суммирование сигналов параллельных каналов. Такое включение позволяет обеспечить дифференциальный вход операционного усилителя. Так как усиление на постоянном токе в канале М-ДМ заменяется бездрейфовым усилением на переменном токе, то дрейф всего усилителя определяется в основном изменениями нулевого уровня выходного напряжения модулятора.

Для уменьшения апертурного времени АЦП используется устройство выборки и хранения /УВХ, рис. 4/7/.

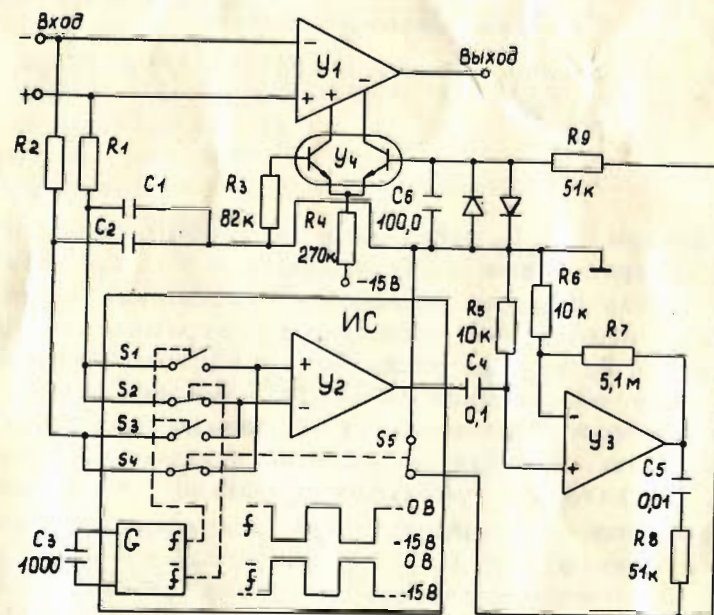


Рис. 3. Операционный усилитель со стабилизирующим каналом модуляции-демодуляции. У₁ - К140УД8, ИС - усилитель М-ДМ, У₃ - 140УД7, У₄ - К1НТ591.

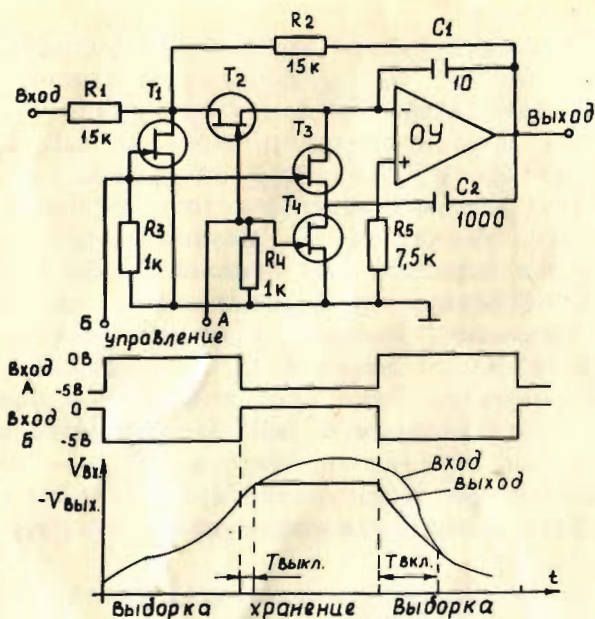


Рис. 4. Устройство выборки и хранения /УВХ/. Эпюры напряжений на УВХ. ОУ - К140УД8, $T_1 \div T_4$ - КП30ЗД.

Транзисторы $T_1 \div T_4$ работают в ключевом режиме. В режиме выборки ключи T_1, T_3 закрыты, а T_2, T_4 - открыты. При ступенчатом изменении напряжения на входе выходное напряжение усилителя ОУ стремится к уровню $-V_{ВХ} \cdot R_2/R_1$ по экспоненте с постоянной времени R_2C_1 . Для обеспечения точности измерения $\sim 0,025\%$ время выборки /включения/ УВХ должно быть не менее $8,5R_2C_1$ /рис. 4/. Для уменьшения динамической ошибки C_1 желательно уменьшать. Однако это приводит к увеличению погрешности при хранении информации / T_2, T_4 - закрыты, T_1, T_3 - открыты/ из-за разряда C_1 входным током усилителя и токами утечки ключей. Поэтому введен дополнительный конденсатор C_2 , который заряжается через малое выходное сопротивление усилителя, а в режиме хранения подключается параллельно C_1 . Ключ T_1 уменьшает влияние изменения входного

сигнала на выходное напряжение устройства при хранении информации.

В узле аналого-цифрового преобразования нами использован модуль 12-разрядного преобразователя ADC-12QZ фирмы "Analog Devices" /1,8/ с поразрядным кодированием на частоте 250 кГц /см. Приложение/.

ХАРАКТЕРИСТИКИ АЦП

Усилитель

Входное сопротивление	- не менее 100 МОм.
Напряжение смещения	- 30 мкВ
Дрейф напряжения смещения	- 0,5 мкВ/°С
Входной ток	- 0,3 нА.
Разность входных токов	- 0,1 нА.
Диапазон синфазных напряжений	- ± 5 В.
Коэффициент подавления синфазного сигнала /пост.ток/	- 90 дБ.
Коэффициент усиления	- 1, 10, 100.
Допустимое входное напряжение	- ± 10 В.
Полоса единичного усиления	- 1 МГц.
Скорость отслеживания сигнала	- 2 В/мкс.
Напряжение шумов /средне-квадратичное, во всей полосе/	- 50 мкВ.

Устройство выборки и хранения

Время включения /выборки/	- 5 мкс.
Время выключения /рис.4/	- 100 нс.
Диапазон входных напряжений	- ± 5 В.
Коэффициент передачи	- -1.
Спад напряжения в режиме хранения	- 100 мкВ/мс.
Входное сопротивление	- 15 кОм.

Узел АЦП

Число разрядов	- 12
Время преобразования	- 40 мкс
Диапазон входных напряжений	- ± 5 В
Входное сопротивление	- 5 ± 10 кОм

Общие характеристики

Запуск преобразователя	- импульс ТТЛ ≥ 100 нс
Частота выборок	- до 20 кГц
Интегральная нелинейность	- 0,025%
Разрешение	- 1/4096.
Дрейф коэффициента преобразования	- $30 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Дрейф смещения нуля ($K=100$)	- 1 мкВ/ $^{\circ}\text{C}$

Функции КАМАК

NF(0)A(0)	- чтение, $Q=1$, $X=1$, если был запуск АЦП, иначе $Q=0$, $X=1$; на шины $R_1 - R_{12}$ выдается слово с регистра памяти АЦП в двоичном дополнительном коде, R_{12} - знаковый разряд.
NF(8)A(0)	- проверка запроса; если $L=1$, то $Q=1$, $X=1$; если $L=0$, то $Q=0$, $X=1$.
NF(10)A(0)	- сброс триггера запроса, $Q=0$, $X=1$.
NF(25)A(0)	- запуск АЦП, $Q=1$, $X=1$.
Потребляемые токи:	+24 В - 0,06 А; -24 В - 0,08 А; + 6 В - 0,4 А.

Преобразователь смонтирован в блоке КАМАК единичной ширины.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Принципиальная схема модуля АЦП ADC-12QZ приведена на рис. 5^{8/}Он состоит из следующих основных частей: сдвигающего регистра RG на $n+1$ разряд ($n=12$), регистра памяти Trn-Trо, цифро-аналогового преобразователя /ЦАП/, компаратора /СС/. Работой модуля управляет генератор тактовых импульсов /ГТИ/.

Цифро-аналоговый преобразователь состоит из тонкопленочной резистивной матрицы $R_1 - R_{21}$ с относительным температурным коэффициентом $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ и интегральных транзисторных сборок, образующих три одинаковые группы переключателей весовых токов по четыре переключателя в каждой. В группе коллекторные токи делятся в отношении 1:2:4:8. Токи групп I_1 , I_2 , I_3 суммируются на делителе $R_{14} - R_{18}$. На выходе ЦАП ток I_0 при нулевом потенциале на входе компаратора равен

$$I_0 = I_1 + 1/16 I_2 + 1/256 I_3 .$$

Для обеспечения равенства напряжений на переходах база-эмиттер (V_{BE}) плотность тока через эмиттерные переходы должна быть одинаковой во всех транзисторах сборки, поэтому площади эмиттерных переходов сформированы в определенной пропорции. Интегральное исполнение сборки обеспечивает разбаланс коэффициентов усиления тока β в транзисторах не более $\pm 5\%$. Опорный источник тока на транзисторе T_5 включен в цепь обратной связи операционного усилителя ОУ и компенсирует изменения с температурой V_{BE} и β во всех транзисторах опорных источников тока.

Для сравнения амплитуды входного сигнала с амплитудой сигнала ЦАП применен компаратор тока. Назначение логической части АЦП состоит в том, чтобы включить разряды ЦАП так, чтобы $I_{BX} = I_0$. Фактически равенство никогда не достигается из-за дискретности I_0 , поэтому всегда имеется неопределенность на выходе $\pm 0,5$ младшего разряда.

Преобразователь напряжения в код начинает преобразование при поступлении импульса запуска. При

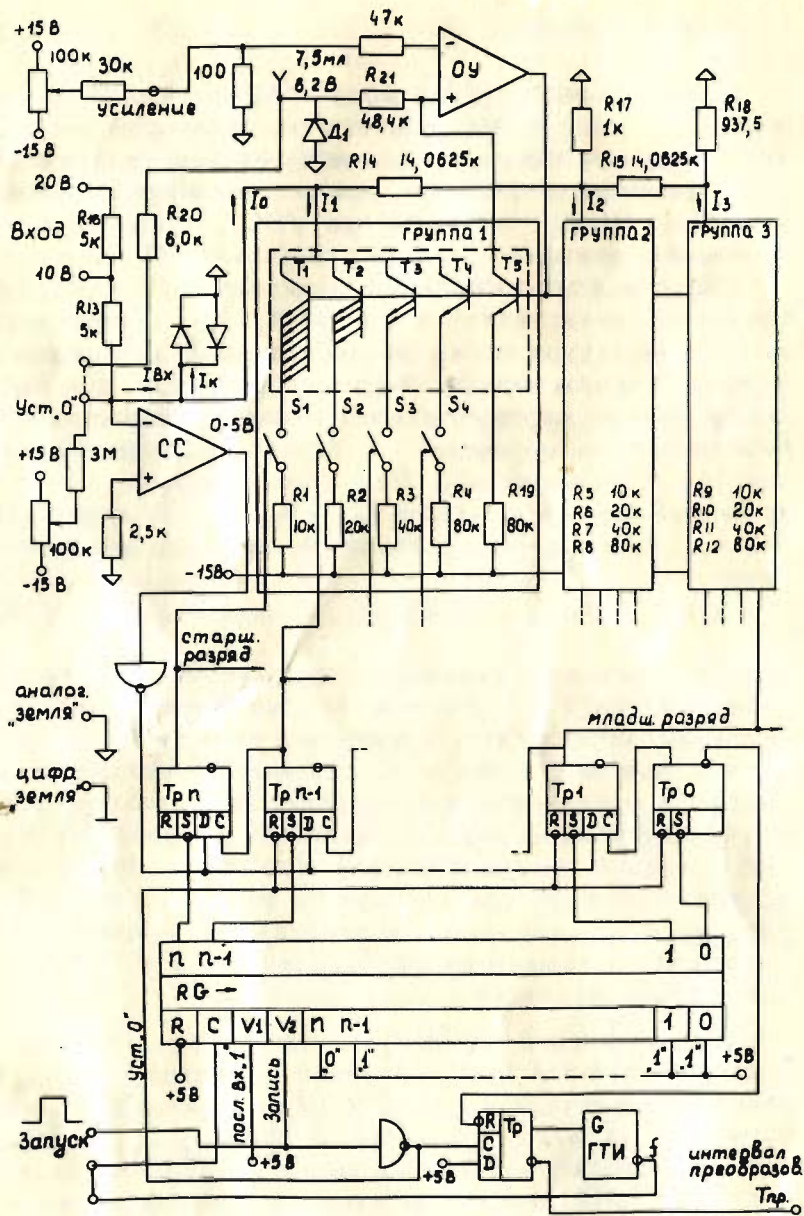


Рис. 5. Принципиальная схема АЦП.

этом в сдвигающий регистр РГ записывается число 011...1, регистр памяти сбрасывается, а в триггер старшего разряда Трп заносится "1". В результате этого замыкается ключ S₁ старшего двоичного разряда ЦАП и компаратор сравнивает два тока, I_{ВХ} и I₀. Если I₀ > I_{ВХ}, то на выходе компаратора будет "1", а на Д-входы регистра памяти поступит "0". Первый тактовый импульс генератора /ГТИ/ сдвигает "0" в n-1-й разряд РГ, а в старший разряд заносит "1" /101...1/, и триггер Тр n-1 устанавливается в единичное состояние. Выход Тр n-1 соединен с входом синхронизации триггера Тр n. Таким образом, триггер Тр n окончательно сбросится на "ноль" или останется в единичном состоянии в зависимости от потенциала на Д-входе. Триг-

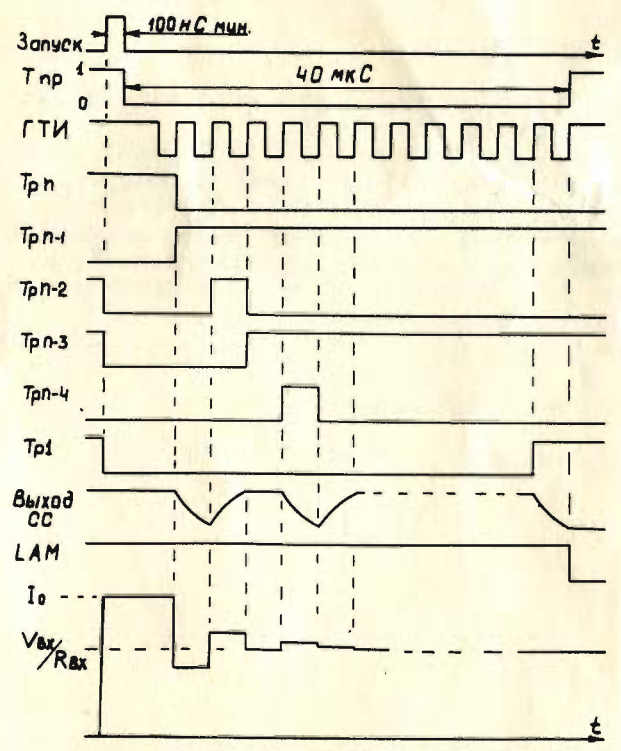


Рис. 6. Временные диаграммы АЦП.

гер Трп-1 замыкает ключ S_2 , и операция сравнения токов повторяется. Преобразование заканчивается через n периодов тактовой частоты, и на выходе АЦП появится цифровой код. Для измерения и положительных, и отрицательных напряжений на вход компаратора подается дополнительный ток через резистор R_{20} . Рис. 6 иллюстрирует работу преобразователя. Ток входного сигнала $V_{ВХ}$ сравнивается на каждом такте генератора с током ЦАП; показаны состояния триггеров памяти на всех этапах преобразования.

В заключение авторы выражают благодарность М.А.Ожогину за образцы М-ДМ усилителей и консультации, В.И.Какуриной и Т.А.Пляшкевич за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sheingold D.H. *Analog-Digital Conversion Handbook. Analog Devices, Inc., 1976.*
2. *Report of ESONE Cimmittee, EUR 4100, 1972.*
3. Силаев Е.А. ОИЯИ, Р13-10095, Дубна, 1976.
4. Силаев Е.А. ОИЯИ, Р13-10956, Дубна, 1977.
5. Степаненко И.П. и др. Интегральные усилители постоянного тока на МДП транзисторах, Тезисы доклада на VII Всесоюзной научно-технической конференции по микроэлектронике, Львов, 1975.
6. Судьин С.Л., Тимофеев В.Т. ПТЭ, 1977, №1, с. 146-148.
7. Грэм Д., Тоби Д., Хьюлеман Л. Проектирование и применение операционных усилителей. "Мир", М., 1974.
8. *Analog Devices Inc., Product Guide, 1973.*

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июня 1978 года.