

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)
Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»

Составитель:

П.С. Сабуров

Владимир 2016

1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ИИС

1.1. Информационно-измерительные системы (ИИС)

Измерительные информационные технологии являются разновидностью информационных технологий и выделяются из этого обширного множества тем, что носят очевидный познавательный характер и реализуют специфические процедуры, присущие только им:

- получение исходной измерительной информации в результате взаимодействия первичных измерительных преобразователей (сенсоров) с объектом измерений;
- преобразование измерительной информации с заданной и гарантированной точностью;
- сопоставление сигналов измерительной информации с размерами общепринятых единиц измерения, оценка и представление характеристик остаточной неопределенности значений измеряемых величин.

Современные измерительные информационные технологии приобретают дополнительные свойства благодаря использованию аппаратных и программных средств искусственного интеллекта. Одной из важнейших задач развития измерительных информационных технологий является расширение номенклатуры измеряемых величин, обеспечение измерений в условиях воздействия “жестких” внешних факторов (высокая температура, большое давление, ионизирующее излучение и т.д.).

Решение подобных задач связано с усложнением структуры используемых средств измерений (СИ); созданием комплексов взаимосвязанных СИ и технических средств, необходимых для их функционирования. Современные объекты исследования характеризуются большим количеством параметров, изменяющихся подчас с большой скоростью.

Иногда, чтобы получить информацию о параметрах объекта, необходимо проводить комплексные измерения, а значение измеряемой величины получать расчетным путем на основе известных функциональных зависимостей между ней и величинами, подвергаемыми измерениям.

Указанные задачи успешно решаются с помощью информационных измерительных систем (ИИС), получивших широкое распространение. В настоящее время нет общепринятого однозначного определения, что такое ИИС. Среди существующих подходов к рассмотрению понятия ИИС следует выделить два основных.

Сущность одного подхода отражена в рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 “ГСИ. Метрология. Основные термины и определения”, в которой ИИС рассматривается

как разновидность измерительной системы (ИС). В пункте 6.14 РМГ 29-99 приведено следующее определение:

Измерительная система - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Примечания.

1. В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др.
2. Измерительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют гибкой измерительной системой (ГИС).

Примеры:

1. Измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов.
2. Радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

На практике почти повсеместно применяется термин “информационно-измерительная система”, который, по мнению ряда видных метрологов, неверно отражает понятие об измерительной информационной системе.

При образовании термина метрологического характера на первом месте должен указываться основной терминологический элемент (в данном случае - измерительная), затем – дополнительный (информационная). Это положение и отражено в примечании к приведенному выше определению.

Сущность второго подхода отражена в определениях, приведенных в рекомендации МИ 2438-97 “ТСИ. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения”.

Измерительная система – совокупность определенным образом соединенных между собой средств измерений и других технических устройств (компонентов измерительной системы), образующих измерительные каналы, реализующая процесс измерений и обеспечивающая автоматическое (автоматизированное) получение результатов измерений (выражаемых с помощью чисел или соответствующих им кодов) изменяющихся во времени и распределенных в пространстве физических величин, характеризующих определенные свойства (состояние) объекта измерений.

Примечания.

1. Измерительные каналы могут входить в состав, как автономных измерительных систем, так и более сложных систем: контроля, диагностики, распознавания образов, других информационно-измерительных систем, а также автоматических систем управления технологическими процессами. В сложных системах целесообразно объединять измерительные каналы в отдельную подсистему с четко выраженными ее границами как со стороны входа (места подсоединения к объекту измерений), так и со стороны выхода (места получения результатов измерений).

2. Измерительные системы обладают основными признаками средств измерений и являются их специфической разновидностью.

ИС рассматривается как составная часть более сложных структур - ИИС, которые могут реализовывать следующие функции: измерительные информационные, логические (распознавания образов, контроль), диагностики, вычислительные.

Необходимо отметить один важный момент, отраженный в пункте 2 примечания к определению, данному в МИ 2438-97. ИС (а также и ИИС) рассматриваются как разновидность СИ. Согласно пункту 1 примечания к тому же определению, в сложных системах рекомендуется объединять измерительные каналы в отдельную подсистему с четко выраженными границами. Последнее обстоятельство связано с одной из особенностей ИИС. Комплектацию ИИС как единого, законченного изделия из частей, выпускаемых различными заводами-изготовителями, часто осуществляется только на месте эксплуатации.

В результате этого может отсутствовать заводская нормативная и техническая документация (технические условия), регламентирующая технические, в частности, метрологические требования к ИИС как единому изделию. Соответственно возникают трудности с проведением испытаний для целей утверждения типа.

Возможность развития, наращивания ИИС в процессе эксплуатации или возможность изменения ее состава (структуры) в зависимости от целей эксперимента, по существу затрудняет или исключает регламентацию требований к таким ИИС в отличие от обычных СИ, являющихся “завершенными” изделиями на момент выпуска их заводом-изготовителем. Для обеспечения соответствующей регламентации и осуществляется выделение подсистем в рамках более сложной ИИС. При дальнейшем изложении под сокращением ИИС будет пониматься термин “информационно-измерительная система” как наиболее распространенный и применяемый в МИ 2438-97. Название “информационная” указывает:

– на конечный продукт, получаемый при помощи ИИС. Конечным продуктом является именно информация – экспериментальная количественная информация о состоянии материальных объектов и о

процессах, протекающих в них, будь то сырье, готовые промышленные изделия, природные процессы или живые организмы;

– на принадлежность ИИС к более широкой области – информационной технике. Эта более широкая область имеет и другие составные части. Среди них вычислительная техника, техника связи и хранения информации, которые могут по отношению к ИИС являться потребителем информации, а могут и входить в состав ИИС. ИИС связывает мир физический с миром цифр и других знаков, из которых строятся математические формулы, различные сообщения и программы для ЭВМ.

Основной процесс эмпирического познания – измерение, при помощи которого получается первичная количественная информация. Поэтому к понятию “информационная” добавляется уточняющее “измерительная”.

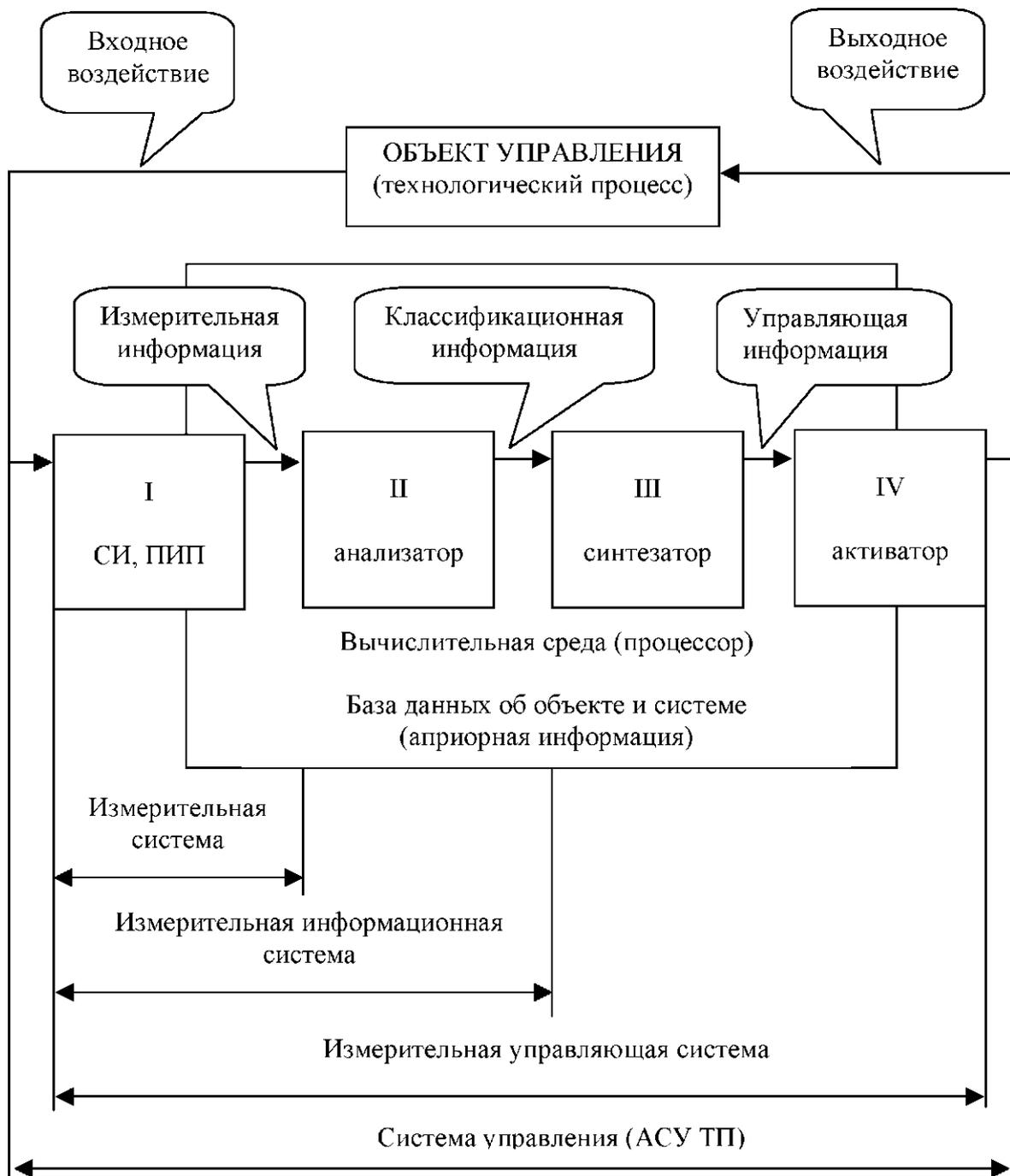
Одним из условий рассмотрения СИ как системы является необходимость и целесообразность изменений его структуры. Изменения могут осуществляться как от применения к применению (многофункциональная система), так и в процессе применения (управляемая или адаптивная системы).

Если структура СИ неизменна и условия его использования остаются одинаковыми в течение периода эксплуатации, возможно определить модель СИ типа “вход-выход”. Например, многоканальные электронные СИ для измерения температуры серии 5150 фирмы Guildline имеют нормированные МХ и, с точки зрения потребителя, не рассматриваются с системных позиций. Автоматизация также не обязательно связана со структурированностью СИ, трактуемого как система. Компактный прибор, рассматриваемый как единое изделие, может быть высоко автоматизированным.

Примером может быть современный цифровой вольтметр, в котором реализуются в автоматическом режиме функции выбора метода измерений, установления диапазона измерений и периодической самодиагностики. Уточняющее понятие “система” указывает на необходимость учета сложности структуры СИ, даже в том случае, если оно является одноканальным.

В развитии ИС можно выделить два этапа, граница между которыми определяется включением в состав систем средств вычислительной техники. На первом этапе структура и функции системы однозначно согласованы и измерительная функция является определяющей. Информационные функции, связанные с отображением результатов измерений, рассматриваются как вспомогательные.

На втором этапе система становится информационной в широком смысле, т.е. позволяет реализовать не только измерительную, но и другие информационные функции. Результатом является создание ИИС, которые предназначены для выполнения, на основе измерений, функций контроля, испытаний, диагностики и др.



I – Измерительная подсистема, II – Классификационная подсистема,
 III – Управляющая подсистема, IV – Исполнительная подсистема,
 ПИП – первичный измерительный преобразователь
 Рис.1.1. Упрощенная структура ИИС и АСУ ТП

Развитие ИИС целесообразно рассматривать в двух аспектах: структурном и функциональном. Первый отражает интегрирование различных подсистем, широкое использование средств вычислительной техники, что приводит к возникновению систем с гибкой структурой. Вторым аспектом характеризует резкое возрастание числа функций, выполняемых системой. При этом центр тяжести переносится с измерительных функций на другие информационные функции, связанные с использованием результатов измерений.

Таким образом, в ИИС измерение во все большей степени становится неразрывно связанным с другими функциями (логической обработки, анализа результатов измерений и др.) и его выделение не всегда возможно. Учитывая приведенные выше особенности ИИС можно дать два следующих определения ИС и ИИС в широком смысле.

Измерительная система – система средств измерений и вспомогательных технических средств, представляющая собой средство измерений.

Измерительная информационная система – информационная система, состоящая из информационных средств, включая средства измерений, и вспомогательных технических средств, в которой измерительная информация преобразуется в другие виды информации.

Наиболее крупной структурной единицей ИИС, для которой могут нормироваться метрологические характеристики (МХ), является измерительный канал (ИК). Он представляет собой последовательное соединение СИ, образующих ИИС (некоторые из этих СИ сами могут быть многоканальными, в этом случае следует говорить о последовательном соединении ИК указанных СИ).

Такое соединение СИ, предусмотренное алгоритмом функционирования, позволяет выполнять законченную функцию от восприятия измеряемой величины до индикации или регистрации результата измерений включительно, или преобразование его в сигнал, удобный для дальнейшего использования вне ИИС, для ввода в цифровое или аналоговое вычислительное устройство, входящее в состав ИИС, для совместного преобразования с другими величинами, для воздействия на исполнительные механизмы.

Типовая структура ИК включает в себя первичный измерительный преобразователь, линии связи, промежуточный измерительный преобразователь, аналого-цифровой преобразователь, процессор, цифроаналоговый преобразователь.

Различают простые ИК, реализующие процедуру измерения какой-либо величины, и сложные ИК, реализующие процедуры измерения нескольких величин и получение искомой величины расчетным путем на основе известных функциональных зависимостей между измеренными и рассчитываемой величинами. Начальная часть сложных ИК разделяется на несколько простых ИК, например, при

измерениях мощности в электрических сетях начальная часть ИК состоит из простых каналов измерений электрического напряжения и тока. Учитывая многоканальность ИИС, использование одних и тех же устройств в составе различных ИК, последние можно выделить зачастую только функционально и их конфигурация реализуется программным путем. Протяженность ИК может составлять от нескольких метров до нескольких сотен километров. Число ИК – до нескольких тысяч. Информация от первичных преобразователей передается обычно при помощи электрических сигналов (реже - пневматических) – ток, напряжение, частота следования импульсов. В некоторых областях измерений современные первичные измерительные преобразователи имеют цифровой код. При большой протяженности ИК используются радиосигналы.

Часть ИИС после линий связи, соединяющих ее с первичными преобразователями, обычно называют измерительно-вычислительным комплексом (ИВК). Значительная часть современных ИВК строится на базе контроллеров, как правило, модульного исполнения, включающих в себя аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, процессор, модули дискретной (бинарной) информации (входные и выходные), вспомогательные устройства. Состав, конфигурация, программное обеспечение ИВК конкретизируются с учетом специфики объекта.

Сложность структуры и многоканальность ИИС приводит к тому, что государственному метрологическому контролю и надзору (ГМКН) может подлежать не вся ИИС, а только часть ее ИК. Сложность метрологического обеспечения (МО) и ГМКН связана с наличием в структуре ряда ИИС отдельных частей, размещаемых на перемещающихся объектах. В результате одна (передающая) часть ИИС может работать с различными приемными частями в процессе одного и того же цикла измерений по мере перемещения объекта.

При выпуске и при эксплуатации таких ИИС заранее неизвестны конкретные экземпляры приемной и передающей частей, которые будут работать совместно, тем самым отсутствует “стандартный” объект, для которого регламентируются МХ. Контроль и МО ИИС как целостного объекта затрудняет возможное использование первичных измерительных преобразователей, встроенных в технологическое оборудование. Широкое использование в составе ИИС вычислительной техники выдвигает проблему аттестации алгоритмов обработки результатов измерений.

Особенности ИИС делают особенно актуальной для них проблему расчета МХ ИИС по МХ образующих их компонентов. Метод расчета МХ ИК ИИС существенно зависит от того, относятся ли образующие его СИ к линейным устройствам. Методы расчета нелинейных систем зависят от вида нелинейности, возможности расчленения СИ на линейную инерционную и нелинейную безынерционную часть и от других обстоятельств и отличаются большим разнообразием.

1.2. Назначение и виды ИИС

Основными признаками ИИС являются: область применения; способ комплектования; структура, виды входных сигналов; виды измерений; режим работы, функциональные свойства компонентов.

По области применения ИИС делят на группы:

- для научных исследований;
- для испытаний и контроля сложных изделий;
- для управления технологическими процессами.

По способу комплектования:

- агрегатированные;
- неагрегатированные, состоящие из компонентов, специально разработанных для конкретных систем.

Агрегатированные ИИС, как правило, включают универсальное ядро - ИВК, на основе которого, используя датчики различных физических величин можно строить ИИС различного назначения.

По структурным признакам:

- системы параллельно-последовательной структуры. Основным признаком такой структуры служит наличие ИК циклически коммутируемого с множеством датчиков;
- системы параллельной структуры, включающие множество одновременно работающих каналов, выходные системы которых преобразуются функциональным единым преобразователем и обрабатываются в одном вычислительном устройстве.

Сигналы на входе ИИС могут быть непрерывными или дискретными, детерминированными или случайными.

В зависимости от соотношения между скоростью изменения входных сигналов и инерционными свойствами системы различают два основных режима работы ИИС: статический и динамический. В динамическом режиме инерционные свойства системы оказывают влияние на результат измерения.

Под компонентом ИИС понимают входящие в состав ИИС технические устройства, выполняющие одну из функций, предусматриваемых процессом измерений и преобразования измерительной информации в другие виды информации. В соответствии с функциями, компоненты подразделяют на измерительные, связующие, вычислительные и информационные.

Измерительный компонент ИИС – средство измерений: измерительный прибор, измерительный преобразователь, мера, измерительный коммутатор.

Измерительные компоненты по характеру функциональных преобразований подразделяются на аналого-цифровые и цифроаналоговые. Аналоговые измерительные компоненты могут быть линейными и нелинейными, аналого-цифровые по своей природе являются нелинейными устройствами.

Связующий компонент ИИС – техническое устройство либо часть окружающей среды, предназначенные или используемые для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине, от одного компонента ИИС к другому.

Вычислительный компонент ИИС – цифровое вычислительное устройство (или его часть) совместно с программным обеспечением, выполняющее функцию обработки (вычисления) результатов наблюдений для получения расчетным путем результатов измерений, выражаемых числом или соответствующим кодом.

Вычислительные компоненты подразделяются на:

- аналогово-вычислительные – аналоговые устройства, выходной сигнал которых является функцией двух или более сигналов;
- цифровые вычислительные – устройства, выходной цифровой сигнал которых является функцией двух или более сигналов.

Информационный компонент ИИС – техническое средство, предназначенное для получения информации, хранения, преобразования и передачи информации.

С точки зрения информационной теории измерительных устройств процесс измерения, выполняемый любым измерительным устройством (включая необходимые действия человека-оператора), состоит из ряда последовательных преобразований информации об измеряемой величине, проводимых до тех пор, пока она не будет представлена в том виде, ради получения которого и выполняется данное измерение. СИ рассматривается как канал приема (получения) и передачи информации (измерительной). Таким образом, СИ и измерительный компонент ИИС являются разновидностью информационного компонента.

1.3. Особенности метрологического обеспечения ИИС

Любая самая совершенная и интеллектуальная ИИС должна быть метрологически корректной и удовлетворять требованиям системы обеспечения единства измерений в соответствии с государственными законодательными актами и международными нормативными документами ISO, OIML и др. Выделение ИИС в отдельную специфическую разновидность СИ обусловлено рядом их особенностей, порождающих специфику их МО.

Актуальными вопросами теоретической поддержки решения проблем МО ИИС являются: регламентация МХ ИК, экспериментальное определение и контроль МХ, прогнозирование и определение характеристик неопределенности измерений в соответствии с Руководством по выражению

неопределенности измерений*, оценка характеристик точности программ обработки данных.

Развитие измерительной техники, в частности ИИС, используемых в составе АСУ ТП, усложнение измерительных задач и условий эксплуатации СИ, выдвигает новые требования к описанию свойств СИ, прежде всего, предназначенных для системного применения. Приборы, рассчитанные на применение в качестве самостоятельных СИ, для которых назначение класса точности однозначно определяло комплекс нормированных МХ (НМХ), практически непригодны при синтезе ИК ИИС. Комплекс НМХ должен выбираться так, чтобы по некоторой совокупности СИ, средств вычислительной техники и других устройств, образующих ИК, можно было определить МХ всего ИК. Интеллектуализация СИ и ИИС, т.е. включение в их состав микропроцессоров и ЭВМ с целью автоматизации обработки данных, выполнения обработки в режиме on-line, управления процедурой измерений, приводит к растущему значению метрологического аспекта создания и использования алгоритмов и программ обработки данных. Поскольку ИИС предназначены для решения тех или иных задач классифицирования, постольку возникает проблема распространения на конкретные области и на классифицирование в целом основных понятий и методов метрологии.

Результаты анализа основных особенностей ИИС и возникающих в связи с этим проблем МО ИИС приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Особенность ИИС	Основные проблемы МО
1. Многофункциональность	Обеспечение одновременного измерения ряда физических величин; построение обобщенных оценок на основе измерений большого числа параметров; вычисление комплексных параметров
2. Наличие в составе системы ЭВМ	Решение задач, связанных с оценкой качества алгоритмов обработки вычислений

Особенность ИИС	Основные проблемы МО
<p>3. Многоканальность</p> <p>4. Неразрывная связь многих ИИС с объектом, на котором они эксплуатируются, невозможность снятия таких систем с объектов, не нарушая его целостности</p> <p>5. Сложность описания объектов и их моделирования</p> <p>6. Агрегатный способ построения</p> <p>7. Распределенность компонентов и составных частей ИИС в пространстве</p> <p>8. Возможность изменения состава ИИС в процессе эксплуатации</p> <p>9. Наличие динамических режимов измерения</p>	<p>Оценка, уменьшение или исключение влияния каналов друг на друга</p> <p>Решение проблем проведения метрологического обслуживания в условиях невозможности привязки используемых СИ к эталону путем перемещения СИ к месту дислокации эталона. Невозможность комплектной поверки ИК по условиям установки датчиков на объекте</p> <p>Сложность учета влияния объектов на точность измерения в условиях дефицита исходной (априорной) информации</p> <p>Возможность исследования ИИС как законченного целого только на объекте</p> <p>Учет влияния на точность измерений различных условий эксплуатации компонентов ИИС</p> <p>Сложность регламентации требований к системам на момент их выпуска</p> <p>Необходимость исследования динамических свойств системы и согласование их с объектом</p>

Примеры:

- ИИС для научных исследований – системы, для которых характерно разнообразие измеряемых величин, сложность обработки информации, использование ЭВМ с большими объемами памяти;

- ИИС в составе систем контроля и испытаний сложных изделий (летательных аппаратов, транспортных машиностроительных объектов, двигателей) – характеризуются многоканальностью, разнообразием измеряемых величин, наличием в их составе устройств встроенного контроля МХ. В комплекс технических средств для статических испытаний летательных аппаратов входят ИИС местных деформаций, ИИС перемещений, нагрузок и т.д.;
- ИИС в составе АСУ ТП – характеризуются разнесенностью первичных преобразователей в производстве, протяженностью линий связи, привязкой к конкретному объекту (энергоблоков, энергосистем, химических производств и т.д.);
- ИИС в системах летных испытаний летательных аппаратов – содержат наземную и бортовую части, характеризуется наличием сложных связующих компонентов, наличием радиоканалов, средств хранения измерительной информации;
- ИИС в системах получения навигационной информации – характеризуются разнообразием измеряемых величин, применением сложных СИ, для которых не устанавливается тип и используются индивидуальные МХ СИ.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний

1. Охарактеризуйте существующие подходы к рассмотрению понятия информационно-измерительная система.
2. На что указывает двойное название по отношению к информационно-измерительным системам?
3. Проанализируйте особенности двух этапов в развитии измерительных систем.
4. Поясните, как измерительные функции в информационно-измерительных системах связаны с функциями анализа результатов измерений и их логической обработки.
5. Что является наиболее крупной структурной единицей информационно-измерительных систем?
6. Дайте определение, что такое измерительный канал, охарактеризуйте его структуру.
7. В чем заключается сложность в осуществлении государственного метрологического контроля и надзора по отношению к информационно-измерительным системам?
8. Как подразделяются информационно-измерительные системы
 - а) по области применения?
 - б) по способу комплектования?
 - в) по структурным признакам?
9. Охарактеризуйте особенности компонентов информационно-измерительных систем.

10. Проанализируйте, какие проблемы в области метрологического обеспечения возникают в связи с основными особенностями информационно-измерительных систем.

2. ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИИС

2.1. Общие положения

Основные проблемы МО ИИС можно разделить на три группы: фундаментальные, прикладные и организационно-правовые. К фундаментальным проблемам относятся:

1. Разработка методов оценки МХ ИИС в условиях эксплуатации. Решение проблемы требует сочетания теоретических и экспериментальных методов.
2. Создание методов синтеза ИИС различных структур по метрологическим критериям, т.е. установление оптимальных точностных характеристик компонентов ИИС по заданным нормам точности для системы в целом.
3. Разработка методов испытаний, калибровки, поверки, метрологических исследований ИИС. Эта проблема включает оптимизацию объема и содержания испытательных процедур, обеспечивающих достоверность оценки МХ ИИС.

Прикладные проблемы включают:

1. Разработку методов автоматизации испытаний, поверки, калибровки ИИС.
2. Разработку программно-управляемых средств для метрологических испытаний ИИС.
3. Разработку алгоритмов и программ автоматизированной поверки ИИС.
4. Разработку комплектов средств поверки для оснащения метрологических лабораторий государственной и ведомственных метрологических служб.

К организационно-правовым проблемам относятся создание комплекса НД, регламентирующих вопросы МО ИИС и обеспечение общей координации работ по МО ИИС на всех этапах их жизненного цикла:

разработки (проектирования), производства, монтажа и наладки, ремонта, эксплуатации.

Границы понятия МО ИИС до сих пор еще четко не обозначены, что обусловлено сложностью проблемы в связи со спецификой ИИС

(автоматизация измерений, проведение измерений в динамическом режиме, совместимость ЭВМ разных уровней, наличие систем контроля неисправностей, изменчивость структур, измерение большого числа величин, унификация алгоритмов измерений, применение бесконтактных методов и средств измерений и т.д.). Сложность структур ИИС и работа ее компонентов в различных условиях приводит к необходимости разработки дополнительных мер по обеспечению принципа относительной инвариантности результатов измерения. Несмотря на недостаточность априорной информации, сложность методов и средств измерений, принципиальную “деформацию” свойств объекта при его экспериментальном исследовании, воздействие внешних условий и влияние субъективного элемента, результаты измерений должны оставаться адекватными (в пределах принятой модели) оценками измеряемых величин при повторном осуществлении одной и той же экспериментальной обстановки и должны воспроизводиться с ограниченной неопределенностью, обусловленной указанными факторами.

Сложность МО ИИС обусловлена еще одним важным фактором, связанным с функциональным назначением ИИС. Осуществляемые с помощью ИИС функции измерений, контроля, испытаний, диагностики, обнаружения и распознавания сводятся к классификационным задачам различного уровня, решение которых основано на *измерительной информации*. В рамках самой ИИС затруднительно, а часто невозможно, разграничить измерительные и неизмерительные информационные функции, реализуемые системой, поскольку граница в большинстве случаев проходит “через” программный компонент. Рассмотрение ИИС в целом, включая неизмерительные функции и подсистемы приводит к необходимости расширения границ понятия “метрологическое обеспечение ИИС”.

Изначально понятие МО раскрывалось в определении, приведенном в ГОСТ 1.25-76. “Метрологическое обеспечение – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства измерений”. Практика проведения метрологических работ и исследований показала, что понятие МО должно быть шире.

Было предложено следующее определение:

“Метрологическое обеспечение измерений – деятельность метрологических и других служб, направленная на создание в стране необходимых эталонов, образцовых и рабочих средств измерений, разработку и установление метрологических правил и норм, выполнение ряда других метрологических работ, необходимых для обеспечения требуемого качества измерений”. В начале 80-х годов в связи с внедрением робототехники и гибких производственных систем (ГПС) возникла необходимость в их метрологическом обеспечении.

Появилось понятие “метрологическое обеспечение ГПС”, которое рассматривалось как производное понятие. Отмечалось, что МО ГПС имеет свою специфику, в частности, обусловленную необходимостью контроля точностных характеристик *неизмерительных средств (например, точности распознавания объектов)*. ИИС являются системами, находящимися в составе ГПС и на них распространяется указанная выше специфика.

Несмотря на то, что МО ИИС является производным понятием от МО измерений, необходимость обеспечения качества неизмерительной подсистемы, от которой напрямую зависит итоговый результат функционирования ИИС, в расшифровке определения МО не учитывалась. При дальнейших системных исследованиях в области метрологии были предложены следующие определения, учитывающие работу всех подсистем ИИС.

МО ИИС – система научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на достижение единства процессов преобразования информации, осуществляемой в ИИС и требуемой точности результатов ее функционирования.

Единство процессов преобразования информации – качество процессов преобразования информации, при котором их результаты, определенные с использованием МХ информационных средств, сопоставимы. Необходимым условием сопоставимости результатов является единообразие МХ.

Точность результата функционирования ИИС – качественная характеристика системы, отражающая близость действительного результата функционирования к истинному (требуемому).

Метрологическая экспертиза (составляющая МО ИИС) – анализ и оценивание оптимальных научно-технических решений, связанных с обеспечением единства процессов преобразования информации, осуществляемых в ИИС.

В ИС, по сравнению с ИИС, преобладают функции измерения, а функции обработки и хранения измерительной информации незначительны или отсутствуют совсем.

Тем не менее, на ИИС может быть распространена классификация, принятая в МИ 2438-97 для ИС. Соответственно можно выделить:

- ИИС широкого применения, разрабатываемые для серийного производства в виде законченных изделий, выпускаемых в России (или импортируемых в Россию партиями), для установки которых на месте эксплуатации достаточно указаний, изложенных в их эксплуатационной документации (ИИС-1);

- ИИС целевого применения, разрабатываемые для единичного (разового или повторяющегося мелкими партиями) изготовления в России в виде законченного изделия (или импортируемые в Россию единичными экземплярами или мелкими партиями), для установки которого на месте эксплуатации достаточно указаний, изложенных в его эксплуатационной документации (ИИС-2);
- ИИС целевого применения, проектируемые в России (или за границей) под определенные объекты (группы однородных объектов) возникающие как законченное изделие непосредственно на объекте эксплуатации путем его комплектации из компонентов серийного или единичного (или импортного) изготовления и соответствующего монтажа и наладки, осуществляемых в соответствии с проектной документацией (ИИС-3).

2.2. Задачи и содержание работ

Эффективность МО ИИС закладывается на стадии их разработки (проектирования) и зависит от совместных усилий разработчиков, изготовителей, потребителей ИИС и метрологических служб, осуществляющих их МО. Для ИИС, входящих в состав более сложных автоматизированных систем, следует учитывать требования руководящих документов и требования технической документации (ТД) на эти системы. ИИС в таких сложных структурах может выделяться на функциональном уровне.

Основными работами по МО ИИС являются:

- установление единых требований к МХ систем;
- разработка методов и средств контроля МХ;
- метрологическая экспертиза (МЭ) технической документации (ТД);
- обеспечение единства и достоверности результатов функционирования ИИС путем проведения испытаний для целей утверждения типа ИИС или их единичных экземпляров;
- утверждение типа или единичного экземпляра ИИС;
- проведение испытаний на соответствие ИИС утвержденному типу;
- анализ состояния МО ИИС и разработка на его основе комплексных программ развития МО;
- организация и осуществление государственного метрологического контроля и надзора за состоянием и применением ИИС;
- организация и проведение поверочных и калибровочных работ;
- организация и проведение работ по аттестации алгоритмов обработки информации, применяемых при работе ИИС.

МО ИИС осуществляется на всех этапах их жизненного цикла. Необходимым условием для МО ИИС является наличие в технической

документации, сопровождающей этапы жизненного цикла ИИС, перечня измерительных каналов ИИС и их МХ.

Анализ состояния МО ИИС проводят с целью установления возможности осуществления постоянного контроля метрологической исправности систем, находящихся в эксплуатации; установления соответствия разрабатываемых, изготавливаемых и находящихся в эксплуатации ИИС требованиям НД и разработке на этой основе мероприятий по совершенствованию ИИС и их МО.

Государственный метрологический контроль и надзор (ГМКН), ведомственный контроль устанавливает:

- наличие НД, регламентирующих требования к организации и порядку проведения разработки, производства и эксплуатации ИИС, а также требования к точности результата функционирования ИИС, порядок и правила поверки ИИС;
- эффективность работ по проведению МЭ конструкторской, технологической, проектной документации;
- правильность эксплуатации ИИС и организации контроля за их состоянием;
- наличие необходимых эталонов для осуществления поверок;
- правильность проведения поверок ИИС в процессе эксплуатации и соблюдение межповерочных интервалов.

Общая цель МЭ ТД - обеспечение эффективности МО, выполнение общих и конкретных требований к МО наиболее рациональными методами и средствами. Конкретные цели МЭ определяются назначением и содержанием ТД.

В зависимости от вида ИИС и этапа их жизненного цикла проводится МЭ следующей документации:

- технического задания (ТЗ) на разработку (или заменяющего его документа, содержащего исходные данные для разработки, проектирования) – для всех видов отечественных ИИС на этапе их разработки (проектирования);
- технических условий (ТУ) – для отечественных ИИС-1, конструкторской и технологической документации – для ИИС-1 и ИИС-2 на этапах их разработки и производства (изготовления) соответственно;
- проектной документации, предназначенной для изготовления (комплектации), монтажа, наладки и эксплуатации отечественных ИИС-3 на объекте, на этапе их проектирования;
- комплекта документации (переведенной на русский язык) фирмы изготовителя на импортируемый тип или единичный экземпляр – для всех видов ИИС (в том числе проектной документации, предназначенной для комплектации, монтажа, наладки и эксплуатации для ИИС-3) на этапе изучения технических характеристик и целесообразности импорта ИИС.

МЭ ТД на отечественные ИИС проводится метрологическими службами организаций (предприятий), разрабатывающих, изготавливающих, проектирующих и эксплуатирующих ИИС, головными и базовыми организациями метрологической службы в отраслях, а также органами государственной метрологической службы (ОГМС) и государственными научными метрологическими центрами (ГНМЦ), в том числе аккредитованными в качестве государственных центров испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) в установленном порядке.

Основным содержанием МЭ ТЗ на разработку (проектирование) ИИС или заменяющего его документа, содержащего исходные данные для разработки (проектирования), является проверка достаточности исходных требований, приводимых в проекте ТЗ, для рациональной регламентации МХ ИК ИИС на этапе их разработки и построения эффективного способа их МО на последующих этапах жизненного цикла системы.

Основным содержанием МЭ ТУ, конструкторской, технологической, проектной и эксплуатационной документации является проверка соответствия заложенных в указанной документации комплекса МХ ИК и их компонентов, методов и средств их определения, контроля и (или) расчета, исходным требованиям ТЗ, а также соблюдения метрологических правил, требований и норм, регламентируемым в НД. В частности, проверяют:

- наличие в ТУ и эксплуатационной документации исчерпывающего перечня ИК и метрологических требований к ним;
- контролепригодность конструкции ИИС;
- наличие в проектной документации, предназначенной для монтажа и наладки ИИС на объекте, требований к параметрам и характеристикам, необходимым для контроля качества монтажа ИИС;
- наличие и содержание материалов (протоколов, актов, журналов, отчетов и т.п.) предварительных испытаний, касающихся метрологических свойств ИИС.

Аттестация алгоритмов обработки информации, применяемых при работе ИИС проводится для определения, в какой мере алгоритм вычислений соответствует функции, связывающей измеряемую величину с результатами прямых измерений (со значениями величины на входе измерительных компонентов ИИС).

Обычно это несоответствие вызвано возможностями вычислительной техники и вынужденными упрощениями алгоритма вычислений (линеаризацией функций, их дискретными представлениями и т.п.).

Задача эксперта оценить существенность методической составляющей неопределенности измерений из-за несовершенства алгоритма. Алгоритм обработки информации должен обеспечивать правильность конечного результата, т.е. получения классификационной информации – информации, которую получают в результате решения одной из классификационных задач,

решаемых ИИС, например, контроля, диагностики, обнаружения, распознавания образов.

Испытания для целей утверждения типа и утверждение типа проводятся для ИИС, подлежащих применению и применяемых в сферах распространения ГМКН. Испытания для целей добровольной “сертификации соответствия” и “сертификации соответствия” проводятся для ИИС, не подлежащих и не применяемых в сферах распространения ГМКН. Если в сфере распространения ГМКН применяется только часть из общего числа ИК ИИС, а другая часть – вне этой сферы, то испытаниям для целей утверждения типа ИИС подвергается только первая часть ИИК.

Поверке подвергаются ИК ИИС, подлежащие применению в сферах распространения ГМКН. Содержание работ по поверке определяется документами на методику поверки ИИС. Калибровке подвергаются ИК ИИС, не подлежащие к применению и не применяемые в сферах распространения ГМКН.

ИК должны описываться следующим образом:

- указанием мест соединений компонентов ИИС, между которыми определяют измерительный канал;
- описанием состава измерительного канала;
- описанием алгоритма обработки промежуточных результатов измерений в ИК для получения конечного результата измерений.

Вопросы для самоконтроля усвоение знаний

1. Охарактеризуйте фундаментальные, прикладные и организационно-правовые проблемы метрологического обеспечения информационно-измерительных систем.
2. Что понимается под метрологическим обеспечением информационно-измерительных систем?
3. Перечислите основные работы по метрологическому обеспечению информационно-измерительных систем.
4. На каких этапах жизненного цикла осуществляется метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем?
5. Охарактеризуйте общие цели метрологической экспертизы технической документации на информационно-измерительные системы различных видов.

3. Аналого-цифровые преобразователи

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются устройствами, которые принимают входные аналоговые сигналы и генерируют соответствующие им цифровые сигналы, пригодные для обработки микропроцессорами и другими цифровыми устройствами.

Принципиально не исключена возможность непосредственного преобразования различных физических величин в цифровую форму, однако эту задачу удастся решить лишь в редких случаях из-за сложности таких преобразователей. Поэтому в настоящее время наиболее рациональным признается способ преобразования различных по физической природе величин сначала в функционально связанные с ними электрические, а затем уже с помощью преобразователей напряжение-код - в цифровые. Именно эти преобразователи имеют обычно в виду, когда говорят об АЦП.

Процедура аналого-цифрового преобразования непрерывных сигналов, которую реализуют с помощью АЦП, представляет собой преобразование непрерывной функции времени $U(t)$, описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел $\{U'(t_j)\}$, $j=0,1,2,\dots$, отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени. Эту процедуру можно разделить на две самостоятельные операции. Первая из них называется дискретизацией и состоит в преобразовании непрерывной функции времени $U(t)$ в непрерывную последовательность $\{U(t_j)\}$. Вторая называется квантованием и состоит в преобразовании непрерывной последовательности в дискретную $\{U'(t_j)\}$.

В основе дискретизации непрерывных сигналов лежит принципиальная

возможность представления их в виде взвешенных сумм

$$U(t) = \sum_j a_j f_j(t)$$

где a_j - некоторые коэффициенты или отсчеты, характеризующие исходный сигнал в дискретные моменты времени; $f_j(t)$ - набор элементарных функций, используемых при восстановлении сигнала по его отсчетам.

Наиболее распространенной формой дискретизации является равномерная, в основе которой лежит теорема отсчетов. Согласно этой теореме в качестве коэффициентов a_j следует использовать мгновенные значения сигнала $U(t_j)$ в дискретные моменты времени $t_j = j\Delta t$, а период дискретизации выбрать из условия

$$\Delta t = 1/2F_m,$$

где F_m - максимальная частота спектра преобразуемого сигнала. При этом выражение (1) переходит в известное выражение теоремы отсчетов

$$U(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} U(j\Delta t) \frac{\sin[2\pi F_m(t - j\Delta t)]}{2\pi F_m(t - j\Delta t)}$$

Для сигналов со строго ограниченным спектром это выражение является тождеством. Однако спектры реальных сигналов стремятся к нулю лишь асимптотически. Применение равномерной дискретизации к таким сигналам приводит к возникновению в системах обработки информации специфических

высокочастотных искажений, обусловленных выборкой. Для уменьшения этих искажений необходимо либо увеличивать частоту дискретизации, либо использовать перед АЦП дополнительный фильтр нижних частот, ограничивающий спектр исходного сигнала перед его аналого-цифровым преобразованием.

В общем случае выбор частоты дискретизации будет зависеть также от используемого в (1) вида функции $f_j(t)$ и допустимого уровня погрешностей, возникающих при восстановлении исходного сигнала по его отсчетам. Все это следует принимать во внимание при выборе частоты дискретизации, которая определяет требуемое быстродействие АЦП. Часто этот параметр задают разработчику АЦП.

Рассмотрим более подробно место АЦП при выполнении операции дискретизации.

Для достаточно узкополосных сигналов операцию дискретизации можно выполнять с помощью самих АЦП и совмещать таким образом с операцией квантования. Основной закономерностью такой дискретизации является то, что за счет конечного времени одного преобразования и неопределенности момента его окончания, зависящего в общем случае от параметров входного сигнала, не удастся получить однозначного соответствия между значениями отсчетов и моментами времени, к которым их следует отнести. В результате при работе с изменяющимися во времени сигналами возникают специфические погрешности, динамические по своей природе, для оценки которых вводят понятие апертурной неопределенности, характеризующейся обычно апертурным временем.

Апертурным временем t_a называют время, в течение которого сохраняется

неопределенность между значением выборки и временем, к которому она относится. Эффект апертурной неопределенности проявляется либо как погрешность мгновенного значения сигнала при заданных моментах измерения, либо как погрешность момента времени, в который производится измерение при заданном мгновенном значении сигнала. При равномерной дискретизации следствием апертурной неопределенности является возникновение амплитудных погрешностей, которые называются апертурными и численно равны приращению сигнала в течение апертурного времени.

Если использовать другую интерпретацию эффекта апертурной неопределенности, то ее наличие приводит к "дрожанию" истинных моментов времени, в которые берутся отсчеты сигнала, по отношению к равноотстоящим на оси времени моментам. В результате вместо равномерной дискретизации со строго постоянным периодом осуществляется дискретизация с флюктуирующим периодом повторения, что приводит к нарушению условий теоремы отсчетов и появлению уже рассмотренных апертурных погрешностей в системах цифровой обработки информации.

Такое значение апертурной погрешности можно определить, разложив выражение для исходного сигнала в ряд Тейлора в окрестностях точек отсчета, которое для j -й точки имеет вид

$$U(t) = U(t_j) + t_a U'(t_j) + \frac{t_a^2}{2} U''(t_a) + \dots$$

$$\Delta U_a(t_j) \approx t_a U'(t_j)$$

и дает в первом приближении апертурную погрешность

где t_a - апертурное время, которое для рассматриваемого случая является в первом приближении временем преобразования АЦП.

Обычно для оценки апертурных погрешностей используют синусоидальный испытательный сигнал $U(t)=U_m\sin\Delta t$, для которого максимальное относительное значение апертурной погрешности

$$\Delta U_a/U_m=\Delta t_a.$$

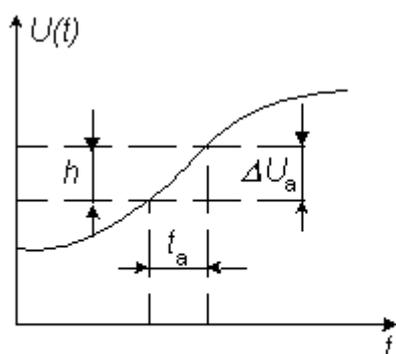


Рис. 1. Образование апертурной погрешности для случая, когда она равна шагу квантования

Если принять, что для N -разрядного АЦП с разрешением 2^{-N} апертурная погрешность не должна превышать шага квантования (рис. 1), то между частотой сигнала Δ , апертурным временем t_a и относительной апертурной погрешностью имеет место соотношение

$$1/2^N=\Delta t_a.$$

Для обеспечения дискретизации синусоидального сигнала частотой 100 кГц с погрешностью 1% время преобразования АЦП должно быть равно 25 нс. В то же

время с помощью такого быстродействующего АЦП принципиально можно дискретизировать сигналы, имеющие ширину спектра порядка 20 МГц. Таким образом, дискретизация с помощью самого АЦП приводит к существенному расхождению требований между быстродействием АЦП и периодом дискретизации. Это расхождение достигает 2...3 порядков и сильно усложняет и удорожает процесс дискретизации, так как даже для сравнительно узкополосных сигналов требует весьма быстродействующих АЦП. Для достаточно широкого класса быстро изменяющихся сигналов эту проблему решают с помощью устройств выборки-хранения, имеющих малое апертурное время.

1. Классификация

В настоящее время известно большое число методов преобразования напряжение-код. Эти методы существенно отличаются друг от друга потенциальной точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации. На рис. 2 представлена классификация АЦП по методам преобразования.

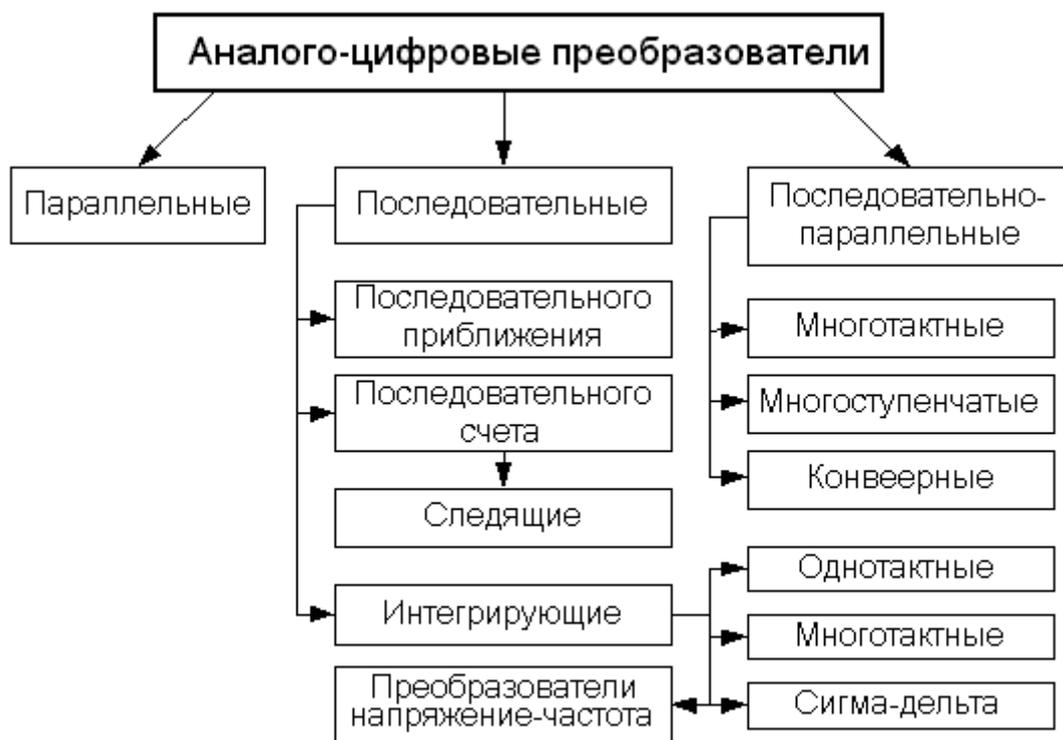


Рис. 2. Классификация АЦП

В основу классификации АЦП положен признак, указывающий на то, как во времени разворачивается процесс преобразования аналоговой величины в цифровую. В основе преобразования выборочных значений сигнала в цифровые эквиваленты лежат операции квантования и кодирования. Они могут осуществляться с помощью либо последовательной, либо параллельной, либо последовательно-параллельной процедур приближения цифрового эквивалента к преобразуемой величине.

2. Параллельные АЦП

АЦП этого типа осуществляют квантование сигнала одновременно с помощью набора компараторов, включенных параллельно источнику входного сигнала. На рис. 3 показана реализация параллельного метода АЦ-преобразования для 3-разрядного числа.

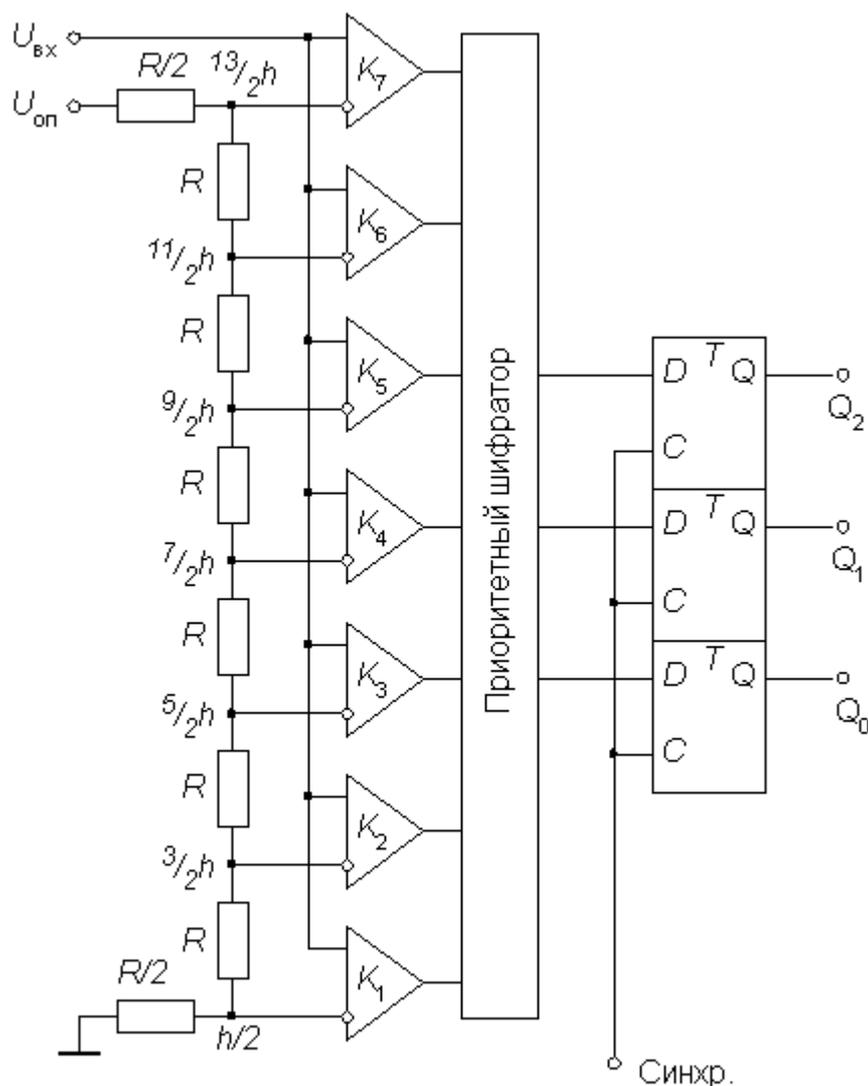


Рис. 3. Схема параллельного АЦП

С помощью трех двоичных разрядов можно представить восемь различных чисел, включая нуль. Необходимо, следовательно, семь компараторов. Семь соответствующих эквидистантных 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 табл.1.

Таблица 1

Входное напряжение $U_{вх}/h$	Состояние компараторов							Выходы		
	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

Подключение приоритетного шифратора непосредственно к выходу АЦП может привести к ошибочному результату при считывании выходного кода. Рассмотрим, например переход от трех к четырем, или в двоичном коде от 011 к

100. Если старший разряд вследствие меньшего времени задержки изменит свое состояние раньше других разрядов, то временно на выходе возникнет число 111, т.е. семь. Величина ошибки в этом случае составит половину измеряемого диапазона.

Так как результаты АЦ-преобразования записываются, как правило, в запоминающее устройство, существует вероятность получить полностью неверную величину. Решить эту проблему можно, например, с помощью устройства выборки-хранения (УВХ). Некоторые интегральные микросхемы (ИМС) параллельных АЦП, например МАХ100, снабжаются сверхскоростными УВХ, имеющими время выборки порядка 0,1 нс. Другой путь состоит в использовании кода Грея, характерной особенностью которого является изменение только одной кодовой позиции при переходе от одного кодового значения к другому. Наконец, в некоторых АЦП (например, МАХ1151) для снижения вероятности сбоев при параллельном АЦ-преобразовании используется двухтактный цикл, когда сначала состояния выходов компараторов фиксируются, а затем, после установления состояния приоритетного шифратора, подачей активного фронта на синхровход выходного регистра в него записывают выходное слово АЦП.

Как видно из табл. 1, при увеличении входного сигнала компараторы устанавливаются в состояние 1 по очереди - снизу вверх. Такая очередность не гарантируется при быстром нарастании входного сигнала, так как из-за различия во временах задержки компараторы могут переключаться в другом порядке. Приоритетное кодирование позволяет избежать ошибки, возможной в этом случае, благодаря тому, что единицы в младших разрядах не принимаются во

внимание приоритетным шифратором.

Благодаря одновременной работе компараторов параллельный АЦП является самым быстрым. Например, восьмиразрядный преобразователь типа MAX104 позволяет получить 1 млрд отсчетов в секунду при времени задержки прохождения сигнала не более 1,2 нс. Недостатком этой схемы является высокая сложность. Действительно, N-разрядный параллельный АЦП содержит 2^{N-1} компараторов и $2N$ согласованных резисторов. Следствием этого является высокая стоимость (сотни долларов США) и значительная потребляемая мощность. Тот же MAX104, например, потребляет около 4 Вт.

3. Последовательно-параллельные АЦП

Последовательно-параллельные АЦП являются компромиссом между стремлением получить высокое быстродействие и желанием сделать это по возможности меньшей ценой. Последовательно-параллельные АЦП занимают промежуточное положение по разрешающей способности и быстродействию между параллельными АЦП и АЦП последовательного приближения. Последовательно-параллельные АЦП подразделяют на многоступенчатые, многотактные и конвейерные.

3.1 Многоступенчатые АЦП

АЦП2 в 16 раз меньше кванта АЦП1. Этот остаток, преобразованный АЦП2 в цифровую форму представляет собой четыре младших разряда выходного кода. Различие между АЦП1 и АЦП2 заключается прежде всего в требовании к точности: у АЦП1 точность должна быть такой же как у 8-разрядного преобразователя, в то время как АЦП2 может иметь точность 4-разрядного.

Грубо приближенная и точная величины должны, естественно, соответствовать одному и тому же входному напряжению $U_{вх}(t_j)$. Из-за наличия задержки сигнала в первой ступени возникает, однако, временное запаздывание. Поэтому при использовании этого способа входное напряжение необходимо поддерживать постоянным с помощью устройства выборки-хранения до тех пор, пока не будет получено все число.

3.2 Многотактные последовательно-параллельные АЦП

Рассмотрим пример 8-разрядного последовательно-параллельного АЦП, относящегося к типу многотактных (рис. 5). Здесь процесс преобразования разделен во времени.

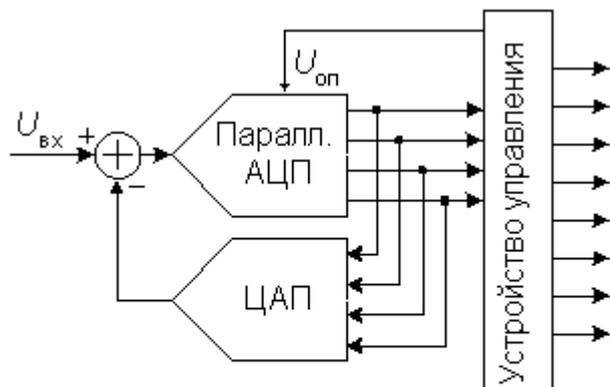


Рис. 5. Структурная схема двухтактного АЦП

Преобразователь состоит из 4-разрядного параллельного АЦП, квант h которого определяется величиной опорного напряжения, 4-разрядного ЦАП и устройства управления. Если максимальный входной сигнал равен 2,56 В, то в первом такте преобразователь работает с шагом квантования $h_1=0,16$ В. В это время входной код ЦАП равен нулю. Устройство управления пересылает полученное от АЦП в первом такте слово в четыре старших разряда выходного регистра, подает это слово на вход ЦАП и уменьшает в 16 раз опорное напряжение АЦП. Таким образом, во втором такте шаг квантования $h_2=0,01$ В и остаток, образовавшийся при вычитании из входного напряжения схемы выходного напряжения ЦАП, будет преобразован в младший полубайт выходного слова.

Очевидно, что используемые в этой схеме 4-разрядные АЦП и ЦАП должны обладать 8-разрядной точностью, в противном случае возможен пропуск кодов, т.е. при монотонном нарастании входного напряжения выходной код АЦП не будет принимать некоторые значения из своей шкалы. Так же, как и в предыдущем преобразователе, входное напряжение многотактного АЦП во время

преобразования должно быть неизменным, для чего между его входом и источником входного сигнала следует включить устройство выборки-хранения.

Быстродействие рассмотренного многотактного АЦП определяется полным временем преобразования 4-разрядного АЦП, временем срабатывания цифровых схем управления, временем установления ЦАП с погрешностью, не превышающей 0,2...0,3 кванта 8-разрядного АЦП, причем время преобразования АЦП входит в общее время преобразования дважды. В результате при прочих равных условиях преобразователь такого типа оказывается медленнее двухступенчатого преобразователя, рассмотренного выше. Однако он проще и дешевле. По быстродействию многотактные АЦП занимают промежуточное положение между многоступенчатыми АЦП и АЦП последовательного приближения. Примерами многотактных АЦП являются трехтактный 12-разрядный AD7886 со временем преобразования 1 мкс, или трехтактный 16-разрядный AD1382 со временем преобразования 2 мкс.

3.3 Конвейерные АЦП

Быстродействие многоступенчатого АЦП можно повысить, применив конвейерный принцип многоступенчатой обработки входного сигнала. В обыкновенном многоступенчатом АЦП (рис. 4) вначале происходит формирование старших разрядов выходного слова преобразователем АЦП1, а затем идет период установления выходного сигнала ЦАП. На этом интервале АЦП2 простаивает. На втором этапе во время преобразования остатка преобразователем АЦП2 простаивает АЦП1. Введя элементы задержки

аналогового и цифрового сигналов между ступенями преобразователя, получим конвейерный АЦП, схема 8-разрядного варианта которого приведена на рис. 6.

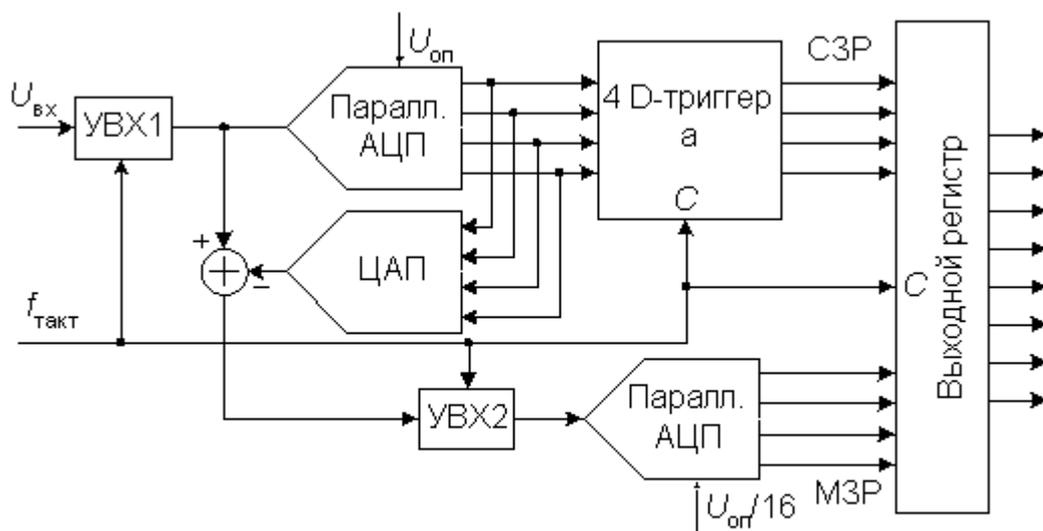


Рис. 6. Структурная схема конвейерного АЦП

Роль аналогового элемента задержки выполняет устройство выборки-хранения УВХ2, а цифрового - четыре D-триггера. Триггеры задерживают передачу старшего полубайта в выходной регистр на один период тактового сигнала CLK.

Сигналы выборки, формируемые из тактового сигнала, поступают на УВХ1 и УВХ2 в разные моменты времени (рис. 7). УВХ2 переводится в режим хранения позже, чем УВХ1 на время, равное суммарной задержке распространения сигнала по АЦП1 и ЦАП. Задний фронт тактового сигнала управляет записью кодов в D-триггеры и выходной регистр. Полная обработка входного сигнала занимает около двух периодов CLK, но частота появления новых значений выходного кода равна частоте тактового сигнала.

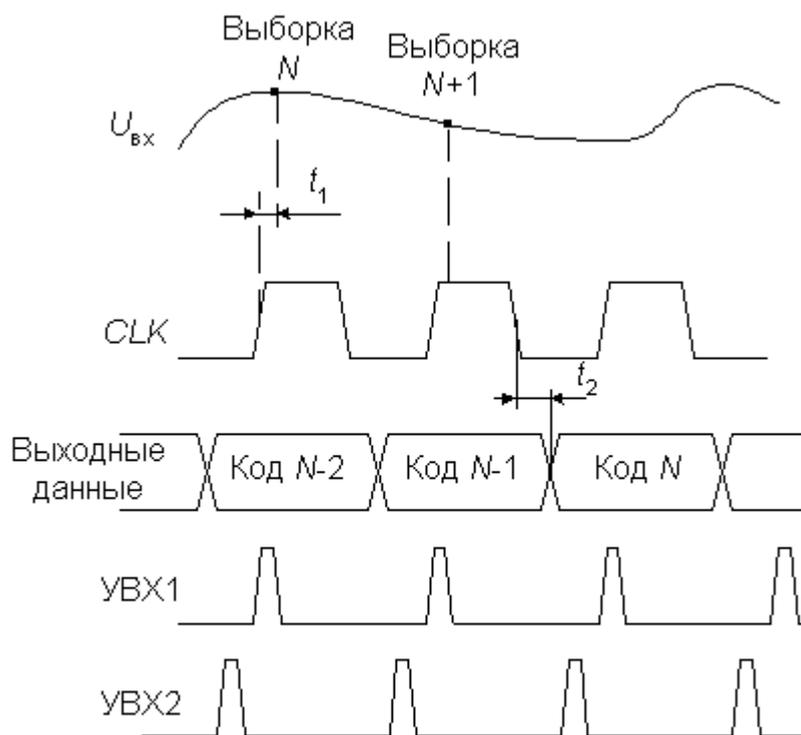


Рис.7. Диаграммы работы конвейерного АЦП

Таким образом, конвейерная архитектура позволяет существенно (в несколько раз) повысить максимальную частоту выборок многоступенчатого АЦП. То, что при этом сохраняется суммарная задержка прохождения сигнала, соответствующая обычному многоступенчатому АЦП с равным числом ступеней, не имеет существенного значения, так как время последующей цифровой обработки этих сигналов все равно многократно превосходит эту задержку. За счет этого можно без проигрыша в быстродействии увеличить число ступеней АЦП, понизив разрядность каждой ступени. В свою очередь, увеличение числа ступеней преобразования уменьшает сложность АЦП. Действительно, например, для построения 12-разрядного АЦП из четырех 3-разрядных необходимо 28

компараторов, тогда как его реализация из двух 6-разрядных потребует 126 компараторов.

Конвейерную архитектуру имеет большое количество выпускаемых в настоящее время многоступенчатых АЦП. В частности, 2-ступенчатый 10-разрядный AD9040A, выполняющий до 40 млн. преобразований в секунду (МПС), 4-ступенчатый 12-разрядный AD9220 (10 МПС), потребляющий всего 250 мВт, и др. При выборе конвейерного АЦП следует иметь в виду, что многие из них не допускают работу с низкой частотой выборок. Например, изготовитель не рекомендует работу ИМС AD9040A с частотой преобразований менее 10 МПС, 3-ступенчатого 12-разрядного AD9022 с частотой менее 2 МПС и т.д. Это вызвано тем, что внутренние УВХ имеют довольно высокую скорость разряда конденсаторов хранения, поэтому работа с большим тактовым периодом приводит к значительному изменению преобразуемого сигнала в ходе преобразования.

Последовательные АЦП

АЦП последовательного счета

Этот преобразователь является типичным примером последовательных АЦП с единичными приближениями и состоит из компаратора, счетчика и ЦАП (рис. 8). На один вход компаратора поступает входной сигнал, а на другой - сигнал обратной связи с ЦАП.

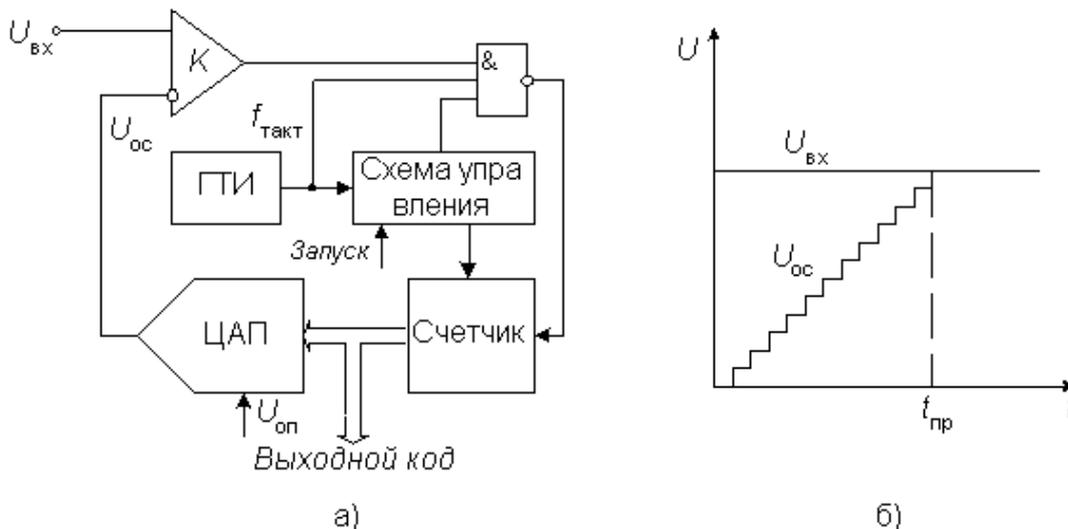


Рис. 8. Структурная схема АЦП последовательного счета

Работа преобразователя начинается с прихода импульса запуска, который включает счетчик, суммирующий число импульсов, поступающих от генератора тактовых импульсов ГТИ. Выходной код счетчика подается на ЦАП, осуществляющий его преобразование в напряжение обратной связи U_{oc} . Процесс преобразования продолжается до тех пор, пока напряжение обратной связи сравнивается со входным напряжением и переключится компаратор, который своим выходным сигналом прекратит поступление тактовых импульсов на счетчик. Переход выхода компаратора из 1 в 0 означает завершение процесса преобразования. Выходной код, пропорциональный входному напряжению в момент окончания преобразования, считывается с выхода счетчика.

Время преобразования АЦП этого типа является переменным и определяется входным напряжением. Его максимальное значение соответствует максимальному входному напряжению и при разрядности двоичного счетчика N и частоте тактовых импульсов $f_{\text{такт}}$ равно

$$t_{\text{пр.макс}} = (2^N - 1) / f_{\text{такт}}$$

Например, при $N=10$ и $f_{\text{такт}}=1$ МГц $t_{\text{пр.макс}}=1024$ мкс, что обеспечивает максимальную частоту выборок порядка 1 кГц.

Статическая погрешность преобразования определяется суммарной статической погрешностью используемых ЦАП и компаратора. Частоту счетных импульсов необходимо выбирать с учетом завершения переходных процессов в них.

При работе без устройства выборки-хранения апертурное время совпадает с временем преобразования. Как следствие, результат преобразования чрезвычайно сильно зависит от пульсаций входного напряжения. При наличии высокочастотных пульсаций среднее значение выходного кода нелинейно зависит от среднего значения входного напряжения. Это означает, что АЦП данного типа без устройства выборки-хранения пригодны для работы с постоянными или медленно изменяющимися напряжениями, которые за время преобразования изменяются не более, чем на значение кванта преобразования.

Таким образом, особенностью АЦП последовательного счета является небольшая частота дискретизации, достигающая нескольких кГц. Достоинством АЦП данного класса является сравнительная простота построения, определяемая последовательным характером выполнения процесса преобразования.

АЦП последовательного приближения

Преобразователь этого типа, называемый в литературе также АЦП с поразрядным уравниванием, является наиболее распространенным вариантом последовательных АЦП.

В основе работы этого класса преобразователей лежит принцип дихотомии, т.е. последовательного сравнения измеряемой величины с $1/2$, $1/4$, $1/8$ и т.д. от возможного максимального значения ее. Это позволяет для N-разрядного АЦП последовательного приближения выполнить весь процесс преобразования за N последовательных шагов (итераций) вместо 2^N-1 при использовании

последовательного счета и получить существенный выигрыш в быстродействии. Так, уже при $N=10$ этот выигрыш достигает 100 раз и позволяет получить с помощью таких АЦП до $10^5 \dots 10^6$ преобразований в секунду. В то же время статическая погрешность этого типа преобразователей, определяемая в основном используемым в нем ЦАП, может быть очень малой, что позволяет реализовать разрешающую способность до 18 двоичных разрядов при частоте выборок до 200 кГц (например, DSP101 фирмы Burr-Brown).

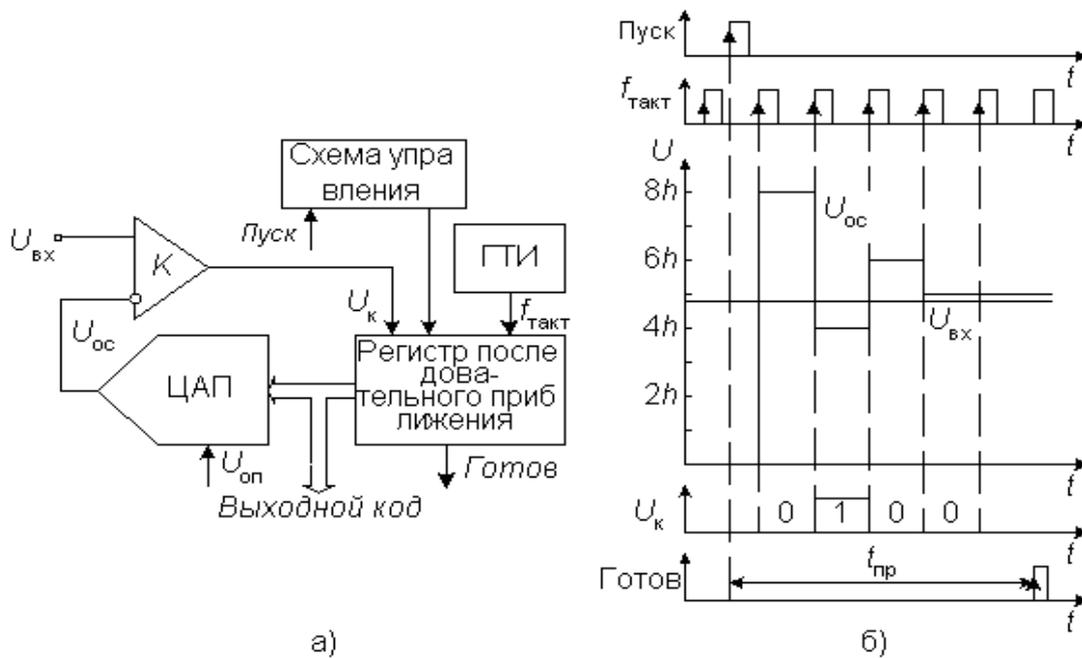


Рис. 9. Структурная схема и временные диаграммы АЦП последовательного приближения

Рассмотрим принципы построения и работы АЦП последовательного приближения на примере классической структуры (рис. 9а) 4-разрядного преобразователя, состоящего из трех основных узлов: компаратора, регистра последовательного приближения (РПП) и ЦАП.

После подачи команды "Пуск" с приходом первого тактового импульса РПП принудительно задает на вход ЦАП код, равный половине его шкалы (для 4-разрядного ЦАП это $1000_2=8_{10}$). Благодаря этому напряжение U_{oc} на выходе ЦАП (рис. 9б)

$$U_{oc}=2^3h.$$

где h - квант выходного напряжения ЦАП, соответствующий единице младшего разряда (ЕМР). Эта величина составляет половину возможного диапазона преобразуемых сигналов. Если входное напряжение больше, чем эта величина, то на выходе компаратора устанавливается 1, если меньше, то 0.

В этом последнем случае схема управления должна переключить старший разряд d_3 обратно в состояние нуля. Непосредственно вслед за этим остаток

$$U_{вх} - d_3 2^3 h$$

таким же образом сравнивается с ближайшим младшим разрядом и т.д. После четырех подобных выравнивающих шагов в регистре последовательного приближения оказывается двоичное число, из которого после цифро-аналогового преобразования получается напряжение, соответствующее $U_{вх}$ с точностью до 1

ЕМР. Выходное число может быть считано с РПП в виде параллельного двоичного кода по N линиям. Кроме того, в процессе преобразования на выходе компаратора, как это видно из рис. 9б, формируется выходное число в виде последовательного кода старшими разрядами вперед.

Быстродействие АЦП данного типа определяется суммой времени установления $t_{уст}$ ЦАП до установившегося значения с погрешностью, не превышающей $0,5$ ЕМР, времени переключения компаратора t_k и задержки распространения сигнала в регистре последовательного приближения t_3 . Сумма $t_k + t_3$ является величиной постоянной, а $t_{уст}$ уменьшается с уменьшением веса разряда. Следовательно для определения младших разрядов может быть использована более высокая тактовая частота. При поразрядной вариации $f_{такт}$ возможно уменьшение времени преобразования $t_{пр}$ на 40%. Для этого в состав АЦП может быть включен контроллер.

При работе без устройства выборки-хранения апертурное время равно времени между началом и фактическим окончанием преобразования, которое так же, как и у АЦП последовательного счета, по сути зависит от входного сигнала, т.е. является переменным. Возникающие при этом апертурные погрешности носят также нелинейный характер. Поэтому для эффективного использования АЦП последовательного приближения, между его входом и источником преобразуемого сигнала следует включать УВХ. Большинство выпускаемых в настоящее время ИМС АЦП последовательного приближения (например, 12-разрядный MAX191, 16-разрядный AD7882 и др.), имеет встроенные устройства выборки-хранения или, чаще, устройства слежения-хранения (track-hold), управляемые сигналом запуска АЦП. Устройство слежения-хранения

отличается тем, что постоянно находится в режиме выборки, переходя в режим хранения только на время преобразования сигнала.

Данный класс АЦП занимает промежуточное положение по быстродействию, стоимости и разрешающей способности между последовательно-параллельными и интегрирующими АЦП и находит широкое применение в системах управления, контроля и цифровой обработки сигналов.

Интегрирующие АЦП

Недостатком рассмотренных выше последовательных АЦП является низкая помехоустойчивость результатов преобразования. Действительно, выборка мгновенного значения входного напряжения, обычно включает слагаемое в виде мгновенного значения помехи. Впоследствии при цифровой обработке последовательности выборок эта составляющая может быть подавлена, однако на это требуется время и вычислительные ресурсы. В АЦП, рассмотренных ниже, входной сигнал интегрируется либо непрерывно, либо на определенном временном интервале, длительность которого обычно выбирается кратной периоду помехи. Это позволяет во многих случаях подавить помеху еще на этапе преобразования. Платой за это является пониженное быстродействие интегрирующих АЦП.

4. ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ (ИВК)

4.1. Виды и состав ИВК

ИВК представляет собой автоматизированное средство измерений электрических величин, на основе которого возможно создание ИИС путем присоединения к входу измерительных каналов ИВК датчиков с унифицированным электрическим выходным сигналом и генерации на основе программных компонентов ИВК программ обработки информации и управления экспериментом. ИВК представляет собой унифицированное ядро ИИС.

ИВК создается методом проектной компоновки из системно-сопряженных функциональных блоков и устройств, выпускаемых в составе агрегатных комплексов ИВК, производимых серийно и прошедших испытания для целей утверждения типа.

Основными признаками ИВК являются:

- наличие нормируемых МХ;
- блочно-модульная структура, измерительные и вычислительные компоненты которой являются серийно выпускаемыми агрегатными СИ;
- наличие процессора или ЭВМ;
- программное управление СИ;
- использование типовых интерфейсов для автоматизации и обеспечения взаимодействия между СИ.

По назначению ИВК подразделяют на типовые, проблемные, специализированные (табл.4.1.)

Таблица 4.1.

ИВК		
Типовые	Проблемные	Специализированные
Для решения широкого круга задач автоматизации исследований, измерений и испытаний независимо от области применения	Для решения широко распространенной, но специфической для конкретной области применения задачи	Для решения уникальных задач автоматизации измерений

В состав ИВК входят технические и программные компоненты, состав которых приведен на рис.4.1., 4.2.



Рис. 4.1. Состав технических компонентов ИВК

Технические компоненты должны удовлетворять требованиям:

- совместимости;
- взаимодействия компонентов;
- комплексов нормируемых характеристик.



Рис. 4.2. Состав программных компонентов ИВК

4.2. Основные варианты построения, архитектура и структурные схемы ИВК

Существует три варианта магистрально-модульного принципа построения ИВК. I – с магистралью приборного интерфейса и использования серийных автономных приборов и устройств (ИВК-7, ИВК-8, ИВК-12, ИВК-15);

II – с магистралью в стандартах КАМАК (ИВК-2, ИВК-6, ИВК-16, ИВК-20);

III – с машинной магистралью с использованием системных унифицированных узлов (К-750, К-755, К-766).

По заданию Минприбора ВНИИЭП разработал концепцию магистрально-модульного принципа построения систем измерения на базе унифицированных модулей и стандартных интерфейсов с применением микропроцессорных средств и мини-ЭВМ.

В основу этой концепции положены агрегатные комплексы: микроэлектронных средств электрических измерений; средств диспетчеризации, автоматизации и телемеханики (микро-ДАТ); управляющих вычислительных комплексов СМ СЭВ.

В концепции принята трехуровневая иерархическая структура организации ИВК.

Базовый комплект СМ-3

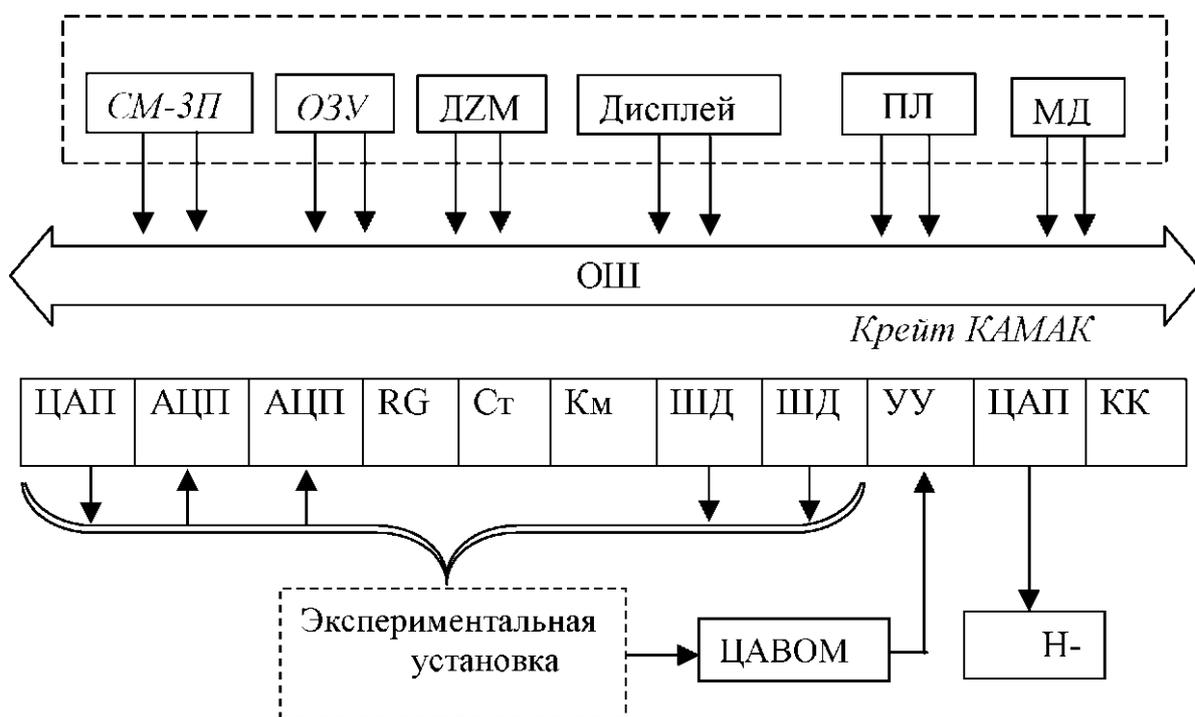


Рис. 4.3. Структура ИВК-3

Нулевой (внутрикаркасный) уровень включает малые программируемые контроллеры, выносные средства сбора и предварительной обработки информации, измерительные подсистемы на основе модулей, локальные регуляторы. Внутрикаркасный магистральный интерфейс - параллельный, асинхронный.

Первый уровень включает локальные измерительные комплексы и системы, управляющие вычислительные комплексы (осуществляющие получение, обработку, хранение и обмен информацией с нулевым и вторым уровнем). Внутрисистемный обмен информацией на этом уровне между средствами, расположенными компактно (до 20м) осуществляется применением приборного магистрального интерфейса. Выход на него из каркаса осуществляется применением соответствующего модуля сопряжения.

Второй уровень – включает распределенные ИВК и системы, средства системного обмена с нулевым и первым уровнем. Для внутрисистемного обмена на 2 уровне и межсистемного обмена применяется магистральный сетевой интерфейс ГОСТ 26.239-94.

Структуры ИВК-1 - ИВК-6 аналогичны. Рассмотрим их структуру на примере ИВК-3, предназначенного для автоматизации исследований с помощью оптических спектральных устройств. ИВК-3 содержит базовый комплект СМ-3, крейт КАМАК с набором функциональных и сервисных модулей, цифровой ампервольтметр и планшетный графопостроитель.

Базовый комплект СМ-3 содержит процессор СМ-3П, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), алфавитно-цифровое печатающее устройство (ДЗМ), дисплей, накопители на перфоленте (ПЛ) и магнитном диске (ДМ). Крейт КАМАК содержит следующие функциональные модули: два двухканальных ЦАП, АЦП, коммутатор, два модуля управления шаговыми двигателями (ЩД), модули входных и выходных регистров, счетчики импульсов, контроллер крейта (КК).

4.3. Приборный стандартный интерфейс (стандарт МЭК)

Разработчиком приборного интерфейса является фирма Hewlett-Packard (США).

Интерфейс обеспечивает работу системы:

- с одним уровнем централизации;
- имеет отдельные информационные шины и шины управления;
- реализует байт последовательный, бит параллельный обмен информацией;
- не регламентирует типы работающих в системе ЭВМ, а также конструкцию и питание приборов, объединяемых в систему.

Соединение функциональных блоков (ФБ) осуществляется через магистральный канал (МгК) общего пользования (общей длиной не более 20м).

Число блоков присоединенных к МгК ≤ 15 (общее число адресов приемников информации не более 31 при однобайтовой и 961 при двухбайтовой адресации).

МгК состоит из 18 линий, восемь из которых (ЛД0 – ЛД7) используют для последовательно побайтовой передачи **адресов, команд и данных**, а другие 8 – для передачи сигналов общего управления.

ШУ – шина управления, объединяет 5 линий;

ШС – шина синхронизации, объединяет 3 линии.

Максимальная скорость обмена информацией равна 1 Мбайт/с. Управление передачей информации по линии ШД осуществляется по трем линиям:

ШС {
 ГП – готов к приему
 ДП – данные приняты
 СД – сопровождение данных

Уровень активности линий обозначается:

высокое состояние – лог. “1”

низкое состояние – лог. “0”

Любое устройство становится источником информации, если его адрес помещается на ШД, когда линия УП – лог. “0”.

В измерительной системе данные передаются стандартным кодом в виде последовательности байтов: каждый обмен должен быть завершен прежде, чем начнется следующий. Рассмотрим работу ШС (рис.4.4.).

Передающее устройство переводит линию СД в состояние лог. “0”, указывая на достоверность байта на ШД, при этом обязательно высокое состояние линии ГП (лог. “1”), что свидетельствует о том, что предыдущая информация принята и обработана.

ДП – лог. “1” – означает конец приема информации (при этом СД “0” и ГП – “0”).

Линия ГП – линия обмена сигналами между источниками и приемниками.

ГП – “1” – по окончании выдачи сигнала на линии ДП. Шина управления ШУ используется для обмена управляющими сигналами между процессором и всеми другими устройствами, подключенными к МК с помощью следующих линий:

ШУ {
 УП – управление
 КП – конец передачи
 ЗО – запрос на обслуживание
 ОИ – очистить интерфейс
 ДУ – дистанционное управление

Выдача сигналов на линию УП осуществляется процессором.

Если на линии УП выставляется уровень лог. “0”, все устройства переходят в режим “Ожидание” и только контроллер может передавать информацию.

Если УП – лог. “1” – обмен информации осуществляется между устройствами, которые были адресованы (обозначены) при УП – лог. “0” (на передачу включения не более 1-го устройства);

КП – лог. “0” – одновременно с передачей последнего байта информации;

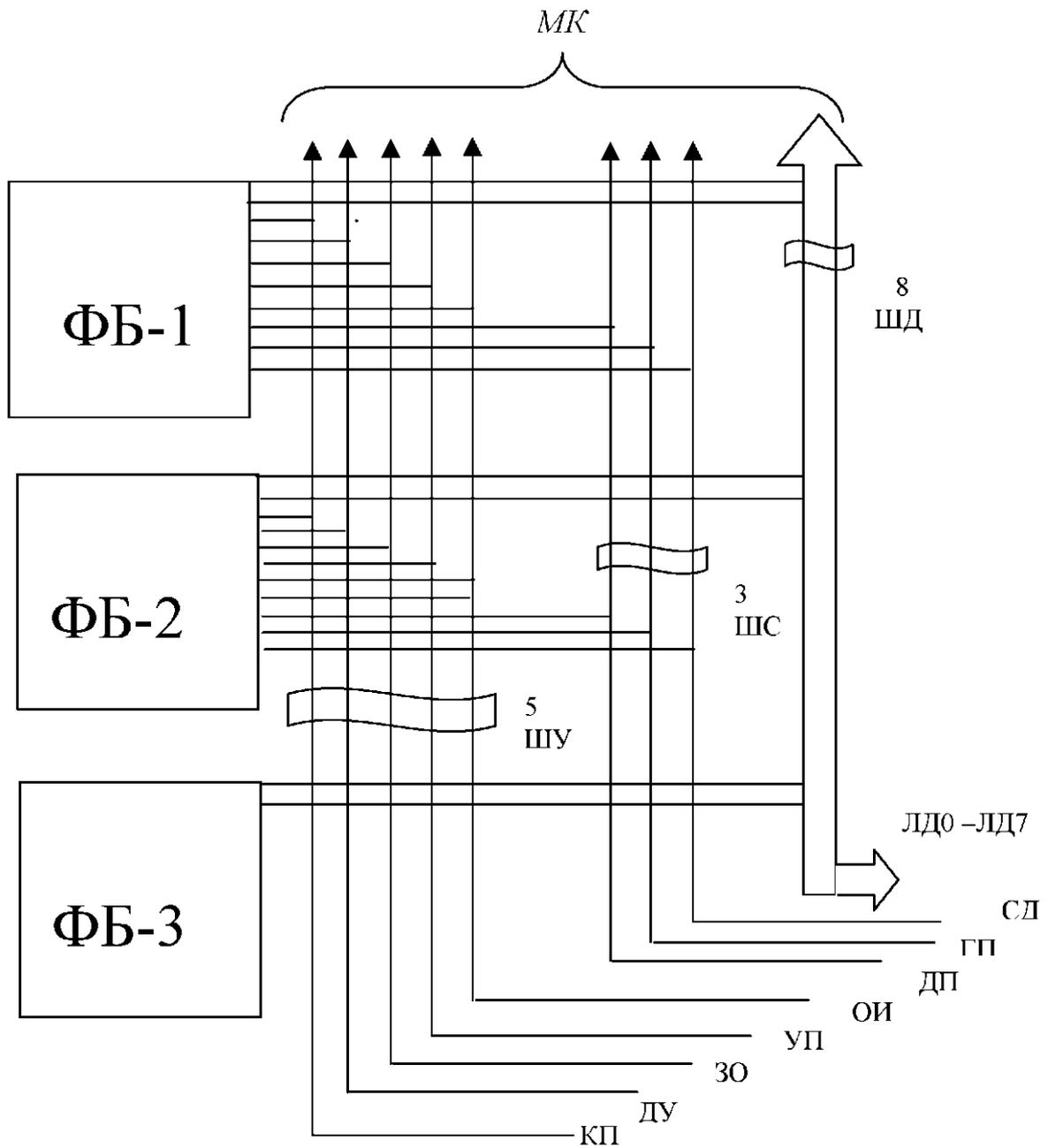


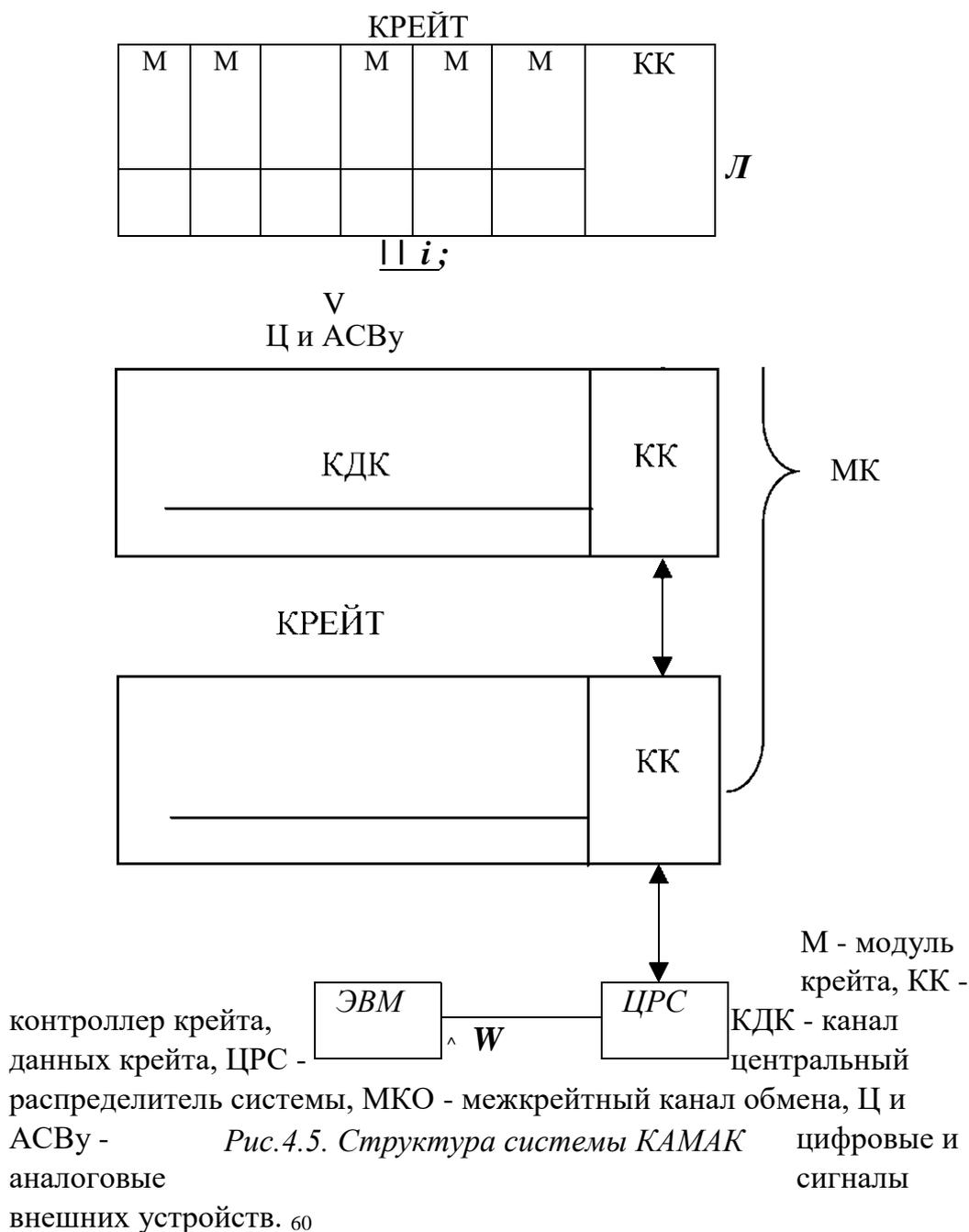
Рис. 4.4. Структура магистрального интерфейса в стандарте МЭК

ОИ – используется при запуске системы. Если ОИ – лог. “0” – прекращается работа МгК. Если ДУ – лог.“0” – устройство переключается на внешнее дистанционное управление. Если ДУ – лог.“1” – устройство находится под местным управлением. ЗО – лог. “0” – если какое-либо устройство посылает процессору запрос на обслуживание.

Стандарт МЭК разработан на основе известного приборного интерфейса IEEE-488 фирмы США и устанавливает основные требования на информационную совместимость электронных измерительных устройств.

внутримодульной адресации служит магистраль из 4-х субадресных шин, подходящих ко всем модулям.

Системные интерфейсы позволяют выделить три основные группы сигналов: данных, адреса, управления. В зависимости от принятой структуры эти сигналы могут передаваться либо по общим линиям связи с временным разделением сигналов, либо по своим специально выделенным линиям связи. Очень важно соблюдать временные соотношения (протокол обмена) между сигналами в магистрали.



Вопросы для самоконтроля усвоения знаний

1. Что такое измерительно-вычислительный комплекс?
2. Как измерительно-вычислительные комплексы подразделяются по назначению?
3. Охарактеризуйте технические компоненты измерительно-вычислительных комплексов.
4. Охарактеризуйте программные компоненты измерительно-вычислительных комплексов.
5. Рассмотрите основные варианты построения, особенности архитектуры и структурных схем измерительно-вычислительных комплексов.

5. ИСПЫТАНИЯ И ПОВЕРКА ИИС

5.1. Испытания ИИС

В целях обеспечения единства измерений проводят испытания ИИС. Различают:

- испытания, проводимые с целью признания законными конкретных образцов ИИС или ИИС определенного типа;
- испытания, проводимые с целью выяснения метрологических свойств ИИС (или отдельных ИК ИИС), в первую очередь диапазона измерений, чувствительности, определения условий применения, точностных характеристик и других особенностей.

Для ИИС и ИК ИИС, которые применяются в сферах распространения ГМKN, указанных в Законе Российской Федерации “Об обеспечении единства измерений”, проводятся испытания для целей утверждения типа. Для ИИС, которые применяются вне сфер распространения ГМKN, проводятся испытания для целей сертификации.

Испытания и утверждение типа включают:

- испытания для целей утверждения типа;

- принятие решения об утверждении типа;
- государственную регистрацию и выдачу сертификата об утверждении типа;
- испытания на соответствие утвержденному типу;
- информационное обслуживание потребителей измерительной техники, контрольных и надзорных органов и органов управления.

Во ВНИИМС разработана нормативная база испытаний и утверждения типа средств измерительной техники и информационно-измерительных технологий, которая гармонизирована с международным документом МОЗМ № 19 “Испытание и утверждение типа средств измерений”, принятых в 1998 году. Поскольку ИИС и ИК ИИС органами ГМКН рассматриваются как специфические разновидности СИ, то порядок проведения испытаний и утверждения типа для ИИС и ИК ИИС не должны противоречить положениям ПР 50.2.009 и МИ 2146 в части порядка проведения и общих требований к структуре и содержанию программ испытаний. Наиболее важными этапами полного цикла работ (начиная от подачи заявки и кончая государственной регистрацией ИИС), являются:

- подготовка к проведению испытаний;
- проведение испытаний;
- оформление результатов испытаний;
- утверждение типа, государственная регистрация и выдача сертификата.

Этапы “проведение испытаний” и “оформление результатов испытаний” осуществляются в соответствии с программой испытаний, утвержденной государственным центром испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) или согласованной с ГЦИ СИ типовой программой.

Этап “Утверждение типа, государственная регистрация и выдача сертификата” осуществляется в соответствии с ПР 50.2.009.

Подготовка к проведению испытаний включает в себя:

- направление заявки на проведение испытаний;
- утверждение (согласование) программы испытаний;
- заключение договора (контракта) о проведении испытаний.

Программа испытаний должна содержать следующие разделы:

- краткое техническое описание ИИС;
- перечень ИК;
- перечень документации, предъявляемой на испытания;
- рассмотрение ТД на ИИС;
- испытание;
- оформление результатов испытаний.

В программе испытаний приводят полный перечень ИК ИИС со ссылками на разделы ТД на ИИС, где дано подробное описание ИК и их МХ. Если в состав ИК входят измерительные компоненты утвержденных типов, указывают их номера по государственному реестру. Для ИИС, у которых в

сфере распространения ГМКН используется только часть (из общего числа) ИК, перечень составляется только для этой части ИК.

В перечень документов, которые требуют ГЦИ, помимо плана-графика испытаний и программы испытаний, входят:

- ТЗ с дополнениями и изменениями к нему;
- проект ТУ (включая ТУ на составные части);
- проект эксплуатационной документации (ЭД), включая ЭД на составные части;
- проект НД по поверке при отсутствии соответствующего раздела в ЭД;
- протоколы и акты предварительных испытаний;
- документы, удостоверяющие поверку СИ, входящих в состав ИК, используемых в сфере распространения ГМКН;
- дополнительные материалы.

В настоящее время ТЗ на проектирование ИИС может отсутствовать, поскольку многие разработки проводятся в инициативном порядке. Однако для таких сложных систем, как ИИС, всегда необходим документ, заменяющий ТЗ при его отсутствии. При проведении испытаний желательно участие представителя заказчика. В обязательном порядке проводится проверка соответствия технических характеристик, приведенных в ТУ и (или) ЭД требованиям ТЗ или документа его заменяющего, а также требованиям НД, распространяющейся на испытываемую ИИС. При рассмотрении документации проводится проверка соответствия методов регламентации МХ ИК ИИС, методов и средств их определения и (или) контроля, приведенных в ТД на ИИС, требованиям НД ГСИ.

При этом проверяется:

- полнота и правильность учета всех факторов (особенности выпуска компонентов ИИС и их монтажа на объекте, разнесённость измерительных компонентов в пространстве, условия эксплуатации ИИС на объекте, структура ИИС, особенности алгоритмов обработки результатов измерений и т.п.) влияющих на выбор целесообразного способа регламентации МХ ИИС;
- достаточность комплексов нормируемых или экспериментально определяемых МХ измерительных компонентов ИИС и характеристик точности аттестованных алгоритмов и программ обработки данных для расчета по ним МХ ИК ИИС;
- наличие и правильность методик расчета МХ ИК ИИС по МХ входящих в них компонентов;
- наличие и правильность методов и средств экспериментального определения и (или) контроля МХ ИК ИИС и (или) их измерительных компонентов, методов достоверности передачи данных в линиях связи ИИС;

- достаточность регламентированного комплекса МХ ИК ИИС для определения точностных характеристик в реальных условиях её эксплуатации.

При рассмотрении ТД на ИИС проводится оценка возможности метрологического обслуживания ИИС в процессе эксплуатации; проверяется наличие в документации указаний по настройке и устранению возможных неисправностей ИИС; проводится оценка обеспеченности ИИС методами и средствами периодической поверки. Для ИИС импортного производства устанавливается возможность применения для поверки ИИС и их компонентов импортных эталонов, указанных в методике поверки ИИС или замены их на эталоны российского производства с учетом их конструктивной и иной совместимости с испытываемой ИИС.

По результатам рассмотрения ТД на ИИС могут быть приняты следующие решения:

- о целесообразности изменения комплекса МХ ИК ИИС (в том числе необходимости аттестации алгоритмов и программ обработки данных);
- о корректировке или доработке представленных методик испытаний образцов ИИС;
- о засчитывании результатов ранее проведенных испытаний образцов представленной ИИС.

Проверка функционирования образца ИИС проводится путем выполнения ряда проверок и операций, специальных тестов, обеспечивающих возможность работы образца в каждом из предусмотренных режимов и во всех диапазонах измерений, в соответствии с методиками, изложенными в эксплуатационной документации на ИИС.

В качестве дополнительных материалов служит документация, которая содержит:

- результаты исследовательских испытаний (моделей, макетов и т.п.), проводимых на этапах разработки, проектирования;
- результаты испытаний, относящихся к этапу “опытная эксплуатация”. В большинстве случаев речь идет о системах типа ИИС-3, или ИИС, входящих в качестве подсистем в более сложные автоматизированные системы;
- материалы аттестации алгоритмов и программ обработки измерительной информации.

В целом, в дополнительных материалах приводятся результаты испытаний, проводимых с целью выявления метрологических свойств ИИС. При отсутствии протоколов и актов предварительных и исследовательских испытаний ГЦИ проводит испытания, как по каждому пункту программы испытаний, так и серию дополнительных исследований, необходимых для определения метрологических свойств ИИС и подтверждения номенклатуры контролируемых параметров и установленных в ТД норм. В последнем

случае проведение испытаний для целей утверждения типа может растянуться на годы.

При предварительных исследованиях, проводимых разработчиком (часто с привлечением органов ГМС) проверяется неизменность метрологических свойств ИК ИИС во времени, зависимости от действия влияющих величин и возмущающих факторов на точность измерений и результат функционирования. На основании результатов предварительных исследований устанавливается минимум операций, которые необходимо выполнять в дальнейшем при поверке ИК ИИС, а также межповерочный интервал (МПИ). Это дает возможность на этапе испытаний для целей утверждения типа решить вопрос о дальнейшем метрологическом обслуживании данной ИИС.

При положительных результатах проведенных испытаний ИИС для целей утверждения её типа ГЦИ СИ утверждает (согласовывает) методику поверки, согласовывает описание типа и составляет акт испытаний в соответствии с требованиями ПР 50.2.009. При этом в описании типа, являющегося неотъемлемой частью сертификата об утверждении типа, указывают ИК (или компоненты, образующие ИК), на которые распространяется сертификат.

В ряде случаев при исследовании и испытании ИИС осуществляются процедуры, относящиеся к понятию метрологическая аттестация. Содержание метрологической аттестации раскрывается в определении, приведенном в РМГ 29-99. Метрологическая аттестация средств измерений (МА) – признание метрологической службой узаконенным для применения средств измерений единичного производства (или ввозимые единичными экземплярами из-за границы) на основании тщательных исследований их свойств.

Примечание – МА могут подлежать средства измерений, не подпадающие под сферы распространения ГМКН.

5.2. Поверка ИИС

Согласно определению ИИС обладают всеми признаками СИ. Соответственно все основные принципы, положенные в основу процедуры поверки СИ, распространяются на ИИС, их ИК и компоненты.

Поверка средств измерений – установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средств измерений к применению, на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверке подвергают СИ, подлежащие ГМКН.

При этом разделяют следующие виды поверки:

– первичную поверку;

- периодическую поверку;
- внеочередную поверку;
- инспекционную поверку;
- комплектную поверку;
- поэлементную поверку.

Первичная поверка выполняется при выпуске СИ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями, при продаже. Периодической поверке подвергаются СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении. Периодическая поверка выполняется через установленные МПИ. Внеочередной называется поверка, проводимая до наступления срока очередной периодической поверки. Инспекционная поверка проводится органом ГМКН при проведении государственного надзора за состоянием и применением СИ. Комплектной называют поверку, при которой определяются МХ СИ, присущие ему как единому целому. Поэлементной называют поверку, при которой значения МХ СИ устанавливаются по МХ его составных элементов или частей. Поэлементная поверка характерна для ИС и ИИС.

Как следует из определения, поверка представляет собой процедуру контроля, неотъемлемой частью которой является экспериментальное определение МХ объекта контроля. Наиболее предпочтительным способом контроля и определения МХ ИК ИИС и их компонентов является “сквозной” метод. При “сквозном” методе на вход ИК ИИС подается образцовый сигнал, имитирующий измеряемую величину. На выходе контролируемого ИК ИИС снимается выходной сигнал (результат измерения). Полученные в результате эксперимента значения МХ служат для сравнения с нормированными МХ контролируемого ИК ИИС. Необходимыми условиями для применения “сквозного” метода определения и контроля МХ являются:

- наличие доступа ко входу ИК. Ограничение доступа может быть обусловлено конструкцией или способами установки первичных измерительных преобразователей (датчиков), наличием “вредной среды” в местах их расположения, климатическими условиями и т.п.;
- возможность задания необходимого набора всех существенных для поверки ИК ИИС значений влияющих величин, характерных для условий эксплуатации ИИС;
- наличие эталонов и средств задания измеряемых величин.

В тех случаях, когда для ИК ИИС не выполняются перечисленные выше условия применения “сквозного” метода контроля и определения МХ ИК ИИС, применяют расчетно-экспериментальный способ. В ИК выделяется такая его часть, которая состоит из компонентов с нормированными МХ, для которой применим “сквозной” метод. Желательно, чтобы в доступную часть ИК входило как можно большее число его компонентов, чтобы по возможности охватить при контроле МХ линии связи, функциональные преобразователи, устройства связи с объектом, вычислительные устройства.

МХ ИК в целом вычисляются по определенным экспериментально МХ доступной части и нормированным или приписанным МХ (по результатам ранее проведенных экспериментальных исследований) недоступной части ИК.

Выбор экспериментального метода определения и контроля МХ ИК ИИС зависит от ряда влияющих факторов, определяющих постановку и проведение эксперимента. На выбор указанных методов влияет также наличие или отсутствие априорных сведений о метрологических свойствах ИК ИИС, вид ИК. Априорные сведения о составе и существенности влияющих факторов могут быть получены: из НД и ТД на ИИС. При отсутствии априорных сведений по составу и существенности факторов, влияющих на точность измерений, проводят предварительное исследование метрологических свойств ИК ИИС. Такие исследования обычно проводят в рамках исследовательских или предварительных испытаний, осуществляемых на этапах разработки, проектирования ИИС или ввода её в эксплуатацию. В рамках поверочных работ подобные исследования не проводятся.

Методика поверки ИК конкретных образцов ИИС разрабатывается на стадии разработки, предварительных исследований, проверяется и утверждается на стадии проведения испытаний для целей утверждения типа. Разработаны и используются некоторые обобщенные методы контроля МХ, используемые при поверке ИК ИИС. Однако, учитывая сложность состава ИИС, методики поверки в подавляющем большинстве случаев индивидуальны для конкретных образцов или типов ИИС. Далее приведены некоторые из общих методов контроля.

Рассмотрим случай, когда преобладают влияющие факторы, которые приводят к закономерному искажению результатов измерений, а стандартным отклонением (мерой неопределенности, оцениваемой по типу А) можно пренебречь. Структурная схема для выполнения поверки аналоговых и цифроаналоговых ИК приведена на рис.5.1.



Рис. 5.1. Структурная схема поверки ИК

Эталон 1 задает при входе ИК значения измеряемой величины, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений. При поверке цифроаналоговых ИК в качестве эталона 1 используется произвольный задатчик кодов. Эталон 2 измеряет значения выходных сигналов ИК (в

частном случае, когда на выходе ИК установлен показывающий аналоговый измерительный прибор, считываются его показания). Для каждой проверяемой точки X входного сигнала вычисляются нижняя V_b и верхняя V_t границы, в пределах которых могут находиться выходные сигналы ИК (показания эталона 2).

$$\begin{aligned} V_b &= F_n(X) - D_0 \\ V_t &= F_n(X) + D_0 \end{aligned} \quad , \quad (5.1)$$

где $F_n(X)$ - значение выходного сигнала ИК, вычисленное для проверяемой точки X по номинальной функции преобразования ИК;

D_0 - граница (предел) допускаемых отклонений выходного сигнала ИК от номинального значения.

При необходимости может вводиться контрольный допуск, равный $0,8$ границы D_0 . По эталону 1 устанавливают последовательно значения X , соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений, считывают и регистрируют показания эталона 2. Если для всех проверяемых точек X выполняется неравенство

$$V_b \leq Y(X) \leq V_t, \quad (5.2)$$

где $Y(X)$ - значение выходного сигнала ИК при входном сигнале равном X . ИК считается удовлетворяющим заданным требованиям (годным). Если хотя бы в одной из проверяемых точек это неравенство не выполняется, то ИК считается не удовлетворяющим заданным требованиям (бракуется).

Структурная схема для выполнения поверки аналого-цифровых ИК приведена на рис.5.2. Рассмотрим аналогичный случай, когда преобладают влияющие факторы, которые приводят к закономерному искажению результатов измерений, а стандартным отклонением (мерой неопределенности, оцениваемой по типу А) можно пренебречь.

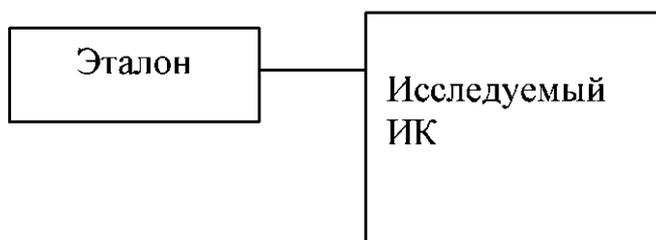


Рис.5.2. Структурная схема поверки аналого-цифровых ИК

Эталон задает на входе ИК значения X измеряемой величины или ее носителя, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений. На выходе ИК получается код (показание) N , которое может быть считано экспериментатором или автоматическим устройством. Для каждой проверяемой точки N_0 (для аналого-цифровых ИК проверяемые точки задают

указанием значения N_0 выходного кода или показания) вычисляют значения X_{k1} и контрольных сигналов по формулам:

$$\begin{aligned} X_{k1} &= F_{no}(N_0) - D_0 \\ X_{k2} &= F_{no}(N_0) + D_0 \end{aligned} \quad , \quad (5.3)$$

где $F_{no}(N_0)$ – значение входного сигнала ИК, вычисленное для проверяемой точки по номинальной обратной функции преобразования ИК;

D_0 - граница допускаемых отклонений входного сигнала от номинального значения.

При необходимости может вводиться контрольный допуск, равный 0,8 границы D_0 .

Устанавливают значение величины X , подаваемой на вход ИК, равным X_{k1} и регистрируют выходной код (показание) N_1 проверяемого ИК. Если удовлетворяется неравенство $N_1 \geq N_0$, проверяемый ИК бракуют. В противном случае устанавливают значение величины X , подаваемой на вход ИК, равным X_{k2} и регистрируют выходной код (показание) N_2 проверяемого ИК. Если удовлетворяется неравенство $N_2 \leq N_0$, проверяемый ИК бракуют. ИК должен удовлетворять установленным нормам для всех контролируемых точек диапазона измерений.

ИИС и ИК ИИС, не подлежащие ГМКН, подвергаются калибровке. Несмотря на то, что в разделении понятий поверка и калибровка основным является законодательный аспект, содержание работ по калибровке несколько отличается от содержания работ по поверке, что следует из определения, приведенного в РМГ 29-99:

Калибровка средств измерений – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученной с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Далее в РМГ 29-99 следует примечание, в котором указывается, что результаты калибровки позволяют определять поправки и другие МХ СИ. Учитывая тот факт, что эксплуатация ИИС часто происходит в условиях дефицита априорной информации о МХ её компонентов и ИИС в целом, поверочные работы (также как и работы по калибровке) должны осуществляться с учетом необходимости постоянного уточнения МХ ИИС, степени их деградации во времени, установления и корректировки МПИ, которые часто (в отношении ИИС-З как правило) являются индивидуальными для каждого конкретного образца ИИС. При разработке и МЭ методик поверки (калибровки), проведении испытаний для целей утверждения типа этот факт должен учитываться как разработчиком, так и заказчиком. Результаты поверок и калибровок должны являться одной из самых важных составляющих информации, которую следует принимать во внимание при анализе изменения МХ ИК ИИС.

