

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Севастопольский государственный университет»

**Исследования способов построения
и особенностей функционирования
аналого-цифровых преобразователей**

Методические указания

к выполнению лабораторной работы

для студентов, обучающихся по направлению

09.03.02 “Информационные системы и технологии”

дневной и заочной формы обучения

Севастополь 2019

Исследования способов построения и особенностей функционирования аналого-цифровых преобразователей. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Технические средства информационных систем"/ Сост. В.С. Чернега — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2019 — 10 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине "Технические средства информационных систем". Целью методических указаний является помощь студентом в изучении принципов и способов преобразования непрерывных сигналов в цифровые. Излагаются теоретические и практические сведения необходимые для выполнения лабораторной работы, программа исследований, требования к содержанию отчета.

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры информационных систем (протокол № 1 от 30 августа 2019 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевГУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Кротов К.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ИС

Лабораторная работа

Исследования способов построения и особенностей функционирования аналого-цифровых преобразователей

1. Цель работы

Изучение принципов преобразования аналоговых процессов в цифровые и особенностей схемной реализации аналого-цифровых преобразователей (АЦП), исследование зависимостей, приобретение практических навыков моделирования АЦП и измерения параметров сигналов в характерных точках АЦП.

2. Основные теоретические положения

К одному из важнейших и широко используемых аппаратных инструментальных средств информационных систем относятся аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Аналого-цифровые преобразователи представляют собой устройства, предназначенные для преобразования электрических величин (напряжения, тока, мощности, сопротивления, емкости и др.) в цифровой код. Наиболее часто входной величиной является напряжение. Все другие величины перед подачей на АЦП необходимо преобразовать в напряжение.

В общем случае напряжение характеризуется мгновенным значением $U(t)$ или средним за выбранным промежутком времени T значением:

$$U_{\text{ср}} = U = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$$

В связи с этим все типы АЦП можно разделить на две группы: АЦП мгновенных значений напряжения и АЦП средних значений.

Выходной величиной АЦП является цифровой код, т.е. последовательность цифр, с помощью которой представляются дискретные квантовые величины. В АЦП используют четыре основных типа кодов: натуральный двоичный, десятичный, двоично-десятичный и код Грея.

В процессе преобразования напряжения в цифровой код осуществляются три независимые операции:

- дискретизация;
- квантование;
- кодирование.

Эти операции детально рассмотрены в [7.1, 7.2].

Основными параметрами АЦП являются шаг квантования, разрядность АЦП, разрешающая способность, погрешность преобразования, быстродействие (время преобразования), отношение сигнал/шум.

Шаг квантования h — разность между двумя соседними значениями квантованной величины. Определяется по формуле:

$$h = U_{\text{вх.макс}} / (2^N - 1),$$

где $U_{\text{вх.макс}}$ — максимальное входное напряжение АЦП (напряжение полной шкалы), соответствующее максимальному значению выходного кода, N — разрядность АЦП. В стандартных АЦП максимальное входное напряжение обычно равно 5 В. Если напряжение источника сигналов превышает эту величину, то применяют входной делитель, выполненный на прецизионных резисторах.

Разрядность АЦП. Для наиболее распространенных двоичных АЦП число разрядов равно двоичному логарифму максимального числа возможных кодовых комбинаций на выходе АЦП.

Разрешающая способность — величина, обратная максимальному числу кодовых комбинаций на выходе АЦП. Чем больше разрядность преобразователя, тем выше его разрешающая способность. Разрешающая способность выражается в процентах, разрядах или децибелах и характеризует потенциальные возможности АЦП с точки зрения достижимой точности. Например, 12-разрядный АЦП имеет разрешающую способность $1/4096$, или $0,0245\%$ от полной шкалы, или минус 72,2 дБ.

Погрешность квантования Δ_k — методическая погрешность, вызванная конечным значением шага квантования h , максимальное значение которой $\Delta_k = \pm 0,5 h$, а среднеквадратическое отклонение $\sigma_k \approx 0,3 h$.

Время преобразования $t_{\text{пр}}$ — это время, отсчитываемое от начала импульса дискретизации или начала преобразования до появления на выходе устойчивого кода, соответствующего данной выборке.

Погрешность смещения нуля — значение $U_{\text{вх}}$, при котором выходной код АЦП равен нулю.

Отношение "сигнал/шум" — это отношение среднеквадратического значения величины входного сигнала к среднеквадратическому значению величины шума, выраженное в децибелах:

Характеристика преобразования АЦП, представляющая собой зависимость между напряжением на его аналоговом входе и множеством возможных значений выходного кода. Характеристика может быть задана в виде таблицы, графика или формулы.

2.1. Принципы построения АЦП

АЦП мгновенных значений подразделяют на следующие основные виды: последовательного счета, последовательного приближения, параллельные, параллельно-последовательные и с промежуточным преобразованием в интервал времени. Структурная схема АЦП последовательного счета (рис. 2.1) содержит компаратор, при помощи которого выполняется сравнение входного напряжения с напряжением обратной связи. На прямой вход компаратора поступает входной сигнал $U_{\text{вх}}$, а на инвертирующий — напряжение обратной связи. Работа преобразователя начинается с приходом импульса «ПУСК» от схемы

управления, который замыкает ключ S . Через замкнутый ключ S импульсы U_1 от генератора тактовых импульсов поступают на счетчик, выходы которого соединены со входами цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). В результате последовательного увеличения выходного кода счетчика N происходит последовательно-ступенчатое увеличение выходного напряжения U_5 ЦАП.

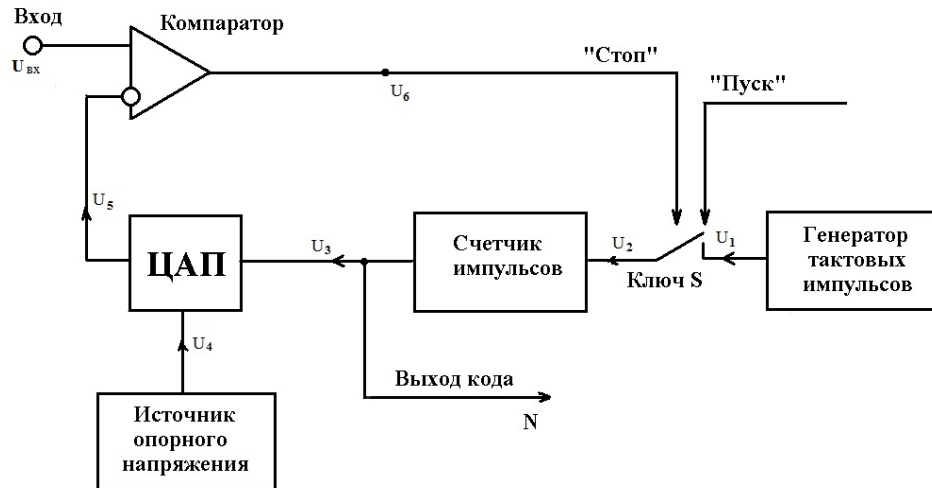


Рисунок 2.1 - Структурная схема АЦП последовательного счета

Когда выходное напряжение ЦАП сравнивается со входным напряжением, произойдет переключение компаратора, и по его выходному сигналу «СТОП» разомкнется ключ S . В результате импульсы от генератора перестанут поступать на вход счетчика. Выходной код, соответствующий равенству $U_{вх} = U_s$, снимается с выходного регистра счетчика.

При числе двоичных разрядов счетчика, равном n и периоде следования счётных импульсов T максимальное время преобразования можно определить по формуле

$$T_{пр} = (2^n - 1)T.$$

Уравнение преобразования АЦП последовательного счета можно записать в виде

$$K\Delta U = U_{вх},$$

где $0 \leq K \leq n$ – число ступеней до момента сравнения;

ΔU – шаг квантования.

Структурная схема АЦП последовательного приближения (рисунке 2.2а) отличается от структурной схемы последовательного счета тем, что вместо счетчика импульсов включен регистр последовательных приближений (РПП). В основе РПП лежит принцип дихотомии, т.е. последовательного сравнения преобразуемого напряжения $U_{вх}$ с соответствующими долями возможного максимального его значения U_m : $1/2$, $1/4$, $1/8$ и т.д. Это позволяет для n -разрядного АЦП выполнить весь процесс преобразования за n последовательных шагов

(итераций) вместо (2^{n-1}) при использовании последовательного счета и получить существенный выигрыш по быстродействию.

АЦП функционирует следующим образом. На каждом шаге производится определение одного разряда, начиная со старшего. При первом сравнении определяется, больше или меньше напряжение $U_{вх}$ чем $U_m/2$. На следующем шаге определяется, в какой четверти диапазона находится $U_{вх}$. Каждый последующий шаг сужает область возможного результата. При каждом сравнении компаратор формирует импульсы, соответствующие состоянию «больше - меньше» (1 или 0), управляющие регистром последовательных приближений. График процесса последовательного приближения приведен на рисунке 2.2,б.

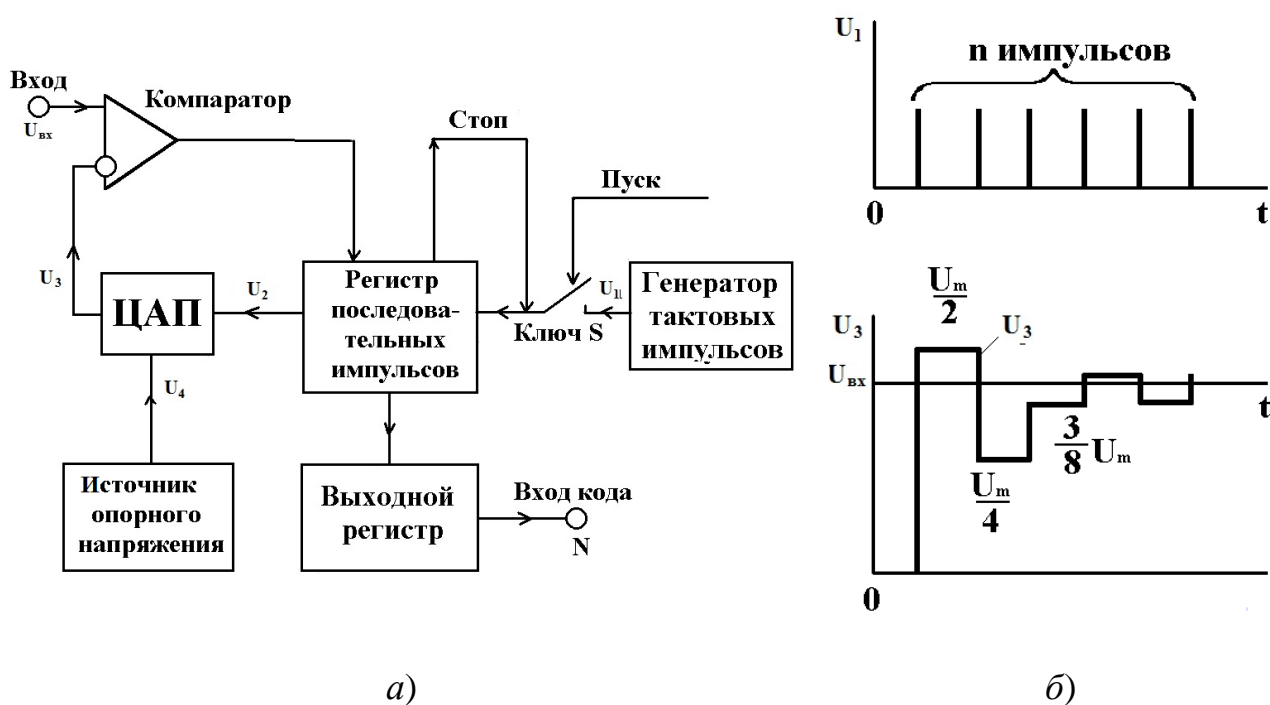


Рисунок 2.2 – Структурная схема АЦП последовательного приближения

Таким образом, АЦП последовательного приближения требуется один внутренний такт преобразования для каждого разряда, или N тактов для N -разрядного преобразования. Этот тип преобразователей применяется когда необходимо разрешение 12, 14 или 16 разрядов и не требуется высокая скорость преобразования, а определяющими факторами являются невысокая цена и низкое энергопотребление. Такие АЦП чаще всего используется в разнообразных измерительных приборах и в системах сбора данных.

Структурная схема параллельного АЦП показана на рисунке 2.3. В параллельном преобразователе используется массив компараторов, каждый из которых сравнивает входное напряжение с индивидуальным опорным напряжением. Такое опорное напряжение для каждого компаратора формируется на встроенном прецизионном резистивном делителе. Значения опорных напряжений начинаются со значения, равного половине младшего значащего разряда, и увеличиваются при переходе к каждому следующему компаратору с шагом,

равным $U_{оп} / 2^N$. В результате для 3-х разрядного АЦП требуется $2^3 - 1$ или семь компараторов. А для 8-разрядного параллельного АЦП нужно уже 255 компараторов.

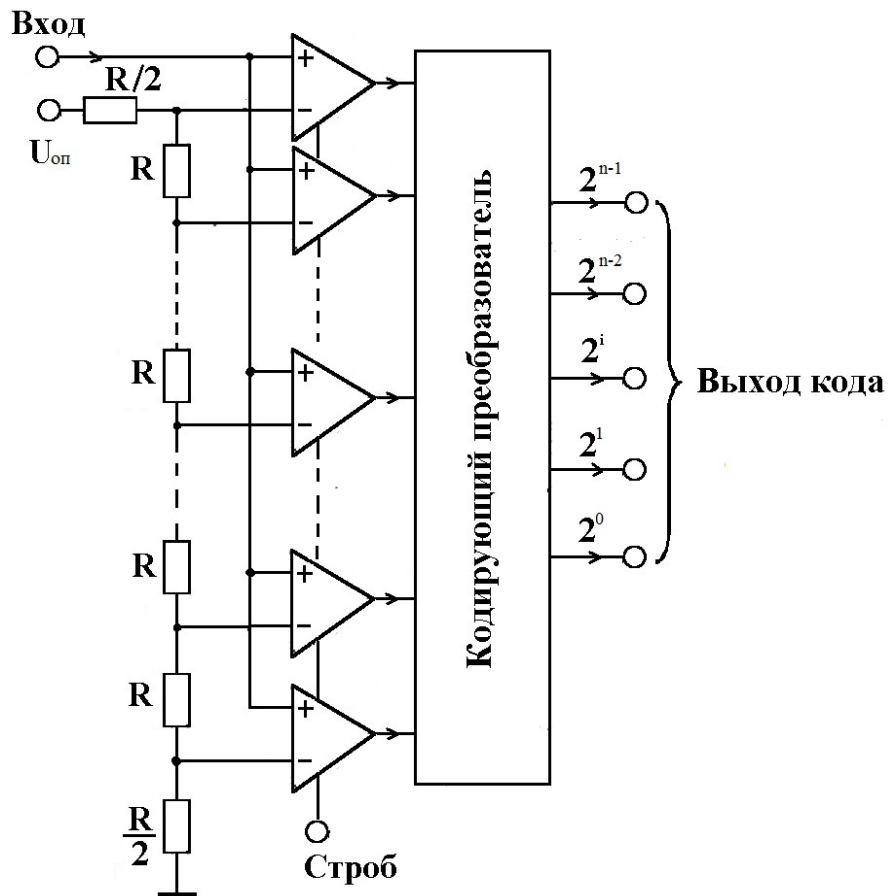


Рисунок 2.3 — Структурная схема параллельного АЦП

На выходах компараторов формируется квантованный сигнал, представленный в унитарном коде. Для преобразования унитарного кода в двоичный или двоично-десятичный используется кодирующий преобразователь. При работе в двоичном коде все резисторы имеют одинаковые сопротивления R . Время преобразования такого преобразователя составляет один такт, т.е. $T_{пр} = T$.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из персонального компьютера с установленной программой Proteus, в рабочем окне которой создается схема АЦП последовательного счета, изображенная на рисунке 3.1.

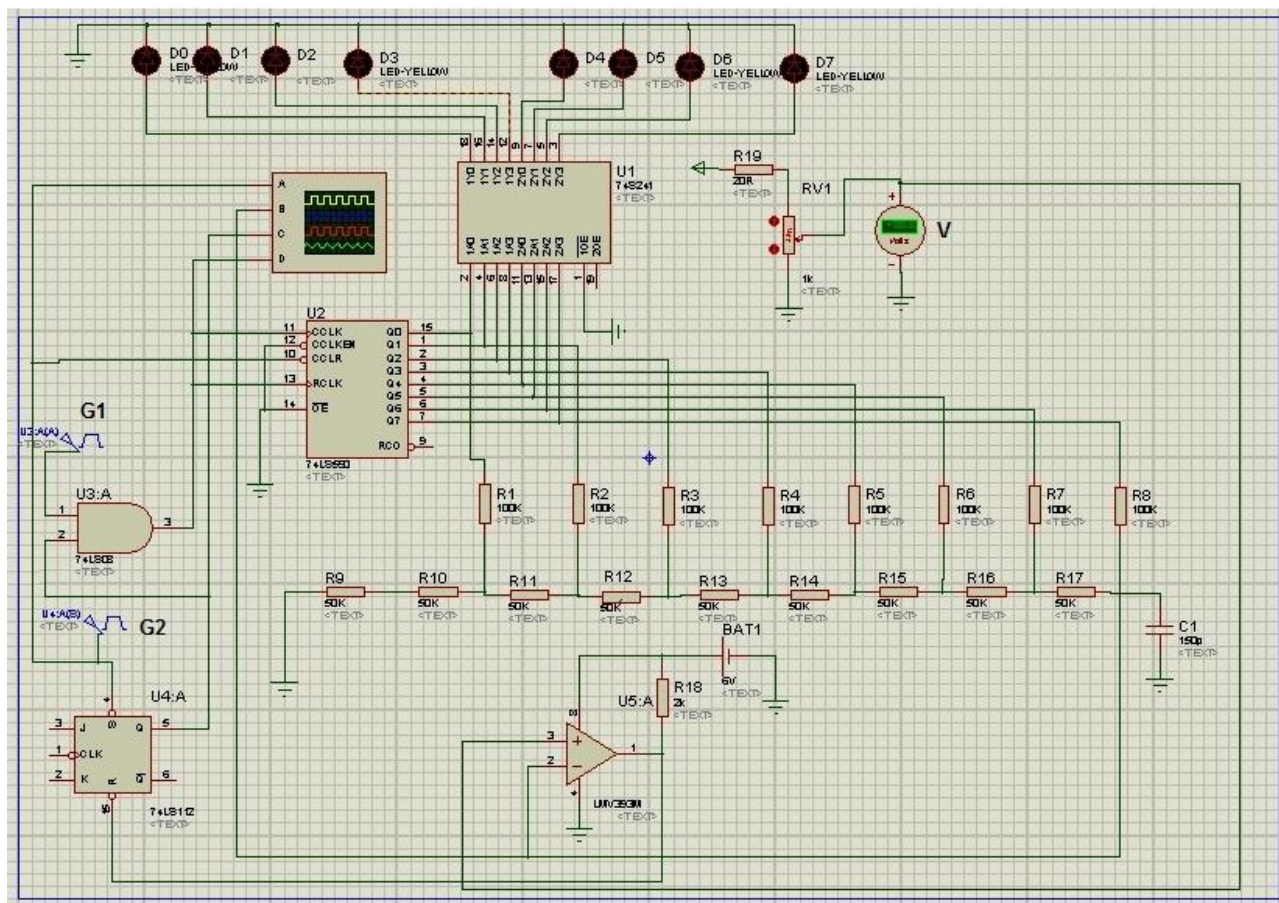


Рисунок 3.1 – Схема аналого-цифрового преобразователя

В качестве генератора тактовых (счетных) импульсов аналого-цифрового преобразователя используется генератор виртуальный G1, а в качестве генератора импульсов запуска АЦП – G2. При задании параметров генератора G1 амплитуду импульсов следует устанавливать 3-4 В, частоту 80-100 кГц, ширину импульса 50%. А при задании параметров генератора G2 амплитуду импульсов следует устанавливать 3-4 В, частоту 50 Гц, ширину импульса 99%.

Функцию ключа выполняет логическая схема И (микросхема 74LS08). Управление открыванием и закрыванием ключа осуществляется универсальным JK-триггером, используемым в режиме RS-триггера (микросхема 74LS112). В качестве счетчика используется микросхема 74LS590, а для усиления выходных сигналов счетчика и управления светодиодами применяется буферный усилитель типа 74LS241. Сравнение входного напряжения и напряжения с выхода ЦАП выполняет компаратор типа LMV393.

Напряжение на входе АЦП измеряется виртуальным вольтметром V. Входное напряжение, подлежащее преобразованию, поступает с делителя, образованного резистором R19 и потенциометром RV1 типа POT-HG. Для отображения двоичного кода преобразователя используются светодиоды D0-D7.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) построен на основе прецизионных резисторов по схеме R-2R. Величина R равна 50 кОм. В данной схеме, с целью упрощения, резистивный делитель ЦАП подключен не к опорному напряжению, а к выходам счетчика импульсов, что несколько снижает точность преобразования.

Осциллограммы в характерных точках схемы можно снимать с помощью четырехканального виртуального осциллографа. В процессе проведения лабораторных исследований можно подключать входы осциллографа к любым точкам преобразователя. При необходимости можно активизировать второй виртуальный осциллограф, вольтметр или любой другой виртуальный измерительный прибор.

4. Программа лабораторных исследований

- 4.1. Изучить способы цифрового преобразования аналоговых величин в цифровые эквиваленты и особенности схемной реализации АЦП различных типов.
- 4.2. Ознакомиться со схемой АЦП лабораторного стенда и записать в отчет по работе назначение каждого элемента преобразователя.
- 4.3. Запустить программу Proteus и создать в рабочем окне схему исследуемого АЦП.
- 4.4. Проверить функционирование АЦП при различных значениях входного напряжения и зарисовать осциллограммы в характерных точках преобразователя.
- 4.5. Измерить смещение нуля АЦП и величину шага квантования.
- 4.6. Снять статическую характеристику преобразователя при изменении входного напряжения от 0 до максимального.
- 4.7. Рассчитать, какая допускается максимальная частота запуска преобразователя при частоте генератора счетных импульсов равной 100 кГц.

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Структурная схема тестируемого компьютера.
- 5.3. Результаты измерений параметров и конфигурации.
- 5.4. Выводы по результатам исследований.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. В чем состоит принцип дискретизации непрерывных сигналов и как выбирается частота дискретизации?
- 6.2. Расскажите об основных параметрах аналого-цифровых преобразователях.
- 6.3. Поясните устройство цифроаналогового преобразователя (ЦАП).
- 6.4. Поясните на схемах функционирование преобразователей последовательного счета, с поразрядным уравниванием, параллельного типа и преобразователей на основе двухтактного интегрирования.
- 6.5. Расскажите о назначении каждого из элементов АЦП, используемого в лабораторном стенде, и как изменятся параметры преобразователя при увеличении разрядности двоичного счетчика, увеличении или уменьшении частоты тактовых импульсов.
- 6.6. Начертите полную схему параллельного четырехразрядного АЦП. Какие изменения должны быть внесены в схему, если разрядность преобразователя увеличить до восьми?
- 6.7. Как изменятся параметры АЦП последовательного приближения при увеличении его разрядности?
- 6.8. Как изменяется соотношение сигнал/шум при увеличении разрядности преобразователя?
- 6.9. С какой целью вывод ИОЕ (1) соединен с «сигнальной землей»?
- 6.10. С какой целью на выходе ЦАП подключен конденсатор?

7. Список рекомендованной литературы

- 7.1. Чернега В.С. Инструментальные средства информационных систем. Конспект лекций / В.С. Чернега. – Севастополь: СевГУ, 2020. - 104 с.
- 7.2. Виды аналого-цифровых преобразователей и их особенности. Электрон. текстовые данные. Режим доступа: <http://solo-project.com/print/3019/>
- 7.3. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Уолт Кестер. – М.: Изд-во Техносфера, 2007. – 1016 с.