

Министерство образования и науки Российской Федерации
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Инфокоммуникационных технологий»

Заведующий кафедрой

_____ Даровских С. Н.

« _____ » _____ 2017 г.

**Модуль аналого-цифрового преобразователя последовательного
приближения для лабораторного комплекса на базе микроконтроллера
семейства MCS-51**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ

ЮУрГУ - Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ

Руководитель проекта

Николаев А.Н. _____

« _____ » _____ 2017 г.

Автор проекта

студент группы КЭ-438

Следнев И.С. _____

« _____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролер

Спицына В.Д. _____

« _____ » _____ 2017 г.

Челябинск
2017

					<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>2</i>

АННОТАЦИЯ

Следнев И.С. Модуль аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения для лабораторного комплекса на базе микроконтроллера семейства MCS-51 - Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2017, 54 с. - Библиографический список – 12 наименований, 2 листа чертежей ф. А1, 2 листа чертежей ф. А2, 4 приложения, 15 листов приложений

Данная работа посвящена разработке модуля аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения, который предназначен для проведения лабораторных работ по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры». Подробно описаны этапы разработки данного модуля. В дополнение была изготовлена схема светодиодной индикации. Проведены испытания изготовленного образца. Также разработано задание для проведения лабораторной работы.

					<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>						
<i>Разр.</i>	<i>Следнев И.С.</i>				<i>Модуль аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения для лабораторного комплекса на базе микроконтроллера семейства MCS-51</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Николаев А. Н.</i>							Д	3	54
<i>Н. Контр.</i>	<i>Спицына В.Д.</i>				<i>ЮУрГУ, Кафедра ИКУ</i>			<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>		<i>Лист</i>
<i>Утв.</i>	<i>Лист</i>	<i>Даринский Н.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>						3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Подготовка к разработке АЦП.....	6
1.1 Общие сведения.....	6
1.2 Типы аналого-цифровых преобразователей.....	8
1.3 Принцип работы АЦП последовательного приближения	10
2 Выбор элементной базы	13
3 Описание лабораторного макета	16
4 Разработка текста программы.....	18
5 Разработка электрических схем.....	24
5.1 Разработка схемы модуля АЦП	24
5.2 Разработка схемы светодиодной индикации.....	28
6 Разработка топологии печатных плат	29
7 Оценка работы изготовленного образца.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	41
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Основные характеристики микросхем.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Методические указания по проведению лабораторной работы.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Модуль АЦП. Перечень элементов	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Светодиодная индикация. Перечень элементов	57

										Лист
										4
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ					

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обработка и хранение информации осуществляются преимущественно в цифровой форме. Но чтобы получить информацию в таком виде, необходимо исходный аналоговый сигнал преобразовать по некоторому алгоритму. Устройства, которые выполняют данное преобразование, называются аналого-цифровыми преобразователями (АЦП).

Данная работа посвящена разработке АЦП последовательного приближения. Это устройство будет использоваться как модуль для проведения лабораторных работ по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры».

С помощью схемы светодиодной индикации можно наглядно увидеть результат преобразования. Данная лабораторная работа позволит студентам наиболее точно понять, как работают АЦП данного типа.

					<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 Подготовка к разработке АЦП

1.1 Общие сведения

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – электронное устройство, преобразующее аналоговый (непрерывный) сигнал в цифровой двоичный код. Под словом «сигнал» может пониматься любая физическая величина. Далее будем считать, что сигналом является напряжение. Если АЦП представить в виде «чёрного ящика», то выглядеть он будет так, как показано на рисунке 1.

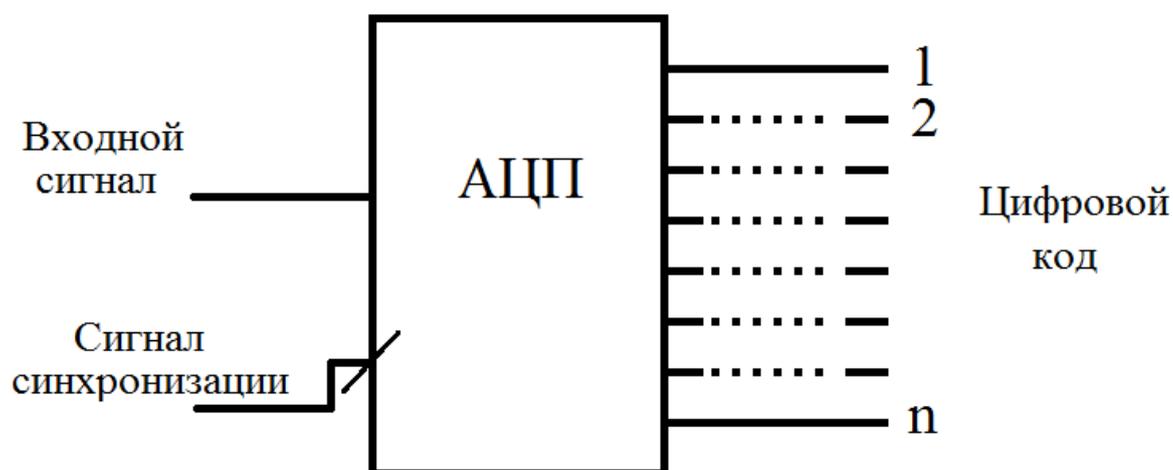


Рисунок 1 – Аналого-цифровой преобразователь

Устройство работает следующим образом. На его вход подаётся аналоговый сигнал. Данный сигнал находится в определённом диапазоне напряжений. АЦП измеряет мгновенные значения напряжения входного сигнала только в определённые моменты времени, т. е. временная ось разбивается на части. Этот процесс называется **дискретизацией**, а мгновенные значения напряжения называются **отсчётами**. Дискретизация осуществляется с периодом T – **периодом дискретизации**. Полученный сигнал является дискретным. Дискретизация показана на рисунке 2.

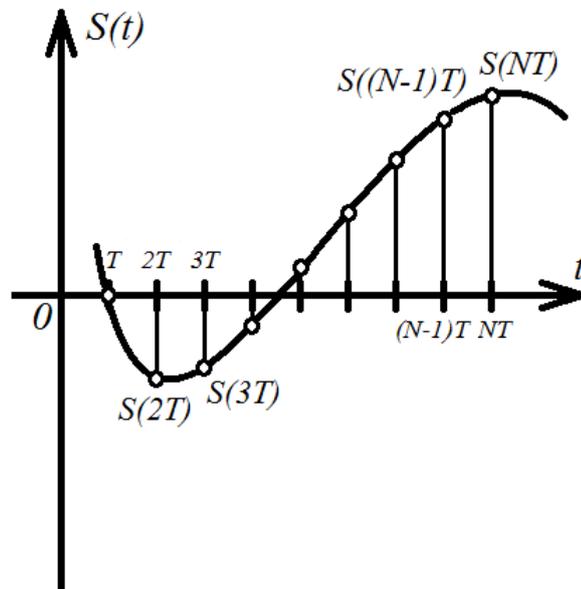


Рисунок 2 – Дискретизация аналогового сигнала

Выход АЦП имеет n контактов. Число n называется **разрядностью аналого-цифрового преобразователя**. На выходе каждого контакта может быть всего лишь два значения – логический 0 или логическая 1. Отсюда следует, что на выходе АЦП может быть 2^n различных кодовых комбинаций.

Отсчёт преобразуется в цифровой код следующим образом. Диапазон напряжений входного сигнала делится на $2^n - 1$ равных частей. Каждая такая часть называется **квантом**, а процесс деления называется **квантованием**. Квантование показано на рисунке 3.

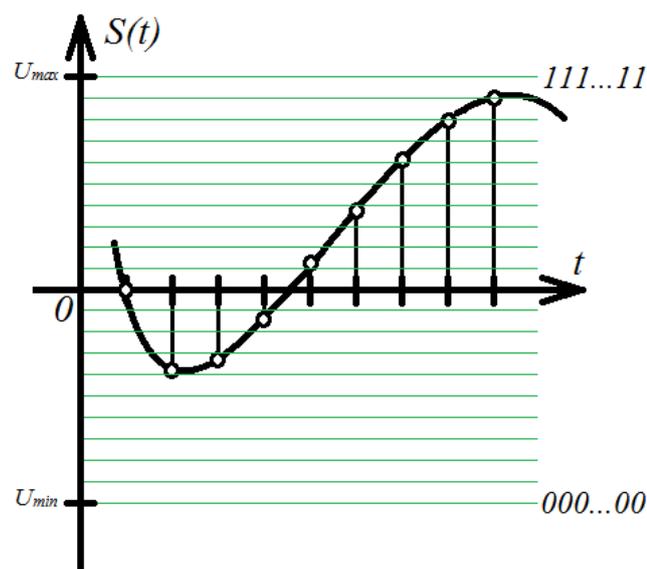


Рисунок 3 – Квантование

Каждый квант значения напряжения имеет свой номер от 0 до $2^n - 1$ в десятичной системе счисления. Следовательно, зная номер кванта, можно определить значение напряжения. АЦП определяет значение напряжения кванта, которое наиболее близко значению напряжения отсчёта. После этого АЦП подаёт на выход n -разрядный код в двоичной системе счисления, соответствующий номеру кванта в десятичной системе счисления. Полученный код можно передать по каналу связи, применив какой-либо вид манипуляции. Информацию в таком виде проще хранить.

Для того чтобы из дискретного сигнала получить исходный аналоговый сигнал, необходим цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Операция получения аналогового сигнала из дискретного называется **восстановлением**. Очевидно, что чем меньше период дискретизации, тем точнее можно восстановить аналоговый сигнал. Операции дискретизации и восстановления взаимно обратны только в том случае, если выполняется **теорема Котельникова** [1]: если аналоговый сигнал имеет ограниченный спектр с максимальной (верхней) частотой f_v , а дискретизация выполнена с частотой дискретизации f_d такой, при которой выполняется условие

$$f_d \geq 2f_v, \quad (1)$$

то исходный аналоговый сигнал может быть точно восстановлен по отсчётам дискретного сигнала.

Минимальному значению напряжения соответствует код 000...00, а максимальному – 111...11. Напряжению, соответствующему среднему значению, соответствует код 100...00.

1.2 Типы аналого-цифровых преобразователей

Рассмотрим существующие типы аналого-цифровых преобразователей.

1) Последовательный АЦП с прямым преобразованием

Данный АЦП содержит в себе компаратор, схему управления и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Устройство работает следующим образом.

					Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докм.	Подпись	Дата		

3) Последовательный АЦП с сигма-дельта модуляцией

Данный АЦП содержит в себе вычитатель, интегратор, компаратор, цифровой фильтр и тактируемый триггер. На вычитатель подаётся исходный аналоговый сигнал, из которого вычитается напряжение, полученное с выхода ЦАП на предыдущем такте. Результат интегрируется и поступает на компаратор, выход которого соединён с триггером. Выход триггера соединён со входом однобитового ЦАП, выход которого соединён с вычитателем. На выходе триггера формируются прямоугольные импульсы. Число положительных импульсов за период пропорционально исходному аналоговому сигналу. Это число является номером уровня кванта. Эти импульсы поступают на вход цифрового фильтра, на выходе которого формируется n -разрядный двоичный код, соответствующий номеру уровня кванта и поступающий на выход АЦП.

Достоинством АЦП данного типа является возможность формирования кодов большой разрядности и как следствие большого отношения сигнал-шум. Недостатком является большое время задержки. Это связано с тем, что частота среза цифрового фильтра в несколько раз меньше частоты работы АЦП.

В данной работе рассматривается АЦП последовательного приближения, на котором остановимся более подробно.

1.3 Принцип работы АЦП последовательного напряжения

Структурная схема восьмиразрядного АЦП последовательного приближения показана на рисунке 4, а также на схеме Д 11.03.02.2017.123.00 Э1.

					Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докц.	Подпись	Дата		

то компаратор выдаёт логическую 1, в противном случае – логический 0. Сигнал с компаратора поступает в РПП. Полученное значение записывается в старший разряд кода на выходе РПП.

Далее РПП подаёт на вход ЦАП код 01000000 или 11000000 (в зависимости от того, что получилось на выходе компаратора в результате предыдущей итерации). ЦАП выдает значение напряжения, соответствующее этому коду, и это значение подаётся на компаратор. Если напряжение входного сигнала больше, чем на выходе ЦАП, то компаратор выдаёт логическую 1, в противном случае – логический 0. Сигнал с компаратора поступает в РПП. Полученное значение записывается в следующий разряд кода на выходе РПП, и так далее. Такой цикл происходит с каждым разрядом от старшего к младшему. После всех итераций на выходе РПП сформирован код, соответствующий входному напряжению АЦП.

Для того чтобы на выходе АЦП не было пульсаций, связанных с последовательным напряжением, необходим регистр, который выдаёт полученное кодовое слово только после того, как произошли все итерации.

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата	Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ					

2 Выбор элементной базы

Реализовать очень точный ЦАП схемотехнически очень трудно. Поэтому ЦАП целесообразно использовать как готовое устройство, а не изготавливать самостоятельно. В качестве ЦАП будет использоваться готовая микросхема. Напряжение с её выхода необходимо будет усилить. Для этого будут использоваться операционные усилители.

Источником питания является порт USB компьютера, который выдаёт напряжение 5 В. Согласно техническому заданию входное напряжение является двухполярным, поэтому часть элементов АЦП (компаратор и операционные усилители на выходе ЦАП) должна питаться двухполярным напряжением питания. Отсюда следует, что необходим инвертор напряжения, который выдаёт напряжение минус 5 В.

Для АЦП необходим источник стабильного опорного напряжения, которое определяет диапазон входных напряжений и которое является максимально возможным. В данном случае этот источник будет подключен в части схемы, связанной с ЦАП.

На выходе АЦП должен находиться регистр, который будет источником питания для схемы индикации и который не будет пропускать пульсации, связанные с процессом последовательного приближения.

С учётом вышесказанного приведём список необходимых элементов для разрабатываемого АЦП:

- цифро-аналоговый преобразователь;
- операционные усилители;
- компаратор;
- инвертор напряжения с выходным напряжением минус 5 В;
- источник стабильного опорного напряжения;
- регистр.

Характеристики микросхем представлены в приложении А.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ					

Цифро-аналоговый преобразователь должен питаться от источника напряжения 5 В. Так как порт P1 микроконтроллера является восьмиразрядным, а этот порт должен быть соединён с ЦАП, то ЦАП должен быть тоже восьмиразрядным. В качестве ЦАП выбираем микросхему *AD7524JN*. Это восьмиразрядный ЦАП с технологией КМОП. Входы данной микросхемы совместимы с микросхемами с технологиями КМОП и ТТЛ. Данный ЦАП является умножающим. Он состоит из высокостабильной тонкопленочной R-2R матрицы и восьми n-канальных выключателей на монолитном кристалле.

Выводы микросхемы с 4 по 11 являются цифровым входом ЦАП (см. приложение). Вывод 4 является старшим разрядом кодового слова, а вывод 11 младшим. Выводы 1 и 2 являются выходом ЦАП. Вывод 14 является питающим ($V_{cc} = +5\text{ В}$), а вывод 3 подключается к общей шине (0 В). Вывод 15 является источником опорного напряжения V_{ref} , а вывод 16 служит для обратной связи.

Выводы 12 (Chip Select) и 13 (Write) служат для формирования стробирующего импульса, который управляет откликом микросхемы на входной сигнал. Микросхема будет откликаться на входное кодовое слово только тогда, когда на эти выводы одновременно будет подаваться логический 0. Целесообразно подключить вывод 12 напрямую к общей шине, и тогда управляющим будет только вывод 13.

Для усиления выходного сигнала с микросхемы *AD7524JN* необходимо использовать два операционных усилителя. Возьмём микросхему *LM324N*, которая содержит в себе четыре независимых усилителя.

В данном модуле необходимы два усилителя. Будем использовать первый и четвёртый (см. приложение А). Четвёртый усилитель будет усиливать и инвертировать сигнал. На его выходе напряжение будет находиться на промежутке $[-V_{REF}; 0]$, где V_{REF} – опорное напряжение, т. е. сигнал является однополярным. Напряжению $-V_{REF}$ соответствует код 11111111, а напряжению 0 В – 00000000. Первый операционный усилитель будет из однополярного сигнала делать двухполярный.

В качестве компаратора выберем отечественную микросхему *K1401CA1*. Эта микросхема содержит в себе четыре независимых прецизионных компаратора.

					Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		14

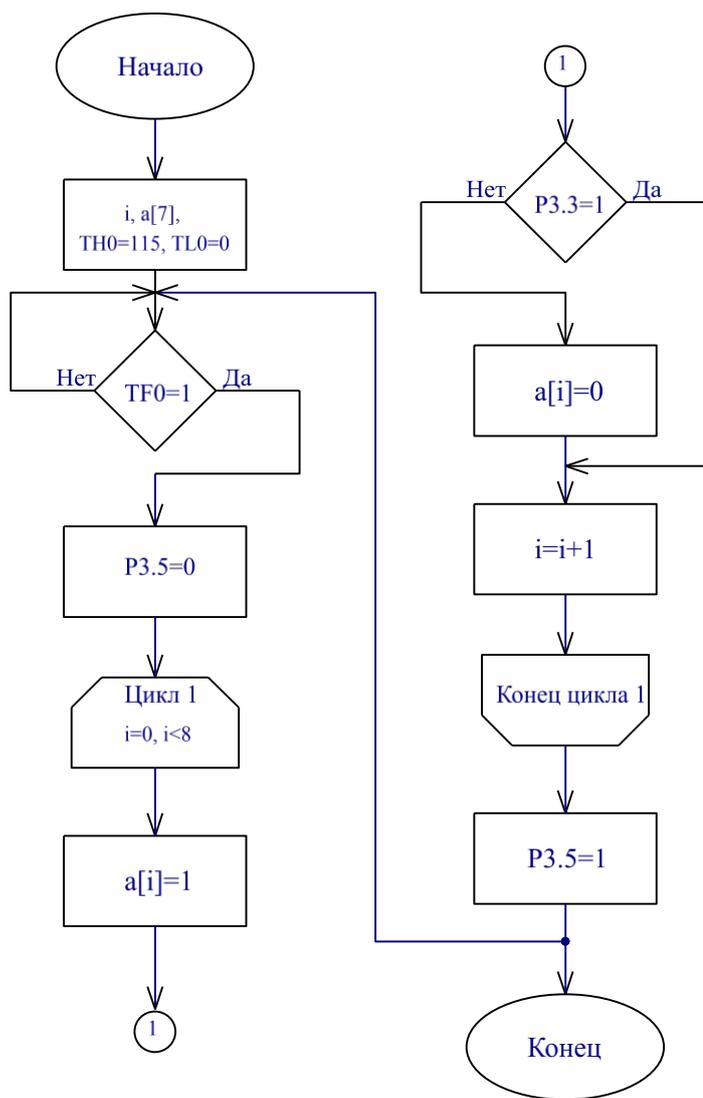


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма программы

С учётом вышесказанного составим *текст программы*:

```

jmp start
ORG 30h
start:
    mov TMOD,#2
    mov TH0, #115
    mov TL0, #0
    mov TCON, #10h
    mov IE, #82h
time1:
    jb TF0, zerobit
    jmp time1
zerobit:
    clr P3.5
    nop
    nop
  
```

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ

Лист

20

```

nop
nop
nop
setb P1.0
nop
clr P1.1
nop
clr P1.2
nop
clr P1.3
nop
clr P1.4
nop
clr P1.5
nop
clr P1.6
nop
clr P1.7
nop
nop
nop
nop
nop
nop
JB P3.3, onebit
clr P1.0
jmp onebit
onebit:
setb P1.1
nop
nop
nop
nop
nop
nop
JB P3.3, twobit
clr P1.1
jmp twobit
twobit:
setb P1.2
nop
nop
nop
nop
nop

```

					<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

```

nop
JB P3.3, threebit
clr P1.2
jmp threebit
threebit:
setb P1.3
nop
nop
nop
nop
nop
nop
JB P3.3, fourbit
clr P1.3
jmp fourbit
fourbit:
setb P1.4
nop
nop
nop
nop
nop
nop
JB P3.3, fivebit
clr P1.4
jmp fivebit
fivebit:
setb P1.5
nop
nop
nop
nop
nop
nop
JB P3.3, sixbit
clr P1.5
jmp sixbit
sixbit:
setb P1.6
nop
nop
nop
nop
nop
nop

```

					<i>Лист</i>
					22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	

Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ

Модуль максимального входного напряжения равен 30 В, а опорное напряжение определяется стабилизатором *LM1117T-3.3* и равно 3,3 В. Это напряжение определяет диапазон, который будет оцифровываться данным модулем. Следовательно, на входе АЦП должен стоять делитель напряжения. В то же время, необходимо ограничить спектр аналогового сигнала. Далее информация поступает на прямой вход компаратора, т. е. на девятый контакт микросхемы *KC1401CA1* (приложение А). В итоге получается входное устройство, показанное на рисунке 8.

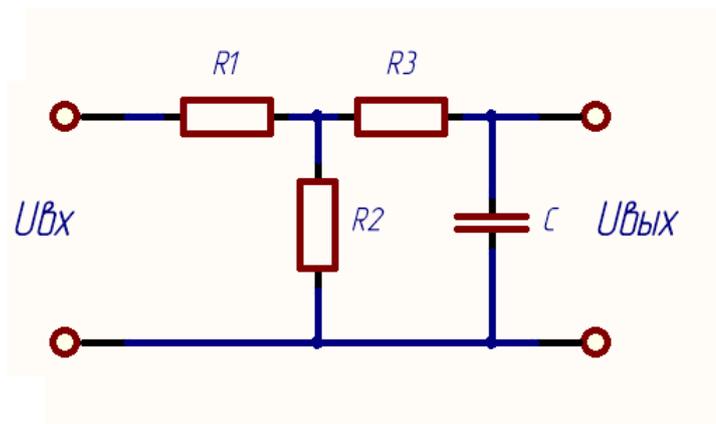


Рисунок 8 – Входное устройство модуля АЦП

При постоянном напряжении 30 В на входе напряжение на выходе должно равняться 3.3 В. Входное сопротивление компаратора по постоянному току более 10 МОм, поэтому им можно пренебречь. Входная ёмкость приблизительно равна 30 пФ.

Необходимо обеспечить большое входное сопротивление входного устройства, чтобы не нагружать источник сигнала. Это сопротивление должно быть порядка 100 кОм. Пусть сопротивление $R_2 = 8,2$ кОм. Коэффициент передачи по постоянному току данного четырёхполюсника

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Тогда сопротивление R_1 будет

$$R_1 = R_2 \left(\frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} - 1 \right) = 8,2 \cdot \left(\frac{30}{3,3} - 1 \right) = 66,35 \text{ кОм}. \quad (7)$$

Пусть сопротивление R_2 равно 1 кОм, а частота среза 4 кГц. Найдём необходимую для этой цели ёмкость.

Постоянная времени цепи определяется как

$$\tau = R_{\text{общ}} \cdot C, \quad (8)$$

где $R_{\text{общ}}$ – сопротивление, через которое разряжается конденсатор. Будем считать, что сопротивление источника сигнала много меньше R_1 . В этом случае

$$R_{\text{общ}} = R_3 + R_1 || R_2 = R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 1 + \frac{66,35 \cdot 8,2}{66,35 + 8,2} \approx 8,3 \text{ кОм}. \quad (9)$$

Частота среза определяется как

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{1}{\tau}. \quad (10)$$

Тогда ёмкость C

$$C = \frac{1}{\omega_{\text{ср}} \cdot R_{\text{общ}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 8,3 \cdot 10^3} \approx 4,8 \text{ нФ}. \quad (11)$$

Это значение много больше входной ёмкости компаратора. Возьмём чип-конденсатор ёмкостью 4700 пФ в корпусе 0805.

Для обеспечения настройки точного соотношения выходного напряжения к входному целесообразно в качестве сопротивления R_1 использовать два последовательных резистора, один из которых пусть будет 51 кОм, а второй будет перестраиваемым. Возьмём подстроечный резистор *Bourns 3296W* с максимальным сопротивлением 50 кОм.

Рассмотрим схему подключения операционных усилителей к ЦАП, показанную на рисунке 9 [6].

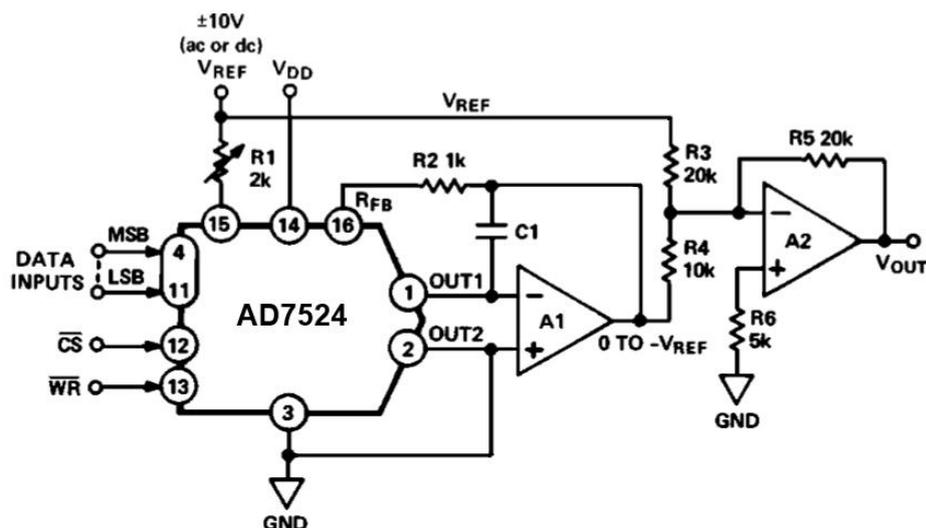


Рисунок 9 – Схема подключения операционных усилителей к ЦАП

Конденсатор $C1$ можно не использовать.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

На выходе первого усилителя возникает однополярное (отрицательное) напряжение. Напряжению 0 В соответствует код 00000000 , а напряжению $-V_{REF}$ – код 11111111 .

На рисунке показана функциональная схема микросхемы $AD7524JN$ [6].

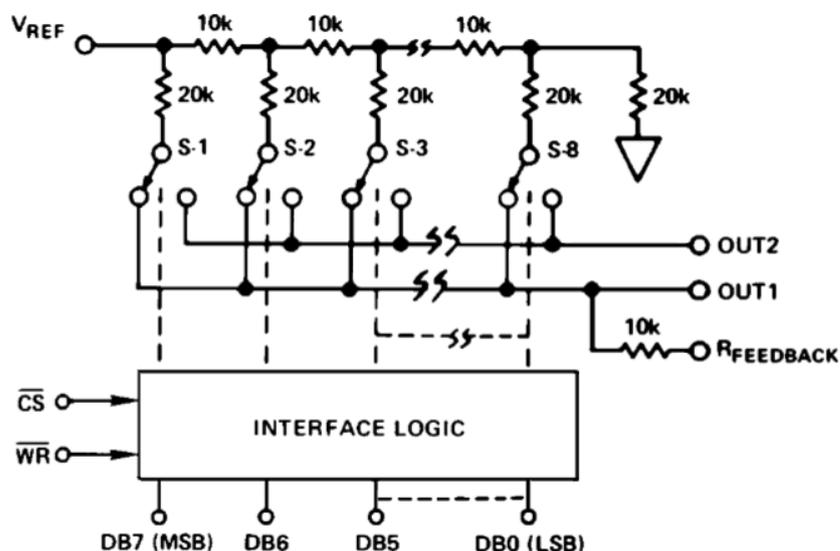


Рисунок 10 – Функциональная схема микросхемы $AD7524JN$

Первый усилитель является инвертирующим. Его коэффициент усиления пропорционален сопротивлению обратной связи и обратно пропорционален сопротивлению, которое возникает между выходом 1 ЦАП и опорным напряжением. Это сопротивление регулируется цифровыми входами ЦАП, т. е. коэффициент усиления зависит от подаваемого кода.

Второй усилитель делает из однополярного сигнала двухполярный. Это происходит следующим образом. Так как инверсный вход усилителя можно считать мнимой землёй, а его входное сопротивление является очень большим, то можно записать, применив первый закон Кирхгофа

$$-\frac{V_{out}}{R_5} = \frac{V_{in}}{R_4} + \frac{V_{REF}}{R_3}, \quad (12)$$

где V_{out} – выходное напряжение второго усилителя, V_{in} – напряжение на выходе первого усилителя, V_{REF} – опорное напряжение. Тогда

$$V_{out} = -R_5 \left(\frac{V_{in}}{R_4} + \frac{V_{REF}}{R_3} \right) = -20 \cdot \left(\frac{V_{in}}{10} + \frac{V_{REF}}{20} \right) = -(V_{REF} + 2V_{in}). \quad (13)$$

В итоге получается двухполярный сигнал, причём напряжению $-V_{REF}$ соответствует код 00000000 , а напряжению $+V_{REF}$ – код 11111111 .

Для настройки выходного напряжения ЦАП используется подстроечный резистор *R1*. Будем использовать резистор *Bourns 3296W* с максимальным сопротивлением 5 кОм.

Резистор *R6* нужен для компенсации смещения (ненулевого напряжения между прямым и инверсным входами).

В качестве разъёма для входного сигнала используется разъём *RCA*.
В итоге получается схема, показанная на плакате Д 11.03.02.2017.123.00 ЭЗ.
Соответствующая спецификация показана в Д 11.03.02.2017.123.00 ПЭЗ.

5.2 Разработка схемы светодиодной индикации

Как было сказано выше, на плате светодиодной индикации будет находиться регистр *МС74НС374А*. Параллельно питанию данной микросхемы ставится блокировочный чип-конденсатор ёмкостью 0,1 мкФ.

Микросхема имеет восемь цифровых входов и восемь соответствующих выходов. Как было сказано ранее, плата будет иметь две розетки 2IDC-12М. К одной из них подключаются цифровые входы микросхемы, а к другой – цифровые выходы, которые подключаются соответственно контактам первой розетки ко второй розетке, а также светодиодам.

В качестве индикации цифрового сигнала используются восемь красных светодиодов *L-53RD*. Прямое падение напряжения на них составляет приблизительно 1,8 В. Чтобы ограничить ток через них, необходимо последовательно с ними поставить резисторы. Возьмём чип-резисторы 510 Ом. В этом случае ток через светодиоды равен 6,3 мА, который является приемлемым.

В итоге получается схема, показанная на плакате Д 11.03.02.2017.123.01 ЭЗ.
Соответствующая спецификация показана в Д 11.03.02.2017.123.01 ПЭЗ.

					Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докц.	Подпись	Дата		

Для начала необходимо настроить правила проектирования. В программе предусмотрена возможность настраивать минимальный, максимальный и рекомендуемый размер объекта.

Настройка расстояния между объектами (clearance)

Очевидно, что чем больше расстояние между дорожками и переходными отверстиями, тем меньше паразитная ёмкость. Задаём минимальное расстояние 0,32 мм. На рисунке 12 показано меню настройки.

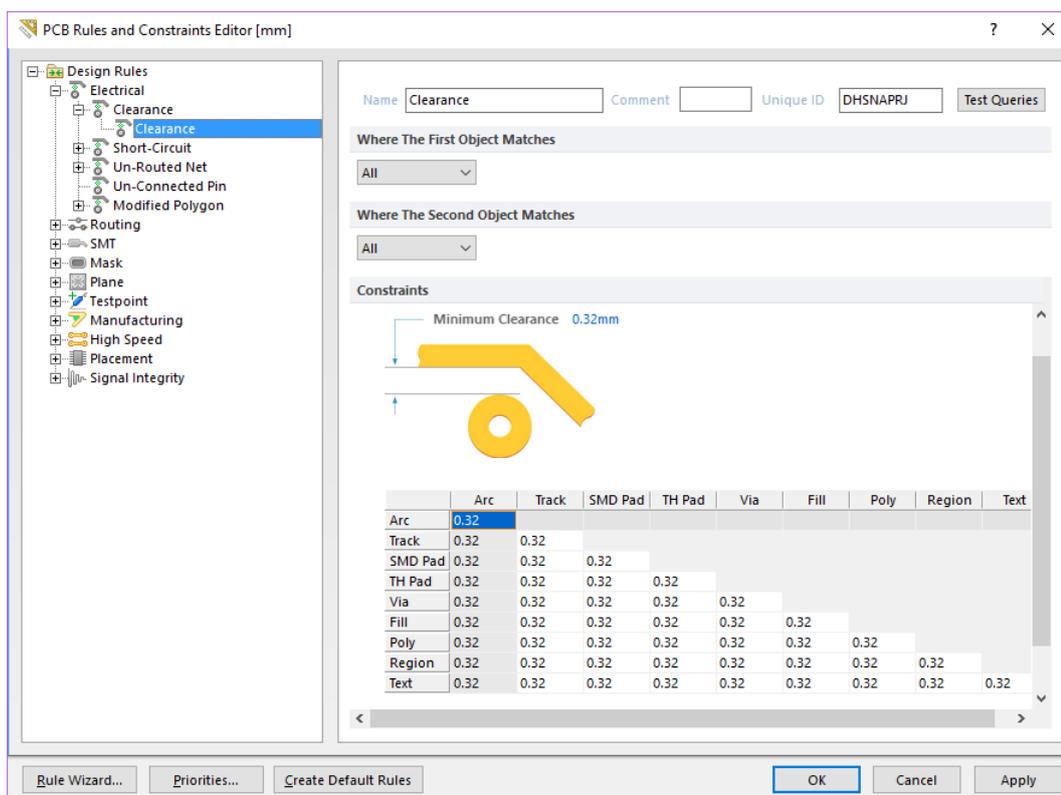


Рисунок 12 – Меню настройки расстояния между объектами

Настройка ширины дорожек (width)

Для всех дорожек задаём минимальную ширину дорожек 0,254 мм, максимальную 1 мм, а рекомендуемую 0,8 мм. На рисунке 13 показано меню настройки.

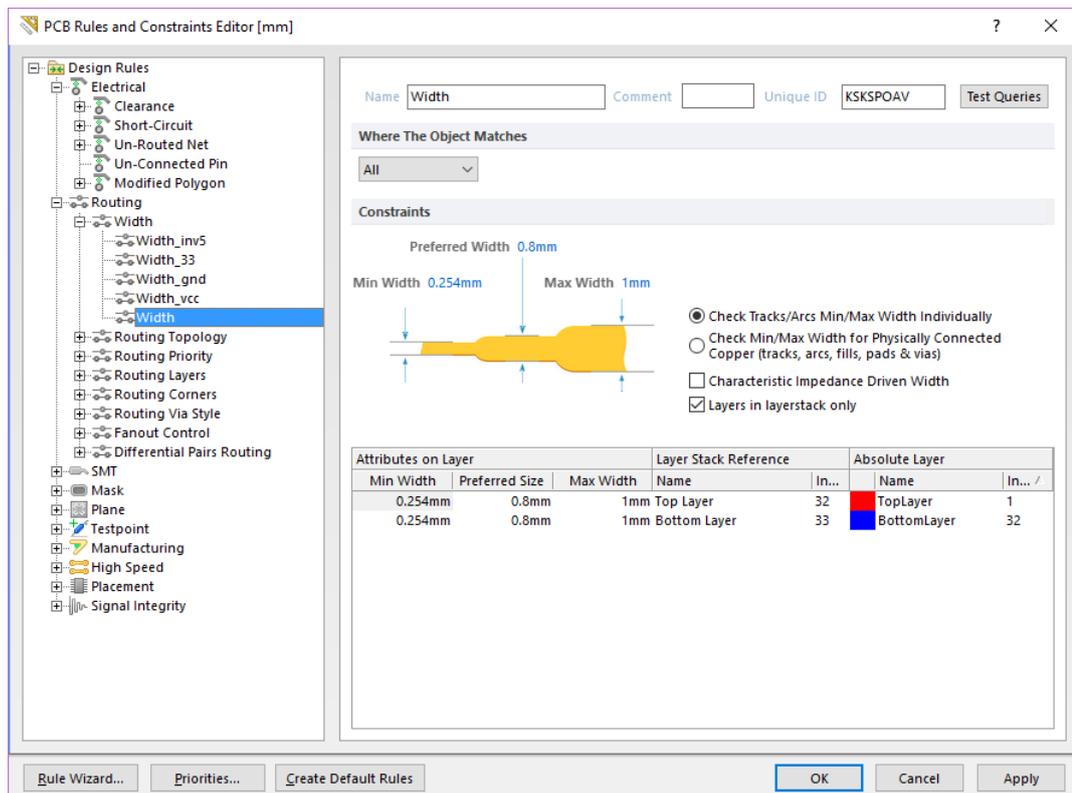


Рисунок 13 – Меню настройки ширины дорожек

Однако для дорожек, связанных с питанием (т. е. для общей шины (0 В), плюса источника питания (плюс 5 В), минуса источника питания (минус 5 В) и для опорного напряжения (3,3 В)), создаются отдельные правила, т. к. необходимо сделать их ширину больше по сравнению с другими дорожками. Максимальная ширина дорожки 2 мм, а рекомендуемая 1,1 мм.

Настройка переходного отверстия

Чем больше диаметр переходного отверстия, тем проще просверлить, а самое главное, произвести металлизацию. Металлизируются абсолютно все отверстия, а именно отверстия, необходимые для соединения дорожки одного слоя с другим, а также отверстия, предназначенные для разъёмов, электролитических конденсаторов и микросхем в DIP-корпусе.

Переходное отверстие характеризуется такими параметрами как диаметр отверстия и диаметр контактной площадки на слое. Настроим минимальный диаметр отверстия 0,711 мм, максимальный 2 мм, а рекомендуемый 0,85 мм. Минимальный диаметр контактной площадки 1,4 мм, максимальный 4 мм, а рекомендуемый 1,7 мм. На рисунке 14 показано меню настройки.

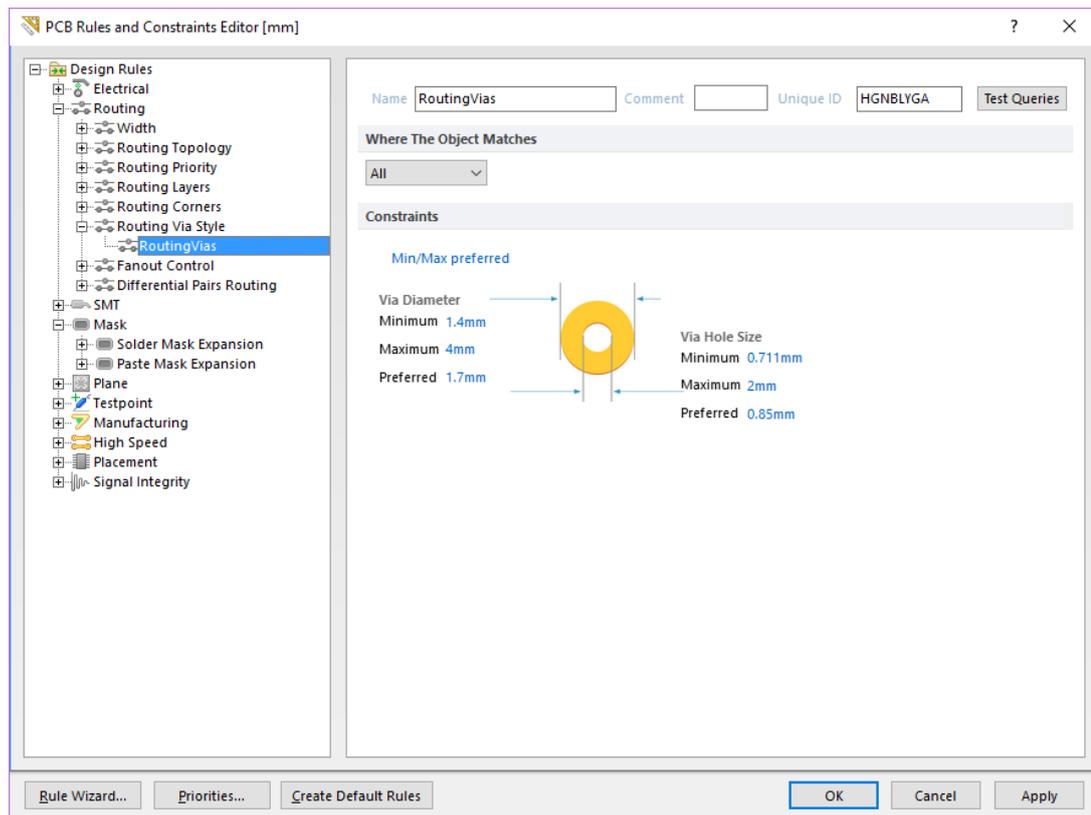


Рисунок 14 – Меню настройки переходного отверстия

Из настроенных параметров переходных отверстий следует, что минимальная толщина гарантийного пояса составляет 0,34 мм.

После всех настроек запускаем автоматическую трассировку дорожек. Следует отметить, что после трассировки необходимо проводить коррекцию получившихся дорожек. Необходимо сделать так, чтобы расстояние между ними было оптимальным, т. е. по возможности как можно больше.

После трассировки необходимо на каждом слое сделать полигон, который будет подключён к общей шине, а также поставить дополнительные переходные отверстия, которые будут соединять эти полигоны, в свободных местах платы.

На рисунке 15 показана 3D-модель платы с одной стороны, а на рисунке 16 – с другой.

здесь нет полигонов. Необходимо учесть, что светодиоды должны располагаться в один ряд. Получилась плата с размерами 195x55 мм. На рисунке 19 показана топология верхнего слоя (*Top*), а на рисунке 20 – нижнего (*Bottom*).

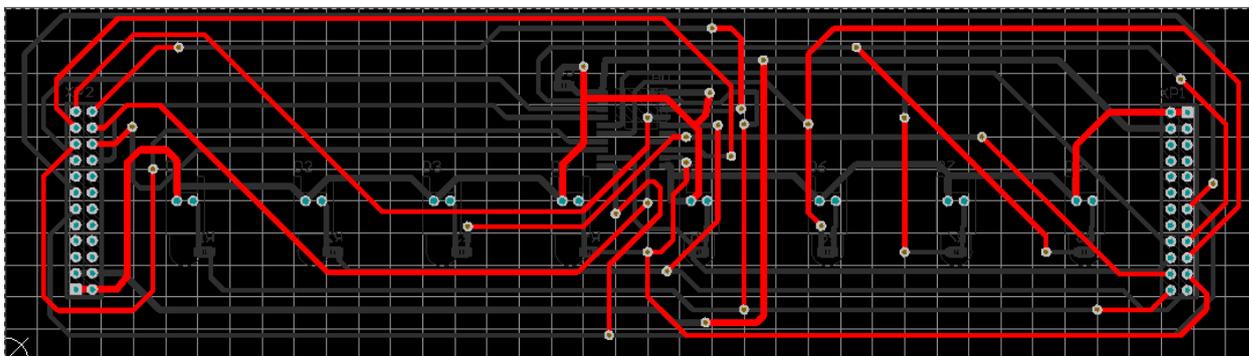


Рисунок 19 – Топология верхнего слоя (*Top*)

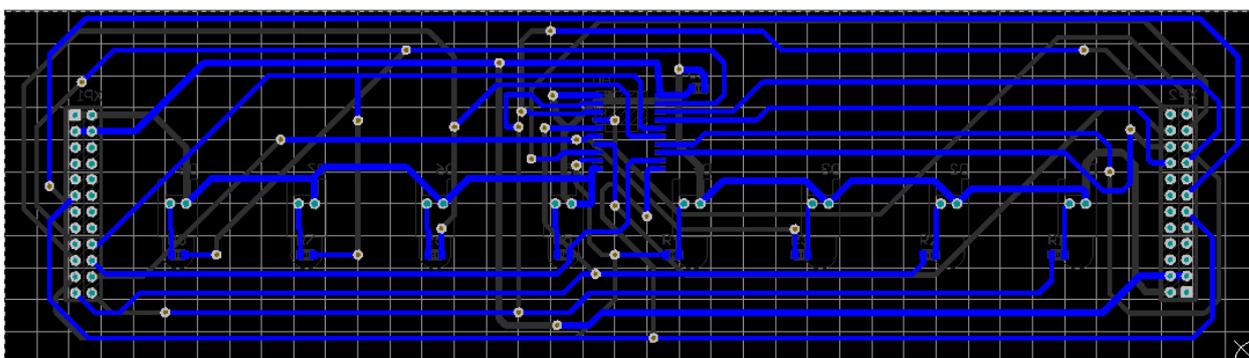


Рисунок 20 – Топология нижнего слоя (*Bottom*)

7 Оценка работы изготовленного образца

В ходе испытания в первую очередь была произведена проверка на работоспособность данного модуля. Об этом можно судить по кодовым словам, отображающимся на схеме индикации. Можно оценить абсолютную погрешность преобразования.

С помощью цифрового осциллографа был исследован сигнал на выходе ЦАП при постоянном напряжении входного сигнала. Тогда на экране осциллографа должен быть виден процесс последовательного приближения, который является периодическим.

Исследования проводились при пяти значениях входного напряжения: минус 30 В, минус 7,5 В, 0 В, плюс 15 В, плюс 30 В.

Напряжение входного сигнала минус 30 В

На рисунке 21 показана соответствующая осциллограмма сигнала.



Рисунок 21 – Осциллограмма сигнала

Напряжение входного сигнала минус 7,5 В

На рисунке 22 показана соответствующая осциллограмма сигнала.



Рисунок 22 – Осциллограмма сигнала

Напряжение входного сигнала 0 В

На рисунке 23 показана соответствующая осциллограмма сигнала.

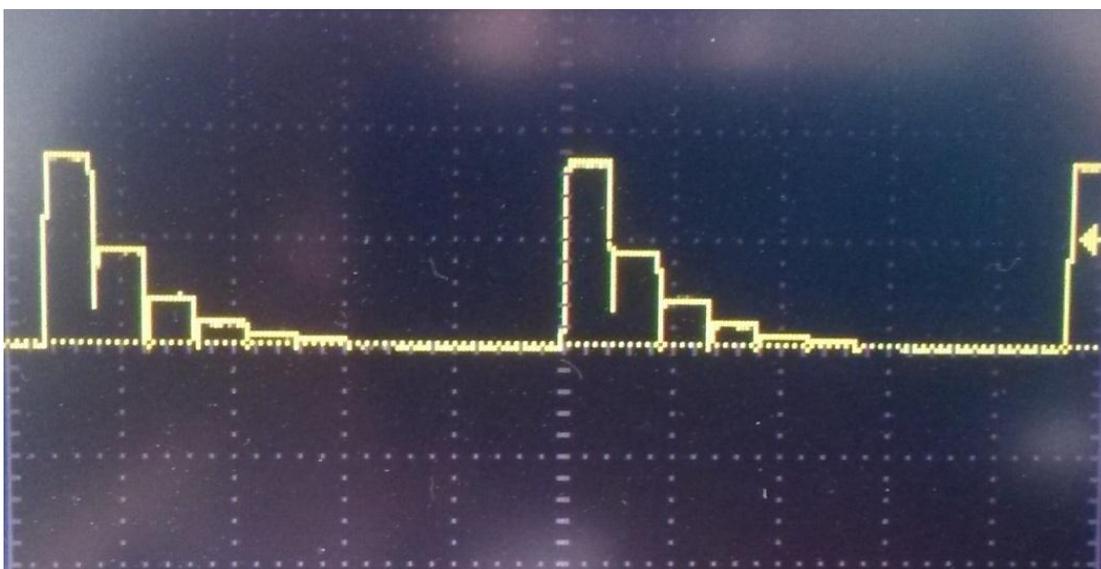


Рисунок 23 – Осциллограмма сигнала

Напряжение входного сигнала плюс 15 В

На рисунке 24 показана соответствующая осциллограмма сигнала.

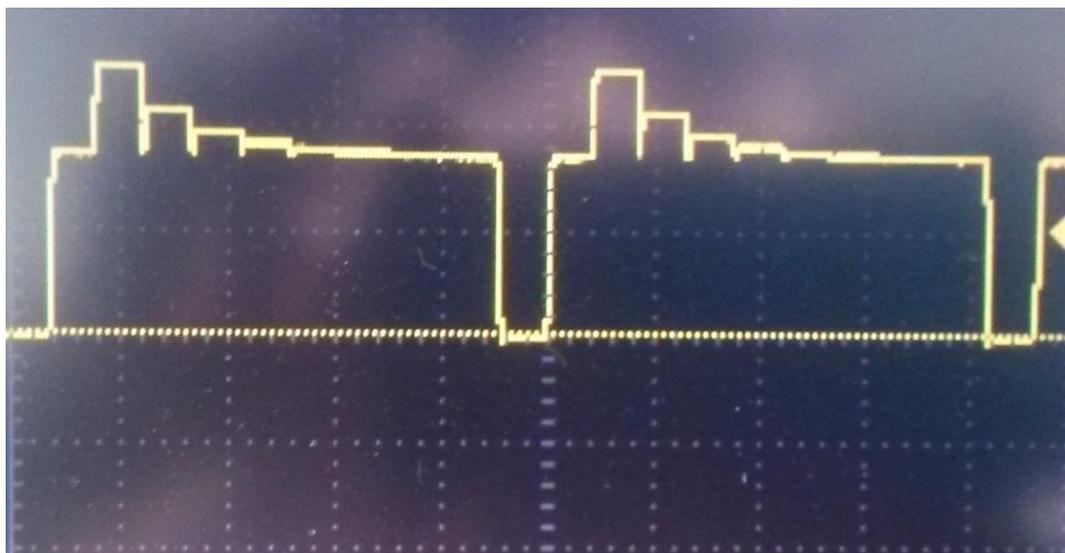


Рисунок 24 – Осциллограмма сигнала

Напряжение входного сигнала плюс 30 В

На рисунке 25 показана соответствующая осциллограмма сигнала.



Рисунок 25 – Осциллограмма сигнала

Найдём ошибку квантования. Так как АЦП является восьмиразрядным, то число уровней квантования составляет $2^8 - 1 = 255$. Тогда абсолютная погрешность во всём диапазоне входных напряжений

$$\Delta = \frac{30 - (-30)}{255} = \frac{60}{255} \approx 0,235 \text{ В.} \quad (14)$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta}{60} \cdot 100 \% \approx 0,39 \% \quad (15)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ

Лист

38

Но на погрешность преобразования кроме ошибки квантования влияют такие факторы как нелинейность ЦАП, нестабильность источника опорного напряжения, помехи от инвертора напряжения, паразитные ёмкости, погрешность настройки подстроечных резисторов, а также неточность номиналов элементов схемы.

					<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проекта был разработан и изготовлен модуль аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения. Он будет использован в качестве лабораторной установки. Он необходим для понимания студентами особенностей работы АЦП данного типа, а также для общего представления об аналого-цифровых преобразователях.

					<i>Д 11.03.02.2017.123.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						40
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

