

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 021 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему
Прецизионный аналого-цифровой преобразователь
интегрирующего типа
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1
номер группы

Юрьев Д.Д.
подпись, дата 21.06.23 фамилия, иниц.

Руководитель К.т.н., доцент
должность

Доросинский А.Ю.
подпись, дата фамилия, иниц.

Кафедра «НиМЭ»
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Рыжова Т.Н.
подпись, дата 22.06.23 фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 18.06.23 № 11)

Заведующий кафедрой

Пронин И.А.
подпись, дата 19.06.23 фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 28.06.23 № 17)

Секретарь ГЭК

Вольсков А.А.
подпись, дата 28.06.23 фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 80 листов формата А4, 36 рисунка, 16 таблицы, список использованных источников содержит 23 наименований, 6 приложений.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь (АЦП), время преобразования, передискретизация, преобразователь, интегрирование.

Цель работы: разработка прецизионного аналого-цифрового преобразователя интегрирующего типа на отечественной элементной базе.

В работе дана общая характеристика прецизионного аналого-цифрового преобразователя интегрирующего типа. Выбрана элементная база и описана работа АЦП, по элементной базе и описанию работы была разработана схема электрическая структурная, функциональная и принципиальная, а также на основе этого был построен макет (слайд 10).

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Анализ существующих схмотехнических АЦП для информационно-измерительных систем	5
1.1 Обзор параллельных АЦП и их характеристики	5
1.2 Анализ АЦП на базе ЦАП реализующих методы последовательного приближения и поразрядного уравнивания	8
1.3 Анализ интегрирующих АЦП развертывающего типа	10
1.4 Анализ Сигма-дельта АЦП и оценка их эффективности	12
2 Анализ целесообразности разработки АЦП на отечественной базе	22
2.1 Оценка существующего предложения АЦП на рынке электроники	22
2.2 Анализ схемы ИС306 и его АЦП в качестве прототипа	30
2.3 Оценка точности предлагаемого АЦП	32
3 Реализация схемы АЦП	39
3.1 Выбор элементной базы	39
3.2 Разработка схемы электрической структурной и функциональной	47
3.3 Разработка схемы электрической принципиальной	48
4 Организация рабочего места на производстве, расчет освещенности помещения и защита от электромагнитных излучений	50
4.1 Организация рабочего места с учетом эргономических требований	50
4.2 Расчет освещенности помещения	56
4.3 Защита от электромагнитных излучений	59
Заключение	64
Список использованных источников	65
Приложение А. Техническое задание на ВКР	66
Приложение Б. Схема электрическая структурная	70
Приложение В. Схема электрическая функциональная	74
Приложение Г. Схема электрическая принципиальная	76
Приложение Д. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»	78
Приложение Е. Презентация к ВКР	80

ВВЕДЕНИЕ

Аналого-цифровое преобразование – это процесс преобразования входной физической величины в ее числовое представление. Аналого-цифровой преобразователь – устройство, выполняющее такое преобразование. Формально, входной величиной АЦП может быть любая физическая величина – напряжение, ток, сопротивление, емкость, частота следования импульсов, угол поворота вала и т.п. Однако, для определенности, в дальнейшем под АЦП будем понимать исключительно преобразователи напряжение-код.

Понятие аналого-цифрового преобразования тесно связано с понятием измерения. Под измерением понимается процесс сравнения измеряемой величины с некоторым эталоном, при аналого-цифровом преобразовании происходит сравнение входной величины с некоторой опорной величиной (как правило, с опорным напряжением). Таким образом, аналого-цифровое преобразование может рассматриваться как измерение значения входного сигнала, и к нему применимы все понятия метрологии, такие, как погрешности измерения.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Юрьев Д.Д.			Введение		
Провер.		Доросинский А.Ю.					
Н. Контр.		Рыжова Т. Н.		22.06			
Утверд.							
					Лит.	Лист	Листов
						4	80
					гр. 19ПД1		

1 Анализ существующих схемотехнических АЦП для информационно-измерительных систем

1.1 Обзор параллельных АЦП и их характеристики

Параллельные АЦП (флэш АЦП) представляют собой группу из 2^N-1 параллельных компараторов, все из которых синхронизированы одновременно. В качестве примера на рисунке 1 показан обычный 2-разрядный флэш-АЦП. Опорные напряжения генерируются с помощью линейки из 2^N резисторов с одинаковыми значениями, разделяющей полномасштабный диапазон (V_{FS}) на 2^N области. Все компараторы одновременно сравнивают входной сигнал со своими соответствующими опорными напряжениями. Если входное напряжение больше опорного напряжения, то соответствующий компаратор выдает логический выходной сигнал, равный 1 (высокий); в противном случае логический выходной сигнал равен 0 (низкий). В результате, при мониторинге выходных сигналов компараторов, подключенных между низким и высоким опорными напряжениями, произойдет переход от серии в 1 к серии в 0 с. Этот шаблон, который часто называют кодом термометра, позволяет определить уровень квантования, наиболее близкий к входной амплитуде. Преобразователь термометра в двоичный кодер может генерировать конечный двоичный выходной сигнал.

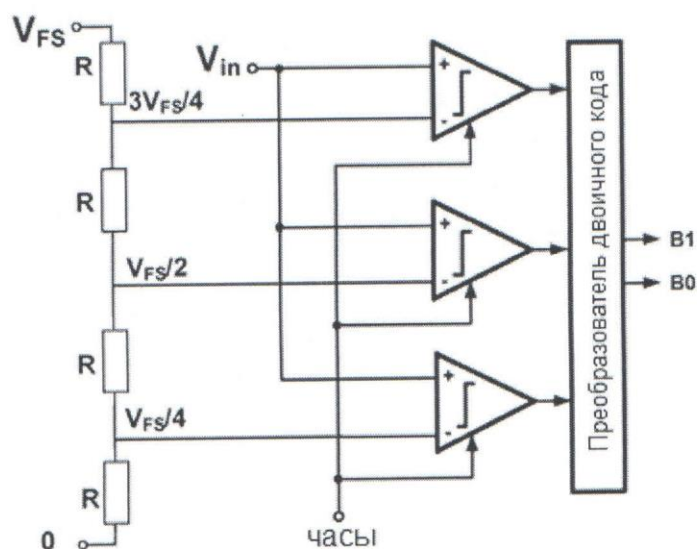


Рисунок 1 – Схема флэш-АЦП (разрешение 2 бита)

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Анализ существующих схемотехнических АЦП для информационно- измерительных систем		
Разраб.	Юрьев Д.Д.						
Провер.	Доросинский А.Ю.						
Н. Контр.	Рыжова Т. Н.			22.06			
Утверд.							
					Лит.	Лист	Листов
						5	80
					гр. 19ПД1		

Поскольку все компараторы работают параллельно и в одно и то же время, время преобразования флэш-АЦП составляет всего один такт, что делает его идеальным для высокоскоростных приложений. Однако, поскольку количество компараторов экспоненциально увеличивается с увеличением количества битов, флэш-АЦП не эффективен по площади и энергопотреблению, когда требуется высокое разрешение. Увеличение числа компараторов создает значительно большую входную емкость, которая возникает из-за суммарных паразитных емкостей транзисторов на входе компараторов, а также из-за суммарной пропускной способности при распределении входного сигнала по компараторам на микросхеме; это ограничивает пропускную способность входного сигнала.

Из-за неизбежных несоответствий между сетями маршрутизации входного сигнала и тактовой частоты к компараторам, RC -задержки трактов сигналов к каждому компаратору различаются. Эти временные несоответствия могут привести к значительным ошибкам преобразования (особенно для высоких входных частот), поскольку каждый компаратор обрабатывает разное (то есть запаздывающее) напряжение во время одного и того же преобразования. Чтобы избежать этой проблемы, во флэш-АЦП часто встроены интерфейсные модули выборки и удержания (S/H) или отслеживания и удержания (T/H). Более того, паразитные емкости транзисторов на входах компаратора изменяются в зависимости от амплитуды приложенного входного напряжения. Таким образом, общая входная емкость флэш-АЦП изменяется нелинейно с входным напряжением. Эта нелинейная входная емкость может привести к ухудшению $SNDR$ на выходе интерфейсного S/H .

Переданное на вход напряжение смещения компараторов во флэш-АЦП является еще одной проблемой, которая создает ошибки нелинейности, которые становятся более серьезными при более высоких разрешениях. Чтобы уменьшить смещение, связанное с входом, распространенным методом является использование предусилителей для каждого компаратора, так что смещение, связанное с входом, делится на коэффициент усиления предусилителя. Однако эти предусилители должны быть спроектированы с высокой полосой пропускания и коэффициентом усиления, что значительно увеличивает энергопотребление. В качестве альтернативы малому энергопотреблению существует несколько методов калибровки смещения

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

для подавления ошибок смещения компаратора. В флэш-АЦП с высоким разрешением требования к смещению не только становятся более жесткими, но и количество компараторов, подлежащих калибровке, увеличивается экспоненциально; это усложняет такие системы калибровки, требуя при этом большей площади компоновки для реализации на кристалле.

На рисунке 2 показана реализация параллельного метода АЦ-преобразования для 3-разрядного числа.

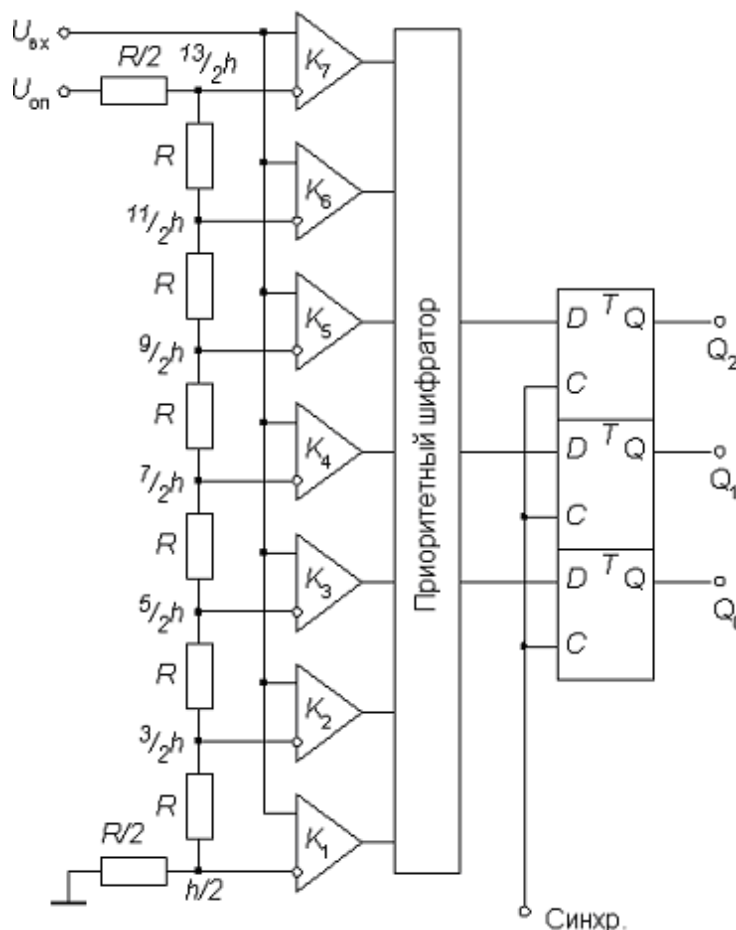


Рисунок 2 – Схема параллельного АЦП

С помощью трех двоичных разрядов можно представить восемь различных чисел, включая нуль. Необходимо, следовательно, семь компараторов. Семь опорных напряжений образуются с помощью резистивного делителя.

Если приложенное входное напряжение не выходит за пределы диапазона от $5/2h$, до $7/2h$, где $h=U_{оп}/7$ – квант входного напряжения, соответствующий единице младшего разряда АЦП, то компараторы с 1-го по 3-й устанавливаются в состояние 1, а компараторы с 4-го по 7-й - в состояние 0. Преобразование этой группы кодов в трехзначное двоичное число выполняет логическое устройство, называемое приоритетным шифратором, диаграмма состояний которого приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Диаграмма состояний

Входное напряжение	Состояние компараторов							Выходы		
$U_{\text{вх}}/h$	K_7	K_6	K_5	K_4	K_3	K_2	K_1	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
3	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Благодаря одновременной работе компараторов параллельный АЦП является самым быстрым. Недостатком схемы является высокая сложность. Действительно, N -разрядный параллельный АЦП содержит $2^N - 1$ компараторов и 2^N согласованных резисторов. Следствием этого является высокая стоимость и значительная потребляемая мощность [1,2].

1.2 Анализ АЦП на базе ЦАП реализующих методы последовательного приближения и поразрядного уравнивания

АЦП последовательного приближения – это тип аналого-цифрового преобразователя, который преобразует непрерывный аналоговый сигнал в дискретное цифровое представление, используя двоичный поиск по всем возможным уровням квантования, прежде чем, наконец, перейти к цифровому выходу для каждого преобразования.

АЦП последовательного приближения (*SAR, Successive Approximation Register*) измеряет величину входного сигнала, осуществляя ряд последовательных сравнений величины входного напряжения с рядом величин, генерируемых следующим образом:

На первом шаге на выходе встроенного ЦАП устанавливается величина, равная $1/2U_{\text{ref}}$, если сигнал больше этой величины, то он сравнивается с напряжением, лежащим посередине оставшегося интервала, т.е., в данном случае, $3/4U_{\text{ref}}$. Если сигнал меньше установленного уровня, то следующее сравнение будет производиться

с меньшей половиной оставшегося интервала (т.е. с уровнем $1/4U_{ref}$).

На втором шаге повторяется N раз. Таким образом, N сравнений («взвешиваний») порождает N бит результата.

Упрощенная схема типичного регистра последовательного приближения (SAR) АЦП показана на рисунке 3, который состоит из компаратора (К), ЦАП и цифровой логики (контроллера). Полное аналого-цифровое преобразование в SAR-АЦП выполняется за несколько тактов. опорное напряжение компаратора генерируется ЦАП, разрешение которого равно разрешению SAR-АЦП, и которым управляет цифровая логика SAR. Первый тактовый цикл обычно посвящен выборке входных данных. В первом цикле после выборки выходной сигнал ЦАП устанавливается на $V_{FS}/2$, так что компаратор сравнивает выбранное напряжение со средним опорным уровнем, разрешая первый *MSB*. В зависимости от выходного сигнала компаратора после каждого сравнения логика SAR устанавливает входные биты ЦАП для генерации соответствующего опорного напряжения для следующего сравнения. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет разрешен последний бит. Используя алгоритм последовательной аппроксимации (например, алгоритм двоичного поиска), во время каждого цикла преобразования генерируется один выходной бит. Следовательно, для выполнения полного N -разрядного преобразования с помощью базового SAR-АЦП требуется минимум $N + 1$ такт.

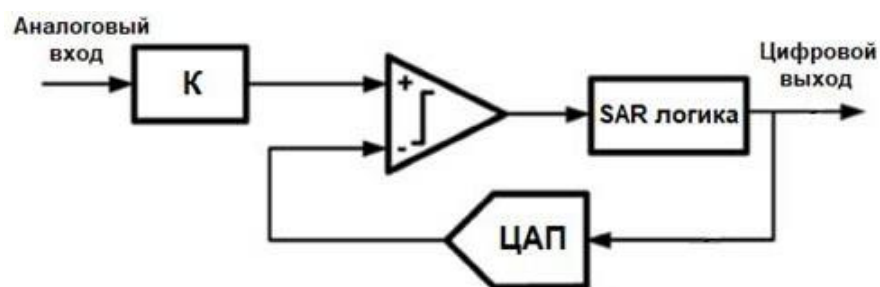


Рисунок 3 – Архитектура АЦП с регистром последовательного приближения (SAR).

SAR-АЦП, как правило, энергоэффективны, поскольку им не требуется такой энергоемкий компонент, как операционный усилитель. Однако скорость их преобразования ограничена из-за большого количества циклов преобразования, необходимых для полного аналого-цифрового преобразования. Для N -разрядного SAR-АЦП внутренняя тактовая частота, задержка компаратора и время установления

ЦАП должны быть оптимизированы таким образом, чтобы они по крайней мере в N раз превышали номинальную частоту дискретизации, которая может легко достигать практических пределов технологии *CMOS*. Поскольку в обычном SAR-АЦП имеется только один компаратор, смещение компаратора будет отображаться как универсальное смещение для всей передаточной функции АЦП. Такое влияние смещения может быть откалибровано простыми средствами, что является еще одним преимуществом этой архитектуры.

Благодаря высокой совместимости SAR-АЦП с цифровыми КМОП и современными технологиями глубокого субмикронного измерения они стали очень популярны в последние годы. В зависимости от топологии и технологии изготовления SAR-АЦП могут обеспечивать широкий спектр характеристик автономных АЦП, таких как сверхнизкая мощность, высокая скорость и высокое разрешение. Кроме того, они могут использоваться как часть гибридного АЦП

Преимущества:

- простая схема с одним компаратором;
- возможна более высокая частота выборки по сравнению с дельта-сигма АЦП;
- хорошо справляется с естественными и искусственными формами сигнала.

Недостатки:

- необходимость внешней фильтрации-сглаживания;
- битовое разрешение и динамический диапазон ограничены по сравнению с дельта-сигма АЦП.

Применение

Сферы применения АЦП последовательного приближения, включают системы сбора данных от недорогих мультимплексных до высокоскоростных систем с одним АЦП на канал, промышленные системы контроля и измерения, визуализацию КМОП-структур [3].

1.3 Анализ интегрирующих АЦП разветвляющего типа

Интегрирующие преобразователи получили широкое распространение благодаря простоте реализации, высокой разрешающей способности и возможности существенно снизить влияние периодических помех. Однако они могут использоваться только для преобразования низкочастотных сигналов, так как облада-

ют низким быстродействием. Всегда существует противоречие между быстродействием и разрешающей способностью – чем выше разрешающая способность, тем меньше быстродействие.

В интегрирующих АЦП осуществляется промежуточное преобразование в параметр, который легко представить в цифровом виде – это частота или временной интервал, с последующим преобразованием в код. В многообразии этих преобразователей можно выделить два, которые нашли дальнейшее развитие и широкое распространение в виде интегральных схем. Это АЦП двухтактного интегрирования (с промежуточным преобразованием в интервал) и АЦП с импульсной обратной связью (с промежуточным преобразованием в частоту).

АЦП двухтактного интегрирования (рисунок 4) состоит из интегратора, компаратора, схемы управления, генератора тактовых импульсов ГТИ и элементов, реализующих преобразование временного интервала в код: логического элемента «И», счетчика и регистра.

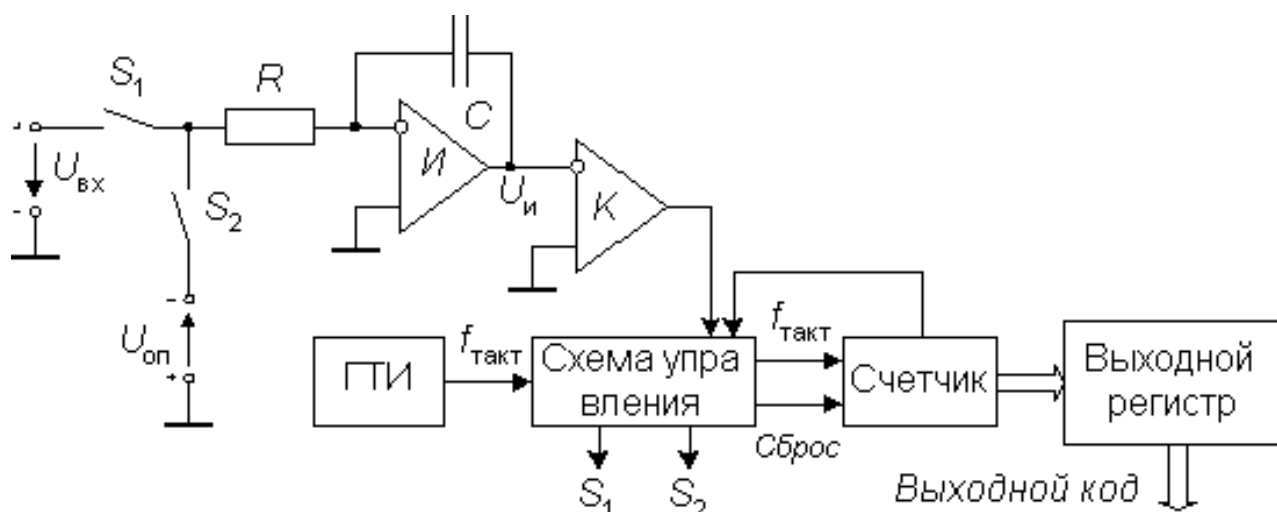


Рисунок 4 – Структурная схема АЦП двухтактного интегрирования

Преобразование проходит две стадии: стадию интегрирования и стадию счета (рисунок 5). В начале первой стадии ключ S_1 замкнут, а ключ S_2 разомкнут. Интегратор интегрирует входное напряжение $U_{вх}$. Время интегрирования входного напряжения t_1 постоянно; в качестве таймера используется счетчик с коэффициентом пересчета $K_{сч}$. После окончания стадии интегрирования ключ S_1 размыкается, а ключ S_2 замыкается и опорное напряжение $U_{оп}$ поступает на вход интегратора. При этом выбирается опорное напряжение, противоположное по знаку входному напряжению. Диаграмма работы АЦП двухтактного интегрирования показана на рисунке 5.

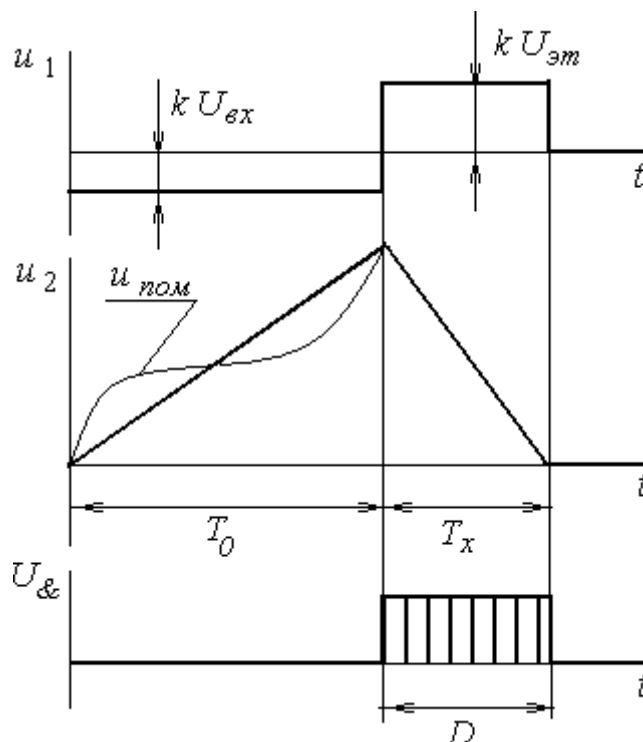


Рисунок 5 – Диаграмма работы АЦП двухтактного интегрирования

На стадии счета выходное напряжение интегратора линейно уменьшается по абсолютной величине. Стадия счета заканчивается, когда выходное напряжение интегратора переходит через нуль. Компаратор переключается и счет останавливается. Содержимое счетчика после окончания стадии счета:

$$n_2 = \frac{U_{\text{ВХ.СР}} K_{\text{СЧ}}}{U_{\text{ОП}}} \quad (1)$$

Отличительной особенностью метода многотактного интегрирования является то, что ни тактовая частота, ни постоянная интегрирования RC не влияют на результат.

Различают две группы АЦП многотактного интегрирования: схемы с параллельным или последовательным выходом для сопряжения с микропроцессорами и схемы с двоично-десятичными счетчиками и дешифраторами для управления семи сегментными индикаторами, в том числе мультиплексированными (572ПВ5, 572ПВ6) [4,5].

1.4 Анализ Сигма-дельта АЦП и оценка их эффективности

Сигма-дельта (Σ - Δ) АЦП — это предпочтительный преобразователь для современных приложений голосового диапазона, аудио и точных промышленных измерений с высоким разрешением. Высоко цифровая архитектура идеально подхо—

дит для современных КМОП-процессов тонкой обработки, что позволяет легко добавлять цифровые функциональность без существенного увеличения стоимости. Благодаря широкому использованию он важно понимать фундаментальные принципы, лежащие в основе этой архитектуры преобразователя.

Движущей силой дельта-модуляции и дифференциальной *PCM* была достигнута более высокая эффективности передачи за счет передачи изменений (дельта) значений между последовательными выборками, а не самими фактическими выборками.

При дельта-модуляции аналоговый сигнал квантуется одноразрядным АЦП (компаратором), как показано на рисунке 6А. Выходной сигнал компаратора преобразуется обратно в аналоговый сигнал с помощью 1-битного ЦАП и вычитается из входного после прохождения через интегратор. Форма аналогового сигнала передается следующим образом: «1» указывает на то, что после последней выборки произошло положительное отклонение, а «0» указывает на то, что после последней выборки произошло отрицательное отклонение.

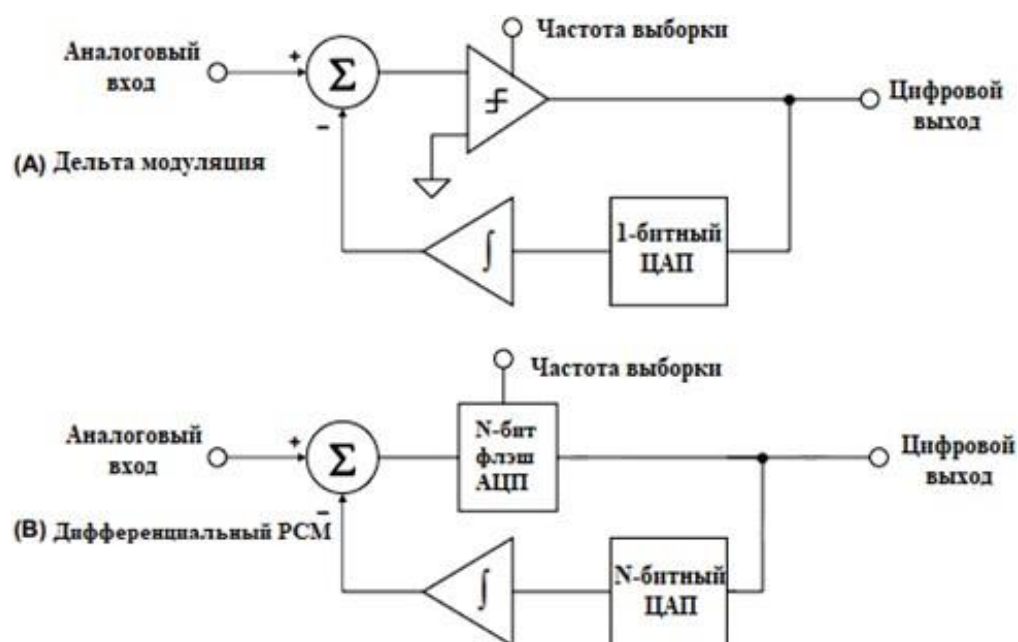


Рисунок 6 – Дельта-модуляция и дифференциальная *PCM*

Если аналоговый сигнал остается на фиксированном уровне постоянного тока в течение определенного периода времени, получается чередующийся образец «0 с» и «1 с». Следует отметить, что дифференциальный *PCM* (рисунок 6В) использует точно такую же концепцию, за исключением того, что для получения передаваемой информации используется многоразрядный АЦП, а не один компаратор.

Поскольку количество импульсов одного знака не ограничено, системы дельта-модуляции способны отслеживать сигналы любой амплитуды. Теоретически пикового ограничения нет. Однако теоретическое ограничение дельта-модуляции состоит в том, что аналоговый сигнал не должен изменяться слишком быстро. Проблема ограничения наклона показана на рисунке 7. Здесь, каждый момент выборки указывает на положительное отклонение, аналоговый сигнал нарастает слишком быстро, и квантователь не успевает за ним.

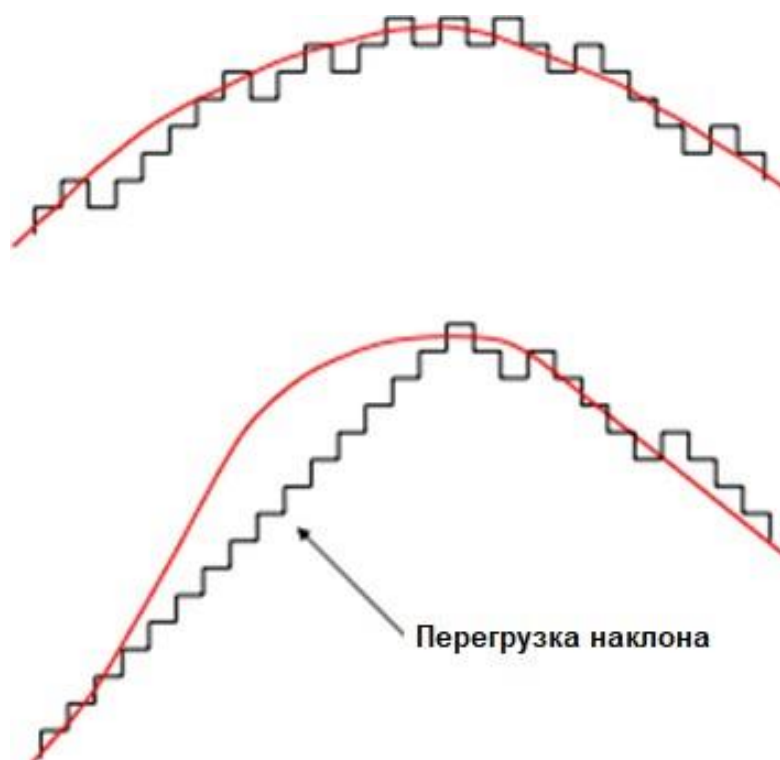


Рисунок 7 – Квантование с использованием дельта-модуляции

Отсечение наклона можно уменьшить, увеличив размер шага квантования или увеличив частоту дискретизации. Дифференциальный *PCM* использует многобитный квантователь для эффективного увеличения размера квантового шага при увеличении сложности. Тесты показали, что для получения того же качества, что и при классической *PCM*, дельта-модуляция требует очень высокие частоты дискретизации, обычно в 20 раз превышающей самую высокую интересующую частоту, в отличие от частоты Найквиста, которая равна 2.

По этим причинам дельта-модуляция и дифференциальная *PCM* никогда не пользовались значительной популярностью, однако небольшая модификация дельта-модулятора приводит к базовой архитектуре Σ - Δ , одной из самых популярных архитектур АЦП, используемых сегодня.

Σ - Δ АЦП содержит очень простую аналоговую электронику (компаратор, источник опорного напряжения, переключатель, один или несколько интеграторов и аналоговых суммирующих цепей) и довольно сложную цифровую вычислительную схему. Эта цифровая схема состоит из процессора цифровых сигналов (*DSP*), который действует как фильтр (обычно, но не всегда, фильтр нижних частот). Чтобы понять, как работает Σ - Δ АЦП, необходимо ознакомиться с концепциями передискретизации, формирования шума квантования, цифровой фильтрации и прореживания.

Рассмотрим технику передискретизации с анализом в частотной области. Там, где преобразование постоянного тока имеет ошибку квантования до $1/2$ младшего разряда, система дискретных данных имеет шум квантования. Идеальный классический АЦП с N -разрядной дискретизацией имеет среднеквадратический шум квантования $q/\sqrt{12}$ равномерно распределяется в полосе Найквиста от постоянного тока до $fs/2$ (где q — значение *LSB*, а fs — частота дискретизации), как показано на рисунке 8А. Следовательно, его *SNR* при полномасштабном синусоидальном входе будет $(6,02N + 1,76)$ дБ. Если АЦП не идеален, а его шум больше теоретического минимального шума квантования, то его эффективное разрешение будет меньше N бит. Его фактическое разрешение (часто известное, как эффективное число бит или *ENOB*) будет определяться по формуле:

$$ENOB = \frac{SNR - 1.76dB}{6.02dB} \quad (2)$$

Если выбрать более высокую частоту дискретизации, Kfs (рисунок 8В), среднеквадратический шум квантования останется равным $q/\sqrt{12}$, но теперь шум будет распределен по более широкой полосе пропускания от *dc* до $Kfs/2$. Если подключить к выходу цифровой фильтр нижних частот (ФНЧ), можно убрать большую часть шума квантования, это не повлияет на полезный сигнал, поэтому *ENOB* улучшится. Выполнив аналого-цифровое преобразование с высоким разрешением с помощью АЦП с низким разрешением. Коэффициент K обычно называют коэффициентом передискретизации. Здесь следует отметить, что передискретизация имеет дополнительное преимущество, заключающееся в том, что она снижает требования к аналоговому фильтру сглаживания. Это большое преимущество Σ - Δ , особенно в потребительских аудиоприложениях, где стоимость линейного фазового фильтра с резкой отсечкой может быть значительной.

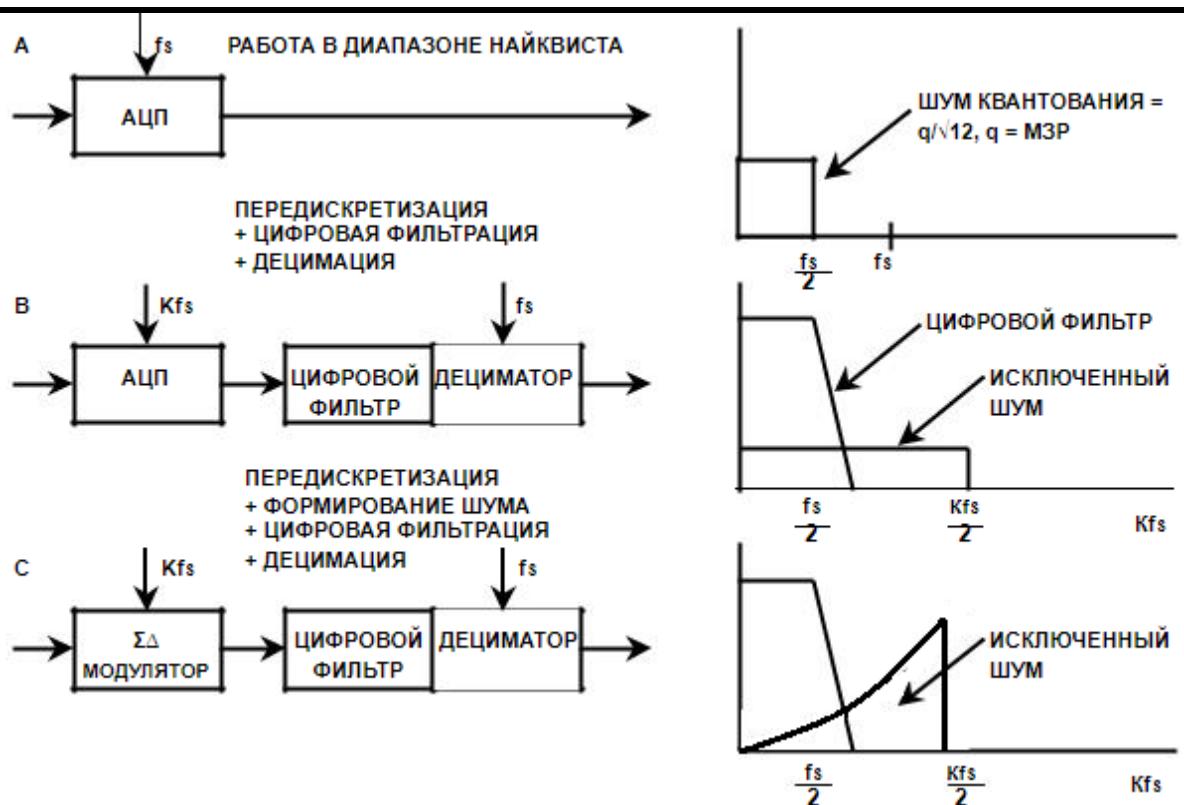


Рисунок 8 – Передискретизация, цифровая фильтрация, формирование шума и прореживание

Поскольку полоса пропускания уменьшается из-за цифрового выходного фильтра, скорость выходных данных может быть ниже исходной частоты дискретизации (Kf_s), но при этом удовлетворять критерию Найквиста. Это может быть достигнуто передачей каждого M -го результата на выход и отбрасыванием остатка. Этот процесс известен как «прореживание» с коэффициентом M . Коэффициент M может иметь любое целочисленное значение при условии, что скорость выходных данных более чем в два раза превышает ширину полосы пропускания сигнала. Децимация не приводит к потере информации (рисунок 8B).

Если просто использовать передискретизацию для улучшения разрешения, то должны передискретизировать в 2^{2N} раз, чтобы получить N -битное увеличение разрешения. Преобразователь $\Sigma\Delta$ не нуждается в таком высоком коэффициенте передискретизации, потому что он не только ограничивает полосу пропускания сигнала, но и формирует шум квантования так, что большая его часть выходит за пределы этой полосы пропускания, как показано на рисунке 8C.

Возьмем 1-битный АЦП (компаратор), подадим на него выходной сигнал интегратора и подадим на интегратор входной сигнал, суммированный с выходным

сигналом 1-битного ЦАП, поступающим с выхода АЦП, то получим первое Σ - Δ модулятор -порядка, как показано на рисунке 9. Если добавить цифровой фильтр нижних частот (ФНЧ) и дециматор на цифровом выходе, то получим Σ - Δ АЦП — Σ - Δ модулятор формирует шум квантования так, чтобы он выше полосы пропускания цифрового выходного фильтра, поэтому $ENOB$ намного больше, чем можно было бы ожидать от коэффициента передискретизации.

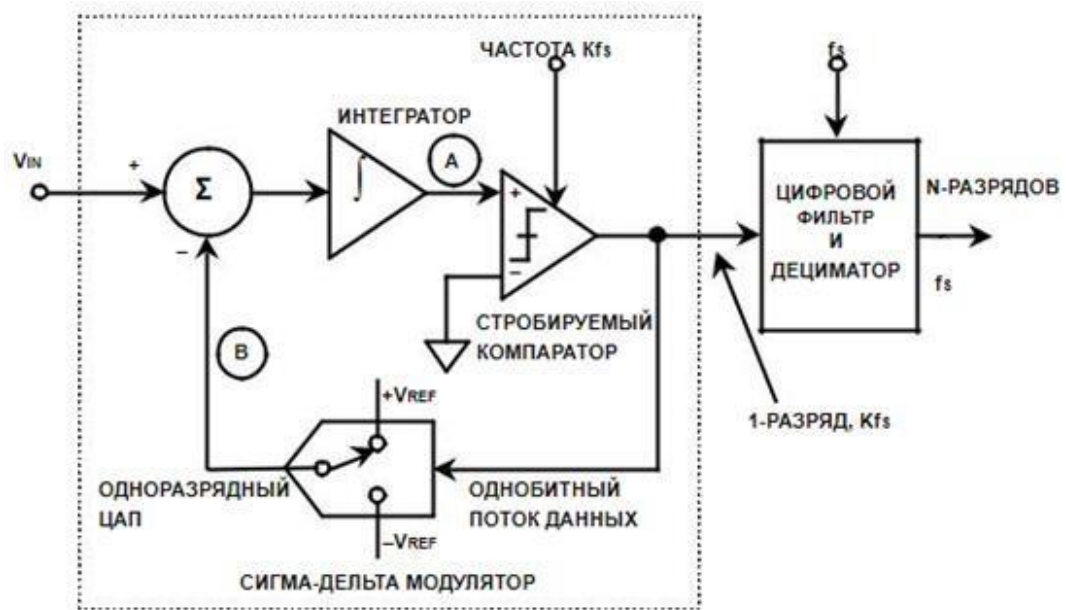


Рисунок 9 – Сигма-дельта АЦП первого порядка

Интуитивно Σ - Δ АЦП работает следующим образом. Предположим, вход постоянного тока на V_{IN} . Интегратор постоянно увеличивается или уменьшается в узле А. Выход компаратора возвращается через 1-бит ЦАП на суммирующий вход в узле В. Контур отрицательной обратной связи от компаратора вывод через 1-битный ЦАП обратно в точку суммирования заставит среднее постоянное напряжение на уровне узел В должен быть равен V_{IN} . Это означает, что среднее выходное напряжение ЦАП должно равняться входное напряжение V_{IN} . Среднее выходное напряжение ЦАП управляется плотностью единиц в 1-битном разряде поток данных с выхода компаратора. По мере увеличения входного сигнала до $+V_{REF}$ число количество «единиц» в последовательном битовом потоке увеличивается, а количество «нулей» уменьшается. Точно так же, как становится отрицательным по направлению к $-V_{REF}$, количество «единиц» в последовательном битовом потоке уменьшается, и количество «нулей» увеличивается. С очень упрощенной точки зрения этот анализ показывает, что среднее значение входного напряжения содержится в последовательном битовом

потоке, выходящем из компаратора. цифровой фильтр и дециматор обрабатывают последовательный битовый поток и производят окончательные выходные данные.

Для любого заданного входного значения в одном интервале дискретизации данные от 1-разрядного АЦП фактически бессмысленный. Только при усреднении большого количества выборок будет получено значимое значение. Модулятор Σ - Δ очень трудно анализировать во временной области из-за этого очевидного случайность вывода однобитных данных. Если входной сигнал близок к положительной полной шкале, что в битовом потоке будет больше «1», чем «0». Аналогично, для сигналов, близких к отрицательной полной шкале, в битовом потоке будет больше «0», чем «1». Для сигналов, близких к средней шкале, будет примерно равное количество «1» и «0». На рисунке 10 показаны выходные данные интегратора для два входных условия. Первый предназначен для ввода нуля (средняя шкала). Чтобы расшифровать вывод, передайте выходные образцы через простой цифровой фильтр нижних частот, который усредняет каждые четыре образца. выход фильтра 2/4. Это значение представляет биполярный ноль. Если усредняется больше выборок, достигается больший динамический диапазон. Например, усреднение 4 выборок дает разрешение 2 бита, а усреднение 8 выборок дает разрешение 4/8 или 3 бита. В нижней части рисунка 5 среднее значение, полученное для 4 образцов, равно 3/4, а среднее значение для 8 образцов равно 6/8.

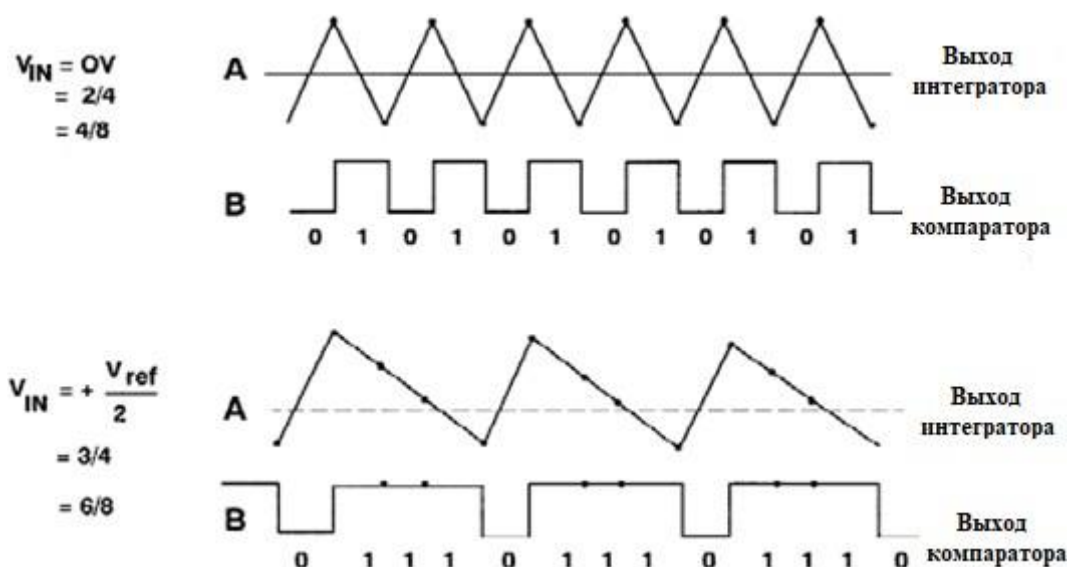


Рисунок 10 – Формы сигналов сигма-дельта модулятора

Σ - Δ АЦП также можно рассматривать как синхронный преобразователь напряжения в частоту, за которым следует счетчик. Если количество «1» в потоке

выходных данных подсчитано по достаточному количеству выборок, выход счетчика будет представлять цифровое значение входа. Очевидно, что этот метод усреднения будет работать только для постоянного или очень медленно меняющегося входного сигнала. Кроме того, для достижения N -битного эффективного разрешения необходимо подсчитать 2^N тактов, что сильно ограничивает эффективную частоту дискретизации.

Следует отметить, что, поскольку цифровой фильтр является неотъемлемой частью Σ - Δ АЦП, существует встроенная «конвейерная» задержка (иногда называемая «задержкой»), в основном определяемая количеством отводов в цифровом фильтре. Цифровые фильтры в Σ - Δ АЦП могут быть довольно большими (несколько сотен отводов), поэтому задержка может стать проблемой в мультиплексных приложениях, где после переключения каналов должно быть разрешено соответствующее время установления.

Дальнейший анализ во временной области непродуктивен, и концепцию формирования шума лучше всего объяснить в частотной области, рассмотрев простую модель модулятора Σ - Δ на рисунке 11.

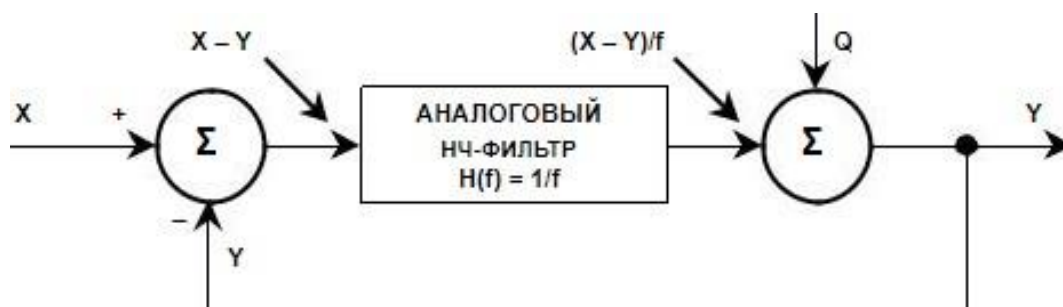


Рисунок 11 – Упрощенная линейризованная модель сигма-дельта модулятора в частотной области

Интегратор в модуляторе представлен аналоговым ФНЧ с передаточной функцией, равной $H(f) = 1/f$. Эта передаточная функция имеет амплитудную характеристику, которая обратно пропорциональна входной частоте. 1-битный квантователь генерирует шум квантования Q , который вводится в выходной суммирующий блок. Если мы позволим входному сигналу быть X , а выходному Y , сигнал, выходящий из входного сумматора, должен быть $X - Y$. Это умножается на передаточную функцию фильтра, $1/f$, и результат поступает на один вход выходное лето.

Когда частота f приближается к нулю, выходное напряжение Y приближается к X без шумовой составляющей. На более высоких частотах амплитуда компонента сигнала приближается к нулю, а шумовой компонент приближается к Q . На высоких частотах выходной сигнал состоит в основном из шума квантования. По сути, аналоговый фильтр оказывает низкочастотный эффект на сигнал и высокочастотный эффект на шум квантования. Таким образом, аналоговый фильтр выполняет функцию формирования шума в модели модулятора Σ - Δ . Для заданной входной частоты аналоговые фильтры более высокого порядка обеспечивают большее затухание. То же самое относится и к модуляторам Σ - Δ , при условии соблюдения определенных мер предосторожности. Используя более одного каскада интегрирования и суммирования в модуляторе Σ - Δ , мы можем достичь более высоких порядков формирования шума квантования и даже лучшего $ENOB$ для заданного коэффициента передискретизации, как показано на рисунке 12 как для первого, так и для второго порядка Σ - Δ модулятор.

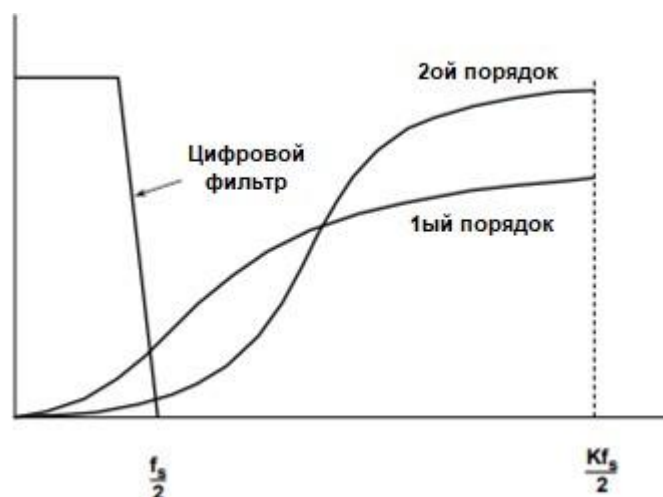


Рисунок 12 – Сигма-дельта модуляторы формируют шум квантования

Схема модулятора Σ - Δ второго порядка показана на рисунке 13. Когда-то считалось, что Σ - Δ АЦП третьего и более высокого порядка потенциально нестабильны при некоторых значениях входного сигнала — в недавнем анализе использовались конечные, а не бесконечные коэффициенты усиления в компаратор показал, что это не обязательно так, но даже если нестабильность действительно начинает возникать, DSP в цифровом фильтре и прорежителе можно заставить распознавать зарождающуюся нестабильность и реагировать, чтобы предотвратить ее.

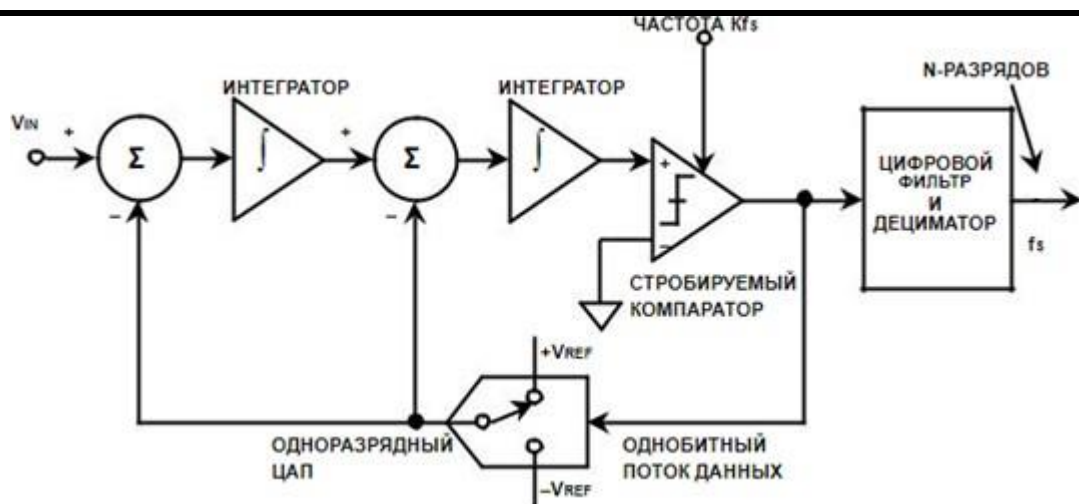


Рисунок 13 – Сигма-дельта АЦП второго порядка

На рисунке 14 показано соотношение между порядком модулятора Σ - Δ и количеством передискретизации, необходимым для достижения, определенного SNR . Например, если коэффициент передискретизации равен 64, идеальная система второго порядка способна обеспечить SNR около 80 дБ. Это подразумевает примерно 13 эффективных битов ($ENOB$). Хотя фильтрация, выполняемая цифровым фильтром и дециматором, может выполняться с любой желаемой степенью точности, было бы бессмысленно передавать во внешний мир более 13 двоичных битов. Дополнительные биты не будут нести никакой полезной информации о сигнале и будут скрыты в шуме квантования, если только не будут использованы методы постфильтрации. Дополнительное разрешение можно получить в 1-битной системе, увеличив коэффициент передискретизации и/или используя модулятор более высокого порядка [6,7,8].



Рисунок 14 – Соотношение сигнал-шум и коэффициент передискретизации для циклов первого, второго и третьего порядка

2 Анализ целесообразности разработки АЦП на отечественной базе

2.1 Оценка существующего предложения АЦП на рынке электроники

Цифровая обработка позволяет оперировать сигналами с высокой точностью и стабильностью по сравнению с аналоговой обработкой, а в некоторых применениях предоставляет возможности недостижимые или труднодостижимые для аналоговой обработки.

Однако, прежде чем получить все плюсы цифровой обработки сигнал из реального мира необходимо представить в цифровой форме. Оцифровка осуществляется с использованием аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Базовыми характеристиками, от которых зависят возможности АЦП, являются: разрядность (бит) и частота выборки (выборки в секунду). Основные сферы применения охватывают следующие области:

- сбор и обработка данных;
- точные измерения;
- обработка голосовых и аудиоданных;
- высокоскоростная обработка сигналов.

График на рисунке 15 представляет ряд данных о распределении АЦП между описанными областями в соответствии с их базовыми характеристиками.

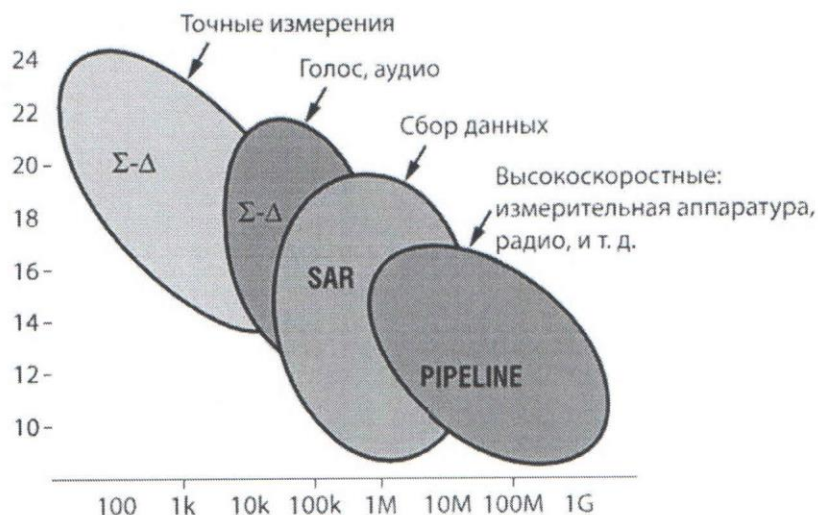
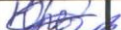


Рисунок 15 – Распределение АЦП по областям применения в зависимости от базовых характеристик

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Анализ целесообразности разработки АЦП на отечественной базе	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Юрьев Д.Д.							
Провер.		Доросинский А.Ю.					22	80	
Н. Контр.		Рыжова Т. Н.		22.06		гр. 19ПД1			
Утверд.									

Применения АЦП для высокоскоростной обработки сигналов является направление приемников *soft-ware-defisned radio* (программно определяемая радиосистема — *SDR*) основанных на полностью цифровом методе извлечения полезного сигнала из радиоэфира, так называемые *digital down conversion* (цифровое преобразование «вниз» — *DDC*) приемники *SDR*. Применение подхода *DDC* обеспечивает улучшение всех основных характеристик приемного устройства:

- постоянство характеристик преобразований исходного сигнала (исключение погрешностей, присущих аналоговым компонентам, в том числе зависимость от температуры);
- идеальный постоянство преобразователь вещественного сигнала в комплексную форму;
- применение цифровых фильтров при селекции сигнала;
- снижение сложности производства и настройки РПУ, повторяемость;
- снижение габаритов, массы и энергопотребления РПУ.

Решающую роль в *SDR DDC* приемниках играет АЦП, от которого при используемой схеме построения, зависят все основные характеристики приемника. На сайтах ведущих поставщиков электронных комплектующих отсутствует обобщенная информация, дающая представление о спектре представленных на рынке АЦП. Такие данные могут быть полезны как для начинающих разработчиков в качестве ориентира на возможности современной техники, так и в качестве поддержания актуальности знаний для опытных разработчиков.

Для анализа выбрано содержимое электронного каталога одного из крупнейших мировых поставщиков электронных компонентов *digikeu.com* данные актуальны на ноябрь 2022 года. Загрузка и обработка данных осуществлена с помощью разработанной программы.

Извлеченные данные содержат следующую информацию:

- производитель;
- модель;
- разрядность;
- частота выборки;
- напряжения питания аналоговой и цифровой частей;

- стоимость;
- минимальное количество, доступное к заказу.

По данным были построены графики, обобщающие извлеченную информацию. На рисунке 16 представлена выборка по характеристикам частота выборки/разрядность АЦП.

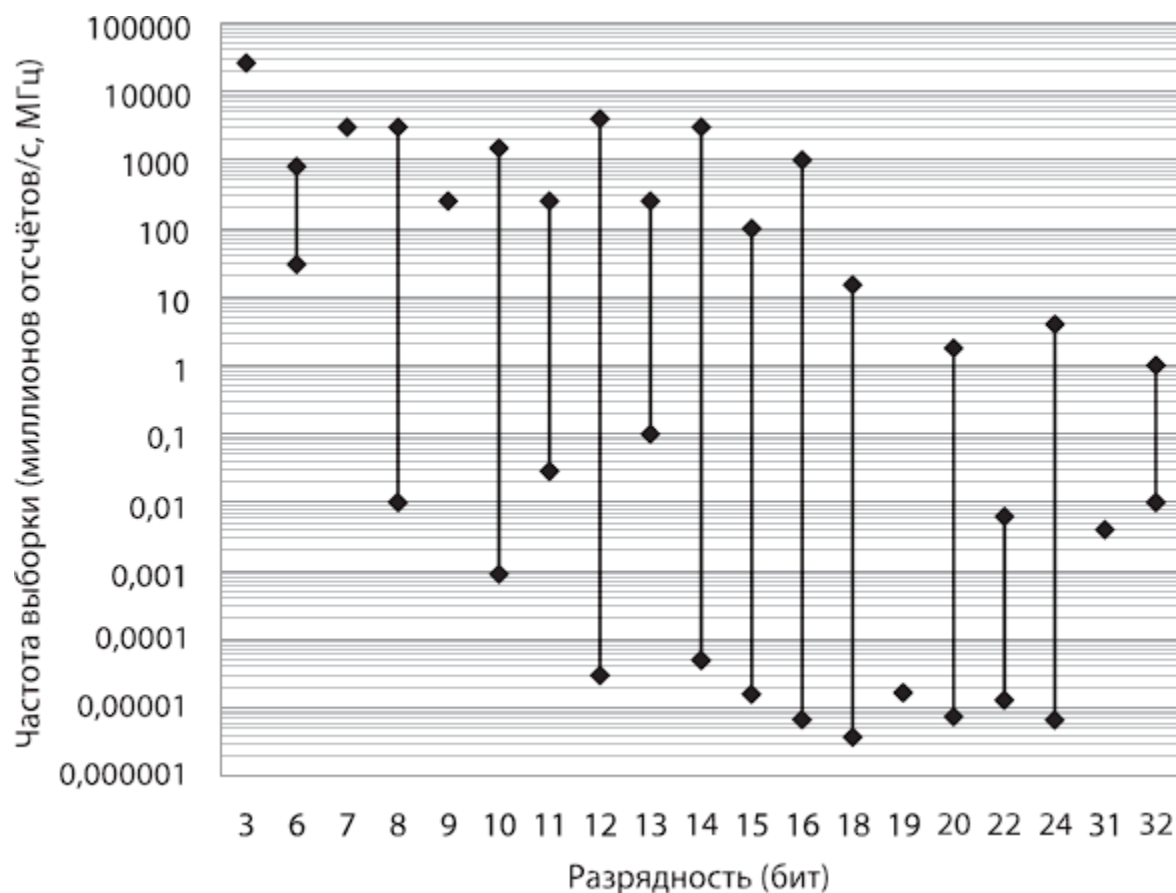


Рисунок 16 – Зависимость диапазона частот выборки сигналов от разрядности АЦП

На рисунке 17 приведена диаграмма с количеством наименований продукции каждого из производителей доступных для приобретения (производители с номенклатурой менее 100 наименований, приведены в таблице 2).

Из диаграммы видно, что основным производителем, представленным в разделе АЦП, у поставщика *digikay.com* является *Analog Devices Inc.*, после объединения с компанией *Linear Technology*, их совокупная номенклатура составляет 5000 единиц. Стоит обратить внимание, что три компании занимают подавляющую долю на рынке с точки зрения номенклатуры АЦП.

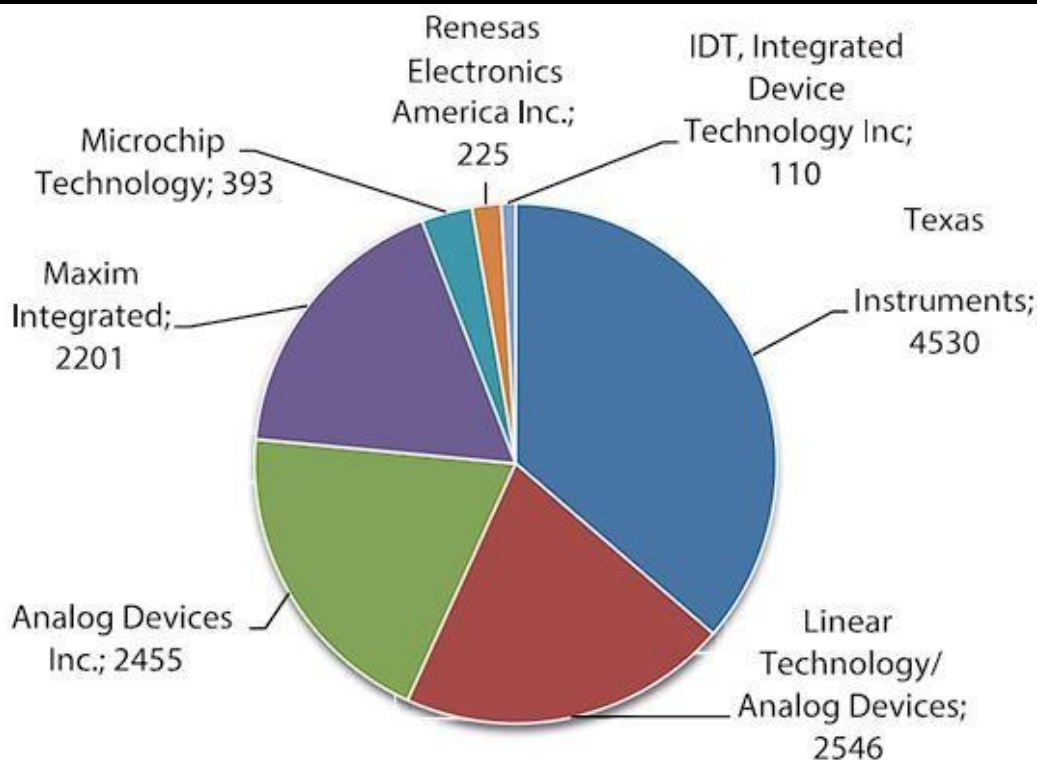


Рисунок 17 – Количество наименований продукции по производителям (более 100 наименований)

Таблица 2 – Количество наименований продукции по производителям (менее 100 наименований)

Производитель	Количество наименований, шт.
<i>Cirrus Logic Inc.</i>	60
<i>NXP USA Inc.</i>	24
<i>AKM Semiconductor Inc.</i>	16
<i>Silicop Lads</i>	11
<i>Advanced Linear Devices Inc.</i>	10
<i>Nuvoton Technology Corporation of America</i>	3
<i>ON Semiconductor</i>	3
<i>Rohm Semiconductor</i>	3
<i>ams</i>	2
<i>CEL</i>	2
<i>Honeywell Aerospace</i>	2
<i>Parallax Inc.</i>	1
<i>MaxLinear Inc.</i>	1

Максимально достигнутые частоты выборки отсчетов для каждого из производителей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальная частота выборки отсчетов по производителям

Производитель	Разрядность, бит	Частота, МГц
<i>Analog Devices Inc.</i>	3	26000
<i>Texas Instruments</i>	8	5000
<i>Maxim Integrated</i>	8	800
<i>Renesas Electronics America Inc.</i>	24	500
<i>Linear Technology/Analog Devices</i>	16	310
<i>IDT, Integrated Device Technology Inc.</i>	10	250
<i>Microchip Technology</i>	10	200
<i>CEL</i>	10	170
<i>NXP USA Inc.</i>	10	125
<i>MaxLinear Inc.</i>	10	40
<i>AKM Semiconductor Inc.</i>	14	1,17
<i>Cirrus Logic Inc.</i>	16	0,216
<i>Rohm Semiconductor</i>	10	0,2
<i>ams</i>	12	0,1
<i>Honeywell Aerospace</i>	12	0,1
<i>ON Semiconductor</i>	8	0,07
<i>Nuvoton Technology Corporation of America</i>	24	$8 \cdot 10^{-6}$

Ниже приведены таблицы стоимости АЦПв зависимости от разрядности и частоты выборок (данные представлены для частоты выборкиравной 100 МГц и более, как минимально допустимое для реализации *DDC SDR* приемника декаметрового (ДКМВ) диапазона). Также в каждой таблице приводятся данные о максимально доступной частоте выборки и цена на АЦП с данными характеристиками для заданной разрядности.

В таблице 4 приведены цены на 10-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц.

Таблица 4 – Цены на 10-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц

Производитель	Частота, МГц	Цена, \$	Заказ, шт.	Частота <i>max</i> , МГц	Цена, \$	Заказ, шт.
<i>Linear Technology/Analog Devices</i>	105	9,1	2500	250	70,82	1
<i>IDT, Integrated Device Technology Inc.</i>	105	10,32	490	125	12,9	490
<i>Analog Devices Inc.</i>	105	10,40	1000	210	84,77	1
<i>Maxim Integrated</i>	100	12,51	2500	250	65,12	10
<i>CEL</i>	170	15	1000	170	31,85	1
<i>Renesas Electronics America Inc.</i>	125	15,79	200	500	139,19	1
<i>NXP USA Inc.</i>	125	20,27	1	-	-	-

В таблице 5 приведены цены на 12-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц.

Таблица 5 – Цены на 12-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц

Производитель	Частота, МГц	Цена, \$	Заказ, шт.	Частота <i>max</i> , МГц	Цена, \$	Заказ, шт.
<i>IDT, Integrated Device Technology</i>	105	12,39	4000	125	21,92	2000
<i>NXP USA Inc.</i>	105	15,01	490	125	17,55	490
<i>Texas Instruments</i>	125	15,8	2500	1600	993,98	1

Продолжение таблицы 5

<i>Microchip Technology</i>	200	30,3	3300	200	48,54	1
<i>Analog Devices</i>	170	26,66	1500	2500	902,75	1500
<i>Renesas Electronics America Inc.</i>	125	30,11	100	500	168,63	1
<i>Linear Technology/Analog Devices</i>	105	17,5	2000	310	136,24	40
<i>Maxim Integrated</i>	170	98,47	1	210	169,83	1

В таблице 6 приведены цены на 14-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц.

Таблица 6 – Цены на 14-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц.

Производитель	Частота, МГц	Цена, \$	Заказ, шт.	Частота, МГц	Цена, \$	Заказ, шт.
<i>IDT, Integrated Device Technology</i>	105	13,72	400	246	44,05	348
<i>NXP USA Inc.</i>	105	28	н/д	-	-	-
<i>Texas Instruments</i>	125	28,41	2500	2500	999,13	1
<i>Renesas Electronics America Inc.</i>	125	42,42	1	500	249,57	1
<i>Analog Devices</i>	155	45,68	1500	1250	914,67	1
<i>Linear Technology/Analog Devices</i>	105	49,31	2500	125	306,88	1
<i>Microchip Technology</i>	200	55,84	3300	200	87,97	1

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			28

В таблице 7 приведены цены на 16-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц.

Таблица 7 – Цены на 16-ти разрядные АЦП с частотой выборки не менее 100 МГц.

Производитель	Частота, МГц	Цена, \$	Заказ, шт.	Частота <i>max</i> , МГц	Цена, \$	Заказ, шт.
<i>IDT, Integrated Device Technology</i>	105	16,77	4000	125	40,5	260
<i>Analog Devices Inc.</i>	160	38,12	750	125	351,59	1
<i>Linear Technology/Analog Devices</i>	105	64,1	2000	125	178,36	45
<i>Texas Instruments</i>	130	72,16	2000	1000	800,26	1
<i>Renesas Electronics America Inc.</i>	130	86,23	20	250	161,21	1
<i>Microchip Technology</i>	200	91,19	3300	200	136,76	1

Приведенные данные позволяют получить представление о значениях основных характеристик АЦП мировых производителей, доступных на данный момент к свободному приобретению.

Лидерами по производству АЦП, в том числе применимых для создания комплексов приема и обработки информации в СДВ-ДКМВ диапазонах волн являются:

1. *Analog Devices* (США)
2. *Texas Instruments* (США)
3. *Linear Technology/Analog Devices* (США) [9].

2.2 Анализ схемы Щ306 и его АЦП в качестве прототипа

Структурная схема омметра приведена на рисунке 18.

В преобразователе R/U происходит преобразование сопротивления измеряемого резистора R_x в пропорциональное ему напряжение U_x (рисунок 19б), которое подается на вход АЦП.

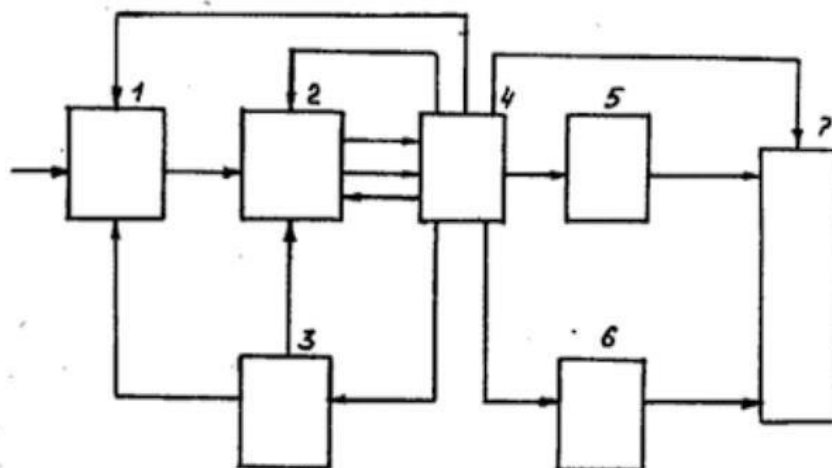


Рисунок 18 – Структурная схема омметра Щ306

- 1 – преобразователь R/U ;
- 2 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 3 – источник опорного напряжения (ИОН);
- 4 – устройство управления;
- 5 – счетчик младших разрядов;
- 6 – счетчик старших разрядов;
- 7 – индикатор.

Измерение сопротивления осуществляется за полный рабочий цикл, состоящий из двух подготовительных и двух интегрирующих тактов.

За время подготовительного такта должны закончиться все переходные процессы в измерительной схеме.

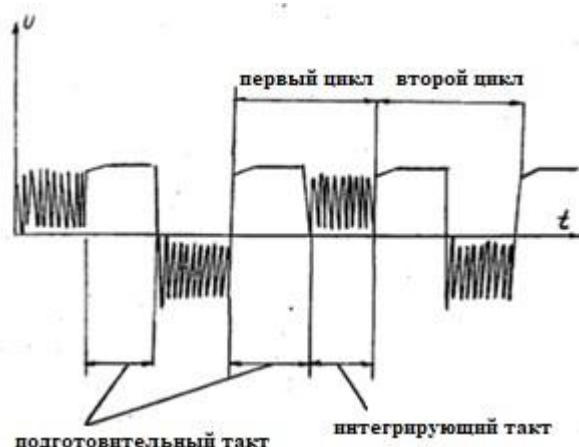
За время первого интегрирующего такта через измеряемый резистор пропускается ток (дополнительный), вызванный смещением нулей операционных усилителей.

За время второго интегрирующего такта через измеряемый резистор протекают токи измерительный и дополнительный.

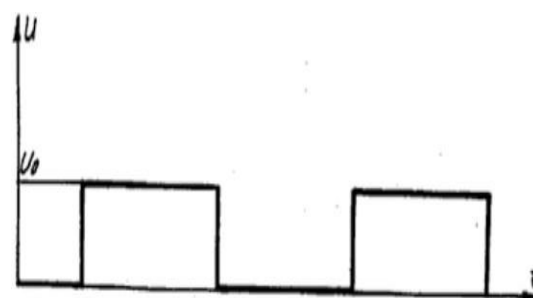
Измерительный ток зависит от диапазона измерений сопротивления.

Получаемые при этом на выходе масштабного преобразователя напряжения U_{x1} и U_{x2} поступают на вход АЦП, выполненного по принципу многотактного интегрирования с измерением значения разрядного тока.

В АЦП происходит одновременное интегрирование напряжений измеряемого U_x и компенсирующего U_0 , при этом компенсирующее напряжение подается на вход интегратора десятью импульсами, суммарная длительность которых пропорциональна U_x , остаток не компенсации разряжается опорным напряжением, условно равным $0,01 U_0$. Эюра напряжений на интеграторе показана на рисунке 19а.



а) эюра напряжения на интеграторе



б) преобразование сопротивления
измеряемого резистора в
пропорциональное ему напряжение

Рисунок 19 – Графики зависимостей напряжения от времени для интегратора и резистора

Из интегратора импульсы интервалов компенсации и импульсы интервала разряда остатка не компенсации (рисунок 20) поступают в схему логика управления.

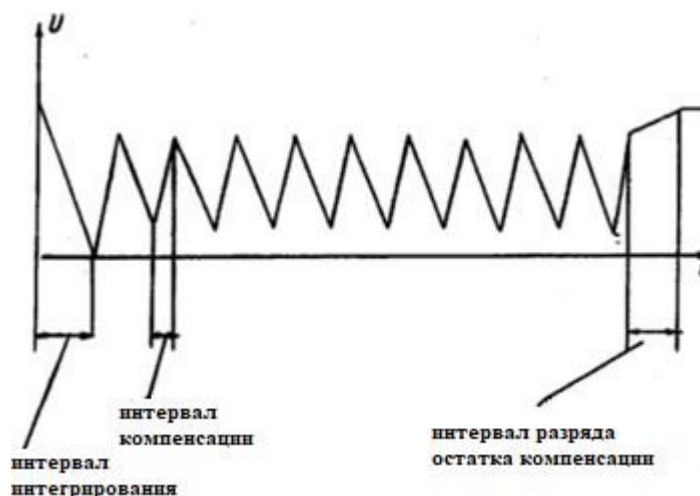


Рисунок 20 – График поступления импульсов в схему логика управления

Подсчет импульсов в выделение разности двух измерений осуществляется двумя декадами младших разрядов и тремя или четырьмя декадами старших разрядов реверсивного счетчика.

Далее информация об измерении через регистры памяти, мультиплексоры и дешифратор поступает на индикатор, выполненный с использованием стробирования.

Преобразователь R/U и АЦП работают от общего ИОН, что обеспечивает независимость измерения R_x от опорного напряжения [10].

2.3 Оценка точности предлагаемого АЦП

Уменьшение систематических инструментальных погрешностей является одним из эффективных путей повышения точности АЦП. В общем случае уменьшение систематических погрешностей можно осуществить их компенсацией, калибровкой и автоматической коррекцией. Автоматическая коррекция заключается в определении размера погрешности и введения необходимой поправки в конечный результат. В настоящее время в качестве корректирующих устройств широко применяются микропроцессоры, программно реализующие алгоритмы коррекции.

Среди всевозможных методов широкую популярность приобрели тестовые методы, которые основаны на использовании в дополнительных преобразованиях тестов, результаты преобразования которых обрабатываются по заданному алгоритму. Применение подобных методов позволяют синтезировать измерительную систему высокой точности на базе нестабильных элементов.

В данной статье предлагается метод коррекции мультипликативной и аддитивной составляющей систематической погрешности внутреннего АЦП микроконтроллера *PIC14000* компании *Microchip* методом образцовых мер или тестовых сигналов.

В качестве тестовых сигналов воспользуемся двумя внутренними источниками опорного напряжения U_{reflo} и U_{refhi} , (нижнее и верхнее) которые обеспечивает микроконтроллер.

Внутренний аналого-цифровой преобразователь построен на базе одноканального ПНВ (преобразователь напряжение-время). Его функциональная схема приведена на рисунке 21.

Данный аналого-цифровой преобразователь включает в себя следующие аналоговые компоненты:

- компаратор;
- 4-разрядный программируемый источник тока;
- аналоговый коммутатор на 16 каналов;
- 16-разрядный таймер *ADTMR* и регистр сбора данных *ADCAP*.

Емкость *C*, которая является внешней, заряжается от управляемого источника тока.

Сигнал с каждого канала (входы *AN0-AN7*) преобразуется независимо, посредством одноканального интегрирования, используя компаратор для сравнения, входного и интегрируемого напряжений.

Коммутация АЦП с аналоговым портом *AN0-AN7* и опорными напряжениями реализуется с помощью встроенного мультиплексора.

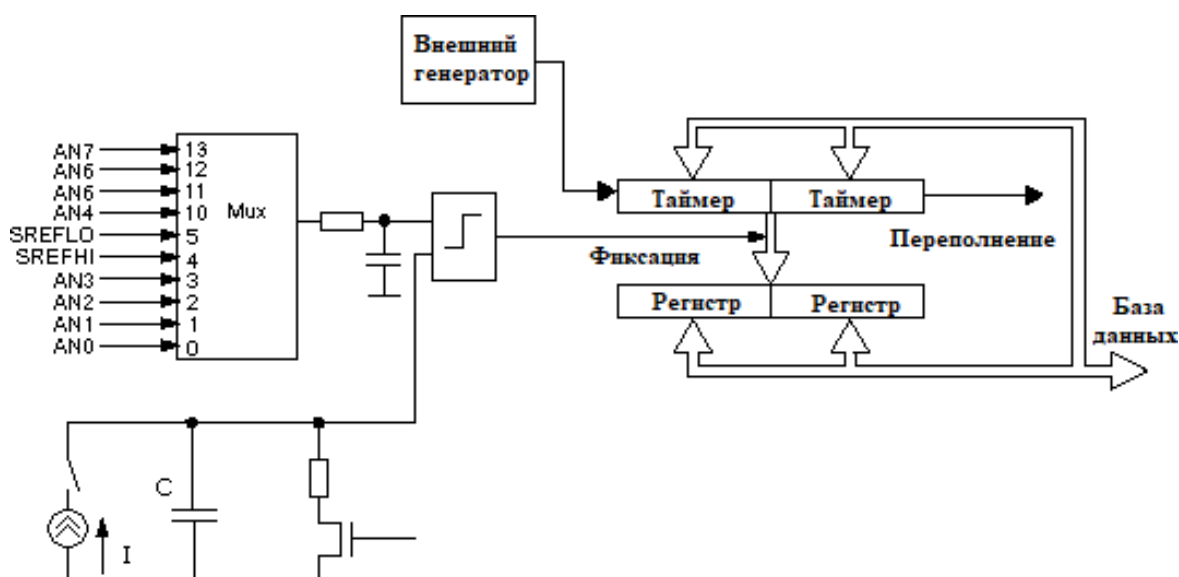


Рисунок 21 – Функциональная схема аналого-цифрового преобразователя

Номинальная функция преобразования данного АЦП имеет следующий вид:

$$N_i = Ent \left[\frac{U_x \cdot C}{I} \cdot f_0 \right], \quad (3)$$

где U_x – напряжение которое необходимо преобразовать в код;

I – источник опорного тока заряжающий внешнюю емкость;

C – внешняя емкость заряжаемая от встроенного источника тока;

f_0 – частота заполнения временного интервала импульсами;

N_i – номинальное значение кода.

Однако на практике реальная функция преобразования отличается от номинальной из-за погрешностей, вносимых каждым элементом АЦП.

В идеале начальное напряжение линейного пилообразного сигнала на аналоговом входе равно нулю. Однако, конденсатор не может быть полностью разряжен, на нем присутствует напряжение смещения $U_{инт}(t_0)$. Этот эффект называется конденсаторным поглощением диэлектрика (абсорбцией), и изменяется в зависимости от материала диэлектрика конденсатора, напряжения, которым заряжался конденсатор в течение последнего цикла, и интервала времени разряда.

Компаратор (который сравнивает напряжение пилообразного сигнала со входным напряжением и останавливает таймер $ADTMR$, когда напряжения равны) обычно имеет погрешность в несколько милливольт из-за смещения при сравнении Δ_n – это напряжение смещения компаратора прибавляется (или вычитается) к $U_{инт}(t_0)$.

В то время, когда преобразование может иметь очень малую постоянную, задержка $I \cdot t_{зд}$, воздействует на измерение тем же самым способом, что и напряжение смещения. Также воздействует на результат измерения и погрешность мультиплексора Δ_m , которая определяется утечкой тока. Погрешность квантования и дискретизации берется равной наименьшей ступени квантования, а значит равна одной единице счета. Все эти погрешности являются аддитивными составляющими.

Предельно допустимые отклонения значений тока, частоты и емкости также вносят погрешность в конечный результат и являются мультипликативными составляющими.

Кроме того, имеет место погрешность согласования, которая вызвана внутренним сопротивлением мультиплексора.

На основании всего вышесказанного метрологическая модель АЦП будет иметь следующий вид (рисунок 22) [11].

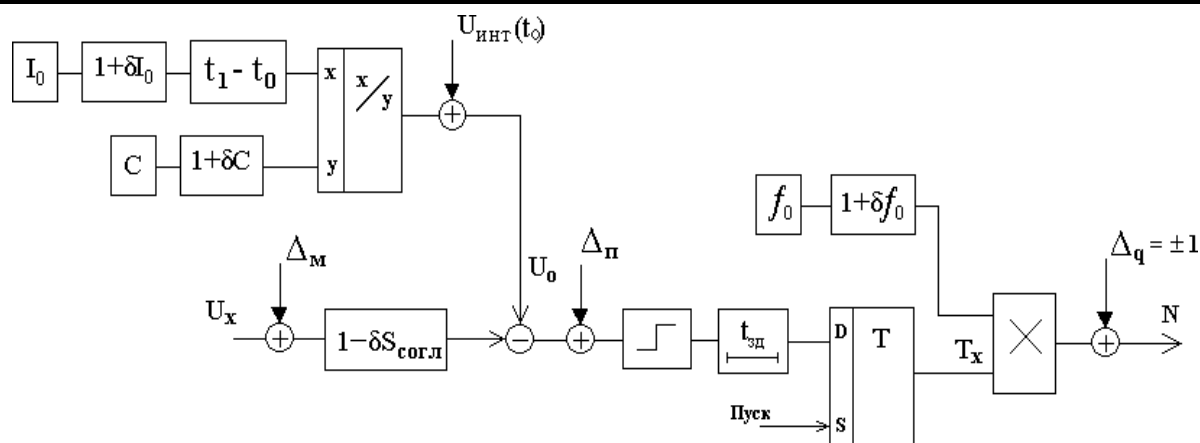


Рисунок 22 – Метрологическая модель АЦП

Согласно построенной модели запишем реальную функцию преобразования:

$$Nr = Ent \left[\frac{C \cdot ((U_x + \Delta_m) \cdot (1 - \delta_{\text{согл}}) \cdot (1 + \delta_c) + \Delta_{\text{п}} - U_{\text{инт}}(t_0)) + I \cdot t_{\text{зд}}}{I \cdot (1 + \delta_I)} \cdot f_0 \cdot (1 + \delta f_0) + \Delta q \right], \quad (4)$$

где Δ_m – аддитивная составляющая погрешности мультиплексора;

$\delta_{\text{согл}}$ – мультипликативная погрешность мультиплексора, рассматриваемая как погрешность согласования;

δ_c – предельно допустимое значение емкости;

$\Delta_{\text{п}}$ – аддитивная составляющая погрешности компаратора выраженная его порогом срабатывания;

$U_{\text{инт}}(t_0)$ – аддитивная составляющая погрешности интегрирования выраженная абсорбцией емкости;

$t_{\text{зд}}$ – аддитивная погрешность выраженная временем задержки срабатывания;

δ_I – предельно допустимое значение источника тока;

δ_{f_0} – мультипликативная погрешность генератора частоты, выраженная его нестабильностью;

Δ_q – погрешность квантования и дискретизации равная значению ступени квантования.

На рисунке 23 представлен график идеальной зависимости $N_I = f(U_x)$, а также диапазон возможных значений, которые может принимать реальная функция преобразования $N_R = f(U_x)$.

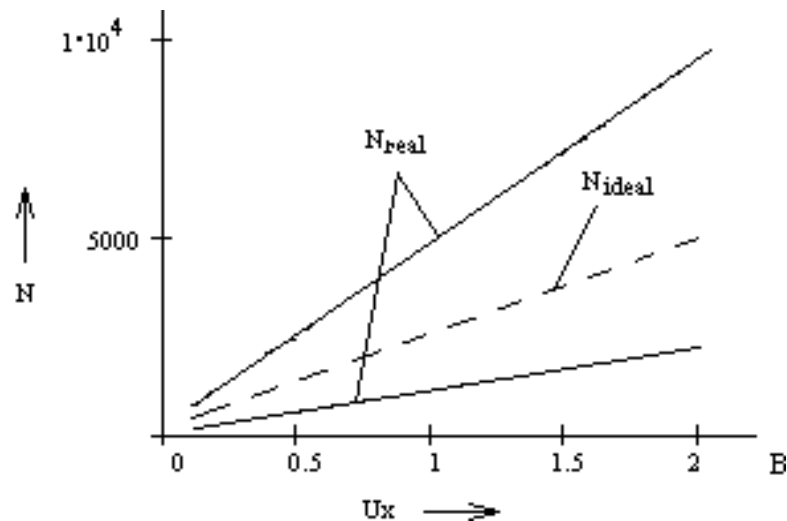


Рисунок 23 – График идеальной и реальной функции преобразования

Нелинейная составляющая тоже присутствует, но имеет второй порядок малости и поэтому не учитывается.

Для того чтобы скорректировать функцию преобразования аналого-цифрового преобразователя (включая погрешность мультиплексора), воспользуемся источниками стабильного опорного напряжения U_{reflo} и U_{refhi} величины которых известны.

Уравнения функции преобразования первого и второго напряжения, будут иметь вид:

$$N_{REFHI} = Ent \left[\frac{C \cdot ((U_{REFHI} + \Delta_M) \cdot (1 - \delta_{COGL}) \cdot (1 + \delta_C) + \Delta_{П} - U_{инт}(t_0)) + I \cdot t_{зд}}{I \cdot (1 + \delta_I)} \cdot f_0 \cdot (1 + \delta_{f_0}) + \Delta_q \right] \quad (5)$$

$$N_{REFLO} = Ent \left[\frac{C \cdot ((U_{REFLO} + \Delta_M) \cdot (1 - \delta_{COGL}) \cdot (1 + \delta_C) + \Delta_{П} - U_{инт}(t_0)) + I \cdot t_{зд}}{I \cdot (1 + \delta_I)} \cdot f_0 \cdot (1 + \delta_{f_0}) + \Delta_q \right] \quad (6)$$

Как видно из уравнений, в результат преобразования войдут все составляющие погрешностей аналоговых модулей.

Вычисляя разность полученных значений кода получим зависимость:

$$N_{SUB} = N_{REFHI} - N_{REFLO} = Ent \left[\frac{C \cdot (1 - \delta_{COGL}) \cdot (1 + \delta_C) \cdot f_0 \cdot (1 + \delta_{f_0})}{I \cdot (1 + \delta_I)} \cdot (U_{REFHI} - U_{REFLO}) \right] \quad (7)$$

Как видно из этого уравнения значение разности N_{SUB} не имеет аддитивной составляющей погрешности.

Зная номинальные значения для тока, емкости, частоты и опорных напряжений, разность номинальных значений кода, можно рассчитать по формуле:

$$N_{SUB} = Ent \left[\frac{C \cdot f_0}{I} \cdot (U_{REFHI} - U_{REFLO}) \right] \quad (8)$$

Разделив реальное значение разности и номинальное получим значение мультипликативной составляющей погрешности:

$$N_{MUL} = \frac{N_{SUB}}{N_{SUB}} = \frac{1 + \delta_C + \delta_{f_0} - \delta_{согл}}{1 + \delta_I} \quad (9)$$

Значение кода N_{MUL} , должно быть представлено в формате с плавающей запятой (достаточно трех знаков после запятой).

Разделив полученное значение кода N_{REFLO} , на код N_{MUL} будем иметь значение кода N_{RLM} без учета мультипликативной составляющей погрешности:

$$N_{RLM} = \frac{N_{REFLO}}{N_{MUL}} \quad (10)$$

Для нахождения аддитивной составляющей погрешности вычтем из N_{RLM} , номинальное значение кода N'_{REFLO} полученное расчетным путем:

$$N'_{REFLO} = Ent \left[\frac{U_{REFLO} \cdot C}{I} \cdot f_0 \right] \quad (11)$$

Вычитая значение N'_{REFLO} из N_{RLM} , получим значение аддитивной составляющей погрешности:

$$N_{ADD} = Ent[N_{RLM} - N'_{REFLO}] \quad (12)$$

Таким образом получены значения поправок для аддитивной и мультипликативной составляющих, погрешности выраженных в единицах выходной величины.

Вводя эти поправки в результат преобразования будем иметь скорректированное значение результата (13).

$$\overline{N}_X = Ent \left[\frac{N_X}{N_{MUL}} - N_{ADD} \right] \quad (13)$$

Коррекция происходит с некоторой ошибкой, из-за того, что опорные напряжения U_{REFLO} и U_{REFHI} , имеют предельно допустимые отклонения от номинала, выраженные в относительной форме:

$$\frac{U_{REFHI} \pm \Delta U_{REFHI}}{U_{REFLO} \pm \Delta U_{REFLO}} \rightarrow \frac{U_{REFHI} \cdot (1 \pm U_{REFHI})}{U_{REFLO} \cdot (1 \pm U_{REFLO})} \quad (14)$$

Разность напряжений с учетом предельно допустимых отклонений будет выглядеть:

$$(U_{REFLO} + \Delta U_{REFLO}) - (U_{REFHI} + \Delta U_{REFHI}) = U_{SUB} + \Delta U_{SUB} = U_{SUB}(1 + \delta U_{SUB}) \quad (15)$$

Выполняя расчет коррекции функции преобразования с учетом предельно допустимых отклонений опорных напряжений получим следующую зависимость:

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$$N_{corr} = Ent \left[\frac{f_0 \cdot C}{I} \cdot [U_X \cdot (1 + \delta U_{SUB}) + U_{REFLO} \cdot \delta U_{SUB}] \right] \quad (16)$$

Эта зависимость есть скорректированная функция преобразования, методом тестовых сигналов. Рассчитаем значение кода N_{corr} в каждой контролируемой отметке шкалы, и значение абсолютной погрешности. Построим график зависимости N_{corr} от U_x , причем на графике покажем диапазон возможных значений, которые может принимать скорректированная функция преобразования. График функции приведен на рисунке 24.

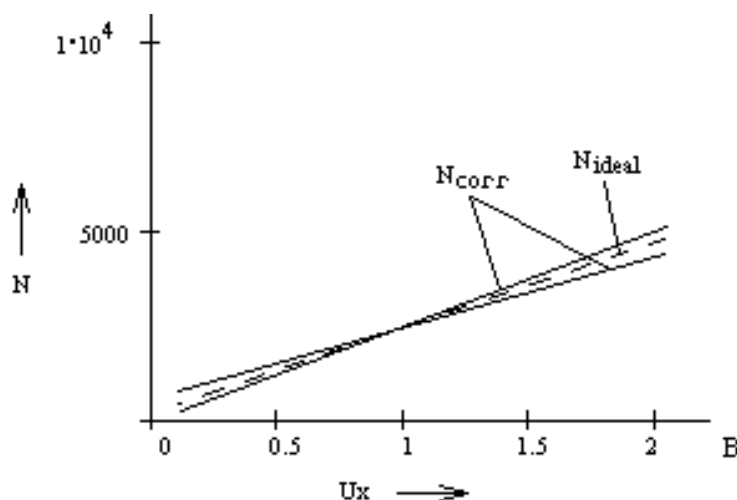


Рисунок 24 – График скорректированной функции преобразования

Предлагаемые методы повышения точности (указанные в документации на микроконтроллер), имеют очень большую ошибку, при измерении малых напряжений. Поэтому в данной статье предлагается метод позволяющий уменьшить ошибку модели до достаточно малых значений.

Полученный результат ошибки, свидетельствует о том, что вышеописанный метод можно применять в измерительной технике, для нахождения абсолютного значения напряжения со сравнительно невысокой точностью [12].

3 Реализация схемы АЦП

3.1 Выбор элементной базы

Выбор элементной базы проводится на основе схемы электрической принципиальной (приложение Д) с учетом требований, изложенных в техническом задании в таблице 8. Эксплуатационная надежность элементной базы во многом определяется правильным выбором типа элементов при проектировании и использовании в режимах, не превышающие допустимые.

Таблица 8 – Основные характеристики для разработки прецизионного АЦП интегрирующего типа

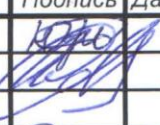
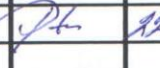
Основные характеристики	
Разрядность	24
Интегральная нелинейность	0,0005 %
Питание	± 15 В
Ток потребления	100 мА
Время преобразования	40 мс
Диапазон входных напряжений	$\pm 2,5$ В

Критерием выбора АЦП являются его параметры: число разрядов, быстродействие, точность, стоимость.

Число разрядов выходного кода определяет количество возможных уровней квантования входного сигнала. Для N -разрядного двоичного кода это количество равно 2^N .

Разрешающая способность определяется минимальным входным напряжением, соответствующим изменению выходного кода на единицу младшего разряда.

Интегральная нелинейность (рисунок 25) выходного кода АЦП – это максимальная разность между измеренным входным напряжением на передаточной характеристике и идеальным ее значением, выражается в процентах или долях младшего разряда (МР).

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Юрьев Д.Д.			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Доросинский А.Ю.				39	80
Н. Контр.		Рыжова Т. Н.		12.06	гр. 19ПД1		
Утверд.							

Реализация схемы АЦП

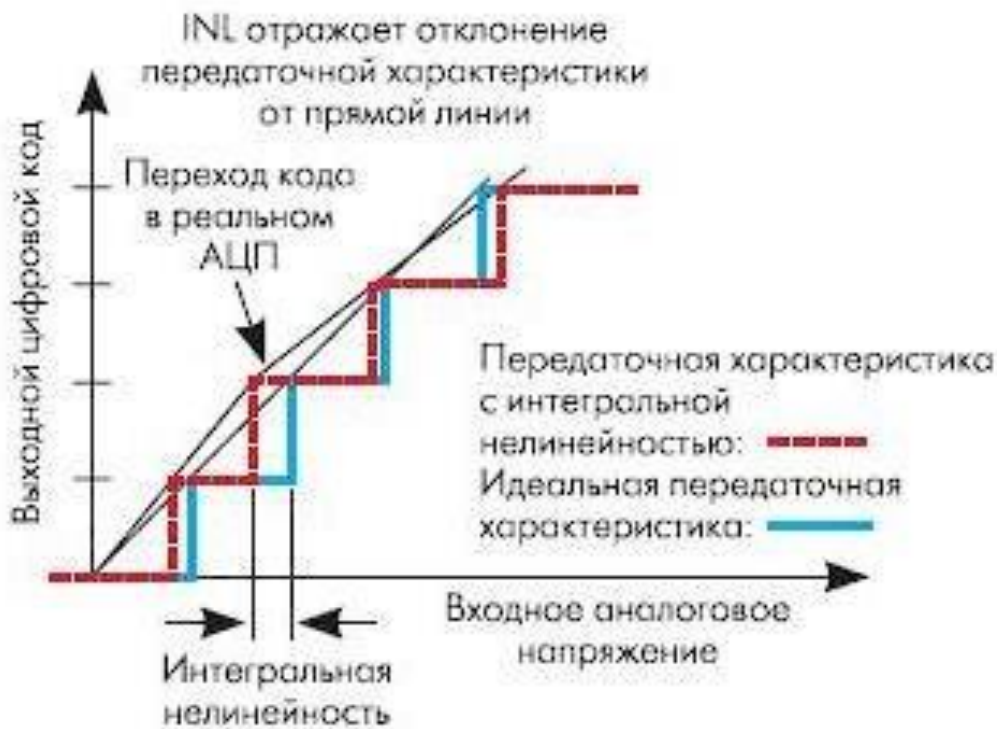


Рисунок 25 – Интегральная нелинейность

Электрическая принципиальная схема состоит из следующих элементов:

- резисторов;
- неинвертирующего операционного усилителя операционного усилителя;
- переключающихся ключей (КН590КН4).
- компараторов (521СА3);
- микроконтроллера (1986ВЕ92У);
- инвертора (КР140УД708);
- интегратора (КР544УД1А).

Опишем, что представляет из себя каждый из вышеперечисленных элементов.

Резистор – это пассивный элемент, применяемый в электрических цепях, действие которого основано на сопротивлении току. Основной характеристикой этого электронного компонента является величина его электрического сопротивления. Условное географическое обозначение резистора представлено на рисунке 26 [13].



Рисунок 26 – УГО резистора

Неинвертирующий усилитель представляет собой схему операционного усили-

теля, которая создает усиленный выходной сигнал, и этот выходной сигнал неинвертирующего операционного усилителя находится в фазе с приложенным входным сигналом. Условное географическое обозначение неинвертирующего усилителя представлено на рисунке 28 [14].

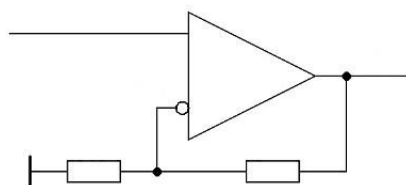


Рисунок 28 – УГО неинвертирующего усилителя

Микросхема 4х-канального МОП-ключа КН590КН4 представлена на рисунке 29 и его основные характеристики представлены в таблице 9 [15].

Таблица 9 – Основные параметры КН590КН4

Напряжение питания $U+$	15 В
Напряжение питания $U-$	-15 В
Ток потребления по $U+$	<200 мкА
Ток потребления по $U-$	<5 мкА
Сопротивление открытого канала	<100 Ом
Емкость аналогового входа/выхода	<10/12 пФ
Емкость между каналами	<1 пФ
Ток утечки аналогового входа/выхода	<70 нА
Ток утечки по цифровым входам	<1 мкА
Время включения	<300 нс

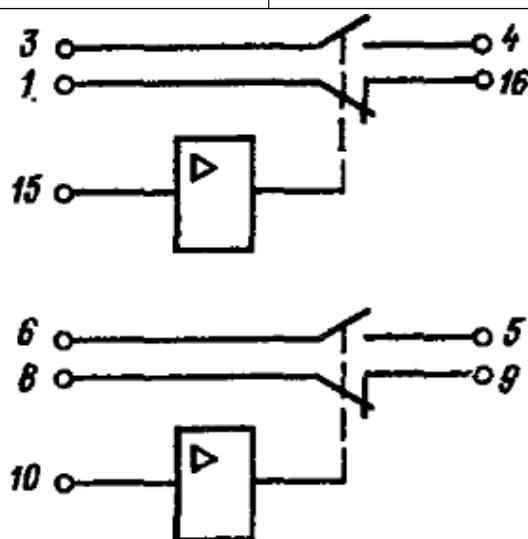


Рисунок 29 – Схема соединений микросхемы КН590КН4

Назначение выводов микросхемы представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Назначение выводов микросхемы КН590КН4

1	Аналоговый вход 1
2	Свободный
3	Аналоговый вход 3
4	Аналоговый выход 3
5	Аналоговый выход 4
6	Аналоговый вход 4
7	Свободный
8	Аналоговый вход 2
9	Аналоговый выход 2
10	Вход управления 2
11	Питание +
12	Свободный
13	Общий
14	Питание -
15	Вход управления 2
16	Аналоговый выход 1

Компаратор 521СА3 представлен на рисунке 30 и его характеристики представлены в таблице 11 [16].

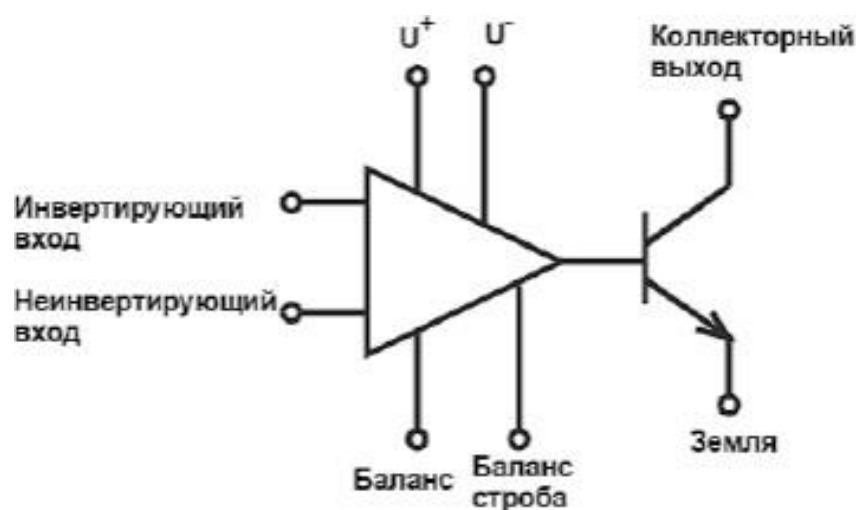


Рисунок 30 – Схема компаратора 521СА3

Таблица 11 – Основные характеристики компаратора 521СА3

Напряжение смещения нуля, мВ	-3...3
Остаточное напряжение, В	1,5
Средний входной ток, нА	100
Коэффициент усиления напряжения	150К
Ток потребления от положительного источника питания, мА	6
Ток потребления от отрицательного источника питания, мА	5
Время задержки, нс	300
Разность входных токов, нА	10

Микроконтроллер 1986BE92У представлен на рисунке 31.

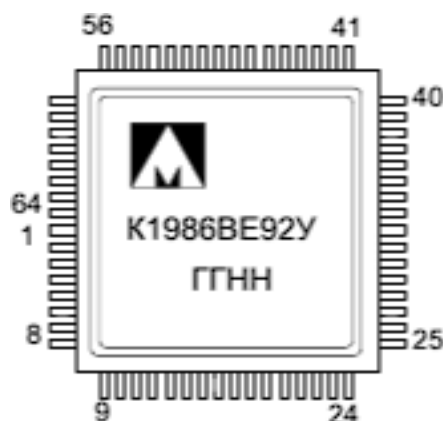


Рисунок 31 – Схема Микроконтроллер 1986BE92У

Основные технические характеристики микроконтроллера.

Ядро:

- ARM 32-битное *RISC*-ядро *Cortex*[™]-M3 ревизии 2.0, тактовая частота до 80 МГц, производительность 1.25 *DMIPS*/МГц при нулевой задержке памяти;
- блок аппаратной защиты памяти MPU;
- умножение за один цикл, аппаратная реализация деления.

Память:

- встроенная энергонезависимая *Flash*-память программ размером 128 Кбайт;
- встроенное ОЗУ размером 32 Кбайт;
- контроллер внешней шины с поддержкой микросхем памяти СОЗУ, ПЗУ, *NAND Flash*.

Питание и тактовая частота:

- внешнее питание $2,2 \div 3,6$ В;
- встроенный регулируемый стабилизатор напряжения на 1,8 В для питания ядра;
- встроенные схемы контроля питания;
- встроенный домен с батарейным питанием;
- встроенные подстраиваемые RC генераторы 8 МГц и 40 кГц;
- внешние кварцевые резонаторы на $2 \div 16$ МГц и 32 кГц;
- встроенный умножитель тактовой частоты PLL для ядра;
- встроенный умножитель тактовой частоты PLL для USB .

Режим пониженного энергопотребления:

- режимы *Sleep*, *Deep Sleep* и *Standby*;
- батарейный домен с часами реального времени и регистрами аварийного сохранения.

Аналоговые модули:

- два 12-разрядных АЦП (до 16 каналов);
- температурный датчик;
- двухканальный 12-разрядный ЦАП;
- встроенный компаратор.

Периферия:

- контроллер DMA с функциями передачи Периферия-Память, Память-Память;
- два контроллера CAN интерфейса;
- контроллер USB интерфейса с функциями работы *Device* и *Host*;
- контроллеры интерфейсов $UART$, SPI , $I2C$;
- три 16-разрядных таймер-счетчика с функциями ШИМ и регистрации событий;
- до 96 пользовательских линий ввода-вывода.

Отладочные интерфейсы:

- последовательные интерфейсы SWD и $JTAG$ [17].

Инвертор КР140УД708 – операционный усилитель с внутренней коррекцией амплитудно-частотной характеристики.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Схема инвертора представлена на рисунке 32 и его параметры представлены в таблице 12 [18].

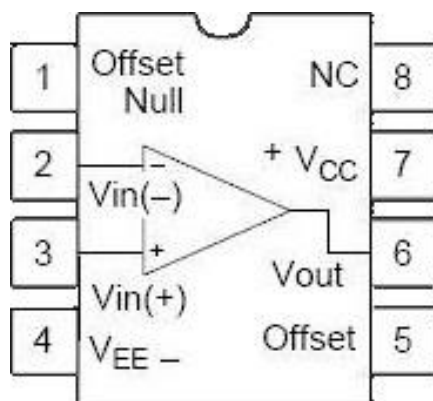


Рисунок 32 – Схема инвертора KP140УД708

Таблица 12 – Основные параметры инвертора KP140УД708

Напряжение питания (ном.)	± 15 В
Напряжение питания (доп.)	$\pm 5.. \pm 20$ В
Ток потребления, не более	$\pm 2,8$ мА
Максимальное выходное напряжение	$\pm 10,5$ В
Максимальное синфазное входное напряжение	12 В
Напряжение смещения нуля	± 9 мВ
Входной ток, не более	400 нА
Разность входных токов, не более	200 нА
Коэффициент усиления напряжения	> 30 К
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений	> 70 дБ
Входное сопротивление	> 400 Ком
Частота единичного усиления	800 КГц
Скорость нарастания (макс.)	$> 0,3$ В/мкс
Температурный диапазон	$-20.. +70$ °С
Корпус	DIP-8

Назначение выводов микросхемы представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Назначение выводов микросхемы КР140УД708

1	Offset	Балансировка нуля
2	Vin(-)	Инвертирующий вход
3	Vin(+)	Неинвертирующий вход
4	-Vee	Минус питания
5	Offset	Балансировка нуля
6	Vout	Выход
7	+Vcc	Плюс питания
8	NC	Коррекция

Интегратор КР544УД1А представлен на рисунке 33 и его основные параметры представлены в таблице 14 [19].

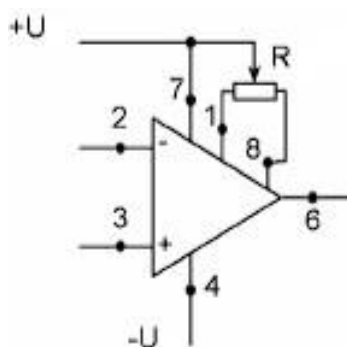


Рисунок 33 – Схема интегратора КР544УД1А

Таблица 14 – Основные параметры интегратора КР544УД1А

Коэффициент усиления напряжения	150К
Напряжение смещения, мВ	20
Температурный коэффициент напряжения смещения нуля, мкВ/°С	30
Средний входной ток, нА	0,05
Разность входных токов, нА	0,02
Приведенное ко входу напряжение шума в полосе частот 0,1-10Гц, мкВ	5
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений, дБ	80
Коэффициент влияния нестабильности источников питания напряжение смещения, мкВ/В	100
Частота единичного усиления, МГц,	1
Максимальная скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	5
Максимальное выходное напряжение, В,	12
Ток потребления, мА,	3

Назначение выводов микросхемы представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Назначение выводов микросхемы КР544УД1А

1	Баланс
2	Вход инвертирующий
3	Вход неинвертирующий
4	Источник питания (минус)
5	Не используется
6	Выход
7	Источник питания (плюс)
8	Баланс

3.2 Разработка схемы электрической структурной и функциональной

Электрическая структурная схема – отражает укрупненную структуру системы управления и взаимосвязи между пунктами контроля и управления объектов. Основные элементы изображаются в виде прямоугольников, связи между элементами показывают стрелками, направленными от воздействующего элемента на воздействуемый.

Электрическая функциональная схема – отражает функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования технологического процесса и определяющие оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации [20].

Опишем работу схемы электрической структурной.

Схема работает следующим образом: для компенсации напряжения смещения $U_{\text{смещ}}$ предстоит работа так в положительной, так и в отрицательной области напряжений. Поэтому целесообразно рассмотреть работу лишь в первой положительной области, поскольку, алгоритм функционирования совпадает. Изначально выход интегратора находится в насыщении, а на вход действует опорное напряжение U_0 сформированное ЦАП, в первом такте входное напряжение $U_{\text{вх}}$ через инвертор подключается на вход интегратора, за счет чего на выходе интегратора формируется линейно спадающее напряжение.

Компаратором (K_2) регистрируется достижение нулевого значения, временной интервал разряда запоминается и его значение используется для формирования ком–

пенсационного напряжения пропорционального времени разряда, для того чтобы обеспечить интегратору низкий динамический диапазон работы. Данное напряжение формируется с помощью ЦАП, путем подачи соответствующего кода с микроконтроллера, данное напряжение через ключ подается на вход интегратора, в результате чего на интеграторе формируется линейно нарастающее напряжение. Этот процесс продолжается до тех пор, пока напряжение на выходе интегратора не достигнет некоторого порогового значения (U_2), после чего формируется 9 циклов переменного интегрирования напряжений компенсации и U_x . Каждый из 9 циклов работает в соответствии со следующей последовательностью действий.

Через инвертор подается напряжение U_x в течении временного интервала кратного 20мс с целью подавления сетевой помехи. Затем на вход интегратора подается напряжение компенсации, которое присутствует на входе до тех пор, пока напряжение на выходе интегратора не достигнет порогового напряжения U_2 , время с момента подачи напряжения компенсации на выход интегратора до достижения порога U_2 запоминается в памяти микроконтроллера. Процесс повторяется 9 раз, после чего в памяти накапливается все 9 значений временных интервалов компенсации, по полученным данным берется среднее значение, которое пропорционально напряжению U_x . Для разряда остатка не компенсации на вход интегратора подается некоторое значение с ЦАП, которое меньше напряжения компенсации в 10 раз. Данное напряжение присутствует до тех пор, пока выходное напряжение интегратора не достигнет порога U_1 .

Данный процесс аналогичен для отрицательной области напряжения, при этом напряжение на входе интегратора является инверсным, относительно положительной области, а в качестве порогов U_1 и U_2 используются значения U_3 и U_4 . Далее между полученными усредненными интервалами компенсации для положительной и отрицательной области находится среднее значение, которое в конечном счете и является выходным кодом U_x .

Схема электрическая структурная представлена в приложении Б.

Схема электрическая функциональная представлена в приложении В.

3.3 Разработка схемы электрической принципиальной

Электрическая принципиальная схема – отражает с достаточной полнотой состав элементов, вспомогательной аппаратуры и связей между ними, входящих в

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

отдельный узел автоматизации и дающих детальное представление о принципе его работы.

На основе выбора элементной базы и описания работы схем электрической структурной и функциональной, была разработана схема электрическая принципиальная, а также построен макет данной схемы. На основании принципиальных схем ещё разрабатывают схемы внешних и внутренних соединений.

Исходя, из разработанной структурной схемы прецизионного аналого-цифрового преобразователя интегрирующего типа, принципиальная схема состоит из следующих функциональных узлов:

- микроконтроллер;
- блок компараторов;
- источник опорных напряжений;
- интегратор;
- инвертор;
- ЦАП.

В качестве управляющего устройства целесообразно выбрать микроконтроллер типа 1986BE92У. Микроконтроллер серии 1986BE92У производителен и экономичен. Имеет удобный для разводки платы и пайки корпус. Широко доступен в продаже. Недорогой по сравнению с его аналогом *STM32F103х*.

Схема электрическая принципиальная представлена в приложении Г.

4 Организация рабочего места на производстве, расчет освещенности помещения и защита от электромагнитных излучений

Любой вид деятельности может служить источником негативных воздействий или вреда, может привести к травматизму, заболеваниям, к полной потере трудоспособности или смерти. Работа на производстве (трудовая деятельность) не лишена всех вышеперечисленных отрицательных факторов, влияющих на жизнедеятельность человека.

В данном дипломном проекте разрабатывается процентный омметр для контроля предельно допустимых отклонений от номинала низкоомных сопротивлений. На рабочее место специалиста будет установлен данный прибор, с помощью которого можно контролировать отклонение при его подгонке под требуемый номинал.

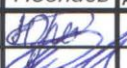
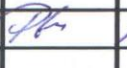
Определим общие правила организации рабочего места с учетом эргономических требований и проведем расчет освещенности помещения работы.

Обеспечение безопасности такой деятельности будет заключаться в реализации комплекса мер защиты от различных видов опасностей, возникающих в процессе труда.

Все виды опасностей разделяют в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические (социальные). Выделим электромагнитные излучения как один из видов физических опасностей и опишем некоторые меры защиты.

4.1 Организация рабочего места с учетом эргономических требований

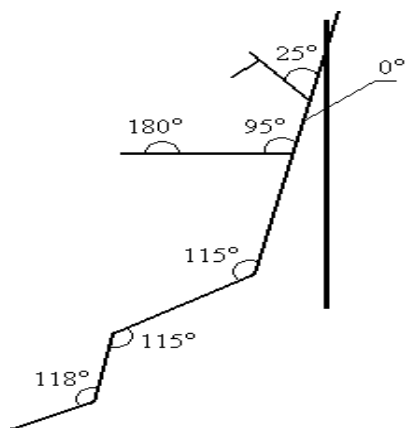
Рабочее место оператора – это место человека в системе, которое оснащено средствами отображения информации, органами управления и вспомогательным оборудованием и на котором осуществляется его трудовая деятельность (ГОСТ 21.0.34-75). В зависимости от числа одновременно работающих операторов различают соответственно индивидуальное или коллективное рабочее место.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Организация рабочего места на производстве, расчет освещенности помещения и защита от электромагнитных излучений	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Юрьев Д.Д.							
Провер.		Доросинский А.Ю.					50	80	
Н. Контр.		Рыжова Т. Н.		11.03		гр. 19ПД1			
Утверд.									

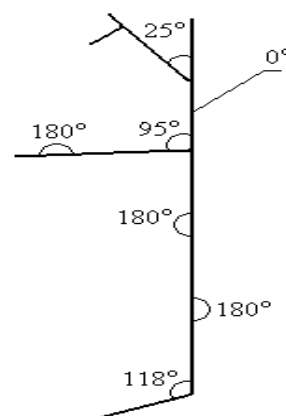
В данном случае рабочее место оператора рассчитано на работу оператора, сидя и стоя попеременно.

Это позволяет избегать длительно фиксированных рабочих поз, что способствует перераспределению статической нагрузки на мышцы.

При любом рабочем положении оператора его поза должна быть физиологически правильно обусловленной. Для этого, прежде всего, должны быть обеспечены оптимальные положения частей тела, как показано на рисунке 34 (а, б).



а) эпюра позы сидя;



б) эпюра позы стоя.

Рисунок 34 – Оптимальные значения углов в суставных сочетаниях тела

Как правило, базовая конструкция всех типов рабочих мест должны быть единой, позволяющей наращивать дополнительные устройства и формировать новые рабочие места операторов применительно к выполняемым функциям.

При конструировании рабочих мест необходимо соблюдать следующие основные условия:

- достаточное рабочее пространство для оператора, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации и техническом обслуживании автоматизированного стенда;
- достаточные физические, зрительные и слуховые связи между оператором и оборудованием;
- оптимальное размещение рабочих мест в помещениях для оперативной работы, а также безопасные и достаточные проходы для операторов;
- оптимальное размещение оборудования (главным образом средств отображения информации и органов управления), благодаря чему обеспечивается удобное положение оператора при работе;

- четкое обозначение органов управления, индикаторов и других элементов оборудования, которые нужно находить, опознавать и которыми приходится манипулировать;
- необходимое естественное и искусственное освещение для выполнения оперативных задач, технического обслуживания или тренировок;
- оптимальное распределение яркостей в поле восприятия (величина и равномерность внешнего освещения, цвет поверхности панели и несветящихся индикаторов, яркость светящихся индикаторных устройств);
- достаточную простоту и быстроту сборки и разборки оборудования;
- исключение возможности неправильной установки, замены и монтажа блоков или элементов оборудования, а также неправильной идентификации, ориентации и расположение кабелей и разъемов;
- наличие необходимых инструкций и предупредительных знаков, предостерегающих об опасностях, которые могут возникнуть при работе, и указывающих на меры предосторожности;
- необходимые опоры и подставки для временного размещения вынутых блоков и элементов оборудования, а также для испытательного оборудования, приборов, инструментов и технических руководств;
- надежную индикацию для случаев отказа электрического питания, а также отказа оборудования или его функционирования с выходом за допускаемые пределы.

В особых случаях должны быть предусмотрены необходимые средства защиты персонала от радиационной, термической, токсической, электромагнитной и других опасностей.

При конструировании и размещении рабочих мест следует предусматривать меры, предупреждающие или снижающие преждевременное утомление оператора, предотвращающие возникновение у него психофизического стресса, а также появление ошибочных действий.

Рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя. Категория работ – по ГОСТ 12.1.005-76.

Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

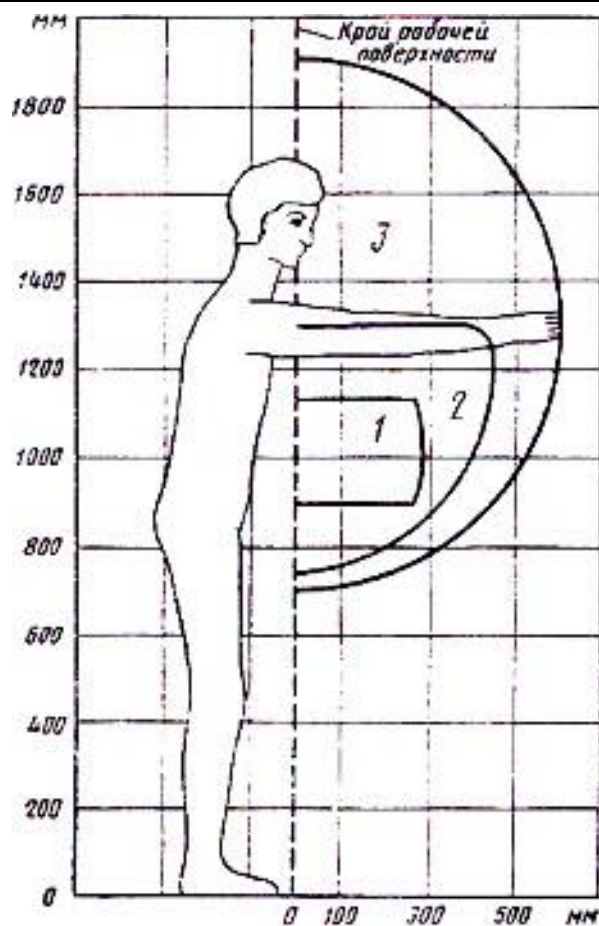
Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунке 35 (а, б).

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15° .

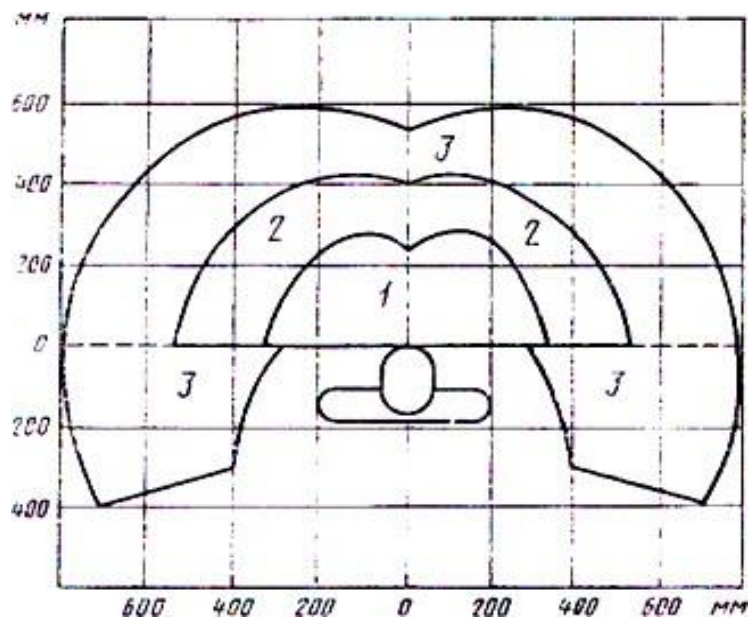
Конструкцией производственного оборудования и организацией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

- высота рабочей поверхности;
- подставки для ног при нерегулируемой высоте рабочей поверхности.

Для обеспечения удобного, возможно близкого подхода к столу, станку или машине должно быть предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине [21].



а) в вертикальной плоскости



б) в горизонтальной плоскости

Рисунок 35 – Зоны досягаемости моторного поля

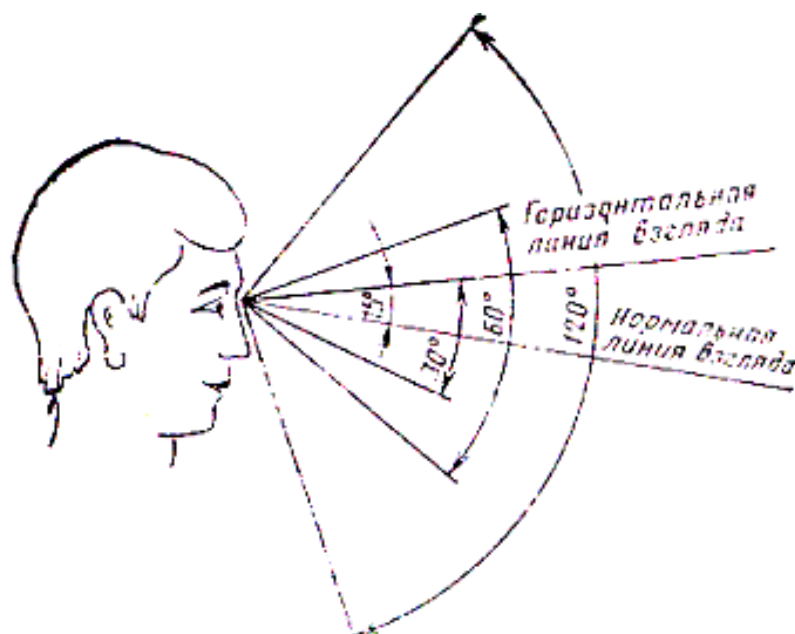
Общие требования к размещению органов управления по ГОСТ 22.2.69-76.

Органы управления, используемые до 5 раз в смену, допускается располагать за пределами зоны досягаемости моторного поля.

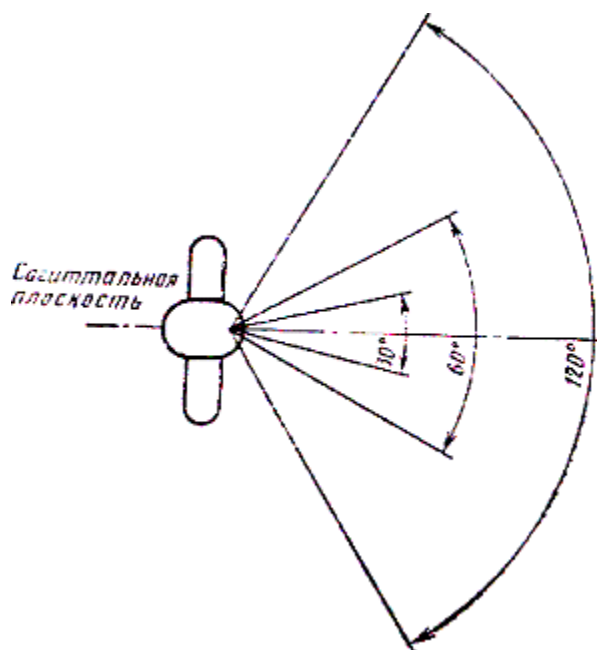
					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Общие требования к размещению средств отображения информации - по ГОСТ 22.2.69-76.

Используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости, как показано на рисунке 36 (а, б).



а) в вертикальной области



б) в горизонтальной плоскости

Рисунок 36 – Углы зрительного наблюдения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ

Лист

55

4.2 Расчет освещенности помещения

К современному производственному освещению предъявляются высокие требования как гигиенического, так и технико-экономического характера.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на работающих, способствует повышению производительности труда.

Существуют системы производственного освещения. К системам производственного освещения предъявляются следующие основные требования:

- соответствие уровня освещенности рабочих мест характеру выполняемой зрительной работы;
- достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве;
- отсутствие резких теней, прямой и отраженной блескости;
- постоянство освещенности во времени;
- оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- долговечность, экономичность, электробезопасность и пожаробезопасность, эстетичность, удобство и простота эксплуатации.

В зависимости от природы источника световой энергии различают естественное, искусственное и совмещенное освещение.

По конструктивным особенностям естественное освещение подразделяют на боковое одностороннее или двустороннее, осуществляемое через окна; верхнее, осуществляемое через аэрационные и зенитные фонари; комбинированное, когда к верхнему освещению добавляется боковое.

В тех случаях, когда одного естественного освещения в помещении недостаточно, устанавливают совмещенное освещение. При этом дополнительное искусственное освещение применяют не только в темное, но и в светлое время суток.

Искусственное освещение по характеру выполняемых задач делят на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное.

Рабочее освещение устраивают во всех помещениях, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Аварийное освещение предназначено на случай внезапного (при аварии) отключения рабочего освещения.

Эвакуационное освещение служит для безопасного выхода людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения.

По конструктивному использованию искусственное освещение может быть общим и комбинированным. При общем освещении все рабочие места получают освещение от общей осветительной установки. Комбинированное освещение наряду с общим включает местное освещение, сосредотачивающее световой поток непосредственно на рабочих местах. Применение одного местного освещения недопустимо, так как возникает необходимость частой переадаптации зрения, создаются глубокие и резкие тени и другие неблагоприятные факторы.

Согласно действующим строительным нормам и правилам СНиП II-4-79 для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного – коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Нормы освещенности построены на основе классификации зрительных работ по определенным количественным признакам. Ведущим признаком, определяющим разряд работы, является размер различаемых деталей. В свою очередь разряды делят на четыре подразряда в зависимости от светлоты фона и контраста между деталями и фоном.

Нормы освещенности зависят от принятой системы освещения. Так при комбинированном освещении, как более экономичном, нормы выше, чем при общем. При этом освещенность, создаваемая светильниками общего освещения, должна составлять 10% от нормируемой, но не менее 150 лк.

Кроме количественных нормируются и качественные показатели освещенности. Так для ограничения неблагоприятного действия пульсирующих световых потоков газоразрядных ламп установлены предельные значения коэффициентов пульсации освещенности рабочих мест $K_{\text{п}}$ в пределах 10-20% в зависимости от разряда зрительной работы.

Расчет освещенности проводят по методу коэффициента использования или по методу удельной мощности и др.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Метод коэффициента использования предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов.

При расчете по этому методу учитывается как прямой, так и отраженный свет. Переход от средней освещенности к минимальной осуществляется в этом методе приближенно.

Точечный метод служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом распределении освещенности. Затенения, если они имеют место, могут быть учтены, но отраженная составляющая освещенности учитывается приближенно.

Общее равномерное освещение при отсутствии существующих затенений может рассчитываться любым методом. Общее локализованное освещение (а также общее равномерное освещение при наличии существенных затенений) должно рассчитываться по точечному методу.

Освещение открытых пространств при расчете на минимальную освещенность и местное освещение должны, как правило, рассчитываться по точечному методу.

Имеем лабораторию:

A (длина) = 25 м, B (ширина) = 20 м, H (высота) = 4 м.

Для этого помещения предусмотрены потолочные светильники типа УСП-35 с двумя люминесцентными лампочками типа ЛБ-40. Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно $\rho_{\text{п}} = 70 \%$, $\rho_{\text{с}} = 50 \%$, $\rho_{\text{пол}} = 10 \%$

Освещение в помещении общее равномерное.

Уровень рабочей поверхности над полом составляет 1,5 м.

Высота подвеса светильников $h = H - 1,5 = 4 - 1,5 = 2,5$ м.

У светильников наивыгоднейшее отклонение $\zeta = L/h = 1,3$, отсюда $L = \zeta \times h$, где L – рассеивание между рядами светильников $L = 1,3 \times 2,5 = 3,25 \approx 3,5$ (м).

Светильники расположены вдоль длинной стороны помещения. Расстояние между стенами и крайними рядами светильников равно $l = 0,4 \times L = 1,4$ (м).

При ширине помещения 20 м имеет число рядов светильников $n = \beta/L = 20/3,5 = 5$.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Норма освещенности в производственном цехе = 400 лк. С учетом известных параметров ρ и при индексе помещения $i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{500}{2,5(20 \cdot 25)} = 4,44$ из

справочных данных известен коэффициент использования светового потока $\eta = 0,68$.

Номинальный световой поток лампы ЛБ-40 $\Phi_{\text{л}} = 3120$ лм, а световой поток, излучаемый светильником = $\Phi_{\text{св}} = 2 \Phi_{\text{л}} = 6240$ лм.

Расчет количества светильников произведен по формуле:

$$N = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \Phi_{\text{св}} \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 500 \cdot 1,1}{5 \cdot 6240 \cdot 0,68} = 15,$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источников света в процессе эксплуатации;

S – площадь помещения;

n – коэффициент неравномерности освещения;

$\Phi_{\text{св}}$ – световой поток;

η – коэффициент использования, излучаемого светильниками светового потока, который показывает, какая часть от общего светового потока приходится на расчетную плоскость;

γ – коэффициент затенения [22].

4.3 Защита от электромагнитных излучений

Спектр электромагнитного излучения природного и техногенного происхождения, оказывающий влияние на человека в производственных условиях (так же и в бытовых условиях) имеет диапазон волн от тысяч километров (переменный ток) до триллионной части миллиметра (космические энергетические лучи). Характер воздействия на человека ЭМИ в разных диапазонах различен.

В производственных условиях на работника оказывает воздействие широкий спектр ЭМИ. В зависимости от диапазона длин волн различают: электромагнитное излучение радиочастот, электромагнитное излучение промышленной частоты (ЭМИ ПЧ), инфракрасное излучение, видимую область, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение, гамма-излучение и др.

В данном случае на рабочего оказывает воздействие ЭМИ ПЧ, источником которого являются токоведущие части действующих электроустановок. Длительное воздействие такого излучения на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, сильных болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса. Биологическое действие электромагнитного излучения промышленной частоты характеризуется тепловым действием и нетепловым эффектом. Под тепловым действием подразумевается интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении. Нетепловой эффект связан с переходом электромагнитной энергии в объекте в нетепловую форму энергии (молекулярное резонансное истощение, фотохимическая реакция и др.). Чем меньше энергия ЭМИ, тем выше тепловой эффект, который он производит.

По своим биофизическим свойствам ткани организма неоднородны, поэтому может возникнуть неравномерный нагрев на границе раздела с высоким и низким содержанием воды, что определяет высокий и низкий коэффициент поглощения энергии. Это может привести к образованию стоячих волн и локальному перегреву ткани, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик, желчный пузырь, кишечник).

Оценка воздействия ЭМИ ПЧ на человека согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 осуществляется по следующим параметрам:

- по энергетической экспозиции, которая определяется интенсивностью ЭМИ ПЧ и временем его воздействия на человека;
- по значениям интенсивности ЭМИ ПЧ.

Энергетическая экспозиция за рабочий день (рабочую смену) не должна превышать значений, указанных в таблице 16.

Таблица 16 – Энергетическая экспозиция за рабочий день

Диапазоны частоты	Предельно допустимая энергетическая экспозиция по электрической составляющей (В/м) ² ·ч	Предельно допустимая энергетическая экспозиция по магнитной составляющей (А/м) ² ·ч	Предельно допустимая энергетическая экспозиция по плотности потока (мкВт/м) ² ·ч
30 кГц...3 МГц	20000	200	-
3...30 МГц	7000	Не разработаны	-
30...50 МГц	800	0,72	-
50.300 МГц	800	Не разработаны	-
300 МГц...300 ГГц	-	-	200

Защита персонала от воздействия ЭМИ ПЧ осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических, лечебно-профилактических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты.

К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия ЭМИ ПЧ (защита расстоянием и временем) и т.п.

Инженерно-технические мероприятия включают: рациональное размещение оборудования; использование средств, ограничивающих поступление электромагнитной энергии на рабочие места персонала (поглотители мощности, экранирование, использование минимальной необходимой мощности генератора); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМИ ПЧ.

Лечебно-профилактические мероприятия осуществляются в целях предупреждения, ранней диагностики и лечения нарушений в состоянии здоровья работника, связанные с воздействием ЭМИ ПЧ, и включают предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры.

К средствам индивидуальной защиты относится защитная одежда (например, халаты и т.п.).

Также к средствам защиты от воздействия ЭМИ ПЧ относят поглощающие экраны, в которых используются специальные материалы, обеспечивающие поглощение излучения соответствующей длины волны. В зависимости от излучаемой мощности и взаимного расположения источника, и рабочих мест конструктивное решение экрана может быть различным (замкнутая камера, щит, чехол, штора и т.д.); экранирование смотровых окон, приборных панелей, которое проводится с помощью радиозащитного стекла. Если же электромагнитная энергия просачивается через вентиляционные жалюзи, то для уменьшения просачивания последние экранируются металлической сеткой либо выполняются в виде запердельных волноводов.

При работе внутри экранированных помещений, стены, пол, потолок этих помещений должны быть покрыты радиопоглощающими материалами. В случае неправильного излучения допускается применение поглощающих покрытий только на соответствующих участках стен, потолка, пола.

В зависимости от условий облучения, характера и места нахождения источников ЭМИ ПЧ могут быть применены различные средства и методы защиты от облучения:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- экранирование источника излучения;
- уменьшение излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование рабочих мест;
- средства индивидуальной защиты;
- выделение зон излучения.

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле и применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения до допустимых значений.

Защита расстоянием применяется в том случае, если невозможно ослабить интенсивность облучения другими мерами, в том числе и сокращением времени пребывания человека в опасной зоне. В этом случае прибегают к увеличению расстояния между излучателем и работниками.

Уменьшение мощности излучения непосредственно в самом источнике излучения достигается за счет применения специальных устройств (аттенюаторов, поглотителей мощности и др.).

Экранирование источников излучения используется для снижения интенсивности электромагнитного поля на рабочем месте или устранения опасных зон излучения. В этом случае применяются экраны из металлических листов или сеток в виде замкнутых камер, шкафов и кожухов. Основной характеристикой каждого экрана является степень ослабления электромагнитного поля, называемая эффективностью экранирования.

Экранирование источников ЭМИ ПЧ или рабочих мест осуществляется с помощью отражающих или поглощающих экранов (стационарных или переносных). Отражающие экраны выполняются из металлических листов, сетки, ткани с микропроводом и др.

Применяя вышеописанные методы и средства защиты от ЭМИ, можно обеспечить необходимый уровень защиты рабочего, работающего с данными прибором [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы была проанализирована и подробно рассмотрена классификация АЦП, а также принцип их работы, достоинства и недостатки.

Была описана работа разрабатываемого прецизионного аналого-цифрового преобразователя интегрирующего типа.

По данному описанию был разработан и спроектирован прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа на отечественной элементной базе.

А также рассмотрен раздел безопасности жизнедеятельности, было организовано рабочее место для специалиста на производстве, рассчитано освещенность помещения и проведен анализ защиты от электромагнитных излучений.

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://studopedia.su/17_37684_parallelne-Flash-atsp.html
2. <https://studfile.net/preview/3566185/page:62/>
3. <https://habr.com/ru/articles/125029/>
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Integrating_ADC
5. <https://studfile.net/preview/2190109/page:4/>
6. https://microtechnics.ru/profilegrid_blogs/princzip-raboty-sigma-delta-aczp/
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сигма-дельта-модуляция>
8. <https://habr.com/ru/articles/125029/>
9. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rynka-analogovo-tsifrovyyh-preobrazovateley/viewer>
10. <http://rcl-radio.ru/wp-content/uploads/2015/05/813filename.pdf>
11. Бромберг Э. М., Куликовский К. Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.Ж Энергия, 1978 – 176 с., ил.
12. Шлыков Г. П. Функциональный и метрологический анализ средств измерений и контроля: Учебное пособие. Часть 1. – Пенза: Изд-во Пенз. Гос. Ун-та, 1998. – 96 с.: 43 ил., табл., библиог. 7 назв.
13. <https://www.asutpp.ru/chto-takoe-rezistor.html>
14. <https://www.ruselectronic.com/ou-neinvertiruyushhij-usilitel/>
15. http://tec.org.ru/board/kommutatory_kljuchi/kr590kn4/288-1-0-4948
16. <https://naladchikkip.ru/spravochnik/k521sa3>
17. <https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=27431>
18. <http://tec.org.ru/board/kr140ud708/93-1-0-619>
19. <http://tec.org.ru/board/kr544ud1a/93-1-0-2956>
20. <https://studfile.net/preview/5441681/page:5/>
21. <http://pereosnastka.ru/articles/organizatsiya-rabochego-mesta-operatora>
22. https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPEIO_07.11.2016_777.pdf
23. <https://alfapol.ru/poleznoe/prochee/sanpin224-218055-96/>

Приложение А
(обязательное)
Техническое задание на ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

«Утверждаю»

Зав. кафедрой НиМЭ

Пронин И.А.

(фамилия, инициалы)

«09» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Юрьев Даниил Дмитриевич

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Доросинский Антон Юрьевич

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа

Тема утверждена приказом ПГУ № 359 а/о от « 4 » апреля 2023 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Разработать прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа на отечественной элементной базе.

Основные характеристики:

Разрядность 24;

Интегральная нелинейность 0,0005%;

Питание ± 15 В;

Ток потребления 100 мА;

Время преобразования 40 мс;

Диапазон входных напряжений $\pm 2,5$ В.

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Анализ существующих схемотехнических АЦП для информационно-измерительных систем

1.1 Обзор параллельных АЦП и их характеристики

1.2 Анализ АЦП на базе ЦАП реализующих методы последовательного приближения и поразрядного уравнивания

1.3 Анализ интегрирующих АЦП развертывающего типа

1.4 Анализ сигма-дельта АЦП и оценка их эффективности

2 Анализ целесообразности разработки АЦП на отечественной элементной базе

2.1 Оценка существующего предложения АЦП на рынке электроники

2.2 Анализ схемы ИС306 и его АЦП в качестве прототипа

2.3 Оценка точности предлагаемого АЦП

3	Реализация схемы АЦП	
3.1	Выбор элементной базы	
3.2	Разработка схемы электрической структурной и функциональной	
3.3	Разработка схемы электрической принципиальной	
4	Организация рабочего места на производстве, расчет освещенности помещения и защита от электромагнитных излучений	
4.1	Организация рабочего места с учетом эргономических требований	
4.2	Расчет освещенности помещения	
4.3	Защита от электромагнитных излучений	

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

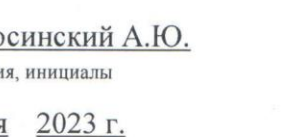
1	Классификация АЦП	Слайд 1
2	Типовые структуры АЦП	Слайд 2
3	Алгоритм работы интегрирующего АЦП	Слайд 3
4	Обоснование выбора схемы	Слайд 4
5	Временные диаграммы работы схемы	Слайд 5
6	Характеристики предлагаемой схемы	Слайд 6
7	Схема электрическая структурная	Слайд 7(A2 x1)
8	Схема электрическая функциональная	Слайд 8(A2 x1)
9	Схема электрическая принципиальная	Слайд 9(A2 x1)
10	Макет АЦП	Слайд 10

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1. _____

Консультант _____

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Анализ существующих схемотехнических АЦП для информационно-измерительных систем	20%	10.06.2023	
Анализ целесообразности разработки АЦП на отечественной элементной базе	20%	11.06.2023	
Реализация схемы АЦП	20%	12.06.2023	
Организация рабочего места на производстве, расчет освещенности помещения и защита от электромагнитных излучений	20%	12.06.2023	
Графическая часть	10%	13.06.2023	
Оформление пояснительной записки	10%	14.06.2023	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Доросинский А.Ю.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«09» июня 2023 г.

Задание к исполнению принял

подпись

Юрьев Д.Д.

фамилия, инициалы

«09» июня 2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

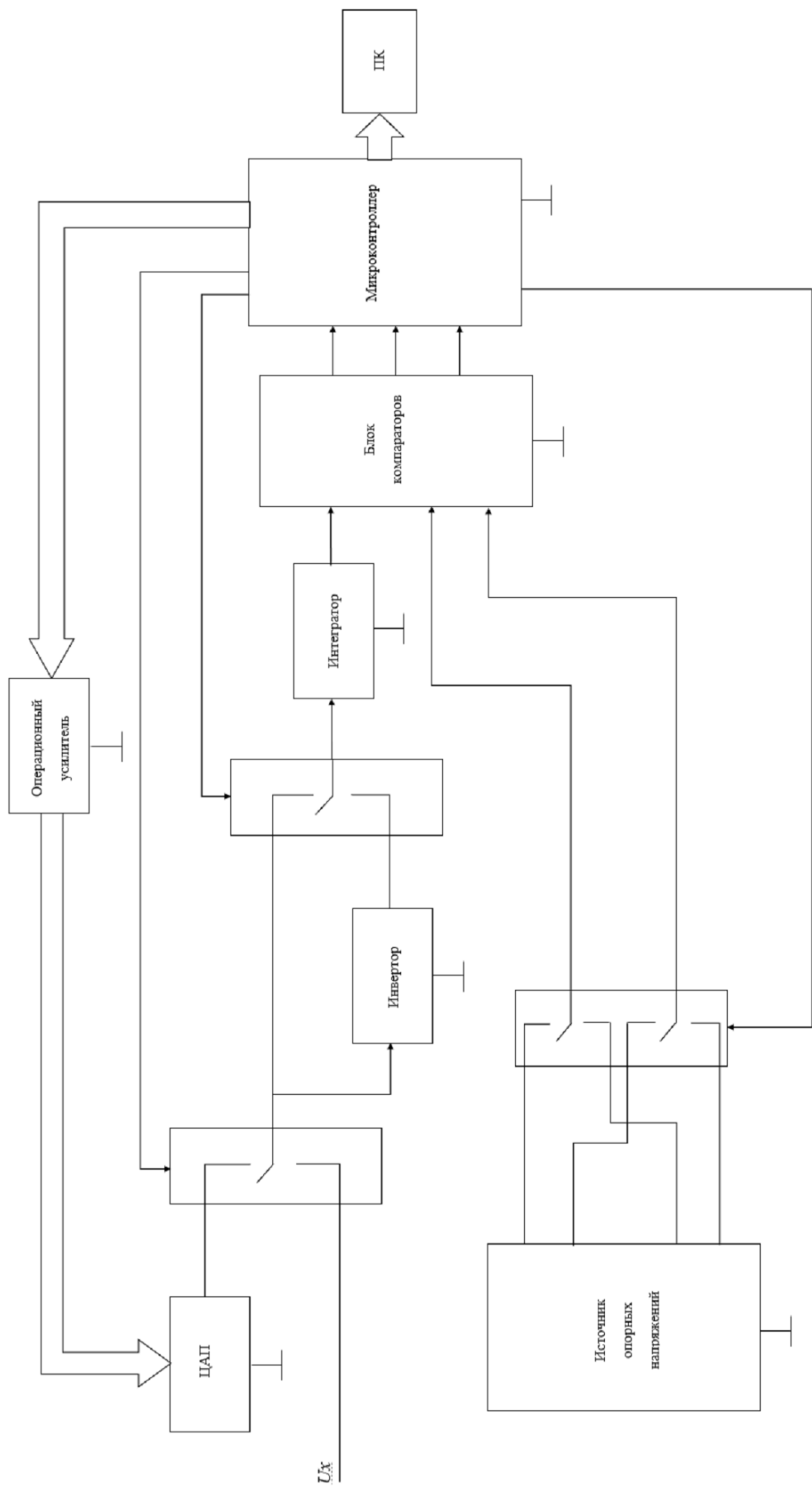
Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

« 23 » июня 2023 г.

Приложение Б
(обязательное)
Схема электрическая структурная

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[illegible]

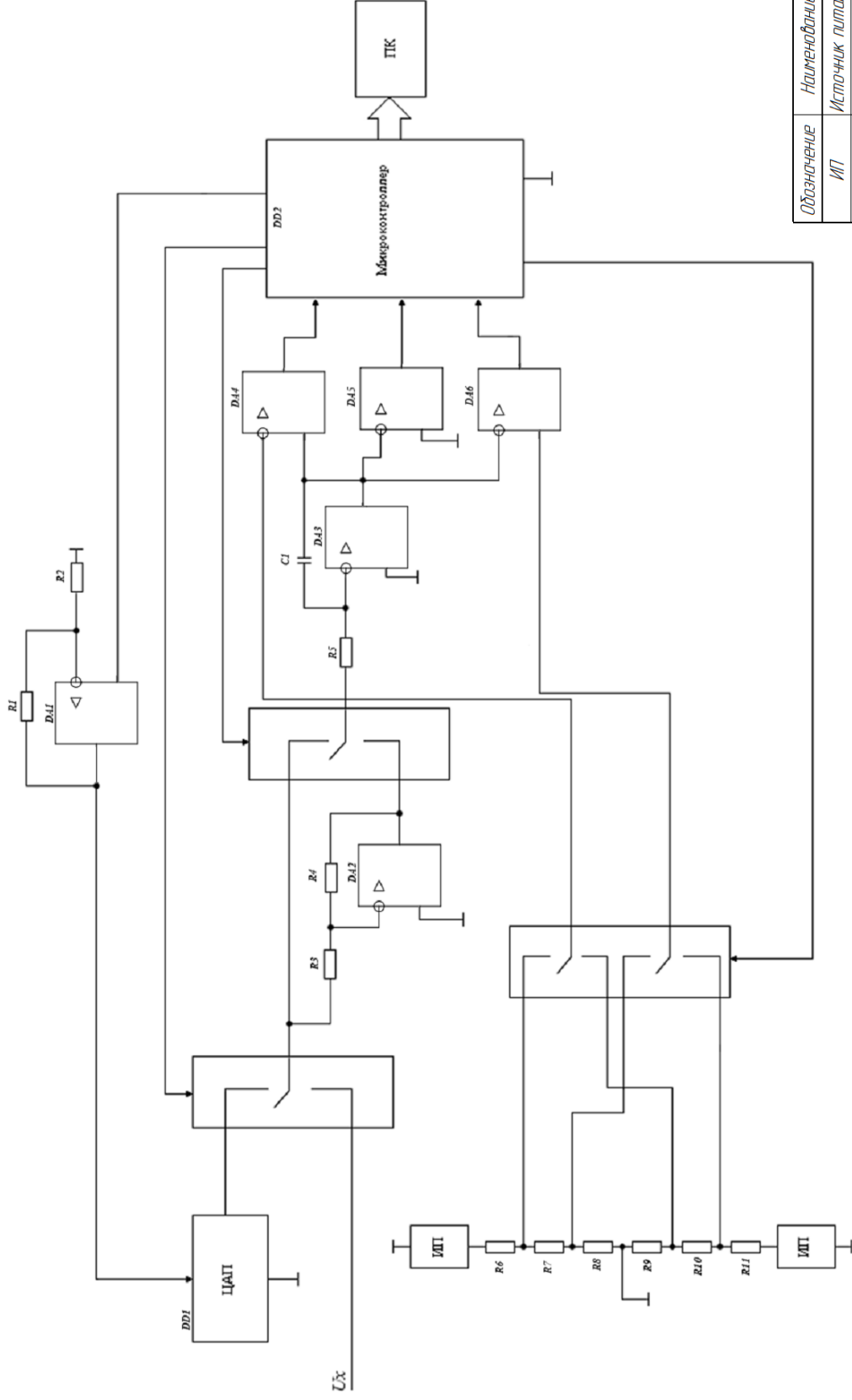
ИДЧ 2. 11.03.04. 021 31

Приложение В
(обязательное)
Схема электрическая функциональная

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[illegible]

Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
ИП	Источник питания	2	
ЦАП	Цифро-аналоговый преобразователь	1	
ПК	Персональный компьютер	1	

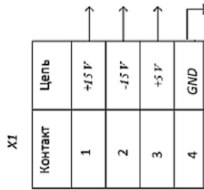


775 2. 11.03.04. 021 32

Приложение Г
(обязательное)

Схема электрическая принципиальная

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Приложение Д
(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе
«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Юрьева Даниила Дмитриевича

ЗАЯВЛЕНИЕ

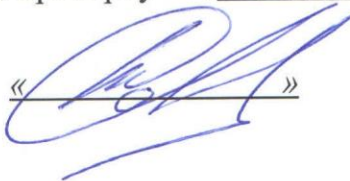
Я, Юрьев Даниил Дмитриевич, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

23.06.2023 «Юрьев»

ВКР представлена на проверку «23.06.23»

Руководитель ВКР «»

Доросинский А.Ю.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной бакалаврской работы на тему «*Прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа*»

студента 4 курса Юрьев Д.Д.

направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР _____

Доросинский А.Ю.



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Юрьев Даниил Дмитриевич
Самоцитирование
рассчитано для: Юрьев Даниил Дмитриевич
Название работы: Прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	36.59%	СОВПАДЕНИЯ	36.59%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	53.22%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	53.22%
ЦИТИРОВАНИЯ	10.19%	ЦИТИРОВАНИЯ	10.19%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 23.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 23.06.2023 11:21

Структура
документа:
Модули поиска:

Проверенные разделы: основная часть с.1-47, библиография с.48

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФМО проверяющего

Дата подписи:

23.06.2023

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Руководитель ВКР _____

« 22 » 06 2023 год

подпись

Доросинский А.Ю.
фамилия, инициалы



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Юрьев Даниил Дмитриевич
Самоцитирование
рассчитано для: Юрьев Даниил Дмитриевич
Название работы: Прецизионный аналого-цифровой преобразователь интегрирующего типа
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	36.59%	СОВПАДЕНИЯ	36.59%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	53.22%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	53.22%
ЦИТИРОВАНИЯ	10.19%	ЦИТИРОВАНИЯ	10.19%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 23.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 23.06.2023 11:21

Структура
документа:

Проверенные разделы: основная часть с.1-47, библиография с.48

Модули поиска:

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головашкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

23.06.2023

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Приложение Е
(обязательное)
Презентация к ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 021 ПЗ	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Кафедра «Нано- и микроэлектроника»

Выпускная квалификационная работа на тему:
Прецизионный аналого-цифровой преобразователь
интегрирующего типа

Выполнил: Юрьев Даниил Дмитриевич
Научный руководитель: К.т.н., доцент
кафедры «НиМЭ» Доросинский Антон Юрьевич

Пенза 2023

Цели и задачи работы

Целью работы является разработка прецизионного аналого-цифрового преобразователя интегрирующего типа на отечественной элементной базе

Решаемые задачи

- Анализ существующих схемотехнических решений АЦП для информационно-измерительных систем
- Анализ целесообразности разработки АЦП на отечественной элементной базе
- Реализация схемы АЦП

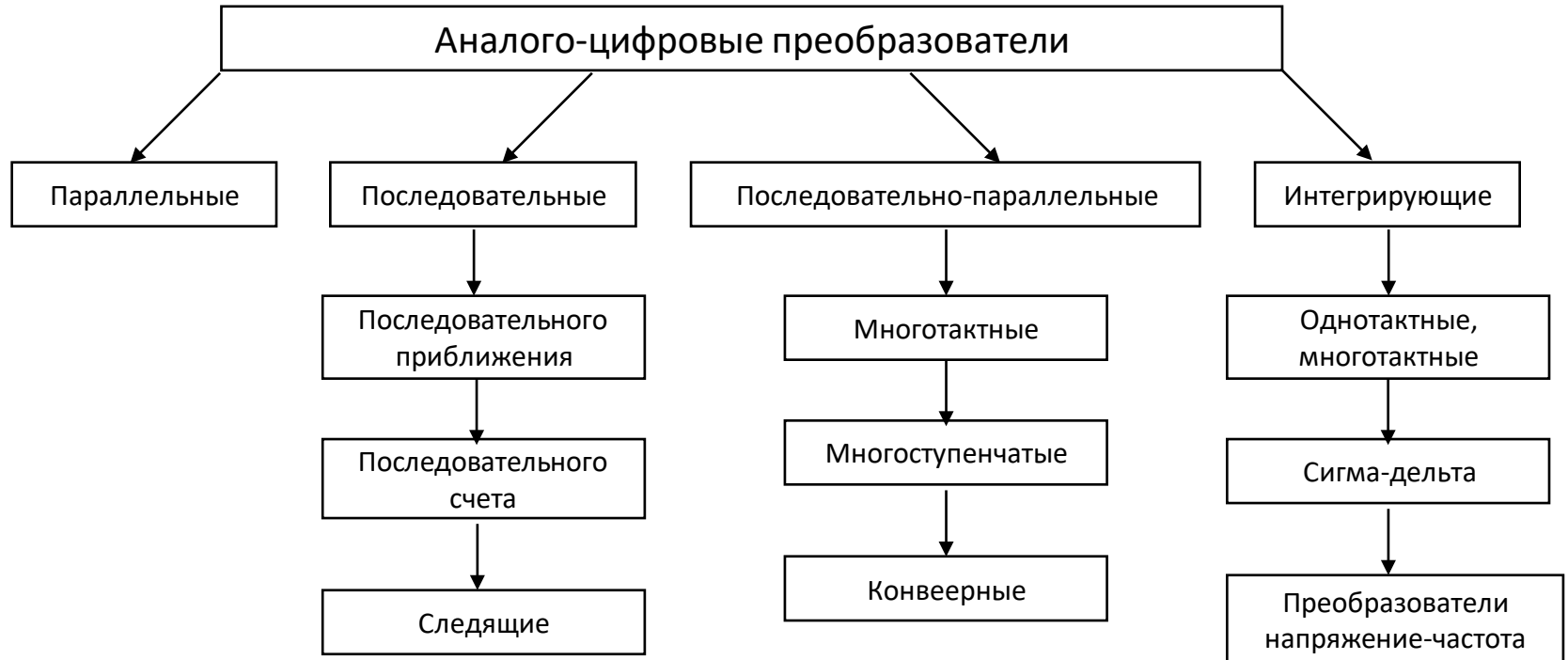
Классификация АЦП

В настоящее время известно большое число методов преобразования напряжение-код. Эти методы существенно отличаются друг от друга точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации.

Аналого-цифровые преобразователи делятся на:

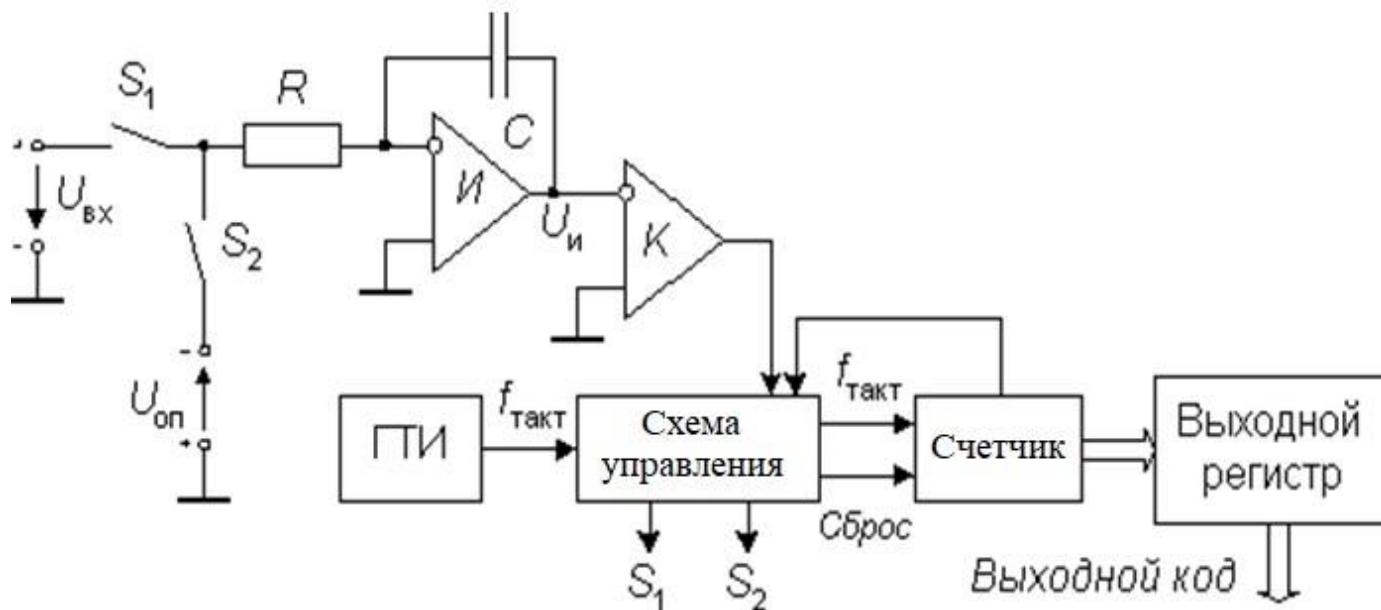
- Параллельные
- Последовательные
- Последовательно-параллельные
- Интегрирующие

Типовые структуры АЦП



Алгоритм работы интегрирующего АЦП

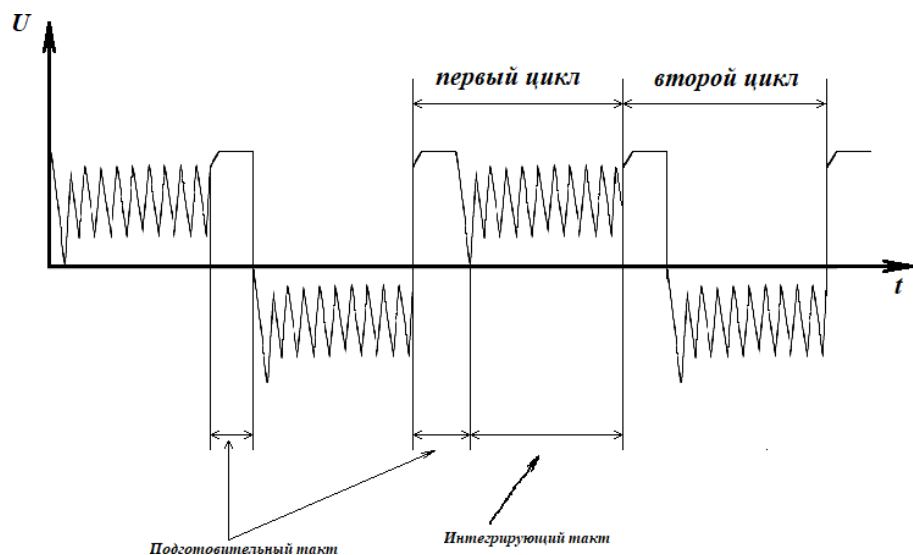
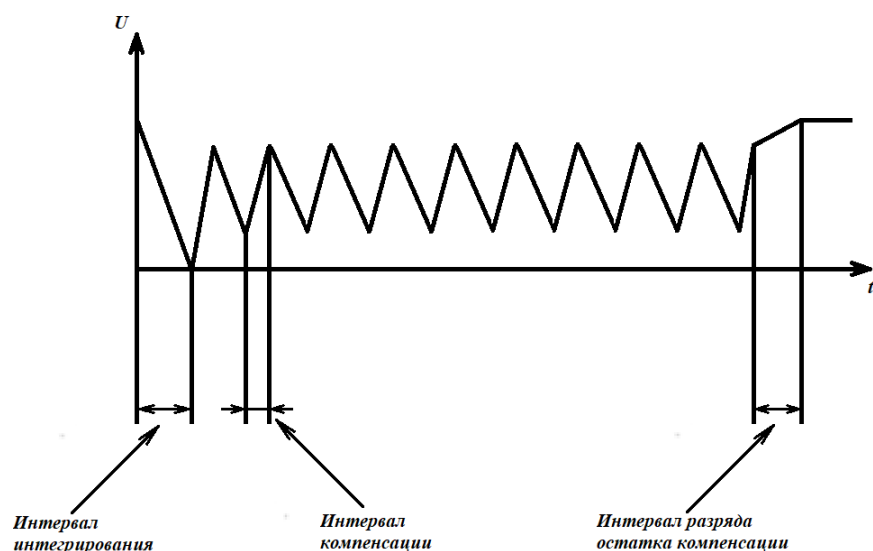
Схема интегрирующего АЦП

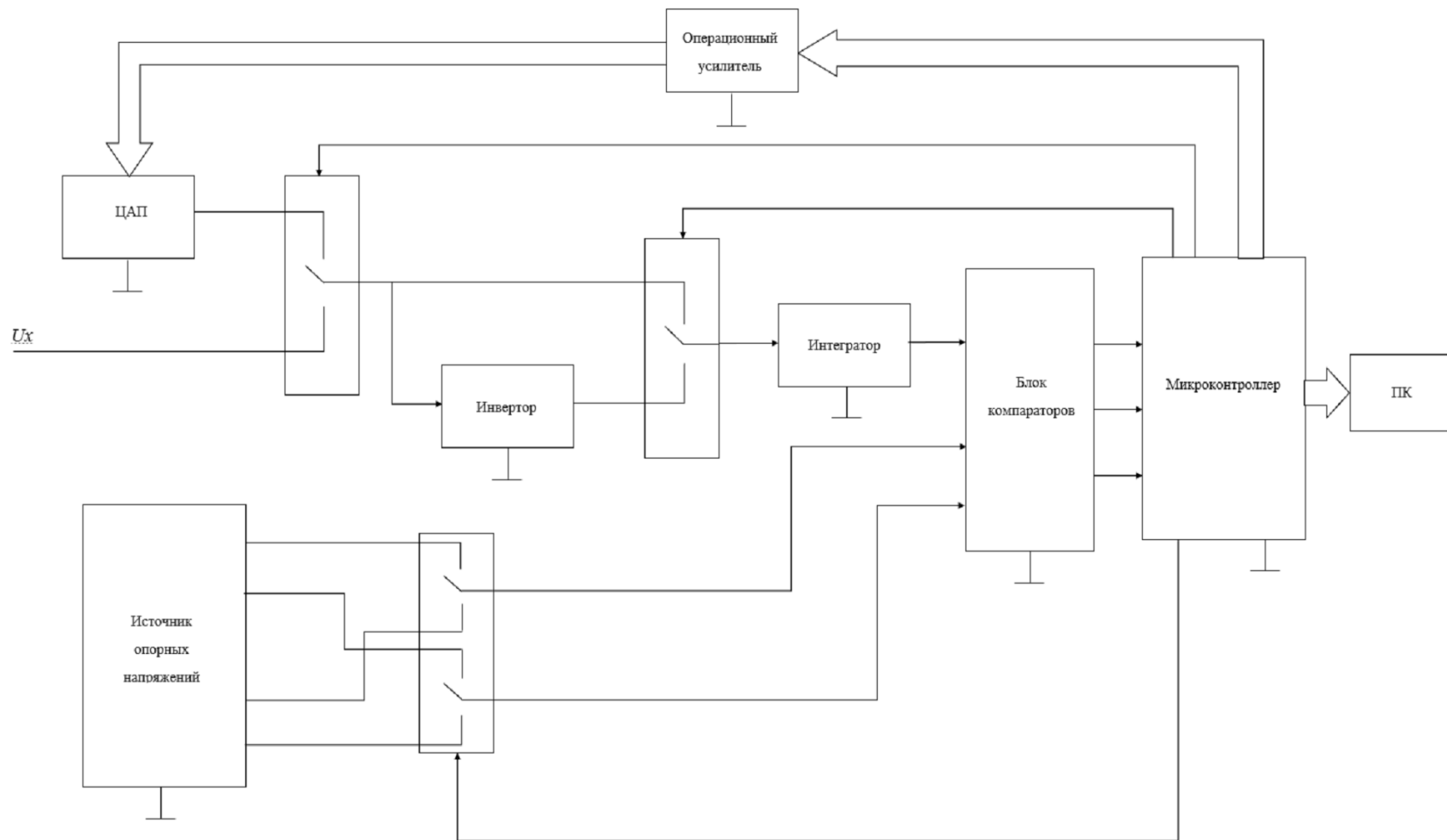


Обоснование выбора схемы

Диапазон измерений сопротивления	Измерение без усреднения		Диапазон измерений сопротивления	Измерение с усреднения	
	Пределы допускаемого значения основной погрешности, $\delta_{од}$, %	Номинальная ступень квантования, Ом		Пределы допускаемого значения основной погрешности, $\delta_{од}$, %	Номинальная ступень квантования, Ом
0,001 Ом – 100 Ом	$\pm 0,04 + 0,0025$	0,001 Ом	0,0001 Ом – 100 Ом	$\pm 0,01 + 0,002$	0,0001 Ом
0,01 Ом – 1 кОм	$\pm 0,05 + 0,005$	0,01 Ом	0,001 Ом – 1 кОм	$\pm 0,005 + 0,001$	0,001 Ом
0,1 Ом – 10 кОм		0,1 Ом	0,01 Ом – 10 кОм		0,01 Ом
1 Ом – 100 кОм		1 Ом	0,1 Ом – 100 кОм	$\pm 0,005 + 0,002$	0,1 Ом
10 Ом – 1 МОм		10 Ом	1 Ом – 1 МОм		1 Ом
100 Ом – 10 МОм	$\pm 0,2 + 0,04$	100 Ом	10 Ом – 10 МОм	$\pm 0,01 + 0,005$	10 Ом
10 кОм – 100 МОм		10 кОм			
100 кОм – 1 ГОм	$\pm 0,5 + 0,1$	100 кОм			

Временные диаграммы работы схемы





ПГУ 2. 1103.04. 021 Э1									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Точный АЦП интегрирующего типа			Лит.	Масштаб
Разраб.	Орлов Д.Д.	Исполн.	Орловский А.И.		Схема электрическая структурная			1:1	
Проф.								Лист	Листов
Н.контр.	Рыжова Т.Н.							1	
Этп								гр. 19ПД1	
Копировал					Формат А2				

Стор. №

Листов

Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

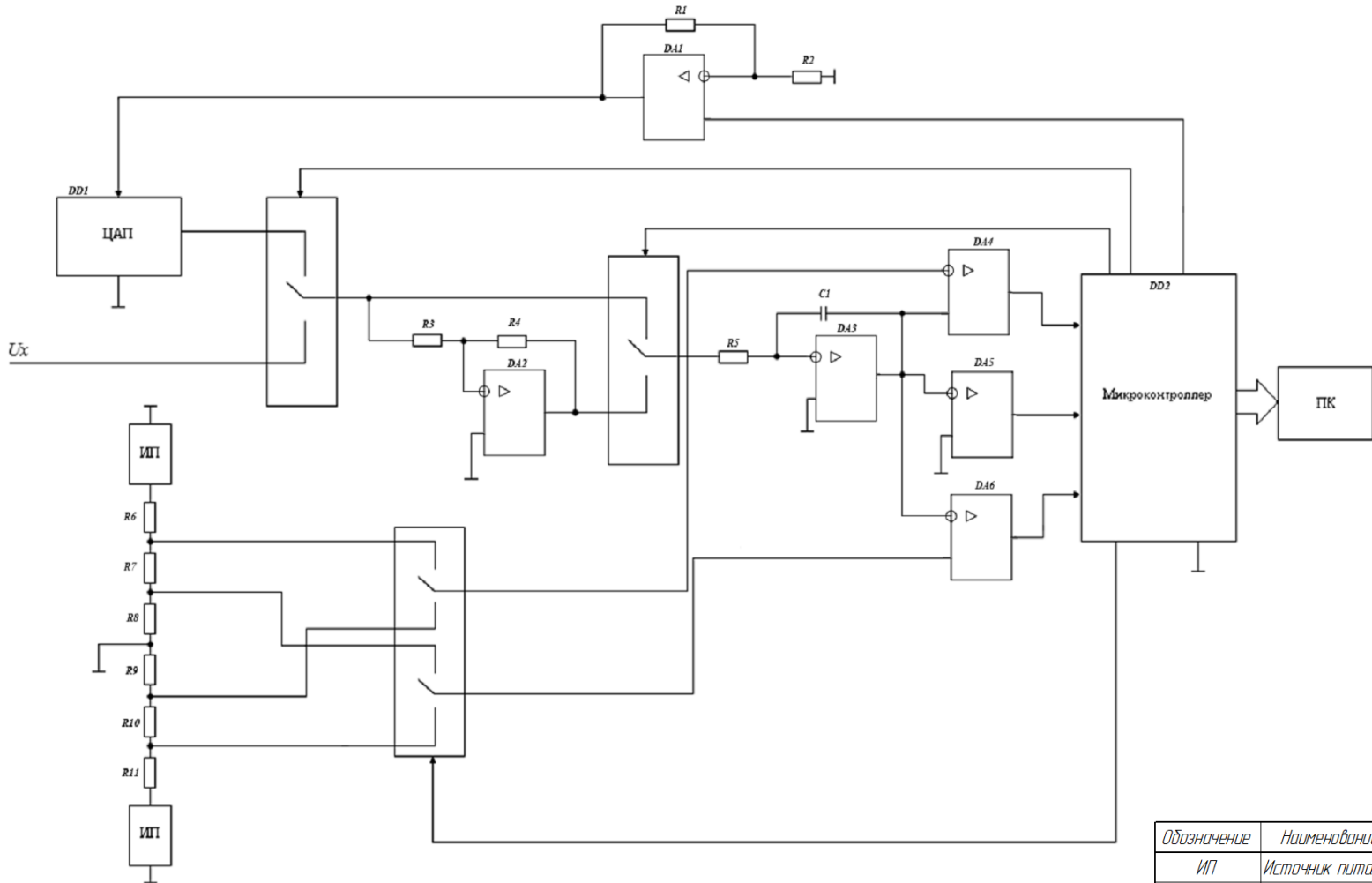
Лист и дата

Лист и дата

Лист и дата

Копия © 2022 ООО "АКОН-Системы проектирования" Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования



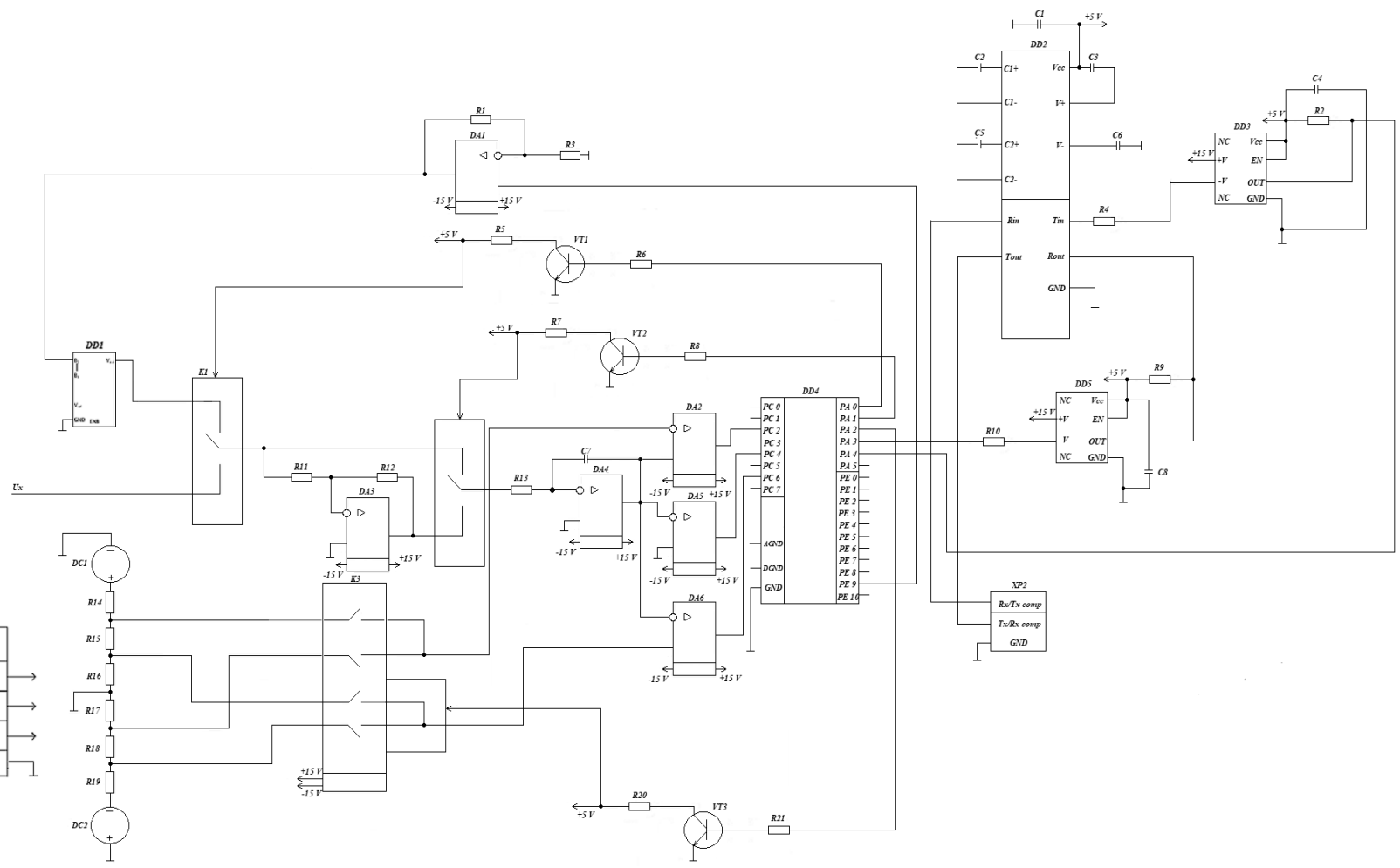
Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
ИП	Источник питания	2	
ЦАП	Цифро-аналоговый преобразователь	1	
ПК	Персональный компьютер	1	

ПГУ 2. 11.03.04. 021 32				Лит			Масштаб	
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	Прецизионный АЦП интегрирующего типа			1:1
Разраб	Орлов Д.Д.	Схема электрическая функциональная			Лист		Листов 1	
Проб	Дорожников А.И.				Зр. 19ПД1		Формат А2	
Н.контр	Рыжова Т.Н.				Копировал		Формат А2	
Этб								

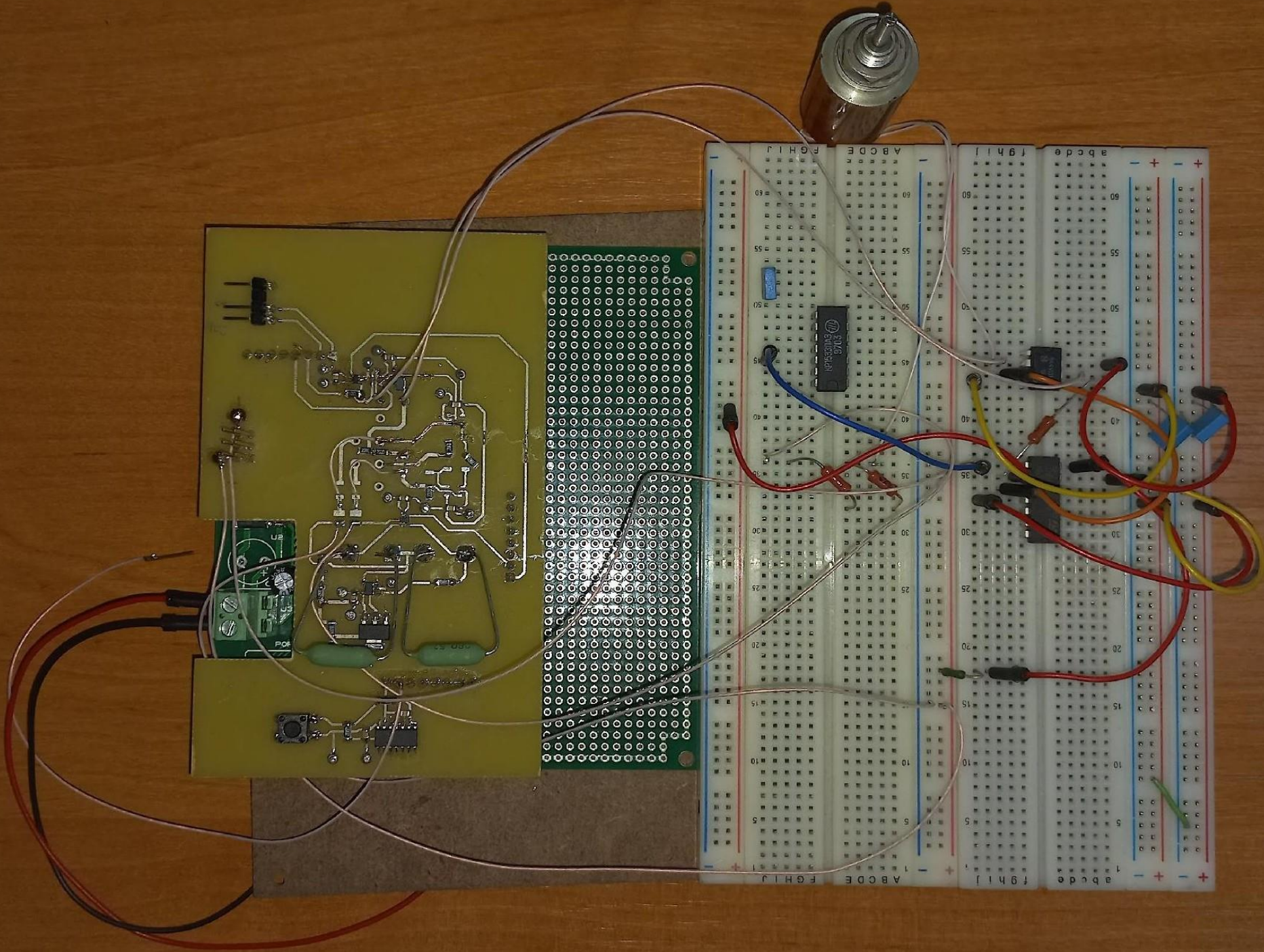
КМРАС-30 V21 Нале © 2022 ООО "АСКОМ-Системы проектирования" Россия. Все права защищены.
Вид № подл. - Подп и дата Изм № подл. - Подп и дата

Лист 1 из 1
Страница 1 из 1
Имя файла: ЛР 2.11.03.04.021.33
Дата: 11.03.04

Контакт	Цель
1	+15 V
2	-15 V
3	+5 V
4	GND



ЛР 2.11.03.04.021.33		
Изм. Лист	№ докум.	Подп.
Разраб.	Орлов Д.Д.	Дата
Проб.	Сорокин А.И.	
Т.контр.		
Н.контр.	Рыжова Т.Н.	
Этб		
Презиционный ЦАП интегрирующего типа		
Схема электрическая принципиальная		
Лист	Масштаб	1:1
Лист	Листов	1
зр. 19ПД1		
Формат А2		



Характеристики предлагаемой схемы

Основные характеристики	
Разрядность	20
Интегральная нелинейность	0,0004 %
Питание	± 15 В
Ток потребления	100 мА
Время преобразования	40 мс
Диапазон входных напряжений	$\pm 2,5$ В

Заключение

В результате выполнения работы была проанализирована и подробно рассмотрена классификация АЦП, а также принцип их работы, достоинства и недостатки.

Была описана работа разработанного прецизионного аналого-цифрового преобразователя интегрирующего типа.

По данному описанию был разработан и спроектирован прецизионный преобразователь на отечественной элементной базе.

Спасибо за внимание!