

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. А. СОЛОВЬЕВА»  
(РГАТУ имени П.А. Соловьева)

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ АСПИРАНТОВ

направление подготовки 09.06.01 Информатика и  
вычислительная техника

профиль подготовки 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления»

# ПРАКТИКУМ

по дисциплине

Устройства сбора и обработки информации

Разработал: д.т.н. Юдин А.В.

Рыбинск, 2014 г.

Лабораторная работа №1. Тема «Статические и динамические параметры цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей»

### Состав лабораторного стенда

Стенд предназначен для изучения современных методов и средств управления технологическими процессами, основ программирования ПЛК, разработки интерфейса для панелей.

В состав стенда входит контроллер FX3G-14MR/ES, модуль аналогового ввода FX2N-4AD, модуль аналогового вывода FX2N-4DA, блок сетевого питания Alpha Power 24-1.75, графическая панель GT1055 - QSBD, передняя панель, персональный компьютер.

Основные характеристики: входных дискретных сигналов – 8; выходных дискретных сигналов – 6; входных аналоговых сигналов – 4; выходных аналоговых сигналов – 4; напряжение питания от 100 до 240 В переменного тока.

Инструментальная ЭВМ стенда оснащается соответствующим программным обеспечением. В перечень данного ПО входит, в частности, среда для программирования GX IEC Developer 7.04.

### 2.2. Передняя панель

На рис. 2.1 представлен внешний вид передней панели стенда. В таблице 2.1 приведено описание элементов панели.

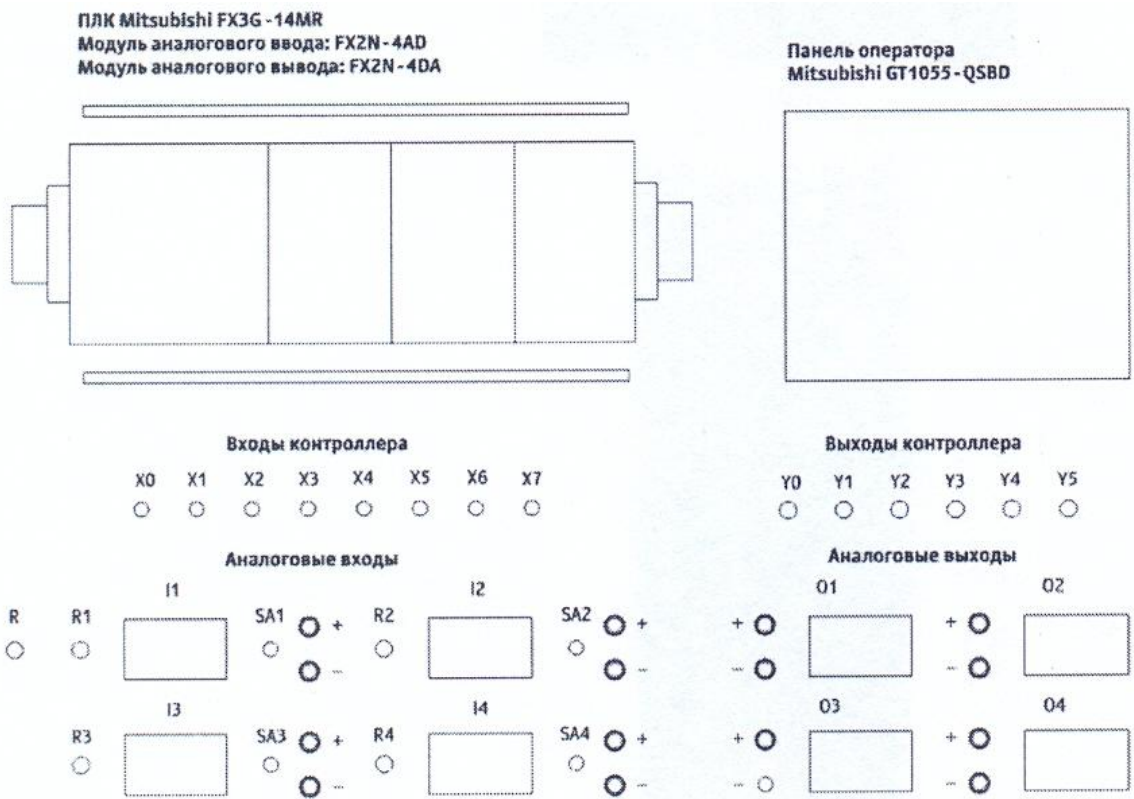


Рис. 2.1

Таблица 2.1

Элемент панели управления	Назначение элемента
Тумблер X0	Установка входного дискретного сигнала X0
Тумблер X1	Установка входного дискретного сигнала X1
Тумблер X2	Установка входного дискретного сигнала X2
Тумблер X3	Установка входного дискретного сигнала X3
Тумблер X4	Установка входного дискретного сигнала X4
Тумблер X5	Установка входного дискретного сигнала X5
Тумблер X6	Установка входного дискретного сигнала X6

Тумблер X7	Установка входного дискретного сигнала X7
Резистор R	Установка максимального значения входных аналоговых сигналов постоянного напряжения
Резистор R1	Установка входного аналогового сигнала 1 постоянного напряжения
Резистор R2	Установка входного аналогового сигнала 2 постоянного напряжения
Резистор R3	Установка входного аналогового сигнала 3 постоянного напряжения
Резистор R4	Установка входного аналогового сигнала 4 постоянного напряжения
Вольтметр I1	Измерение входного аналогового сигнала 1 постоянного напряжения
Вольтметр I2	Измерение входного аналогового сигнала 2 постоянного напряжения
Вольтметр I3	Измерение входного аналогового сигнала 3 постоянного напряжения
Вольтметр I4	Измерение входного аналогового сигнала 4 постоянного напряжения
Светодиод Y0	Индикация выходного дискретного сигнала Y0
Светодиод Y1	Индикация выходного дискретного сигнала Y1
Светодиод Y2	Индикация выходного дискретного сигнала Y2
Светодиод Y3	Индикация выходного дискретного сигнала Y3
Светодиод Y4	Индикация выходного дискретного сигнала Y4
Светодиод Y5	Индикация выходного дискретного сигнала Y5
Вольтметр O1	Измерение выходного аналогового сигнала 1 постоянного напряжения
Вольтметр O2	Измерение выходного аналогового сигнала 2 постоянного напряжения
Вольтметр O3	Измерение выходного аналогового сигнала 3 постоянного напряжения
Вольтметр O4	Измерение выходного аналогового сигнала 4 постоянного напряжения
Тумблер SA1	Подключение гнезд + и – к аналоговому входу 1 и отключение от него сигнала постоянного напряжения

Тумблер SA2	Подключение гнезд + и – к аналоговому входу 2 и отключение от него сигнала постоянного напряжения
Тумблер SA3	Подключение гнезд + и – к аналоговому входу 3 и отключение от него сигнала постоянного напряжения
Тумблер SA4	Подключение гнезд + и – к аналоговому входу 4 и отключение от него сигнала постоянного напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 1	Подключение аналогового сигнала 1 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 2	Подключение аналогового сигнала 2 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 3	Подключение аналогового сигнала 3 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 4	Подключение аналогового сигнала 4 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 1	Наблюдение выходного аналогового сигнала 1 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 2	Наблюдение выходного аналогового сигнала 2 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 3	Наблюдение выходного аналогового сигнала 3 в виде изменяющегося во времени напряжения
Гнезда + и – для аналогового сигнала 4	Наблюдение выходного аналогового сигнала 4 в виде изменяющегося во времени напряжения

### 2.3. Специальный аналоговый модуль FX2N-4AD и FX2N-4DA

Для обмена данными между базовым блоком и специальным модулем используются две функции: *FROM* и *TO* (рис. 2.2).

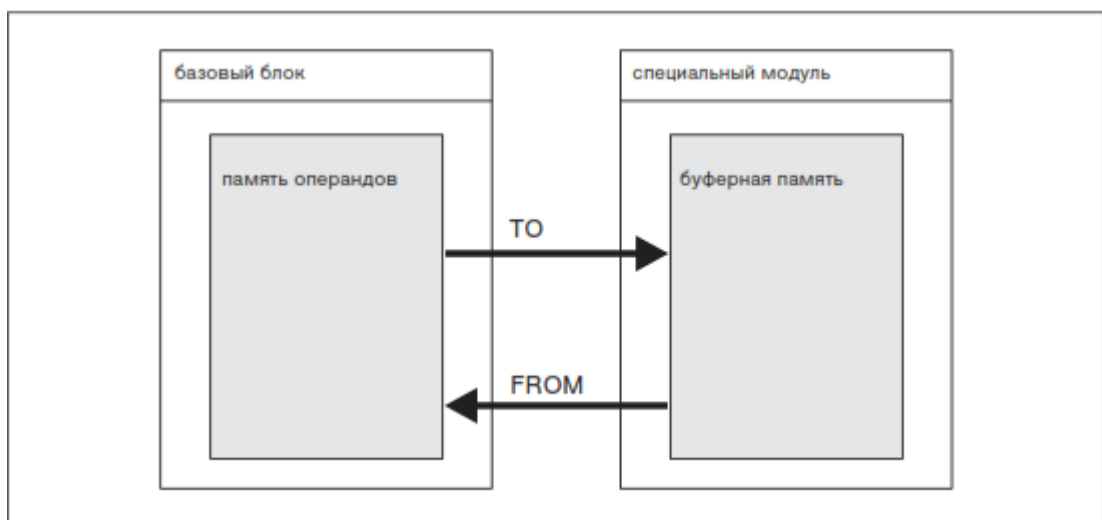


Рис. 2.2

Буферная память может содержать до 32767 16-разрядных ячеек. Для правильного функционирования *FROM* и *TO* необходимо указать:

- номер специального модуля;
- начальный адрес области в буферной памяти, из которой требуется считать данные или в которую требуется записать данные;
- начальный адрес области памяти в базовом блоке.
- количество ячеек в области памяти;

Номер специального модуля может принимать значения от 0 до 7 в зависимости от того, каким по порядку справа от базового блока подключен модуль.

Каждый из адресов буферной памяти может быть обозначен с помощью десятичного числа в диапазоне от 0 до 32766 .

В большинстве случаев данные считываются из регистров базового блока и передаются в специальный модуль, или считываются из его буферной памяти в регистры данных базового блока. Описание буферной памяти FX2N-4AD приведено в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Буферная память FX2N-4AD		
0	*	Инициализация
1	*	Канал № 1
2	*	Канал № 2
3	*	Канал № 3
4	*	Канал № 4
5	**	Канал № 1
6	**	Канал № 2
7	**	Канал № 3
8	**	Канал № 4
9	**	Канал № 1
10	**	Канал № 2
11	**	Канал № 3
12	**	Канал № 4
13-14		Не используется
15	**	Время преобразования
16-19		Не используется
20	*	Сброс значений
21	*	Включить настройки Offset/Gain
22	*	Настройка Offset/Gain
23	*	Значение Offset в мВ или μА
24	*	Значение Gain в мВ или μА
25-28		Не используется
29	**	Код ошибки
30	**	Идентифицирующий код
31		Не используется

\* Данные значения могут быть изменены с помощью инструкции *TO*;

\*\* Данные значения могут быть считаны с помощью инструкции *FROM*.

Описание буферной памяти FX2N-4DA приведено в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Буферная память FX2N-4DA	
0 *	Инициализация
1 *	Канал № 1
2 *	Канал № 2
3 *	Канал № 3
4 *	Канал № 4
5 *	Сохранение данных
6-7	Не используется
8 *	Установка Offset/Gain (K1,K2)
9 *	Установка Offset/Gain (K3,K4)
10 *	Канал № 1 - установка Offset (мВ, μА)
11 *	Канал № 1 - установка Gain (мВ, μА)
12 *	Канал № 2 - установка Offset (мВ, μА)
13 *	Канал № 2 - установка Gain (мВ, μА)
14 *	Канал № 3 - установка Offset (мВ, μА)
15 *	Канал № 3 - установка Gain (мВ, μА)
16 *	Канал № 4 - установка Offset (мВ, μА)
17 *	Канал № 4 - установка Gain (мВ, μА)
18-19	Не используется
20 *	Сохранение данных
21 *	Сохранение данных
22-28 *	Не используется
29 **	Код ошибки
30 **	Идентифицирующий код
31	Не используется

\* Данные значения могут быть изменены с помощью инструкции *TO*;  
 \*\* Данные значения могут быть считаны с помощью инструкции *FROM*.

На языке *FBD* функции *FROM* и *TO* изображены на рис. 2.3.

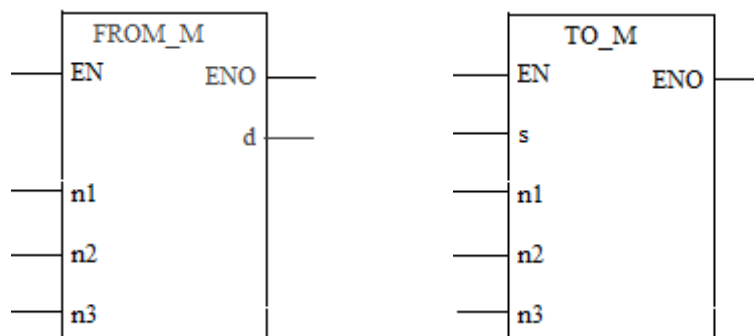


Рис. 2.3

Функция *FROM* читает однословные данные из области буферной памяти специального модуля и сохраняет их в области памяти базового блока. Начальный адрес области памяти специального функционального модуля определяется на линии *n2*, количество однословных данных определяется на линии *n3*, номер специального модуля определяется на линии *n1*. Начальный адрес области памяти базового блока определяется на линии *d*.

Количество однословных данных может принимать значения от 1 до 32.

Функция *TO* читает однословные данные из области памяти базового блока и сохраняет их в буферной памяти специального функционального модуля. Начальный адрес области памяти базового блока определяется на линии *s*. Обозначение и назначение остальных линий аналогично *FROM*.

#### 2.4. Графическая панель оператора GT1055-QSBD и GT1045-QSBD

Графическая панель оператора GT1055-QSBD и GT1045-QSBD от Mitsubishi Electric является гибким и доступным по цене решением для машиностроителей, производящих крупными сериями малые и средние машины и установки. Типичные области применения: оборудование для полиграфической, текстильной, упаковочной и пищевой промышленности, раскройные машины, системы кондиционирования воздуха и вентиляции, а также специальное машиностроение. Кроме того, графические панели оператора, благодаря своей уникальной универсальности, могут успешно применяться и там, где конечный пользователь не является специалистом, т. е. в больницах, общественных учреждениях, аэропортах или музеях.

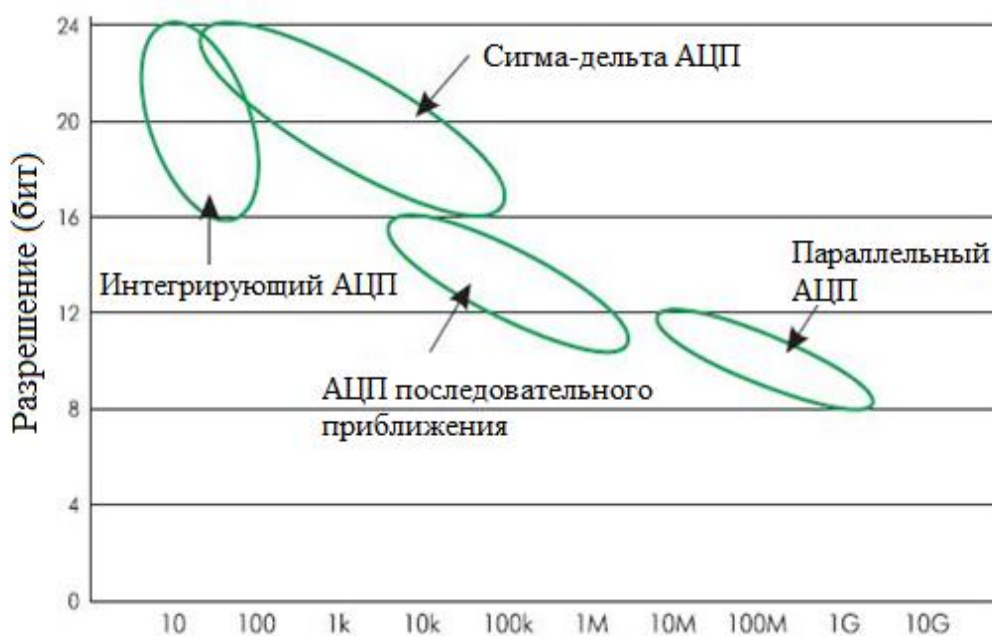
Панели оператора конфигурируются при помощи пакета программирования GT Designer3, который может работать на любом ПК с установленной операционной системой Windows®. Составленные таким образом прикладные программы через встроенный USB-интерфейс записываются в память панели оператора, которая имеет объем 3 Мб. Связь панели оператора с ПЛК осуществляется по интерфейсу RS422. Основные параметры панели оператора GT1055-QSBD и GT1045-QSBD приведены в таблице 2.4.

Модель	GT1055-QSBD	GT1045-QSBD
Тип дисплея	Цветной жидкокристаллический STN-дисплей (с подсветкой)	
Размеры дисплея (мм)	115 (ширина) x 86 (высота)	96 (ширина) x 72 (высота)
Размер дисплея по диагонали	5.7"	4.7"
Разрешение	320 x 240 (QVGA)	
Количество цветов	256 цветов	
Угол обзора (градусов)	55° вправо и влево, 65° вверх и 70° вниз	
Яркость	380 кд/м <sup>2</sup>	150 кд/м <sup>2</sup>
Ввод данных	Сенсорный экран (матричного типа, 16 x 16 точек)	
Число чувствительных сенсорных функциональных полей	Макс. 50 на экран (конфигурация матрицы 20 x 15)	
Объем памяти	Встроенное флэш-ПЗУ (3 Мб)	
Интерфейсы обмена данными	1 шт. RS232, 1 шт. RS422, 1 шт. USB (12 Мб/с)	
Зуммер	При касании сенсорного экрана раздается акустический сигнал	
Батарея	Встроенная буферная батарея часов реального времени	
Электропитание	24 В пост. тока (+10 %/-15 %)	
Потребление тока	Макс. 9.84 Вт (410 мА/24 В пост. тока)	Макс. 3.6 Вт (150 мА/24 В пост. тока)
Класс защиты	IP67 (по передней панели)	
Температура окружающей среды	От 0 до 50 °С	
Масса (кг)	0.7	0.45



Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) — один из самых важных электронных компонентов в измерительном и тестовом оборудовании. АЦП преобразует напряжение (аналоговый сигнал) в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные действия. Даже если Вы работаете только с цифровыми сигналами, скорее всего Вы используете АЦП в составе осциллографа, чтобы узнать их аналоговые характеристики.

Существует несколько основных типов архитектуры АЦП, хотя в пределах каждого типа существует также множество вариаций. Различные типы измерительного оборудования используют различные типы АЦП. Например, в цифровом осциллографе используется высокая частота дискретизации, но не требуется высокое разрешение. В цифровых мультиметрах нужно большее разрешение, но можно пожертвовать скоростью измерения. Системы сбора данных общего назначения по скорости дискретизации и разрешающей способности обычно занимают место между осциллографами и цифровыми мультиметрами. В оборудовании такого типа используются АЦП последовательного приближения либо сигма-дельта АЦП. Существуют также параллельные АЦП для приложений, требующих скоростной обработки аналоговых сигналов, и интегрирующие АЦП с высокими разрешением и помехоподавлением.



**Рисунок 1** - Типы АЦП - разрешение в зависимости от частоты дискретизации

На рисунке 1 показаны возможности основных архитектур АЦП в зависимости от разрешения и частоты дискретизации.

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП, англ. Analog-to-digital converter, ADC) - устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Обратное преобразование осуществляется при помощи ЦАП (цифро-аналогового преобразователя, DAC). Как правило, АЦП - электронное устройство, преобразующее напряжение в двоичный цифровой код. Тем не менее, некоторые неэлектронные устройства с цифровым выходом, следует также относить к АЦП, например, некоторые типы преобразователей угол-код. Простейшим одноразрядным двоичным АЦП является компаратор.

#### Дискретизация, квантование, кодирование

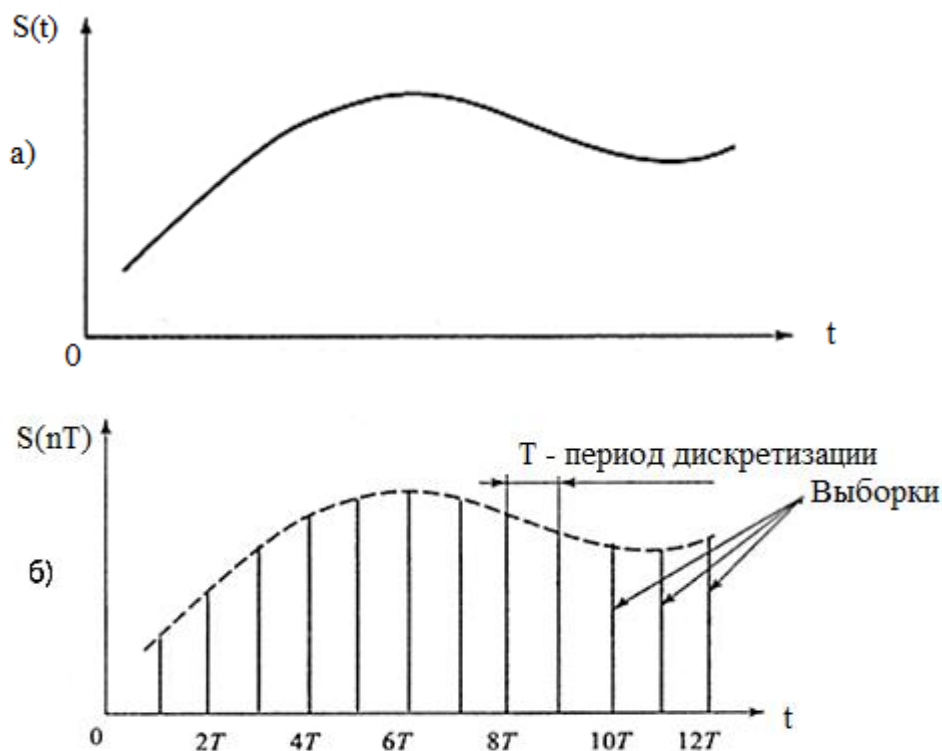
Аналоговый сигнал является непрерывной функцией времени, в АЦП он преобразуется в последовательность цифровых значений. Сам процесс преобразования

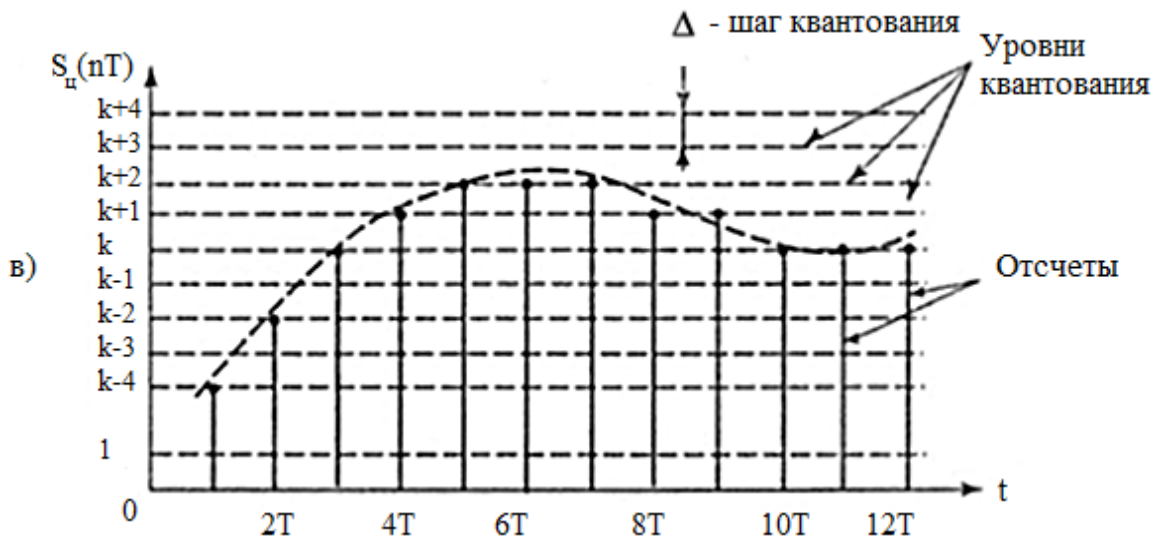
включает в себя три основные операции: дискретизацию, квантование и кодирование (рисунок 2).

Операция дискретизации состоит в том, что по заданному аналоговому сигналу  $S(t)$  (рисунок 2, а) строится дискретный сигнал  $S(nT)$ , причем  $S(nT) = S(t)$ . Физически такая операция эквивалентна мгновенной фиксации выборки из непрерывного сигнала  $S(t)$  в моменты времени  $t = nT$ , после чего образуется последовательность выборочных значений  $\{S(nT)\}$ . Конечно, такую дискретизацию на практике осуществить невозможно. Реальные устройства, запоминающие значения аналогового сигнала (они называются устройства выборки и хранения - УВХ), не в состоянии сделать этого мгновенно - время подключения их к источнику сигнала всегда конечно. Кроме того, из-за не идеальности ключей и цепей заряда запоминающей емкости УВХ, значение взятой выборки  $S(nT)$  в той или иной степени отличается от величины исходного сигнала  $S(t)$ . Тем не менее в абстрактных рассуждениях равенство  $S(t) = S(nT)$  считается справедливым.

Поскольку дискретный сигнал  $S(nT)$  в моменты времени  $t = nT$  сохраняет информацию об аналоговом сигнале  $S(t)$  и в спектре сигнала  $S(nT)$  содержится спектр сигнала  $S(t)$ , то последний, очевидно, может быть восстановлен. Для этого дискретный сигнал достаточно пропустить через фильтр низких частот, полоса которого соответствует полосе частот исходного сигнала. Условие, при котором восстановление исходного сигнала  $S(t)$  по его дискретным значениям  $S(nT)$  будет возможным, сформулировано в известной теореме Котельникова (теорема отсчетов): «Если наивысшая частота в спектре функции  $S(t)$  меньше,  $f_{\max}$ , то функция  $S(t)$  полностью определяется последовательностью своих значений в моменты, отстоящие друг от друга не более, чем на  $1/f_{\max}$  секунд.

Другими словами, чтобы восстановление было точным, частота дискретизации  $F$  должна по меньшей мере в два раза превышать максимальную частоту  $f_{\max}$  в спектре преобразуемого аналогового сигнала  $S(t)$ . Эта предельно допустимая максимальная частота  $f_{\max}$  в спектре сигнала называется частотой Найквиста  $f_H$ .





**Рисунок 2** - Аналого-цифровое преобразование: (а) – исходный аналоговый сигнал; (б) - дискретизация; (в) – квантование

Нередко частоту Найквиста  $f_H$  путают со скоростью Найквиста  $F_H$ , которая характеризует минимально возможную для данной частоты Найквиста скорость дискретизации аналогового сигнала и которая вдвое выше максимальной частоты в его спектре (частоты Найквиста).

На практике при дискретизации широкополосных сигналов приходится жестко ограничивать их спектры с помощью высокодобротных фильтров низких частот, которые называются анти-элайсинг фильтрами. Спад характеристики у таких фильтров (как, впрочем, и у любых других фильтров) не бывает строго вертикальным. Поэтому реально частота  $f_{max}$  должна быть несколько ниже частоты Найквиста  $f_H$ . Тем не менее при анализе теоретических моделей аналого-цифровых преобразователей часто пользуются понятиями частоты и скорости Найквиста, полагая, что скорость Найквиста  $F_H$  - это удвоенная частота Найквиста  $f_H$ , т.е.  $F_H = 2f_H$ . В подавляющем большинстве случаев используется равномерная (с постоянным периодом) дискретизация — как по причине того, что к ней легче применить математический аппарат, так и по причине того, что устройства для ее осуществления гораздо проще реализовать физически.

После того, как сигнал дискретизирован, производится его квантование и кодирование, что, собственно, и является основной операцией при аналого-цифровом преобразовании. На этом этапе по заданному дискретному сигналу  $S(nT)$  строится цифровой кодированный сигнал  $S_{ц}(nT)$ . Также, как и дискретный, цифровой сигнал описывается решетчатой функцией, но в данном случае эта решетчатая функция является еще и квантованной, т.е. способной принимать лишь ряд дискретных значений, которые называются уровнями квантования (рисунок 2, в). Уровни квантования образуются путем разбиения всего диапазона, в котором изменяется аналоговый сигнал, на ряд участков, каждому из которых присваивается определеннный номер. Эти номера кодируются заранее выбранным кодом, чаще всего двоичным, а их число  $N$  выбирается равным  $2^m$ , где  $m$  - разрядность кода.

Если сигнал однополярный, то все  $2^m$  уровней будут выражать положительные значения аналогового сигнала. Для двухполярного одна половина ( $2^m/2=2^{m-1}$ ) уровней будет выражать отрицательные значения сигнала, другая (также  $2^{m-1}$ ) - положительные.

Квантование может осуществляться двумя способами. При одном способе расстояние между любыми двумя соседними уровнями, которое называется шагом квантования, будет одинаковым, (так называемое линейное квантование). Способ, когда шаг

квантования изменяется, - это нелинейное квантование. В дальнейшем будут рассмотрены линейные АЦП.

Дискретные сигналы, как и аналоговые, образуют линейное пространство относительно операций сложения, вычитания, умножения, если выполняется условие теоремы Котельникова. Цифровые же сигналы, полученные путем квантования, линейного пространства относительно операций сложения и умножения не образуют. Во-первых, процедура квантования почти всегда сопровождается появлением неустранимой погрешности. Во-вторых, линейная комбинация цифровых сигналов, выражаемых  $m$ -разрядными кодами, может иметь разрядность большую, чем  $m$  (особенно при операциях умножения), чтобы получить  $m$ -разрядный код результата, приходится выполнять операцию округления и усечения. Поэтому устройства цифровой обработки сигналов, реализующие преобразование одной цифровой последовательности  $S_{ц1}(nT)$  в другую  $S_{ц2}(nT)$  путем выполнения обычных арифметических операций сложения и умножения (в САУ обычно расчет регуляторов), являются, в принципе, нелинейными.

Часто при проектировании систем, включающих в себя устройства аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований сигналов, полученных в результате ограничения спектра широкополосных сигналов с помощью фильтров низких частот, разработчики переносят утверждение теоремы Котельникова о возможности точного восстановления исходного аналогового сигнала по отсчетам дискретного на результат аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований, что является в принципе, ошибочным. Поэтому в том виде, в котором теорема Котельникова сформулирована для дискретных сигналов, к системам, включающим в себя АЦ- и ЦА- преобразования, неприменима, она может служить только теоретической моделью для очень приблизительных расчетов.

Поскольку реальные АЦП не могут произвести аналого-цифровое преобразование мгновенно, входное аналоговое значение должно удерживаться постоянным, по крайней мере от начала до конца процесса преобразования (этот интервал времени называют время преобразования).

В настоящее время выпускается большее число интегральных АЦП, которые отличаются конструктивной и функциональной закономерностью, но в основу работы заложены некоторые стандартные, фундаментальные принципы. При этом в структуре некоторых АЦП присутствует устройство УВХ, в других УВХ отсутствует.

## Разрядность АЦП

Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. В двоичных АЦП разрядность измеряется в битах. Разрядностью АЦП определяется и его разрешение - минимальное изменение величины входного аналогового сигнала, которое может быть зафиксировано данным АЦП. АЦП преобразовывает сигнал (напряжение) находящийся в диапазоне измеряемых сигналов. Нижняя и верхняя граница этого диапазона определяются напряжениями, поданными на соответствующие выводы. Для микроконтроллера (МК) со встроенным АЦП, нижняя граница - это уровень GND (0 В), а верхняя - подается на отдельный вывод (AREF- Analog Reference) или используются внутренние источники опорных напряжений. При диапазоне входных напряжений от 0 В до 5 В и использовании 10-битного АЦП мы имеем следующее разрешение АЦП (см. рисунок 3). Т. е. АЦП в состоянии различить сигналы которые отличаются на 4,9 мВ. При увеличении сигнала на 4,9 мВ - результат преобразования увеличится на 1. Если для такого же диапазона входных сигналов использовать АЦП с большей разрядностью, то можно зафиксировать меньшие значения, т.е. получить более точное значение сигнала (на рисунке 4 представлены значения при использовании 24-битного АЦП). При отсутствии различного рода ошибок, разрядность АЦП определяет теоретически возможную точность АЦП. На практике разрешение АЦП ограничено отношением сигнал/шум входного сигнала. При большой интенсивности

шумов на входе АЦП различие соседних уровней входного сигнала становится невозможным, то есть ухудшается разрешение. При этом реально достижимое разрешение описывается эффективной разрядностью (Effective Number Of Bits- ENOB), которая меньше, чем реальная разрядность АЦП. При преобразовании сильно зашумлённого сигнала младшие разряды выходного кода практически бесполезны, так как содержат шум.

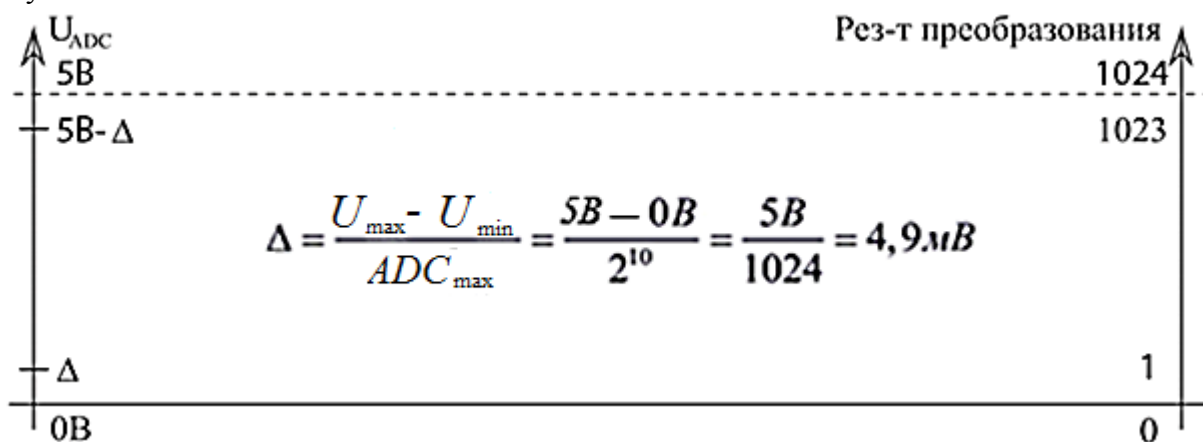


Рисунок 3 - Разрешение 10-битного АЦП

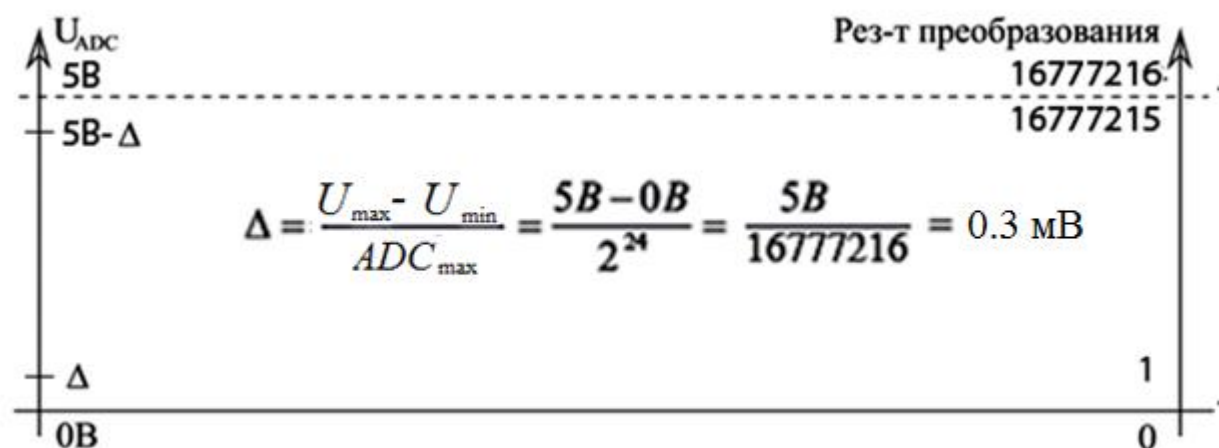


Рисунок 4 - Разрешение 24-битного АЦП

### Погрешность АЦП

Существуют общие определения, которые принято использовать в отношении аналого-цифровых преобразователей. Тем не менее, характеристики, приводимые в технической документации производителей АЦП, могут показаться довольно путанными. Правильный же выбор оптимального по сочетанию своих характеристик АЦП для конкретного приложения требует точной интерпретации данных, приводимых в технической документации.

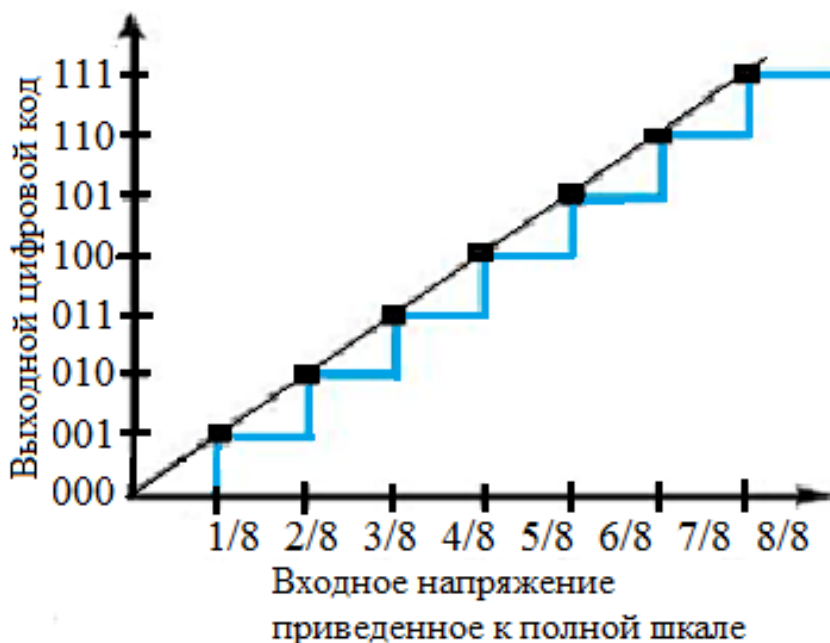
Наиболее часто путаемыми параметрами являются разрешающая способность и точность, хотя эти две характеристики реального АЦП крайне слабо связаны между собой. Разрешение не идентично точности, 12-разрядный АЦП может иметь меньшую точность, чем 8-разрядный. Для АЦП разрешение представляет собой меру того, на какое количество сегментов может быть поделен входной диапазон измеряемого аналогового сигнала (например, для 8-разрядного АЦП это  $2^8=256$  сегментов). Точность же характеризует суммарное отклонение результата преобразования от своего идеального значения для данного входного напряжения. То есть, разрешающая способность

характеризует потенциальные возможности АЦП, а совокупность точностных параметров определяет реализуемость такой потенциальной возможности.

АЦП преобразует входной аналоговый сигнал в выходной цифровой код. Для реальных преобразователей, изготавливаемых в виде интегральных микросхем, процесс преобразования не является идеальным: на него оказывают влияние как технологический разброс параметров при производстве, так и различные внешние помехи. Поэтому цифровой код на выходе АЦП определяется с погрешностью. В спецификации на АЦП указываются погрешности, которые дает сам преобразователь. Их обычно делят на статические и динамические. При этом именно конечное приложение определяет, какие характеристики АЦП будут считаться определяющими, самыми важными в каждом конкретном случае. В большинстве применений АЦП используют для измерения медленно изменяющегося, низкочастотного сигнала (например, от датчика температуры, давления, от тензодатчика и т.п.), когда входное напряжение пропорционально относительно постоянной физической величине. Здесь основную роль играет статическая погрешность измерения. В спецификации АЦП этот тип погрешности определяют аддитивная погрешность (Offset), мультипликативная погрешность (Full-Scale), дифференциальная нелинейность (DNL), интегральная нелинейность (INL) и погрешность квантования. Эти пять характеристик позволяют полностью описать статическую погрешность АЦП.

### 1.10.1. Идеальная передаточная характеристика АЦП

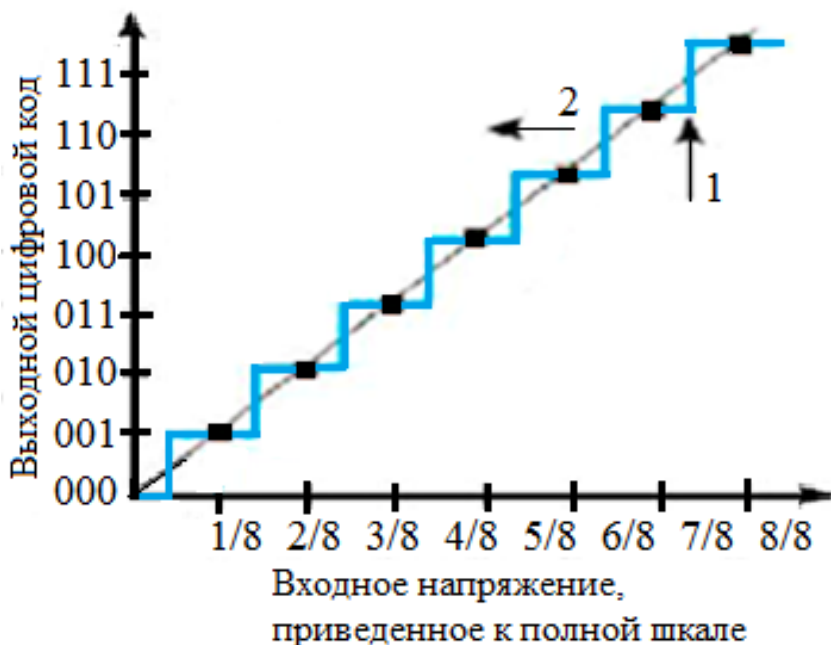
Передаточная характеристика АЦП - это функция зависимости кода на выходе АЦП от напряжения на его входе. Такой график представляет собой кусочно-линейную функцию из  $2^N$  "ступеней", где  $N$  - разрядность АЦП. Каждый горизонтальный отрезок этой функции соответствует одному из значений выходного кода АЦП (см. рисунок 13). Если соединить линиями начала этих горизонтальных отрезков (на границах перехода от одного значения кода к другому), то идеальная передаточная характеристика будет представлять собой прямую линию, проходящую через начало координат.



**Рисунок 13** - Идеальная передаточная характеристика 3-х разрядного АЦП

[Рисунок 13](#) иллюстрирует идеальную передаточную характеристику для 3-х разрядного АЦП с контрольными точками на границах перехода кода. Выходной код принимает наименьшее значение (000b) при значении входного сигнала от 0 до 1/8 полной шкалы (максимального значения кода этого АЦП). Также следует отметить, что АЦП

достигнет значения кода полной шкалы (111b) при  $7/8$  полной шкалы, а не при значении полной шкалы. Т. о. переход в максимальное значение на выходе происходит не при напряжении полной шкалы, а при значении, меньшем на наименьший значащий разряд (LSB), чем входное напряжение полной шкалы. Передаточная характеристика может быть реализована со смещением  $-1/2$  LSB. Это достигается смещением передаточной характеристики влево, что смещает погрешность квантования из диапазона  $-1 \dots 0$  LSB в диапазон  $-1/2 \dots +1/2$  LSB.

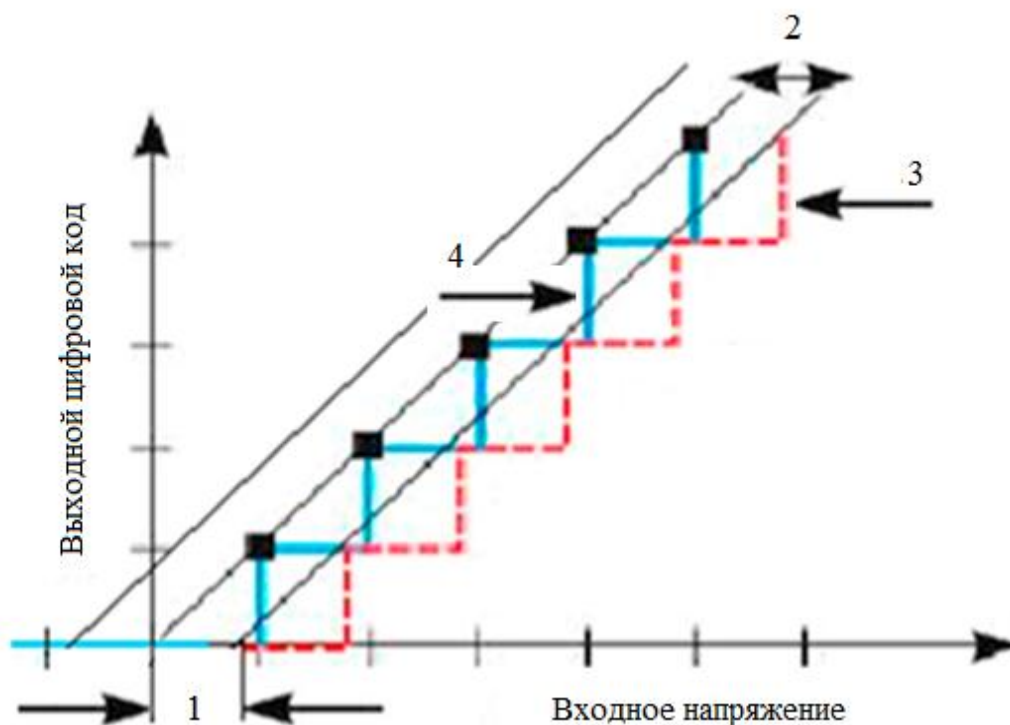


**Рисунок 14** - Передаточная характеристика 3-разрядного АЦП со смещением на  $-1/2$  LSB: 1 — наибольшее значение кода при значении входного напряжения, меньшем на  $1/2$  LSB, чем входное напряжение к полной шкале; 2 — передаточная функция смещается влево на  $1/2$  LSB для уменьшения погрешности квантования на  $1/2$  LSB

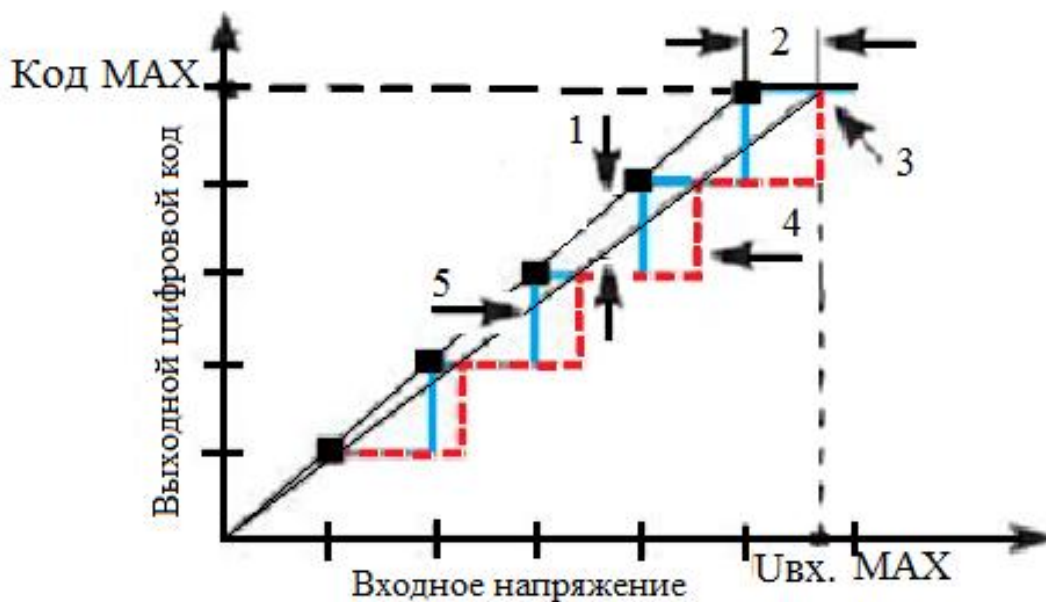
#### Аддитивная погрешность

Из-за технологического разброса параметров при изготовлении интегральных микросхем реальные АЦП не имеют идеальной передаточной характеристики. Отклонения от идеальной передаточной характеристики определяют статическую погрешность АЦП и приводятся в технической документации.

Идеальная передаточная характеристика АЦП пересекает начало координат, а первый переход кода происходит при достижении значения  $1$  LSB. Аддитивная погрешность (погрешность смещения) может быть определена как смещение всей передаточной характеристики влево или вправо относительно оси входного напряжения, как показано на рисунке 15. Таким образом, в составляющую аддитивной погрешности (смещение реальной передаточной характеристики АЦП относительно идеальной) включается и смещение  $\{-1/2 \dots 1/2\} < \text{LSB}$ .



**Рисунок 15** - Аддитивная погрешность (Offset Error): 1— величина погрешности; 2 — аддитивная погрешность сдвигает передаточную характеристику влево или вправо; 3 — передаточная характеристика со смещением; 4 — передаточная характеристика без смещения.



**Рисунок 16** - Мультипликативная погрешность (Full-Scale Error): 1 — изменение наклона передаточной харатеристики по сравнению с идеальной; 2 — мультипликативная погрешность; 3 — граница перехода к максимальному коду сдвигается влево или вправо; 4 — передаточная характеристика с мультипликативной погрешностью; 5 — передаточная характеристика без мультипликативной погрешности

### 1.10.3 Мультипликативная погрешность

Мультипликативная погрешность (погрешность полной шкалы) представляет собой разность между идеальной и реальной передаточными характеристиками в точке

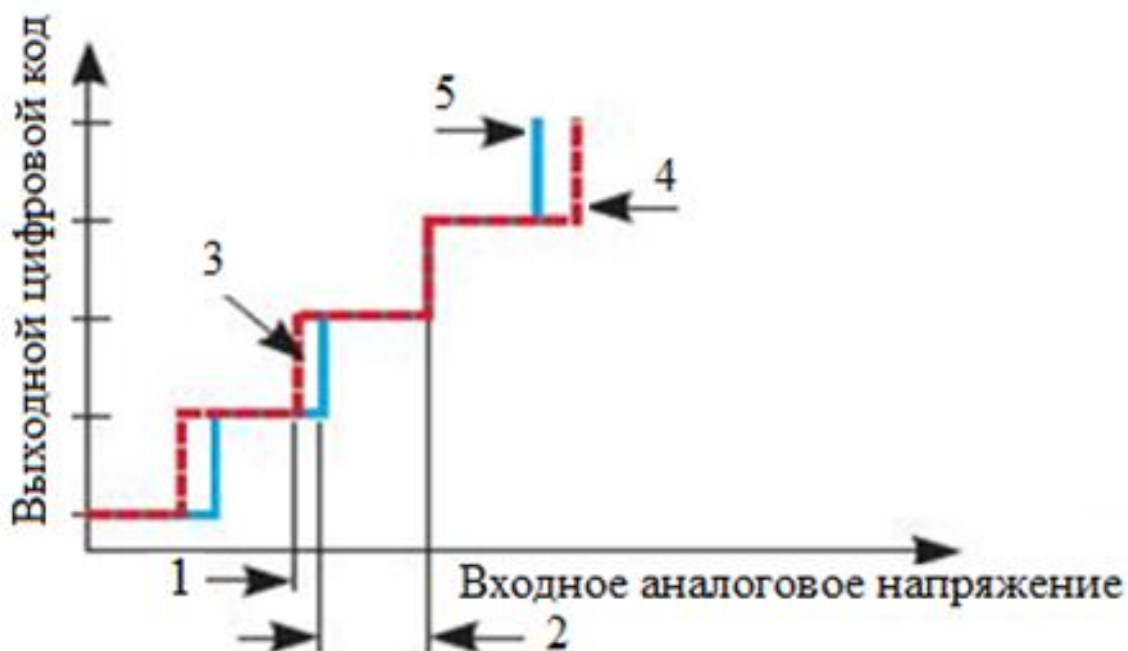


максимального выходного значения при условии нулевой аддитивной погрешности (смещение отсутствует). Это проявляется как изменение наклона передаточной функции, что иллюстрирует рисунок 16.

### Дифференциальная нелинейность

У идеальной передаточной характеристики АЦП ширина каждой "ступеньки" должна быть одинакова. Разница в длине горизонтальных отрезков этой кусочно-линейной функции из  $2^m$  "ступеней" представляет собой дифференциальную нелинейность (DNL).

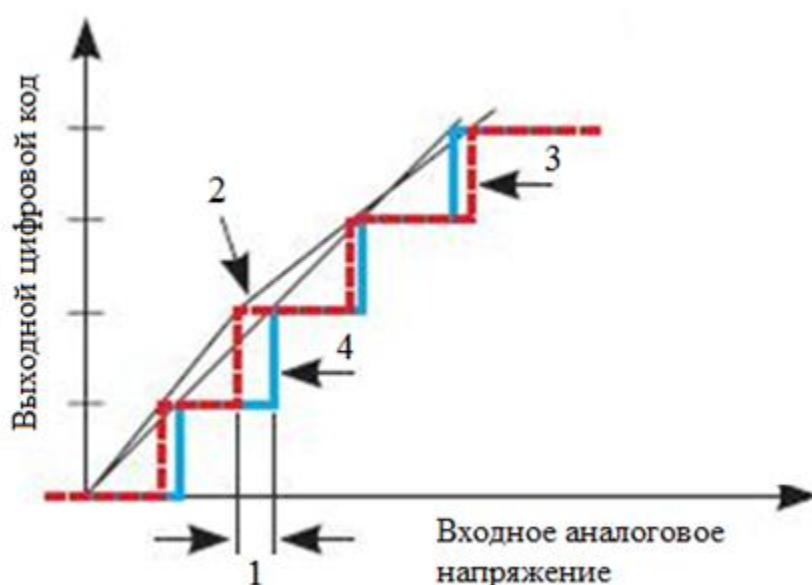
Величина наименьшего значащего разряда у АЦП составляет  $U_{оп}/2^m$ , где  $U_{оп}$  - опорное напряжение,  $m$  - разрядность АЦП. Разность напряжений между каждым кодовым переходом должна быть равна величине LSB. Отклонение этой разности от LSB определяются как дифференциальная нелинейность. На рисунке 17 это показано как неравные промежутки между "шагами" кода или как "размытость" границ переходов на передаточной характеристике АЦП.



**Рисунок 17** - Дифференциальная нелинейность (DNL): 1 — реальный интервал кода; 2 — идеальный интервал кода; 3 — погрешность DNL; 4 — характеристика с погрешностью DNL; 5 — передаточная характеристика с равными интервалами кодов.

## Интегральная нелинейность

Интегральная нелинейность (INL) - это погрешность, которая вызывается отклонением линейной функции передаточной характеристики АЦП от прямой линии, как показано на рисунке 18. Обычно передаточная функция с интегральной нелинейностью аппроксимируется прямой линией по методу наименьших квадратов. Часто аппроксимирующей прямой просто соединяют наименьшее и наибольшее значения. Интегральную нелинейность определяют путем сравнения напряжений, при которых происходят кодовые переходы. Для идеального АЦП эти переходы будут происходить при значениях входного напряжения, точно кратных LSB. А для реального преобразователя такое условие может выполняться с погрешностью. Разность между "идеальными" уровнями напряжения, при которых происходит кодовый переход, и их реальными значениями выражается в единицах LSB и называется интегральной нелинейностью.



**Рисунок 18** - Интегральная нелинейность (INL): 1 — величина интегральной нелинейности; 2 — переход кода в реальном АЦП; 3 — передаточная характеристика с интегральной нелинейностью; 4 — идеальная передаточная характеристика.

## Погрешность квантования

Одна из наиболее существенных составляющих ошибки при измерениях с помощью АЦП - погрешность квантования - является результатом самого процесса преобразования. Погрешность квантования - это погрешность, вызванная значением шага квантования и определяемая как  $\frac{1}{2}$  величины наименьшего значащего разряда (LSB). Она не может быть исключена в аналого-цифровых преобразованиях, так как является неотъемлемой частью процесса преобразования, определяется разрешающей способностью АЦП, и не меняется от АЦП к АЦП с равным разрешением.

## Применение АЦП

Аналого-цифровое преобразование используется везде, где требуется обрабатывать, хранить или передавать сигнал в цифровой форме:

- АЦП являются составной частью систем сбора данных;
- быстрые видео АЦП используются, например, в ТВ-тюнерах (это параллельные и конвейерные АЦП);

- медленные встроенные 8, 10, 12 или 16-битные АЦП часто входят в состав микроконтроллеров (как правило они строятся по принципу поразрядного уравнивания, точность их невысока);
- очень быстрые АЦП необходимы в цифровых осциллографах (параллельные и конвейерные);
- современные весы используют АЦП с разрядностью до 24 бит, преобразующие сигнал непосредственно от тензOMETрического датчика (сигма-дельта АЦП);
- АЦП входят в состав радиомодемов и других устройств радиопередачи данных, где используются совместно с процессором цифровой обработки сигналов в качестве демодулятора;
- сверхбыстрые АЦП используются в антенных системах базовых станций (в так называемых SMART-антеннах) и в антенных решетках радиолокационных станций.

Если структура САУ создается на базе микропроцессора или PIC-контроллера (Peripheral Interface Controller – периферийный контроллер интерфейса), то приходится все управляющие аналоговые сигналы, определяющие работу и качественные показатели системы, преобразовывать в цифровую форму. Количество типов выпускаемых сегодня в мире интегральных АЦП в виде автономных микросхем, а также встроенных в структуру PIC-контроллеров огромно и учитывает запросы разработчиков САУ с точки зрения параметров точности и быстродействия. Но при этом приходится учитывать и другие проблемы при выборе конкретного типа АЦП.

**Учет частоты дискретизации (максимальная скорость Найквиста,  $F_n$ )**

Эта величина обычно приводится как справочная для любого типа АЦП (как для автономных микросхем, так и встроенных в другие устройства). Обычно разработчики САУ в большинстве случаев сравнивают  $F_n$  с частотой среза проектируемой системы. Если объект управления инерционный (нагревательный элемент, электродвигатели и др.), то проблем по этому критерию не возникает. Только необходимо помнить, что частота  $F_n$  отображается в величине частоты (Гц), а частота в величине круговой частоты (рад/сек).

**Учет количества каналов (K)**

С целью экономии количества автономных микросхем АЦП могут иметь несколько входных аналоговых каналов, которые с помощью коммутатора подключаются к одной и той же схеме преобразователя в цифровую форму. И для корректности выбора по частоте  $F_n$  необходимо учитывать время преобразования всех каналов. Поэтому приходится сравнивать частоту с величиной  $F_n/K$ , где K – число используемых каналов.

**Учет электрических параметров аналогового сигнала**

Максимальная величина напряжения  $U_{вх}$  обычно является справочной величиной. Если  $U_{вх.max}$  больше этой величины, то необходимо следить, чтобы  $U_{вх.max} < U_{вх}$ .

**Учет разрядности АЦП**

С целью уменьшения различного рода ошибок САУ обычно стремятся выбирать АЦП с большой разрешающей способностью (большой разрядностью), что не всегда является оптимальным решением. Особенно это утверждение справедливо для PIC-контроллеров, которые стандартно работают с байтовой информацией (8 разрядов). Если разрядность АЦП больше, то приходится создавать более сложные алгоритмы обработки информации с двойной точностью (16 разрядов). Обычно в библиотеке любого PIC-контроллера имеются такие программы. Но это потребует увеличения времени обработки информации, дополнительной памяти для их хранения. Последнее требование может создать непреодолимую задачу для выбранного типа АЦП.

Такая же проблема нехватки памяти возникает при отказе работы с целочисленной арифметикой в пользу арифметических действий с реальными данными, которые хранятся в виде мантииссы и порядка, из-за использования соответствующих библиотечных программ.

Если в структуре САУ используется более мощный микропроцессор с возможностью работы с действительными числами, то обычно в их структуре отсутствуют встроенные АЦП и приходится использовать автономные микросхемы. Такая организация САУ рождает проблему организации интерфейса по управлению коммутатором входных аналоговых сигналов и считывание выходных цифровых данных (эти интерфейсы строятся на базе PIC-контроллеров). Стандартно мощные микропроцессоры имеют для связи с другими внешними устройствами последовательный порт. При таком подходе следует выбирать АЦП с последовательной передачей информации (выпускаются АЦП и с параллельной передачей данных), которая побитно передается в другое устройство в течение определенного промежутка времени.

Вид аналогового сигнала

Существуют АЦП, которые преобразуют однополярный аналоговый сигнал (обычно положительный) или биполярный. Но выходная информация представлена в прямом коде в виде только положительных чисел. В САУ обычно приходится работать с биполярными сигналами, производить арифметические операции и с отрицательными сигналами, которые в процессоре должны быть представлены со своими знаками.

Если АЦП униполярный, то входной сигнал с помощью суммирующего усилителя и сигнала смещения  $U_{см}$  необходимо преобразовывать в положительный. Но необходимо программным образом предусмотреть вычитание АЦП цифрового эквивалента  $U_{см}$ . Та же процедура необходима и при биполярном АЦП (вычитание эквивалента  $U_{см}=0$ ).

В процессе проектирования САУ с АЦП могут возникнуть и другие проблемы.

## Экспериментальная часть

1. Исследование влияния величины частоты дискретизации на параметры преобразованного сигнала.

1.1 Для работы со схемой (рис. 1) открыть файл AD16 LAB\_0.CIR, находящийся в папке Lab (:\mc8\DATA\Lab\).

1.2 Установить величину частоты генератора V3 равной 1100 Гц (для этого: два щелчка мыши по генератору V3, слева внизу в поле F установить значение его частоты).

1.3 Установить величину частоты дискретизации  $f_d$ , задаваемую для АЦ генератором U2 равной 500 Гц (для этого: два щелчка мыши по генератору U3, в верхнем окне выбрать параметр Command=convert1, в нижнем окне в двух последних строках задать время импульса  $t_i$  и время паузы  $t_p$ , в сумме дающие период импульса  $T$ , пусть  $t_i = t_p$ , пример таких импульсов показан на рис. 2). Известно:  $f_d = 1/T$ . Значок  $\mu$  – обозначает микро. В десятичных дробях используется точка вместо запятой.

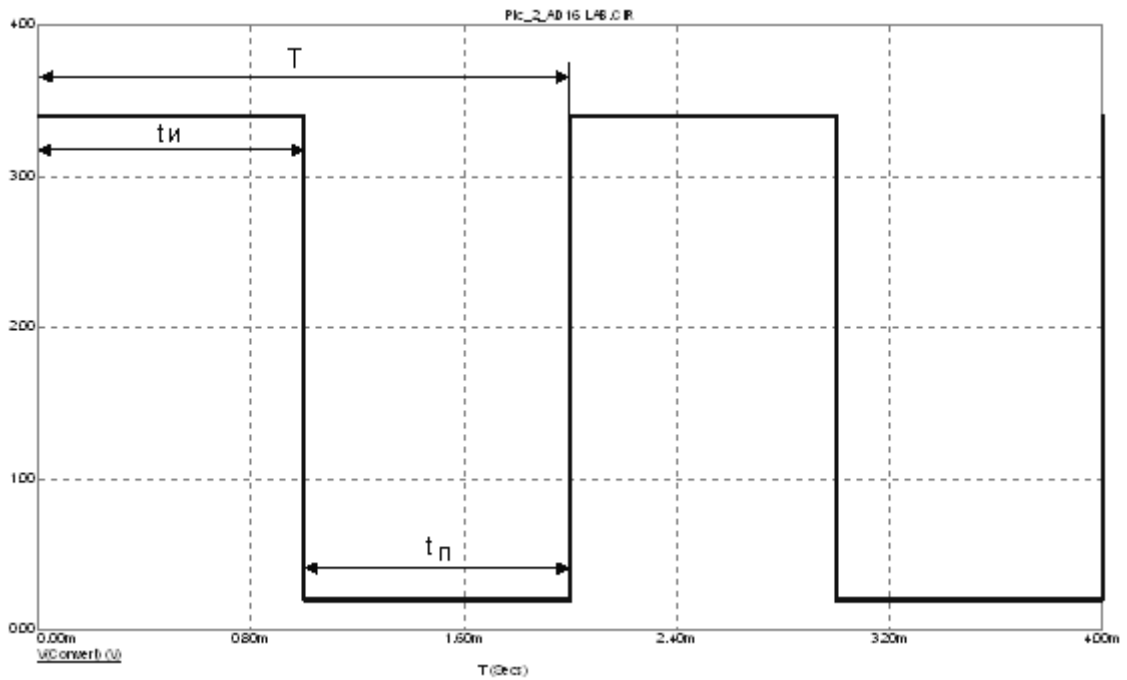


Рис. 2. Определение периода тактирующего генератора U2.

1.4 Запустить анализ схемы для этого: меню => Анализ => Переходные процессы. В появившемся окне параметров анализа активировать первые три графика, вписав каждому в поле «Р» – 1 (единицу), остальные три должны быть пустыми, или сделать то же при помощи правой кнопки мыши. Нажать Run. Полученный график иллюстрирует работу схемы во временной области на нём красный сигнал – исходный, чёрный сигнал – восстановленный по результатам аналого-цифрового преобразования, синий сигнал – от тактирующего генератора U2. Оценить возможность использования данной частоты дискретизации для аналого-цифрового преобразования, вывод занести в табл. 1.

1.5 Вызвать окно параметров анализа нажав F9. Активировать третий график, поставив 2 в его поле «Р», результат моделирования отобразится на втором графике. Нажать Run. Полученный график показывает значение абсолютной ошибки сигнала, полученного после АЦП и восстановления, оно определяется как абсолютная разность между исходным и преобразованным сигналом. По графику определить среднее и максимальные значения ошибки, а также среднее значение её периода, результат занести в табл. 1.

1.6 Вызвать окно параметров анализа нажав F9. Деактивировать первые четыре графика, удалив из каждого в поле «Р» – 1 или 2, можно сделать то же при помощи правой кнопки мыши. Активировать пятый и шестой графики, поставив 1 в их поля. Нажать Run. Полученный график иллюстрирует влияние работы схемы на частотный состав сигнала после АЦП и восстановления, на нём красный сигнал – (соответствует 1100 Гц), чёрный сигнал – спектр восстановленного сигнала по результатам аналого-цифрового преобразования. Определить частоту основной гармоники восстановленного сигнала и число дополнительных гармоник, считая значимыми гармоники лежащие выше уровня 5% от уровня основной гармоники, полученные данные занести в табл. 1.

1.7 Выйти из режима анализа нажав F3. Установить величину частоты дискретизации  $f_d$  в соответствии с рекомендациями пункта 1.3 равную 1000 Гц. Провести необходимые измерения в соответствии с пунктами 1.4 – 1.6, полученные данные занести в табл. 1.

1.8 Повторить те же исследования для частот указанных в табл. 1, полученные данные занести в табл. 1.

1.9 Закрыть файл AD16 LAB\_0.CIR, не сохраняя изменений.



2200	1								
	...								
	M								
4400	1								
	...								
	K								

3. Исследование влияния величины разрядности квантования на параметры преобразованного с помощью АЦП сигнала.

3.1 Для работы со схемой (рис. 1) открыть файл AD16 LAB\_2.CIR, находящийся в папке Lab (:\\mc8\DATA\Lab\).

3.2 Установить величину частоты генератора V3 равной 1100 Гц (для этого: два щелчка мыши по генератору V3, слева внизу в поле F установить значение его частоты).

3.3 Установить величину частоты дискретизации  $f_d$ , задаваемую для АЦП генератором U2, равную 25 кГц (для этого: воспользоваться рекомендацией из пункта 1.3).

3.4 Запустить анализ схемы для этого: меню => Анализ => Переходные процессы. В появившемся окне параметров анализа должны быть активированы все графики: первые три графика в поле «Р» должны иметь – 1 (единицу), остальные должны иметь – 2. Нажать Run. Полученный верхний график иллюстрирует работу схемы во временной области на нём красный сигнал – исходный, чёрный сигнал – восстановленный по результатам аналого-цифрового преобразования, синий сигнал – от тактирующего генератора U2; полученный средний график показывает логические уровни сигнала в параллельном канале данных, от младшего до старшего разряда (номера разрядов показаны слева от оси ординат), полученный нижний график показывает значение абсолютной ошибки сигнала, полученного после АЦП и восстановления, оно определяется как абсолютная разность между исходным и преобразованным сигналом.

3.5 По верхнему графику определить число отсчётов приходящихся на один период восстановленного сигнала для 16 разрядов квантования занести его в табл. 3. По нижнему графику определить среднее и максимальное значения ошибки, результат занести в табл. 3. Оценить возможность использования данной разрядности квантования для аналого-цифрового преобразования, вывод занести в табл. 3.

3.6 Выйти из режима анализа нажав F3. Уменьшить число разрядов квантования. С этой целью следует удалить из схемы (рис. 1) проводники, соединяющие выход АЦП и вход ЦАП, соответствующие тем младшим разрядам квантования, от которых необходимо избавиться (по табл. 3). Для этого: по очереди выделить проводники с помощью мыши (наведя курсор на проводник (он «подсветится») и нажать один раз левую клавишу), нажать кнопку Delete.

3.7 Повторить измерения в соответствии с пунктами 3.5 и 3.6. для всех вариантов числа уровней квантования, указанных в табл. 3.

3.8 Восстановить все удалённые проводники, нажав необходимое число раз совместно кнопки Ctrl и Z.

3.9 Установить величину частоты дискретизации  $f_d$ , задаваемую для АЦП генератором U2, равную 100 кГц (для этого: воспользоваться рекомендацией из пункта 1.3).

3.10 Повторить измерения для данной частоты дискретизации в соответствии с пунктами 3.4 – 3.7. Результаты занести в табл. 3.

3.11 Закрывать файл AD16 LAB\_2.CIR, не сохраняя изменений.

Таблица 3. Результаты исследования влияния величины разрядности квантования на параметры преобразованного с помощью АЦП сигнала.

Частота дискретизации $f_d$ , Гц	Число используемых разрядов квантования, (оставшиеся)	Число отсчётов приходящихся на один период восстановленного сигнала	Максимальная амплитуда ошибки, В	Средняя амплитуда ошибки, В	Возможность использования данной разрядности для АЦП

	разряды)				исходного сигнал, да / нет
25000	16 (B0-B15)				
	14 (B2-B15)				
	12 (B4-B15)				
	10 (B6-B15)				
	8 (B8-B15)				
	6 (B10-B15)				
	5 (B11-B15)				
	4 (B12-B15)				
	3 (B13-B15)				
	2 (B14-B15)				
	1 (B15)				
100000	16 (B0-B15)				
	14 (B2-B15)				
	12 (B4-B15)				
	10 (B6-B15)				
	8 (B8-B15)				
	6 (B10-B15)				
	5 (B11-B15)				
	4 (B12-B15)				
	3 (B13-B15)				
	2 (B14-B15)				
	1 (B15)				

#### 4. Расчётная часть

1. По данным табл. 1 определить, какое значение частоты дискретизации является минимально допустимым при используемом способе восстановления сигнала после АЦП. Сравнить это значение с теоретическим значением, соответствующим теореме Котельникова (условию Найквиста).

2. По данным табл. 1 на одной координатной плоскости построить графики зависимости величины максимальной амплитуды ошибки и величины средней амплитуды ошибки от величины частоты дискретизации.

3. По данным табл. 1 построить график зависимости числа значимых дополнительных гармоник от величины частоты дискретизации.

4. По данным табл. 1, отметить при какой минимальной частоте дискретизации частота основной гармоники восстановленного сигнала начинает совпадать с частотой исходного сигнала.

5. По данным табл. 2 для каждого отсчёта рассчитать десятичное значение, соответствующее двоичному коду отсчёта, результат занести в табл. 2. Сравнить полученные значения со значениями измеренных амплитуд отсчётов.

6. По данным табл. 2 сделать вывод о том какие разряды (от B0 до B15) являются значимыми при аналого-цифровом преобразовании исходного сигнала, а какие нет, при заданных частотах сигнала и частоте дискретизации.

7. По данным табл. 3 построить на одной координатной плоскости графики зависимости величины максимальной амплитуды ошибки и величины средней амплитуды ошибки от величины числа используемых разрядов квантования для соответствующих частот дискретизации.

8. По данным табл. 3 построить на одной координатной плоскости графики зависимости величины числа отсчётов приходящихся на один период восстановленного сигнала от величины числа используемых разрядов квантования для соответствующих частот дискретизации.



9. Сделать вывод о том, как связаны минимально необходимые величины частоты дискретизации и разрядности АЦП с амплитудой и частотой сигнала. Ответить на вопрос: есть ли взаимозависимость между минимально необходимой величиной частоты дискретизации и минимально необходимой величиной разрядности АЦП?

10. Изучить практическую реализацию АЦП на примерах представленных в приложениях 3 и 4.

## **6. Содержание отчета**

Формулировка цели работы.

Схемы, таблицы с результатами измерений.

Графики зависимостей исследуемых цепей.

Анализ полученных результатов, необходимые расчёты, ответы на вопросы и выводы по работе.

## **7. Контрольные вопросы**

1. В каком частотном диапазоне лежат звуковые сигналы?
2. Методы и типы АЦП.
3. Статические параметры АЦП.
4. Понятие дискретности, квантование, разрешающая способность.
5. Характеристика преобразования, дифференциальная нелинейность АЦП, отклонение коэффициента преобразования.
6. Напряжение смещения нуля.
7. Динамические параметры АЦП.
8. Время преобразования, время задержки запуска, время цикла преобразования, максимальная частота преобразования.
9. Факторы, влияющие на погрешность АЦП.
10. Аппаратные реализации АЦП.
11. Примеры практического применения АЦП.
12. Построение схем АЦП с помощью микросхем ЦАП.

## **Литература**

Сергиенко А. Б. “Цифровая обработка сигналов” С-Пб.: Питер 2003.

Смит С. В. “Научно-техническое руководство по цифровой обработке сигналов” 1997-1999, [www.autex.spb.ru](http://www.autex.spb.ru)

## Лабораторная работа №2

Статические и динамические характеристики усилителей постоянного тока

### 1. Цель работы

Целью лабораторной работы является экспериментальное исследование свойств и характеристик операционного усилителя на ИМС в трёх функциональных схемах его включения.

### 2. Задание

Подготовиться к работе.

Изучить литературу [1], с.136 – 148, с.221 – 236; или [2], с.296 – 297, с.302 – 332, с.351 – 358; или [3], с.15 – 27; [6] и [8] обращая внимание на:

свойства, характеристики и построение схем усилителей постоянного тока (УПТ);  
функциональные схемы и характеристики ОУ;

ИМС 140УД1.

Ознакомиться с описанием схемы исследуемого усилителя.

Провести эксперимент.

Исследовать ОУ в режиме УПТ:

установить нуль на выходе;

измерить коэффициент усиления УПТ на заданной частоте 150Гц при заданном уровне входного напряжения  $U_1=0,2\text{мВ}$

снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в диапазоне частот от 30Гц до 5,6кГц.

Исследовать ОУ в режиме МУ:

установить нуль на выходе;

снять амплитудную характеристику (АХ) на частоте 150Гц для двух значений коэффициента усиления  $K = 10$  и  $K = 100$ ;

сравнить экспериментальное значение  $K$  с расчётным;

измерить входное сопротивление ОУ для двух значений  $K$ .

Исследовать ОУ в режиме повторителя напряжения (ПН):

- измерить коэффициент передачи ПН.

Исследование ОУ в импульсном режиме:

а) масштабный усилитель (МУ):

установить нуль на выходе;

снять осциллограмму выходного напряжения при подаче на его вход прямоугольных импульсов длительностью 1250мкс для  $K = 10$  и  $K = 100$ .

б) повторитель напряжения (ПН) на ОУ:

снять осциллограмму выходного напряжения при подаче на его вход прямоугольных импульсов длительностью 200мкс (2,5кГц).

Подготовить отчет по выполненной работе.

### 3. Краткие теоретические сведения

Операционный усилитель (ОУ) в интегральном исполнении является наиболее распространенной универсальной микросхемой (ИМС). ОУ – это устройство с высокостабильными качественными показателями, которые позволяют производить обработку аналоговых сигналов по алгоритму, задаваемому с помощью внешних цепей.

Операционный усилитель (ОУ) — унифицированный многокаскадный усилитель постоянного тока, удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам

коэффициент усиления по напряжению стремится к бесконечности  $K_{OU} \rightarrow \infty$ ;

входное сопротивление стремится к бесконечности  $R_{вх} \rightarrow \infty$ ;

выходное сопротивление стремится к нулю  $R_{вых} \rightarrow 0$ ;

если входное напряжение равно нулю, то выходное напряжение также равно нулю  $U_{вх} = 0, U_{вых} = 0$ ;

бесконечная полоса усиливаемых частот  $F_{в} \rightarrow \infty$ .

ОУ имеет два входа, инвертирующий и неинвертирующий. В этом случае коэффициент усиления равен:

- для инвертирующего

$$K_{ноу} = R_{ос} / R_1$$

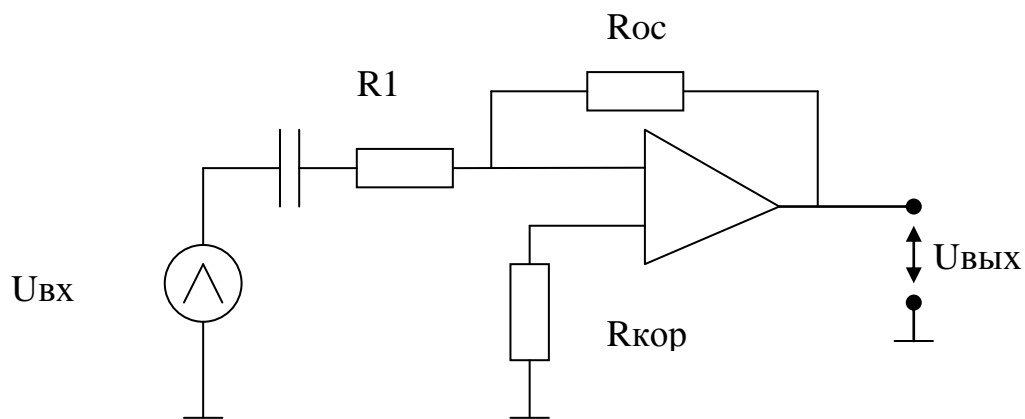


Рис. 1 Инвертирующий ОУ

для неинвертирующего

$$K_{ноу} = 1 + R_{ос} / R_1$$

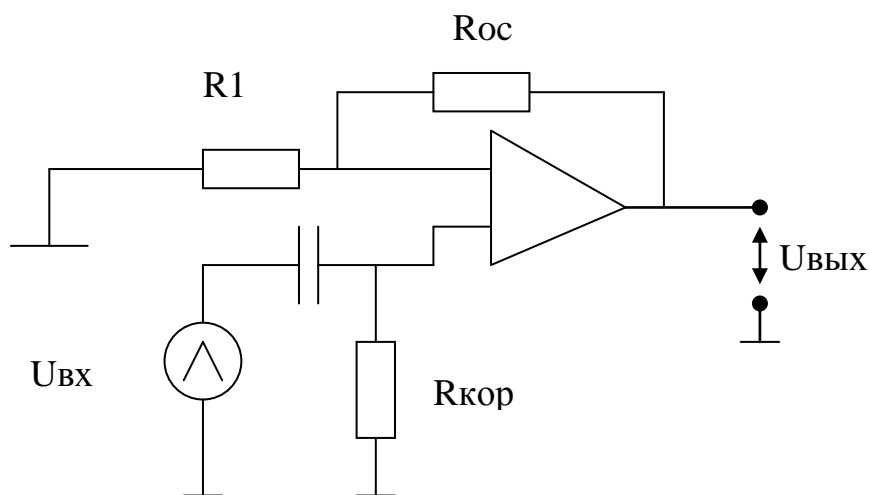


Рис. 2 Неинвертирующий ОУ

Инвертирующий усилитель охвачен ООС параллельной по напряжению, что вызывает уменьшение  $R_{вхоу}$  и  $R_{выхоу}$ .

Неинвертирующий усилитель охвачен ООС последовательной по напряжению, что обеспечивает увеличение  $R_{вхоу}$  и уменьшение  $R_{выхоу}$ . На базе этих ОУ можно построить различные схемы для аналоговой обработки сигналов.

Усилитель постоянного тока (УПТ)

К усилителям постоянного тока предъявляются высокие требования по наименьшему дрейфу нуля и по высокому входному сопротивлению. Этим требованиям удовлетворяет ОУ в котором первый каскад собран по дифференциальной схеме, который подавляет все синфазные помехи и обеспечивает высокое входное сопротивление. Этот

каскад может быть собран на полевых транзисторах и на составных транзисторах, где в цепи эмиттеров (истоков) подключен ГСТ (генератор стабильного тока), что усиливает подавление синфазных помех. Для повышения входного сопротивления применяют глубокую последовательную ООС и высокую коллекторную нагрузку (в этом случае  $I_{вх}$  стремится к нулю).

Наличие в ОУ, распределенных емкостей в виде емкостей p-n переходов и емкости монтажа приводит к тому, что амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) УПТ на ОУ имеет завал в области высоких частот, т.е. для любого усилителя на ОУ важной характеристикой является частота единичного усиления

Линейные искажения на высоких частотах будут сказываться и в области малых времен переходной характеристики, т.е.  $t_{0} = t_{спер} + t_{см}$  влияет на  $t_{у}$  – время установления переднего фронта импульса.

История операционного усилителя связана с тем, что усилители постоянного тока использовались в аналоговой вычислительной технике для реализации различных математических операций, например суммирования, интегрирования и др. В настоящее время эти функции хотя и не утратили своего значения, однако составляют лишь малую часть списка возможных применений ОУ.

#### Масштабный усилитель (МУ)

Масштабным называют, обычно, решающий усилитель, обеспечивающий усиление в строго заданное число раз. На рис.4 представлена схема инвертирующего МУ.

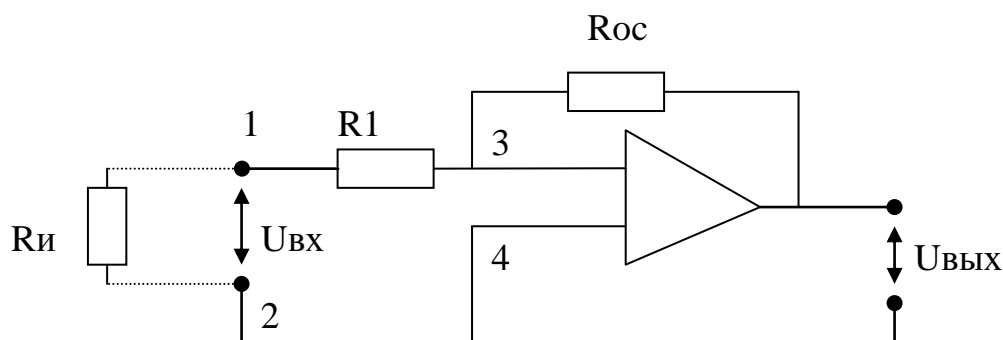


Рис. 4 Масштабный усилитель.

В этой схеме имеет место параллельная (по входу) ООС по напряжению. Коэффициент усиления усилителя с ООС (КАФ) определяется как

$$КАФ = K1 * КА / (1 + КА * \beta),$$

где  $(1+K_A * \beta) = F$  – глубина ООС;

$\beta$  - коэффициент передачи цепи обратной связи;

$K_A$  – коэффициент передачи входной цепи.

Расчет КАФ значительно упрощается, если идеализировать параметры ОУ, т.е. считать входное сопротивление ОУ  $R_{вх} = \infty$ , выходное –  $R_{вых} = 0$ , а коэффициент усиления  $K \rightarrow \infty$ . Тогда имеем

$$K_1 = R_{oc} / (R_1 + R_{oc}), \beta = R_1 / (R_{oc} + R_1),$$

учитывая, что  $K_A * \beta \gg 1$ , получим

$$KAF = K1 / \beta = R_{oc} / R1$$

Таким образом, задавая различные соотношения сопротивлений  $R1$  и  $R_{oc}$ , можно обеспечить усиление в заданное число раз.

Входное сопротивление можно определить по формуле Блекмана:

$$R_{вхF} = R_{вх} * (F_{кз} / F_{хх});$$

т.к. в рассматриваемом случае имеет место параллельная ООС, то

$$F_{кз} = 1, F_{хх} = 1 + \beta_{хх} * KA.$$

Коэффициент передачи цепи ООС в режиме холостого хода определяется как

$$\beta_{хх} = R_{вх} * (R_{вх} + R_{oc}),$$

где  $R_{вх}$  – собственное входное сопротивление ОУ (между общей точкой схемы и входом 3).

Учитывая, что  $R_{вх} \gg R_{oc}$ , можем записать  $\beta_{хх} \approx 1$ , тогда

$$F_{хх} \approx 1 + KA \approx KA.$$

Входное сопротивление схемы МУ (точки 1-2)

$$R_{вхF} = R1 + R_{вхF} \approx R1.$$

Входное напряжение МУ в точках 4-3 уменьшается в  $F$  раз, т.е.

$$U_{3-4} = U_{вх} / F$$

Учитывая общую глубину ОС  $F \gg 1$  и малое значение  $U_{вх}$  (единицы мВ) принято считать также  $U_{3-4} = 0$  (т.е. входы 3 и 4 имеют фактически одинаковый потенциал) и вход 3 потенциально заземлен, хотя никакой непосредственной связи с землей нет.

Повторитель напряжения (ПН)

Неинвертирующий усилитель (МУ) с сопротивлением  $R_1 = \infty$  называют повторителем напряжения, т.е. усилитель с  $K_{ноу} = 1$ . В этом случае повторяется и амплитуда и фаза входного сигнала.

$$K_{ноу} = 1 + R_{ос} / R_1$$

При  $R_1 = \infty$ ,  $K_{ноу} = 1$ , что и находит отражение в схеме на рис. 5.

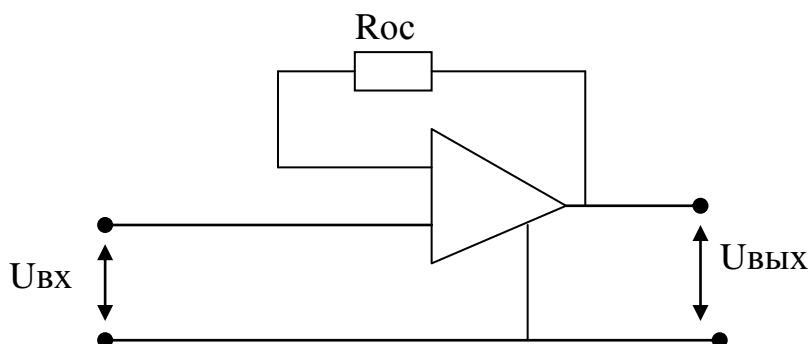


Рис. 5 Схема повторителя напряжения

Это усилитель, охваченный цепью последовательной ООС по выходному напряжению с коэффициентом передачи  $b_{ос} = 1$ , т.е. 100% ООС. Свойства такого усилителя подобны свойствам эмиттерного или истокового повторителя и для него выполняются условия

$$U_{вх} = U_{вых};$$

$$R_{вх.оос} = R_{вх} * (1 + K_{УО}); (*)$$

$$R_{вых.оос} = R_{вых} / (1 + K_{УО}),$$

что хорошо согласуется со свойствами ОУ. Действительно, напряжение, приложенное между входами ОУ, передается на выход с коэффициентом усиления  $K_{УО}$ , т. е. при любом выходном напряжении



$$dU_{вх} = U_{вх.ин} - U_{вх.неин} = dU_{вых} / KUO.$$

Появление любого входного напряжения сразу приводит к появлению разности  $U_{вх.ин} - U_{вх.неин} = U_{вых} - U_{вх.неин}$ . Эта разность, передаваясь на выход ОУ, изменяет его выходное напряжение так, чтобы скомпенсировать возникшее отклонение и восстановить условие (\*).

Учитывая, что собственное входное сопротивление ОУ  $R_{вхоу}$  стремится к бесконечности, а выходное сопротивление  $R_{выхоу}$  стремится к нулю, можно сказать, что рассмотренная схема подобно эмиттерному или истоковому повторителю находит практическое применение в качестве буферных или согласующих элементов.

При использовании инвертирующего усилителя, для получения

$K_{ноу} = 1$ , необходимо приравнять  $R_{ос} = R_1$ , т.к.

$$K_{ноу} = R_{ос} / R_1$$

Но в этом случае имеет место повторение напряжения, но нет повторения фазы. Схема такого усилителя приведена на рис.6.

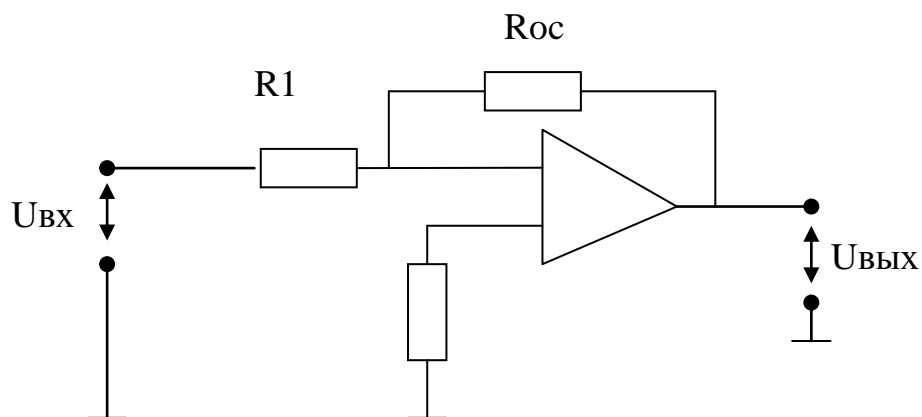


Рис. 6

#### 4. Методические указания к выполнению работы

При выполнении эксперимента следует руководствоваться соответствующими разделами п. 2.2 задания

Перед проведением измерений в каждом пункте раздела 2.2 следует выполнить установку нуля. Для этого надо вывести ручку регулировки напряжения сигнала генератора влево до упора, чтобы сигнал на входе усилителя отсутствовал. При отсутствии входного сигнала, замыкая кнопку «Контр.0» (нажимая), ручкой «Уст.0» добиться нулевых показаний микроамперметра на контрольной панели (кнопку «Контр.0» замыкать только на короткое время и немедленно размыкать при зашкаливании стрелки прибора).

Для измерения максимальной длительности импульса в режиме интегрирования следует увеличивать длительность импульса, уменьшая частоту генератора и наблюдая форму выходного сигнала на экране осциллографа. При появлении в выходном сигнале отклонения от линейного закона интегрирования зафиксировать частоту генератора  $F_{min}$  и определить через неё  $t_i = 1 / 2 * F_{min}$ .

## 5. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

принципиальные схемы УПТ, МУ и ПН;

таблицы и графики экспериментальных данных по п. 2.2 задания;

осциллограммы по п. 2.2 задания;

расчёты по п. 2.2 и сравнение экспериментальных данных с расчётными;

выводы по результатам измерений.

## Контрольные вопросы и задания

Изобразить функциональную схему ОУ в общем виде. Показать, как использовать эту схему, чтобы образовать МУ, ПН.

Нарисовать и объяснить форму входного напряжения, в каждом из видов решающих ОУ при подаче на их входы прямоугольного импульса.

Почему в решающем ОУ необходимо использовать УПТ с большим коэффициентом усиления?

Как отразится снижение коэффициента усиления на качестве ОУ?

Чем отличаются АЧХ и ПХ УПТ от характеристик усилителя переменного тока?  
Как объяснить их различия?

В чём заключается причина дрейфа нуля в УПТ и каковы меры его снижения.

Назовите основные достоинства и недостатки МУ.

Назовите основные достоинства и недостатки ПН.



10 0	2	U <sub>2</sub> , В										
		У, ДБ										

Коэффициент передачи повторителя напряжения ПН на частоте  $F = 1 \text{ кГц}$

$U_1 = 100 \text{ мВ}$ ,  $U_2 = \dots$ ,  $K = U_2 / U_1 = \dots$

Осциллограммы выходных напряжений при исследованиях в импульсном режиме:

Масштабный усилитель;

$t_{и} = 1250 \text{ мкс}$  ( $F = 400 \text{ кГц}$ )

$K = 10$ ,  $K = 100$

Повторитель напряжения

$t_{и} = 200 \text{ мкс}$  ( $F = 2,5 \text{ кГц}$ )

Выводы по работе:

Какие условия обеспечивают нормальную работу операционных усилителей;

Схемы решающих операционных усилителей: МУ, ПН.

## Литература

1. Войшвилло Г.В. Усилительные устройства. – М.:Радио и связь, 1983.
2. Цыкин Г.С. Усилительные устройства. – М.:Связь, 1971.
3. Мурадян А.Г., Разимухин В.И., Тверецкий М.С. Усилительные устройства. – М.:Связь, 1976.
4. Павлов В.Н., Нагин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. - М.:Радио и связь, 1997.
5. Головин О.В., Кубицкий А.А. Электронные усилители. - М.:Радио и связь, 1983.
6. Опачий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. - М.:Радио и связь, 1996.
7. Методическое указание к лабораторным занятиям по курсу Усилительные устройства. – Ташкен:ТЭИС (часть I), 1981.
8. Остапенко Усилительные устройства

### Лабораторная работа №3. «Исследование параметров интерфейсов персональных компьютеров».

Цель: Изучить основные компоненты ЭВМ и их характеристики, провести тестирование быстродействия ОЗУ, построить структурную схему ПК.

#### 3.1. Теоретическая часть

**FSB** (Front Side Bus) – шина в двухшинной архитектуре DIB корпорации Intel шина, связывающая процессор с оперативно запоминающее устройство (ОЗУ).

**DMI** (Desktop Management Interface) — интерфейс программирования приложений (Application Programming Interface – API), позволяющий программному обеспечению собирать данные о характеристиках компьютера. Спецификация DMI разработана консорциумом Distributed Management Task Force (DMTF), возглавляемом фирмой Intel. Данный интерфейс позволяет пользователю получить информацию об аппаратном обеспечении ПК.

**SPD** (Serial Presence Detect) – спецификация, описывающая технологию записи, хранения и считывания информации о характеристиках 168-контактных модулей DIMM

**Чипсет** (chip set) – набор микросхем, спроектированных для совместной работы с целью выполнения набора каких-либо функций. Так, в компьютерах чипсет выполняет роль связующего компонента, обеспечивающего совместное функционирование подсистем памяти, ЦПУ, ввода-вывода и других. Чипсеты встречаются и в других устройствах, например, в радиоблоках сотовых телефонов. Чипсет состоит из двух основных микросхем (иногда они объединяются в один чип):

**МСН** (Memory Controller Hub) — контроллер-концентратор памяти — северный мост (northbridge) — обеспечивает взаимодействие центрального процессора (ЦП) с памятью и видеоадаптером (PCI Express). В новых чипсетах часто имеется интегрированная видеоподсистема. Контроллер памяти может быть интегрирован в процессор (например Opteron, Nehalem, UltraSPARC T1).

**ИСН** (I/O Controller Hub) — контроллер-концентратор ввода-вывода — южный мост (southbridge) — обеспечивает взаимодействие между ЦП и жестким диском, картами PCI, интерфейсами IDE, SATA, USB и пр. Также иногда к чипсетам относят микросхему **Super I/O**, которая подключается к южному мосту и отвечает за низкоскоростные порты RS232, LPT, PS/2.

**Everest Ultimate Edition** — программа для просмотра информации об аппаратной и программной конфигурации компьютера. Программа анализирует конфигурацию компьютера и выдает подробную информацию об установленных в системе устройствах — процессорах, системных платах, видеокартах, аудиокартах, модулях памяти и так далее, а также информацию об их характеристиках, поддерживаемых ими наборах команд и режимах работы, их производителях, установленном программном обеспечении, конфигурации операционной системы и установленных драйверов.

В программе имеется достаточно широкий набор тестов:

- чтение из памяти — тестирует скорость пересылки данных из ОЗУ к процессору;
- запись в память;
- копирование в память — тестирует скорость пересылки данных из одних ячеек памяти в другие через кэш процессора;
- задержка памяти — тестирует среднее время считывания процессором данных из ОЗУ;

**CPU Queen** — тестирует производительность процессора в целочисленных операциях при решении классической «Задачи с ферзями»;

**CPU PhotoWorxx** — тестирует производительность блоков целочисленных арифметических операций, умножения, а также подсистемы памяти при выполнении ряда стандартных операций с RGB-изображениями;



**CPU ZLib** — тестирует производительность процессора и подсистемы памяти при создании архивов формата ZIP при помощи популярной открытой библиотеки ZLib. Использует целочисленные операции;

**CPU AES** — тестирует скорость процессора при выполнении шифрования по криптоалгоритму AES. Способен использовать низкоуровневые команды шифрования процессоров VIA C3 и C7, что позволяет последнему быть одним из лидеров теста, превосходя по производительности ряд многоядерных процессоров Intel и AMD;

**FPU Julia** — тестирует производительность блоков процессора, выполняющих операции с плавающей запятой, в вычислениях с 32-разрядной точностью. Моделирует несколько фрагментов фрактала Жюлиа. При возможности использует инструкции MMX, SSE и 3DNow!;

**FPU Mandel** — тестирует производительность блоков процессора, выполняющих операции с плавающей запятой, в вычислениях с 64-разрядной точностью путем моделирования нескольких фрагментов фрактала Мандельброта. Способен использовать инструкции SSE2.

**FPU SinJulia** — усложненный вариант теста FPU Julia. Тестирует производительность блоков процессора, выполняющих операции с плавающей запятой, в вычислениях с 80-разрядной точностью. Использует инструкции x87, предназначенные для вычисления тригонометрических и показательных функций.

**Тайминги оперативной памяти.** Схема таймингов включает в себя задержки CL-tRCD-tRP-tRAS соответственно. Для работы с памятью необходимо для начала выбрать чип, с которым мы будем работать. Делается это командой CS (Chip Select). Затем выбирается банк и строка. Перед началом работы с любой строкой необходимо ее активировать. Делается это командой выбора строки RAS (Row Address Strobe), при выборе строки она активируется. Затем нужно выбрать столбец командой CAS (Column Address Strobe) – эта же команда инициирует чтение. Затем считать данные и закрыть строку, совершив предварительный заряд (precharge) банка.

**CL**(Cas Latency) – минимальное время между подачей команды на чтение (CAS) и началом передачи данных (задержка чтения).

**tRCD** (RAS to CAS delay) – время, необходимое для активизации строки банка, или минимальное время между подачей сигнала на выбор строки (RAS) и сигнала на выбор столбца (CAS).

**tRP** (Row Precharge) – время, необходимое для предварительного заряда банка (precharge). Иными словами, минимальное время закрытия строки, после чего можно активировать новую строку банка.

**tRAS** (Active to Precharge) – минимальное время активности строки, то есть минимальное время между активацией строки (ее открытием) и подачей команды на предзаряд (начало закрытия строки). Строка не может быть закрыта раньше этого времени.

**CR** (Command Rate) – время, необходимо

е для декодирования контроллером команд и адресов. Иначе, минимальное время между подачей двух команд. При значении 1T команда распознается 1 такт, при 2T – 2 такта, 3T – 3 такта.

Это все основные тайминги. Остальные тайминги имеют меньшее влияние на производительность.

### **Порты (каналы ввода - вывода)**

На задней стенке корпуса современных ПК размещены (точнее могут размещаться) следующие порты:

**Game** – для игровых устройств (для подключения джойстика).

**VGA** (Video Graphics Array) – выход контроллера графического адаптера (видеокарты) для подключения монитора.

**COM-port** – асинхронные последовательные (обозначаемые COM1 — COM3). Через них обычно подсоединяются мышь, модем и тому подобное.

**PS/2** – асинхронные последовательные порты для подключения клавиатура и манипулятора мышь.

**LPT** – параллельные (обозначаемые LPT1—LPT4), к ним обычно подключаются принтеры.

**USB** (Universal Serial Bus) – универсальный интерфейс для подключения 127 устройств (этот интерфейс может располагаться на передней или боковой стенке корпуса).

**IEEE-1394** (FireWire) – интерфейс для передачи больших объемов видео информации в реальном времени (для подключения цифровых видеокамер, внешних жестких дисков, сканеров и другого высокоскоростного оборудования). Интерфейсом FireWire оснащены все видеокамеры, работающие в цифровом формате. Может использоваться и для создания локальных сетей.

**iRDA** - инфракрасные порты предназначены для беспроводного подключения карманных или блокнотных ПК или сотового телефона к настольному компьютеру. Связь обеспечивается при условии прямой видимости, дальность передачи данных не более 1 м. Если в ПК нет встроенного iRDA адаптера, то он может быть выполнен в виде дополнительного внешнего устройства (USB iRDA адаптера), подключаемого через USB-порт. А также разъемы звуковой карты для подключения колонок, микрофона и линейный выход.

### 3.2. Практическая часть

#### **Задание 1. Ознакомьтесь с суммарной информацией о компьютере.**

1. Запустите программу **Everest Ultimate Edition**.

2. В левом меню в раскрывающемся списке «Компьютер» выберите пункт «Суммарная информация».

3. Выпишите из списка основных параметров исследуемого компьютера в правом окне:

тип компьютера;

тип операционной системы;

имя компьютера;

имя пользователя;

тип центрального процессора (ЦП);

тип системной платы;

тип чипсета системной платы;

количество и тип оперативной (системной) памяти;

тип видеоадаптера;

тип монитора;

тип и объем дискового накопителя;

перечислить другие устройства ввода-вывода, имеющиеся на исследуемом ПК.

#### **Задание 2. Ознакомьтесь с ЦП исследуемого компьютера.**

1. В левом меню в раскрывающемся списке «Системная плата» выберите пункт «ЦП».

2. Выпишите основные параметры ЦП из списка в правом окне:

тип ЦП;

название ядра (псевдоним) ЦП;

степпинг ЦП;

наборы инструкций;

исходная частота;

размер и характеристики кэш памяти ЦП;

физические параметры ЦП:

тип корпуса;

размер корпуса;

число транзисторов;  
технологический процесс;  
размер кристалла;  
напряжение питания ядра;  
напряжение;  
типичная мощность;  
максимальная мощность.

3. В левом меню в раскрывающемся списке «Компьютер» выберите пункт «Разгон».

4. Выпишите текущую частоту процессора.

5. Сравните исходную частоту процессора с текущей.

### **Задание 3. Ознакомьтесь с материнской (системной) платой ПК.**

1. В левом меню в раскрывающемся списке «Системная плата» выберите пункт «Системная плата».

2. Выпишите из списка основных параметров материнской платы в правом окне:  
название материнской платы и фирму;

свойства шины FSB:

тип шины;

ширина шины;

реальная частота;

эффективная частота;

пропускная способность;

свойства шины памяти:

тип шины;

ширина шины;

соотношение DRAM:FSB;

реальная частота;

эффективная частота;

пропускная способность;

название чипсета – Intel Hub Interface;

физическую информацию о системной плате:

число гнезд для ЦП;

разъемы ОЗУ;

встроенные устройства;

размеры системной платы;

чипсет системной платы.

### **Задание 4. Ознакомьтесь со свойствами модулей ОЗУ.**

1. В левом меню в раскрывающемся списке «Системная плата» выберите пункт «SPD».

2. Выпишите свойства модулей ОЗУ и основные тайминги памяти, для разных частот.

### **Задание 5. Ознакомьтесь с чипсетом материнской платы.**

1. В левом меню в раскрывающемся списке «Системная плата» выберите пункт «Чипсет».

2. Ознакомьтесь со свойствами «северного моста» чипсета. Для этого в верхнем окне выберите пункт «Северный мост».

3. Выпишите:

название «северного моста»;

поддерживаемые скорости FSB;

поддерживаемые типы оперативной памяти;

тип контроллера памяти;

максимальный объем оперативной памяти;

основные тайминги памяти (CR, tRAS, tRP, tRCD, CL).

4. Ознакомьтесь со свойствами «южного моста» чипсета. Для этого в верхнем окне выберите пункт «Южный мост».

5. Перечислите устройства, содержащиеся в «южном мосте».

**Задание 6. Ознакомьтесь с системой хранения данных ПК – постоянно запоминающими устройствами (ПЗУ).**

1. В левом меню в раскрывающемся списке «Хранение данных» выберите пункт «Хранение данных Windows». В правом верхнем окне появится список всех возможных ПЗУ исследуемого компьютера.

2. Рассмотрите параметры жесткого диска и оптического DVD накопителя. Для этого выпишите их основные характеристики. Такие как:

название ЖД;

производитель;

емкость;

интерфейс подключения;

физические параметры.

**Задание 7. Ознакомьтесь с имеющимися на плате портами ввода-вывода.**

1. В разделе «Компьютер» выберите пункт «DMI».

2. Из раздела «Системные разъемы» выпишите имеющиеся на материнской плате разъемы.

3. Из раздела «Разъемы портов» выпишите разъемы для подключения внешних устройств ввода-вывода, для каждого укажите тип порта.

**Задание 8. Проведите тестирование быстродействия ОЗУ.**

1. Перейти в раздел «Тест» в левом меню.

2. Выберите пункт «Чтение из памяти» для тестирования скорости пересылки данных из ОЗУ к процессору.

3. Для начала тестирования нажмите кнопку «Обновить» либо клавишу «F5» на клавиатуре.

4. Выберите пункт «Запись в память».

5. Нажмите кнопку «Обновить» для начала тестирования.

6. Выберите пункт «Копирование в памяти» для тестирования скорости пересылки данных из одних ячеек памяти в другие через кэш процессора.

7. Нажмите кнопку «обновить» либо клавишу «F5» на клавиатуре.

8. Выберите пункт «Задержка в памяти» для тестирования среднего времени считывания процессором данных из ОЗУ.

9. Нажмите клавишу «F5» на клавиатуре для тестирования.

**Задание 9. По результатам предыдущих пунктов постройте структурную схему ПК.**

**Контрольные вопросы**

1. Основные принципы построения ЭВМ, структура Дж. фон Неймана.

2. Классическая архитектура ЭВМ и принципы фон Неймана.

3. Нарисуйте структурную схему ПК, поясните назначение всех компонентов. Центральный процессор, основные характеристики. Система памяти: состав, назначение.

Оперативная память DRAM: строение, основные параметры. Системная магистраль: определение, назначение, параметры.

4. Шины FSB, Hyper Transport, PCI, PCI-E: назначение, основные параметры, быстродействие .

5.«Северный мост», «Южный мост»: состав, назначение.

6.Устройства ввода-вывода ПК.

7.Факторы, влияющие на производительность ПК.

8.Какие устройства к каким портам могут подключаться.

**Цель:** научиться соединять компьютеры в сеть через различные порты, настраивать их, передавать данные через созданные соединения и с использованием файлового менеджера Total Commander.

**Средства для выполнения работы:**

- **аппаратные:** два компьютера, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга; кабель для соединения компьютеров через параллельный порт, витая пара для соединения типа Компьютер-Компьютер, нуль-модемный кабель, аналоговый модем.
- **программные:** ОС Windows XP, файловый менеджер **Total Commander**;
- **информационные:** имя ведомого компьютера; IP-адрес\_1; IP-адрес\_2.

**Теоретические сведения**

Самая простая с точки зрения технической реализации возможность установления связи между двумя компьютерами - **прямое соединение (peer-to-peer)** по последовательным или параллельным портам. Все современные операционные системы (Linux, Windows) имеют встроенные функции для реализации такого вида соединения.

Для реализации прямого соединения по **последовательным (COM)** и **параллельным (LPT)** портам необходим только соединительный кабель и, естественно, соответствующие разъемы на компьютерах.

В общем случае алгоритм соединения двух компьютеров выглядит следующим образом:

1. Выключить компьютеры (во избежание выхода из строя портов).
2. Подключить кабель к соответствующим портам.
3. Включить компьютеры.
4. Настроить один компьютер в роли ведомого (сервер) а другой в роли ведущего (клиент).
5. Установить соединение.

Несмотря на относительную простоту установления такого соединения, оно обладает рядом **недостатков**, таких как:

- напрямую можно соединить *только два* компьютера;
- *снижение производительности* компьютеров при пересылке файлов;
- *низкая скорость* передачи данных.

Таблица, приведенная ниже, показывает, насколько различаются скорости передачи данных при прямом соединении и в 100-мегабитной сети при передаче файла объемом 2 Мб.

Время, необходимое для передачи файла объемом 2 Мб при различных типах соединения		
Последовательный порт	Параллельный порт	100-мегабитная сеть
14 мин.	80 с.	0,5с.

Таблица 1. Сравнение времени передачи файла при различных типах соединение

Скорость передачи данных при использовании стандартных возможностей ОС не очень высокая, но ее можно повысить. В сети Интернет можно найти усовершенствованные драйвера для последовательного и параллельного портов, которые

значительно увеличивают скорость передачи данных. Кроме этого можно воспользоваться файловыми менеджерами типа *Norton Commander*, которые лучше организуют передачу данным по этим портам.

Прямое соединение подходит в качестве решения только при передаче сравнительно небольших по объему файлов. Типичным случаем, когда прямая связь себя оправдывает, является файловый обмен между настольным компьютером и ноутбуком.

К прямому соединению условно можно отнести соединение двух компьютеров посредством: 1) модемов и 2) сетевых карт.

*В первом* случае соединение может быть на сколь угодно большом расстоянии, но для организации такого вида связи необходимо иметь телефонную линию и модем. Скорость при этом не может быть выше 33 Кбит/с. Алгоритм установления соединения практически аналогичен прямому соединению посредством параллельных и последовательных портов.

*Во втором* случае для организации соединения необходимо наличие сетевых карт в компьютерах и специальным образом подготовленный кабель типа «витая пара». При таком соединении типичная скорость передачи данных достигает 100 Мбит/с при расстоянии между компьютерами не более 100 м.

### **Выполнение работы**

#### **Задание 1. Установите соединение двух компьютеров через параллельные порты.**

1. Выполните физическое подключение кабеля к **LPT-портам** компьютеров.
2. Настройте *ведомый* компьютер:
  - запустите **Мастер новых подключений** (*Сетевые подключения/ Мастер новых подключений*);
  - при необходимости введите код нашего города (8152) и щелкните **ОК**;
  - прочитайте информационное сообщение мастера и закройте окно кнопкой *Далее*;
  - установите **Тип сетевого подключения**, выбрав *Установить прямое подключение к другому компьютеру* и закройте текущее окно кнопкой *Далее*;
  - установите **Дополнительные параметры подключения**. Для этого выберите *Подключиться напрямую к другому компьютеру* и закройте это окно кнопкой *Далее*;
  - выберите **роль вашего компьютера** в создаваемом соединении. Для чего активизируйте радиокнопку *Ведомый компьютер* и закройте окно кнопкой *Далее*;
  - установите порт, через который осуществляется соединение, указав в списке **LPT**;
  - определите/добавьте пользователя, которому будет разрешен доступ к компьютеру (например, с именем *user* и паролем *user*):
    - щелкните по кнопке **Добавить**;
    - введите в поле **Пользователь** – имя пользователя (*user*);
    - введите в поле **Пароль** – пароль пользователя (*user*);
    - введите в поле **Подтверждение** – то же значение, что и в поле **Пароль** и закройте окно кнопкой **ОК**;
    - закройте окно **Разрешения пользователей** кнопкой *Далее*.
3. Установите *диапазон IP-адресов* для вашего соединения:
  - откройте диалоговое окно **Свойства: Протокол Интернета (TCP/IP)**, используя двойной щелчок по элементу списка *Протокол Интернета (TCP/IP)*;
  - выберите *Указать адреса TCP/IP явным образом*;

- введите в поле **С** начало диапазона - 192.168.1.1;
  - введите в поле **ПО** конец диапазона - 192.168.1.2;
  - закройте окно кнопкой **ОК**;
  - закройте диалоговое окно **Программы работы с сетью** кнопкой *Далее* и завершите работу мастера кнопкой *Готово*.
4. Настройте *ведущий* компьютер:
- все действия *до установки роли компьютера* в соединении, выполняйте аналогично настройке *ведомого* компьютера;
  - выберите **роль** вашего компьютера в соединении, Для этого активизируйте радиокнопку *Ведущий компьютер* и закройте окно кнопкой *Далее*;
  - введите **имя подключения**, например, имя ведомого компьютера;
  - установите **порт**, через который осуществляется соединение. Для этого выберите в списке **LPT** и закройте мастер кнопкой *Готово*;
  - закройте диалоговое окно **Подключение** кнопкой *Отмена*.
5. Установите *соединение* с ведомым компьютером:
- откройте диалоговое окно **Подключение (Пуск/Панель управления/Сетевые подключения/Прямой параллельный порт)**;
  - введите в поле **Пользователь** - имя пользователя, которому разрешен доступ к ведомому компьютеру (*user*);
  - введите в поле **Пароль** - пароль пользователя (*user*);
  - инициализируйте подключение кнопкой *Подключение*.

## **Задание 2. Передайте файл с ПК на ПК через созданное подключение.**

1. На *ведомом* компьютере *предоставьте доступ* к папке **Прямое соединение**:
  - создайте в своей папке каталог **Прямое соединение**;
  - откройте диалоговое окно со свойствами папки (**Контекстное меню папки/Свойства**) и перейдите на вкладку **Доступ**;
  - активизируйте радиокнопку **Открыть общий доступ к этой папке**;
  - разрешите *всем пользователям полный доступ* к папке. Для этого:
    - щелкните по кнопке **Разрешения**;
    - установите флажок **Полный доступ – разрешить**;
    - примените параметры, нажав кнопку **ОК.**;
    - закройте диалоговое окно кнопкой **ОК**.
2. На *ведущем* компьютере просмотрите *ресурсы ведомого компьютера*:
  - выполните команду **Пуск/Выполнить**;
  - в появившемся диалоговом окне введите *имя компьютера* в формате **UNC**: \\<имя\_компьютера> и нажмите **Enter**; Если возникнет ошибка, то вместо имени ведомого компьютера воспользуйтесь его **IP-адресом**.
  - введите в поле **Пользователь** имя пользователя в одном из следующих форматов:
    - *имя\_ведомого\_компьютера\имя\_пользователя*
    - *или*
    - *имя\_пользователя@имя\_ведомого\_компьютера*
  - в поле **Пароль** введите пароль (*user*).



3. Подготовьте файл размером 3 Мбайт (можно создать архив, содержащий рисунки).
4. Скопируйте этот файл в папку на удаленном компьютере и замерьте время, необходимое на его передачу.
5. Запишите полученный результат для сравнения с другими способами прямого соединения.
6. Разорвите соединение. Для этого откройте окно **Сетевые подключения** и выполните команду контекстного меню соединения – *Разорвать*.

**Задание 3. Осуществите передачу файлов на удаленный компьютер с использованием файлового менеджера *Total Commander*.**

1. Запустите на обоих компьютерах программу *Total Commander*.
2. Настройте *ведомый* компьютер:
  - выполните команду *Сеть/Соединение с другим компьютером через порт*;
  - установите **роль компьютера** в соединении, выбрав *Сервер*.
3. Настройте *ведущий* компьютер:
  - выполните команду *Сеть/Соединение с другим компьютером через порт*;
  - выберите **роль компьютера** – *Клиент*.
4. Скопируйте файл размером 3 Мбайт на ведомый компьютер и замерьте время, потраченное на его передачу.
5. Удалите созданные вами подключения на обоих компьютерах.
6. Выключите компьютеры и отсоедините кабель от LPT-портов компьютеров.