

Міністерство світи і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
фізико-технічний факультет
кафедра радіоелектронної автоматики

В.Б.Мазуренко

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

Конспект лекцій

Дніпро

2019

Наведено конспект лекцій з курсу «Комп'ютерно-інтегровані системи контролю», який розроблено у відповідності до освітньо-професійної програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Для студентів фізико-технічного факультету ДНУ, що навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» на першому рівні вищої освіти.

Укладач: доцент кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара Мазуренко Валерій Борисович.

Лекція № 1

Тема: Автоматизированные системы управления и контроля. Введение.

Оглавление

Основные понятия.....	2
Измерения	2
Контроль	2
Управление	3
Примеры систем автоматического управления и контроля	4
Система наполнения бака.....	4
Архитектура автоматизированных систем управления и контроля на основе компьютерно-интегрированных технологий	4
Содержание курса	7
Контрольные вопросы по теме	8
Уровень модуля.....	8
Уровень курса.....	8

Основные понятия

Измерения

Получение информации о количественных характеристиках свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путем (то есть экспериментально) называется ИЗМЕРЕНИЕМ. В отличие от количественной информации, получаемой теоретическим путем, то есть посредством вычислений и расчетов, такая информация называется измерительной.

Полученная тем или иным способом количественная информация о свойствах объектов и явлений окружающего мира преобразуется, передается и представляется в наглядной форме в информационно-измерительных системах или других устройствах отображения и регистрации информации.

Контроль

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям

Сущность всякого контроля сводится к осуществлению двух основных этапов:

1. Получение информации о фактическом состоянии некоторого объекта, о признаках и показателях его свойств. Эту информацию можно назвать первичной.

2. Сопоставление первичной информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями, т.е. обнаружение соответствия или несоответствия фактических данных требуемым (ожидаемым). Информацию о рассогласовании (расхождении) фактических и требуемых данных можно называть вторичной.

Объектом, данные о состоянии и (или) свойствах которого подлежат при контроле сопоставлению с установленными требованиями, может быть продукция или процесс.

В ряде случаев граница во времени между первым и вторым этапами контроля неразличима. В таких случаях первый этап может быть выражен нечетко или может практически не наблюдаться. Характерным примером является контроль размера калибром, сводящийся к операции сопоставления фактического и предельно допустимого значений размера.

Далее вторичная информация используется для выработки соответствующих управляющих воздействий на объект, подвергавшийся контролю. В этом смысле всякий контроль всегда активен. В связи с этим необходимо отметить, что всякий контроль, кроме того, всегда в той или иной степени должен быть профилактическим, поскольку вторичная информация может использоваться для совершенствования разработки, производства и эксплуатации продукции, для повышения ее качества и т.д.

Однако, принятие решений на основе анализа вторичной информации, выработка соответствующих управляющих воздействий уже не является частью контроля. Это следующий этап управления, основанный на результатах контроля - неотъемлемой и существенной части всякого управления. При техническом контроле первичная информация сопоставляется с техническими требованиями, записанными в нормативной документации, с признаками контрольного образца, с данными, зафиксированными при помощи калибра и т.д.

Управление

С древних времен человек хотел использовать предметы и силы природы в своих целях, то есть управлять ими. Множество задач управления в современном мире связано с техническими системами – автомобилями, кораблями, самолетами, станками. Например, нужно поддерживать заданный курс корабля, высоту самолета, частоту вращения двигателя, температуру в холодильнике или в печи. Если эти задачи решаются без участия человека, говорят об автоматическом управлении.

Управление – деятельность субъекта по изменению объекта для достижения некоторой цели.

Для управления необходимо выполнять следующие три действия:

1. Получать информацию о состоянии объекта, то есть выполнять *измерения*. Если мы хотим изменить объект, то мы в первую очередь должны знать каков он сейчас, в данный момент. То есть знать текущее состояние объекта: каковы его параметры, его свойства, а если точнее – иметь численные значения физических величин, которые характеризуют данный объект.

2. Принимать решение о необходимости изменения состояния объекта, выбирать способ воздействия на объект и определять характеристики необходимого управляющего воздействия. Решение о необходимости изменения состояния объекта принимается в том случае, если текущее состояние объекта по определенным причинам нас не устраивает. Таким образом, мы выполняем *контроль*: мы сравниваем известное нам измеренное состояние объекта с желаемым, то есть тем состоянием, которое соответствует заданной нами цели.

3. Воздействовать на объект.

Для выполнения указанных функций в состав любой системы управления должны входить:

- датчики,
- управляющая система (решающее устройство),
- исполнительные устройства.

Примеры систем автоматического управления и контроля

Система наполнения бака

Рассмотрим простейшую систему автоматического наполнения резервуара с водой (рис. 1). Задача системы управления – поддерживать в заданных пределах (от минимального - **min** до максимального - **max**) количество воды в емкости.

В состав системы входят датчики - два датчика уровня и исполнительное устройство – насос с электродвигателем. Роль решающего устройства играет специальное реле.

Работа реле основана на кондуктометрическом методе определения наличия жидкости, который основан на электрической проводимости жидкостей и возникновении микротока между электродами. Реле имеют переключающие контакты, что позволяет использовать режим наполнения или слива. Принцип работы реле основан на измерении сопротивления жидкости, находящейся между двумя погруженными датчиками. Если измеренное сопротивление оказывается менее величины порога срабатывания, тогда состояние контактов реле меняется.

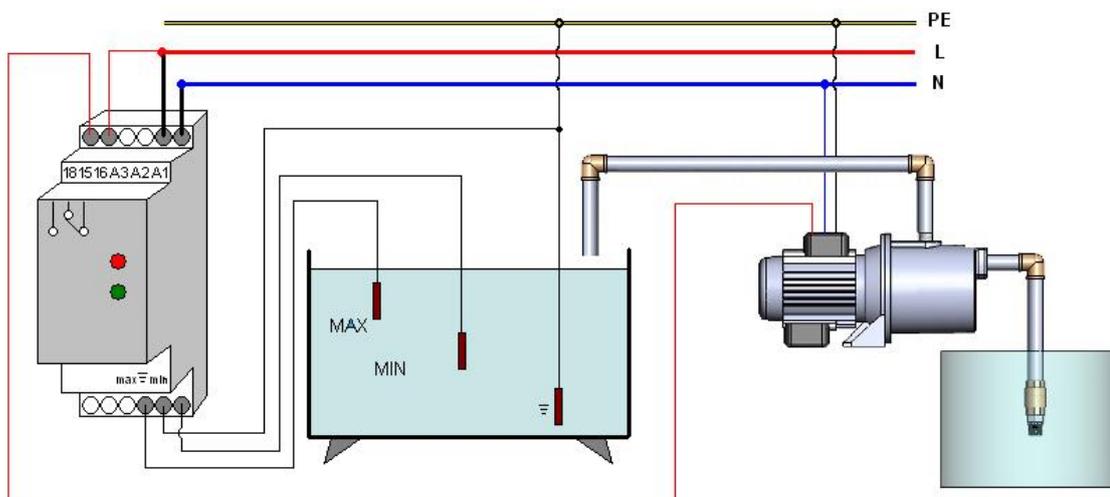


Рис. 1 – Система автоматического наполнения резервуара с водой

Архитектура автоматизированных систем управления и контроля на основе компьютерно-интегрированных технологий

Современные автоматизированные системы управления и контроля строятся на основе компьютерно-интегрированных технологий. Можно сказать, что системы, в которых реализуются компьютерно-интегрированные технологии, представляют собой следующее поколение автоматических и автоматизированных измерительных систем, систем управления и контроля, а также АСУ ТП - автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Классическая архитектура управляющей системы воплощена в моносистеме (рис.2) – сосредоточенной системе, которая обеспечивает управление сосредоточенным объектом управления. Сосредоточенными в данном случае можно называть системы, в которых расстояние от датчиков и приводов до компьютера исчисляется метрами или десятками метров.

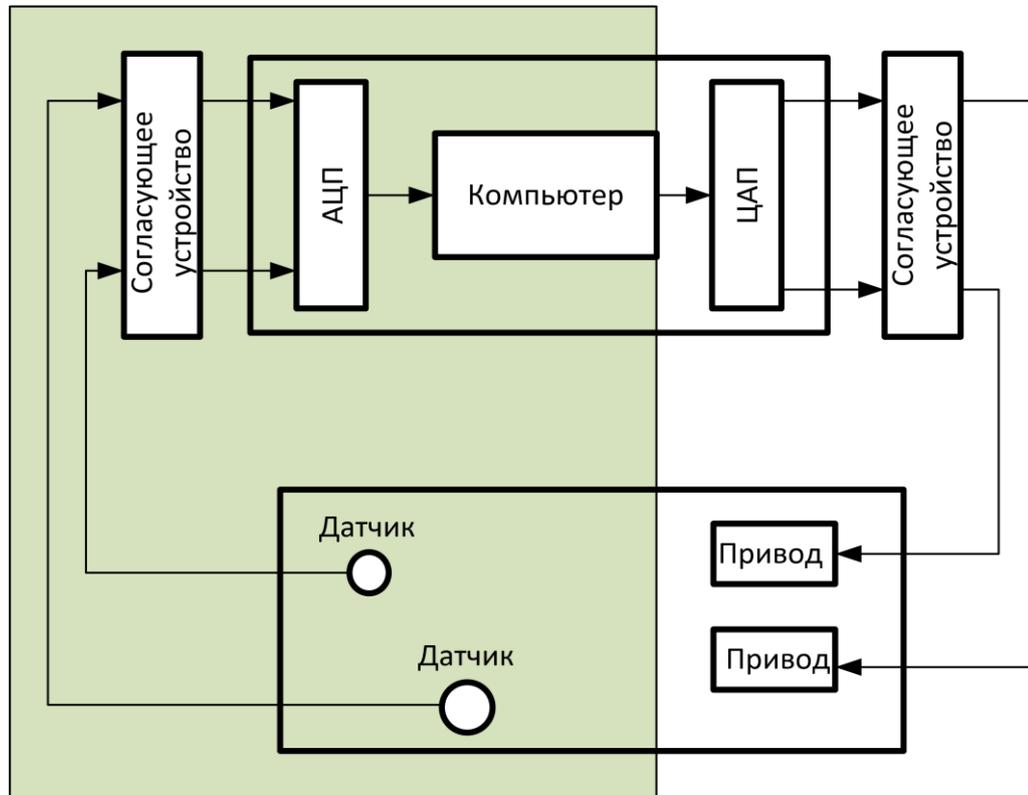


Рис. 2 Сосредоточенная система

Если рассматривать только задачу контроля, без задачи управления, то компьютерно-интегрированная система контроля изображена на рисунке 2 на фоне зеленого прямоугольника. Компьютер в данном случае формирует не управляющий сигнал, а представляет только вторичную информацию, то именно – результат контроля, например «Норма» или «Ненорма». Информация представляется в виде, необходимом для ее дальнейшего использования. Наиболее распространенный вариант – выдача результата контроля на экран в текстовом или графическом виде для ее восприятия оператором.

Со временем стали развиваться распределенные системы (рис. 3), которые обеспечивают измерение и управление на совокупности объектов. В этом случае расстояния обычно составляют сотни метров и километры, а в некоторых случаях - десятки километров.

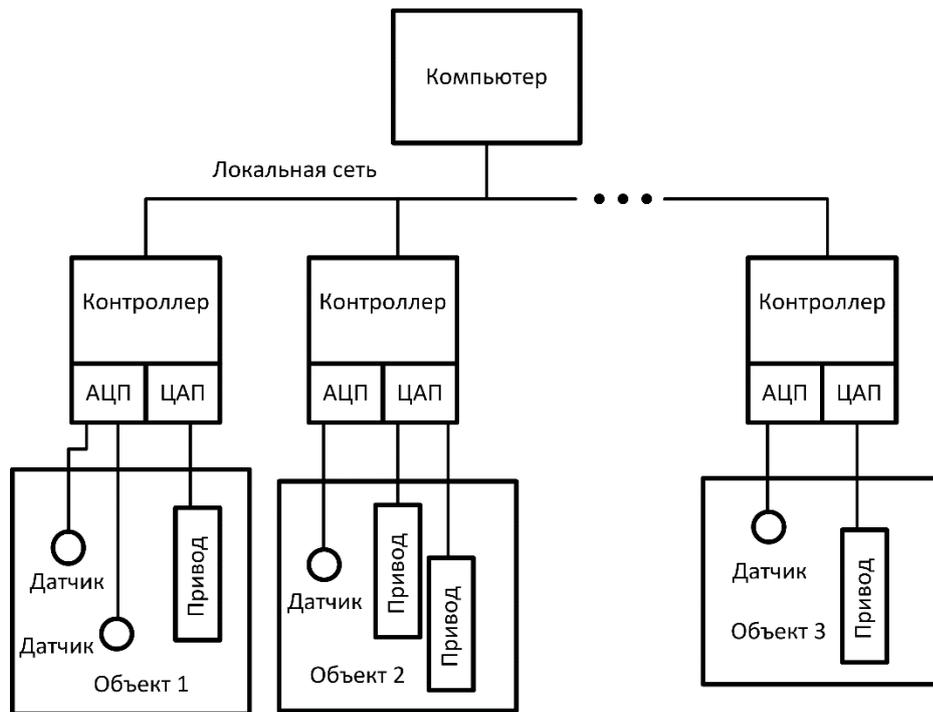


Рис.3 Распределенная система

Класс решаемых при помощи компьютерно-интегрированных технологий задач постоянно расширяется. В последнее время все более широкое применение находят глобально распределенные системы – системы в которых объекты контроля отстоят на значительные расстояния – расстояния, которые уже не ограничены какими-либо пределами. Такие системы строятся по схеме, представленной на следующем рисунке. Они, в основном, являются измерительными.

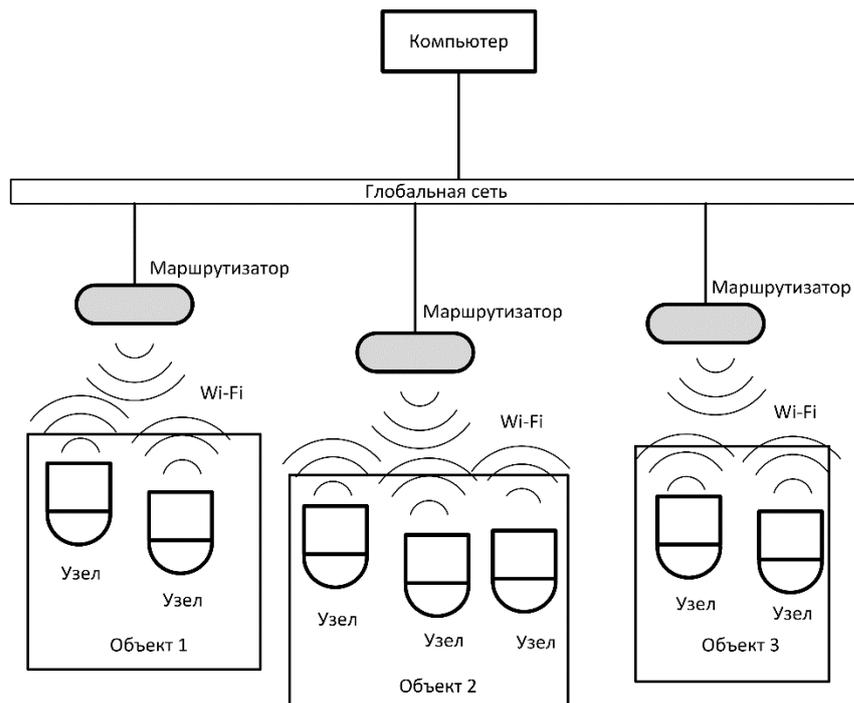


Рис. 4 Глобально распределенная система

Как можно видеть, системы, реализующие компьютерно-интегрированные технологии, в основном строятся с применением таких аппаратных средств:

- компьютер и/или контроллер,
- аналогово-цифровой преобразователь (АЦП),
- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП),
- датчики (или "узлы"),
- исполнительные устройства (или привода),
- локальная сеть,
- глобальная сеть.

Содержание курса

В данном курсе "Комп'ютерно-інтегровані системи контролю" будут рассмотрены аппаратные средства, необходимые для реализации функций контроля сосредоточенными системами на основе компьютерно-интегрированных технологий (часть системы, изображенной на фоне зеленого прямоугольника на рисунке 2): датчики, согласующие устройства и аналогово-цифровые преобразователи. Также будут представлены общие сведения об устройстве и функционировании компьютера. Кроме того, будут рассмотрены программные средства, под управлением которых функционируют аппаратные средства. В ходе изучения курса будут представлены основные сведения о функционировании общего, прикладного и инструментального программного обеспечения, используемого для построения компьютерно-интегрированных систем контроля.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. Что такое измерение?
2. Что такое контроль?
3. Что такое управление?
4. В чем отличие измерения и контроля?
5. Как связан контроль с измерением и управлением?
6. При проведении технического контроля какая информация называется первичной?
7. При проведении технического контроля какая информация называется вторичной?
8. Какие действия необходимы для осуществления управления?
9. Какие составляющие части должна включать в себя любая система управления?
10. Опишите работу простейшей системы наполнения резервуара водой.
11. Представьте на рисунке функциональную схему сосредоточенной управляющей системы.
12. Представьте на рисунке функциональную схему распределенной управляющей системы.
13. Представьте на рисунке функциональную схему глобально распределенной измерительной системы.
14. Перечислите основные аппаратные средства компьютеризированных систем управления и контроля.

Уровень курса

1. Основные понятия: измерение, контроль, управление и их содержание.
2. Архитектура сосредоточенной компьютерно-интегрированной системы.

Лекція № 2

Тема: Первичные преобразователи и датчики: термины и определения.
Классификация датчиков.

Оглавление

Объект	3
Физическая величина.....	3
Преобразователи	4
Датчики	5
Измерительные устройства, приборы, системы	6
Характеристики средств измерительной техники	7
Классификация датчиков, основные требования к ним.....	8
Параметрические датчики.....	10
Омические (резистивные) датчики	11
Индуктивные датчики	11
Емкостные датчики.....	11
Датчики – генераторы.....	11
Индукционные датчики.....	12
Термоэлектрические преобразователи (термопары).....	12
Пьезоэлектрические датчики	12
Приложение 1	13
Контрольные вопросы по теме	17
Уровень модуля.....	17
Уровень курса.....	18

Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

Объект

Объект – это явление или часть внешнего или внутреннего мира, которые наблюдает или может наблюдать человек в данный момент.

Материальный объект – это предмет материального исследования, сведения о котором нужны исследователю.

Объект измерения или контроля – это материальный объект или процесс, совокупность свойств которого определяет содержание ожидаемой информации. Объект измерения или контроля характеризуется измеряемыми физическими величинами или зависимостями между ними.

Физическая величина

Окружающая нас реальность представлена объектами, свойствами и явлениями материального и духовного мира. Объектом материального мира, например, является пространство, а его свойством — протяженность. Последняя может характеризоваться различными способами. Общепринятой характеристикой (мерой) пространственной протяженности служит *длина*. Однако протяженность реального физического пространства является сложным свойством, которое не может характеризоваться только длиной. Для полного описания пространства рассматривается его протяженность по нескольким направлениям (координатам) или дополнительно используются такие меры, как *угол*, *площадь*, *объем*. Это связано с тем, что пространство является многомерным.

Любые события и явления в реальном мире происходят не мгновенно, а имеют некоторую длительность. Это свойство окружающего нас мира качественно отличается от пространственной протяженности. Его также можно характеризовать по-разному, но общепринятой мерой здесь является *время*.

Свойство тел сохранять при отсутствии внешних воздействий состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется инертностью. Мерой инертности служит *масса*.

Свойство тел, состоящее в том, что они нагреты до некоторого состояния, качественно отличается от предыдущего. Оно могло бы характеризоваться средней скоростью теплового движения молекул, но распространение получила другая мера нагретости тел, называемая термодинамической *температурой*.

Общепринятые или установленные законодательным путем характеристики (меры) различных свойств, общие в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальные для них, называются *физическими величинами*. Кроме

вышеперечисленных длины, времени, массы и температуры к ним относятся *плоский и телесный угол, скорость, ускорение, сила и давление, мощность и энергия, яркость, освещенность, сила электрического тока, напряженность электрического поля* и многие другие.

Объектами измерений являются физические величины (ФВ). **Физическая величина** трактуется как одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Преобразователи

В литературе достаточно широко используются термины «измерительное преобразование», «измерительный преобразователь», «датчик», «чувствительный элемент», «сенсор», «измерительный прибор», «средство измерений», а их определения – самые разнообразные. Например:

Преобразователями называют устройства, которые преобразуют одни физические величины, один вид энергии, один вид информации в другую физическую величину, в другой вид энергии или в другой вид информации. В широком смысле преобразователь – это, например, устройство, преобразующее давление в электрический сигнал (датчик давления), напряжение одного уровня в напряжение другого (трансформатор), электрическое напряжение во вращение вала (электродвигатель), энергию в движение (самолет, автомобиль) и т.д. Даже живой организм – это тоже своеобразный преобразователь.

Измерительное преобразование – это преобразование входного измерительного сигнала в функционально связанный с ним выходной сигнал.

Измерительный преобразователь (ИП) – техническое средство, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

ИП или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.), или применяется вместе с каким-либо средством измерений. По характеру преобразования различают *аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые* преобразователи. По месту в измерительной цепи различают *первичные и промежуточные преобразователи*. Выделяют также *масштабные и передающие преобразователи*.

Первичный измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая

физическая величина, т.е. первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки, системы).

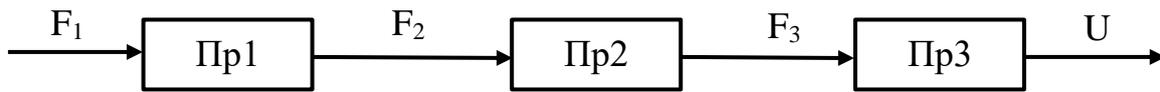


Рис. 1 Функциональная схема датчика: Пр1, Пр2, Пр3 – преобразователи (Пр1 – первичный преобразователь); F_1 – входная физическая величина; F_2, F_3 – промежуточные физические величины; U – выходной электрический сигнал

Чувствительный элемент – конструктивный элемент или прибор, воспринимающий измеряемую физическую величину. Чувствительный элемент является первичным измерительным преобразователем в измерительной цепи и осуществляет преобразование входного сигнала (измеряемой величины) в величину, удобную для последующей информационной обработки.

В различных областях техники чувствительный элемент называют сенсором, детектором, датчиком, приемником, зондом или измерительной головкой.

Датчики

Датчик является обязательным элементом измерительных приборов, систем контроля и регулирования и т.п. Без датчиков невозможны ни измерение, ни контроль, ни регулирование.

Датчик – это преобразователь измеряемой (контролируемой) физической величины в величину, удобную для дальнейшего преобразования или измерения.

Понятие датчик имеет целый ряд различных определений. Разные специалисты зачастую по-разному трактуют это понятие. Тем не менее, это абсолютно не мешает применять датчики для проведения самых различных измерений. Важно понимать, что такие различия существуют. Ниже приведены некоторые примеры отличающихся подходов к тому, что же называть датчиком.

Под датчиком чаще всего понимают конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (он "дает" информацию). Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы.

Датчиком иногда называют средство измерений, представляющее собой конструктивно завершённое устройство, размещаемое в процессе измерения непосредственно в зоне исследуемого объекта, которое выполняет функцию

измерительного преобразователя. В таком датчике имеется сразу несколько преобразователей. Многие современные датчики обладают автономными источниками питания, имеют цифровой выход или даже оснащены устройством беспроводной связи, что позволяет им передавать информацию об объекте непосредственно в сеть.

В английском языке слово «sensor» означает «сенсор», «датчик», «чувствительный элемент».

В технической терминологии понятия сенсор, датчик, чувствительный элемент, первичный измерительный преобразователь, детектор, приемник достаточно близки и на практике зачастую заменяют друг друга.

Для построения датчиков используется значительное (более 500) количество физических эффектов (принципов). Некоторые из них приведены в приложении 1. Развитие, совершенствование датчиков в значительной степени определяется достижениями в области физики, химии, физической химии, механики, радиотехники и других наук. Особое место в развитии датчиков занимают достижения и возможности современных технологий.

Принципы действия датчиков могут быть самыми разнообразными в зависимости от физической природы измеряемой величины, ее абсолютного значения, требуемой точности преобразования и т.п. Однако в подавляющем большинстве случаев преобразование входных физических величин в соответствующие выходные сигналы связано с преобразованием энергии, в том числе преобразованием энергии одного вида в другой. Любой датчик является преобразователем энергии. Вне зависимости от типа измеряемой величины всегда происходит передача энергии от исследуемого объекта к датчику. Работа датчика – это особый случай передачи информации, а любая передача информации связана с передачей энергии.

Измерительные устройства, приборы, системы

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

По способу индикации значений измеряемой величины измерительные приборы разделяют на *показывающие* и *регистрирующие*. По действию измерительные приборы разделяют на *интегрирующие* и *суммирующие*. Различают также *приборы прямого действия* и *приборы сравнения, аналоговые* и *цифровые приборы, самопишущие* и *печатающие приборы*

Измерительная система (ИС) – 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.

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на *измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы* и др. 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

Измерительная цепь – совокупность элементов средств измерений, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода. Измерительную цепь измерительной системы называют измерительным каналом.

Измерительное устройство – часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Измерительные устройства, приборы, системы в целом относятся к **средствам измерительной техники** (СИТ).

Характеристики средств измерительной техники

Градуировочная характеристика средства измерения – зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально. Градуированная характеристика может быть выражена в виде формулы, графика или таблицы

Смещение нуля – показание средства измерений, отличное от нуля, при входном сигнале, равном нулю. Различают *смещение механического нуля*, наблюдаемое как отклонение указателя от нуля шкалы приборов с механическими указателями, и *смещение электрического нуля*, наблюдаемое как существование выходного сигнала при нулевом входном сигнале приборов.

Дрейф показаний средства измерений – изменение показаний средства измерений во времени, обусловленное изменением влияющих величин или других факторов.

Чувствительность средства измерений – свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Различают *абсолютную* и *относительную чувствительность*. *Абсолютную* чувствительность определяют по формуле $S = \Delta l / \Delta x$, *относительную чувствительность* - по формуле $S_0 = \Delta l / (\Delta x / x)$, где Δl - изменение сигнала на выходе, x - измеряемая величина, Δx - изменение измеряемой величины.

Порог чувствительности средства измерений – характеристика средства измерений в виде наименьшего значения изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством. Например, если самое незначительное изменение массы, которое вызывает перемещение стрелки весов, составляет 10 мг, то порог чувствительности весов равен 10 мг.

Зона нечувствительности средства измерений – диапазон значений измеряемой величины, в пределах которого ее изменения не вызывают выходного сигнала средства измерений. Иногда зону называют мертвой. Она наблюдается вблизи некоторых радионавигационных систем или измерительных установок. Например, зона нечувствительности у судовой радиолокационной установки, зависящая от размеров судна и высоты антенны радиолокационной установки над судовыми надстройками

Разрешение средства измерений – характеристика средства измерений, выражаемая наименьшим интервалом времени между отдельными импульсами или наименьшим расстоянием между объектами, которые фиксируются прибором раздельно. Исходя из указанного определения различают временное разрешение и пространственное разрешение

Классификация датчиков, основные требования к ним

Автоматизация различных технологических процессов, эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин.

Датчик – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы. Или проще, датчик – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть классифицированы по различным признакам:

В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура – 50%, расход (массовый и объемный) – 15%, давление – 10%, уровень – 5%, количество (масса, объем) – 5%, время – 4%, электрические и магнитные величины – менее 4%.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают *неэлектрические* и *электрические*: датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения), датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

Большинство датчиков являются электрическими. Это обусловлено следующими достоинствами электрических измерений:

- электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью;
- электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот;
- они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.

По принципу действия датчики можно разделить на два класса: *генераторные* и *параметрические* (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал.

Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра (R, L или C) датчика.

По принципу действия датчики также можно разделить на омические, реостатные, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и др.

Различают три класса датчиков:

- аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1); получили широкое распространение благодаря своей простоте.

Классификация датчиков	Измеряемые величины																										
	Перемещение	Положение	Скорость	Ускорение	Сила	Нагрузка	Растяжение	Крутящий момент	Лин. и круг. преобразования	Вибрация	Поток	Температура	Давление	Вакуум	Относительная влажность	Атомный контур	Газовая концентрация	Состояние крови, pH	Оптические поля	ИК излучения	Магнитные поля	Акустические поля	Аудиополя и шум	Рентгенография	Неразрушающий контроль	Измерения угловой скорости	Счетчики Гейгера-Мюллера
Емкостные	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Индуктивные	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Электромагнитные	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Резистивные	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Тензодатчики	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Датчики деформации	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Терморезисторы	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Термисторы	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Магниторезисторы и датчики Холла	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Датчики на химич. полевых транзисторах	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Волноводные датчики	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Пьезодатчики	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Преобразователи Доплера	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Полимерные датчики	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Датчики на ПАВ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Туннельные преобразователи	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Термодинамические датчики	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ионизирующие датчики	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Фотонные преобразователи	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Оптоэлектронные (физ) преобразователи	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Оптоэлектронные (хим) преобразователи	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Требования, предъявляемые к датчикам:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

Параметрические датчики

Параметрические датчики (датчики-модуляторы) входную величину X преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра (R , L или C) датчика. Передать на расстояние изменение перечисленных параметров датчика без энергонесущего сигнала (напряжения или тока) невозможно. Выявить изменение соответствующего параметра датчика только и можно по реакции датчика на ток или напряжение, поскольку перечисленные параметры и характеризуют эту реакцию. Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.

Омические (резистивные) датчики

Омические (резистивные) датчики – принцип действия основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины l , площади сечения S или удельного сопротивления ρ :

$$R = \rho l / S$$

Кроме того, используется зависимость величины активного сопротивления от контактного давления и освещённости фотоэлементов. В соответствии с этим омические датчики делят на: *контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные.*

Индуктивные датчики

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал.

Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение X (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности (L) датчика. Применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров и т.д.

Емкостные датчики

Принцип действия емкостных датчиков основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

Датчики – генераторы

Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины X в электрический сигнал. Такие датчики преобразуют энергию источника входной (измеряемой) величины сразу в электрический сигнал, т.е. они являются как бы генераторами электроэнергии (откуда и название таких датчиков - они генерируют электрический сигнал).

Дополнительные источники электроэнергии для работы таких датчиков принципиально не требуются (тем не менее дополнительная электроэнергия может потребоваться для усиления выходного сигнала датчика, его преобразования в другие виды сигналов и других целей). Генераторными являются термоэлектрические, пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические и многие другие типы датчиков.

Индукционные датчики

Индукционные датчики преобразуют измеряемую неэлектрическую величину в ЭДС индукции. Принцип действия датчиков основан на законе электромагнитной индукции. К этим датчикам относятся тахогенераторы постоянного и переменного тока, представляющие собой небольшие электромашинные генераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала генератора. Тахогенераторы используются как датчики угловой скорости.

Термоэлектрические преобразователи (термопары)

Принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте, который состоит в том, что при наличии разности температур мест соединений (спаев) двух разнородных металлов или полупроводников в контуре возникает электродвижущая сила, называемая термоэлектродвижущей (сокращенно термо-ЭДС). В определенном интервале температур можно считать, что термо-ЭДС прямо пропорциональна разности температур $\Delta T = T_1 - T_0$ между спаями на концах термопары.

Пьезоэлектрические датчики

Действие пьезоэлектрических датчиков основано на использовании пьезоэлектрического эффекта (пьезоэффекта), заключающегося в том, что при сжатии или растяжении некоторых кристаллов на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе.

Приложение 1

Физические эффекты, используемые для построения датчиков

<i>N n/n</i>	<i>Название эффекта</i>	<i>Краткое содержание эффекта</i>
1	Акустический парамагнитный резонанс	Резонансное поглощение энергии ультразвуковой волны определенной частоты при ее прохождении сквозь парамагнитный кристалл, который находится в постоянном магнитном поле
2	Вентильный фотоэффект	Возникновение электродвижущей силы в системе, которая включает контакт двух разных полупроводников или полупроводника и металла, при поглощении оптического излучения
3	Вихревые токи (токи Фуко)	Возникновение замкнутых электрических токов в массивном электропроводнике при изменении интенсивности магнитного потока, который пересекает его
4	Гальваноупругий магнитный эффект	Изменение электрического сопротивления ферромагнетика, размещенного в магнитном поле, при воздействии одностороннего упругого напряжения растяжением или сжатием
5	Действие магнитного поля на контур с электрическим током	Вращение рамки с током под действием вращательного момента, который возникает при размещении рамки в однородном магнитном поле
6	Электротепловой эффект	Изменение температуры пьезоэлектрического кристалла под воздействием электрического ПОЛЯ
7	Электростатическая индукция	Возникновение на поверхности проводника или диэлектрика одинаковых и противоположных по знаку зарядов под действием внешнего электрического ПОЛЯ
8	Электромагнитная индукция	Возникновение электродвижущей силы индукции в электропроводящем контуре при изменении во времени магнитного потока через ограниченную контуром поверхность
9	Эффект Зеебека	В электрической цепи из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми имеют разные температуры, возникает электродвижущая сила
10	Эффект Томсона	В проводнике с током, вдоль которого имеется градиент температуры, выделяется или поглощается теплота (кроме выделения джоулевой теплоты)
11	Эффект Пельтье	При протекании электрического тока через контакт разнородных металлов в нем выделяется или поглощается теплота
12	Эффект Холла	Между боковыми гранями пластины из металлического проводника или полупроводника, вдоль которого протекает электрический ток, при действии перпендикулярного магнитного ПОЛЯ возникает разница потенциалов
13	Электрострикция	Деформация диэлектрика под воздействием внешнего электрического поля, пропорциональная квадрату напряженности поля
14	Эффект Фарадея	Вращение плоскости поляризации линейно поляризуемого света, который распространяется в изотропном веществе вдоль постоянного магнитного поля, в котором находится это вещество
15	Эффект Нерста	Возникновение продольного градиента температуры в проводнике с током, который находится в магнитном поле

16	Эффект Нерста-Эттингсхаузена	Возникновение электрического поля в твердом проводнике при наличии градиента температуры и перпендикулярного к нему магнитного поля
17	Эффект Риги-Ледюка	Возникновение вторичной разности температур в проводнике с перепадом температуры, размещенном в магнитном поле перпендикулярно к тепловому потоку
18	Закон Кулона	Взаимодействие двух заряженных тел с силой, пропорциональной произведению их зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними
19	Закон всемирного тяготения	Действие на тело, которое находится в произвольной точке гравитационного поля, создаваемого массой тела, силы гравитации, которая зависит от массы этого тела, и напряженности гравитационного поля
20	Закон Ампера	Возникновение механической силы, которая действует на проводник с током, при перемещении проводника во внешнем магнитном поле
21	Закон Ома	Возникновение в проводнике электрического тока, плотность которого пропорциональна напряженности поля
22	Закон Био-Савара-Лапласа	При протекании по электропроводнику электрического тока вокруг него в пространстве возникает магнитное поле
23	Обратный пьезоэлектрический эффект	В анизотропных кристаллических диэлектриках под действием электрического поля возникает механическая деформация
24	Закон Джоуля-Ленца	В электропроводнике выделяется тепловая энергия, количество которой пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока
25	Закон Фарадея	Количество вещества, которое выделяется или разлагается на электроде при электролизе, пропорционально количеству электричества (произведению силы тока на время электролиза), которое прошло через поверхность контакта электрода с раствором
26	Зависимость Нерста равновесного потенциала электрода от концентрации вещества	Равновесный потенциал металлического электрода в растворе неорганического вещества пропорционален газовой постоянной, температуре и логарифму концентрации вещества и обратно пропорционален заряду иона и константе Фарадея
27	Зависимость электропроводности жидкого вещества от ее концентрации	Электропроводность жидкого вещества в определенном объеме пропорциональна площади электрода и удельной электропроводности вещества и обратно пропорциональна длине электрода
28	Зависимость температуры плавления твердого тела от внешнего давления	Изменение температуры плавления кристаллических веществ при увеличении внешнего давления. Если удельный объем жидкой фазы больше, чем твердой, то температура плавления увеличивается
29	Зависимость электрического сопротивления твердого тела от давления	Изменение электрического сопротивления твердого тела при изменении внешнего давления в области высоких температур. В большинстве веществ электрическое сопротивление уменьшается с увеличением давления

30	Зависимость показателя преломления газов от плотности	Увеличение показателя преломления газа с увеличением его плотности. Зависимость является квадратичной
31	Зависимость показателя преломления газов от давления	Увеличение показателя преломления газа при увеличении его давления. Зависимость в широком диапазоне изменений давления описывается полиномом некоторой степени
32	Зависимость модуля упругости металлов от температуры	Уменьшение модуля упругости металлов с увеличением температуры
33	Зависимость границы текучести металлов и сплавов от температуры	Уменьшение границы текучести металлов и сплавов с ростом температуры. Зависимость является близкой к экспоненциальной
34	Зависимость плотности металлов от температуры при переходе через точку плавления	Скачкообразное уменьшение плотности металлов с увеличением температуры вблизи температуры плавления
35	Звуколюми-несценция	Свечение жидкости под действием интенсивной акустической волны (при акустической кавитации)
36	Ионизация газа под действием электрического поля	Под действием сильного электрического поля атомы и молекулы газа превращаются в положительные и отрицательные ионы и свободные электроны
37	Ионизация газа рентгеновским излучением	Возникновение положительных и отрицательных ионов и свободных электронов в газе под действием электромагнитного излучения рентгеновского диапазона
38	Катодолюминесценция	Излучение света, который возникает при возбуждении люминофора электронным пучком
39	Магниторезистивный эффект	Изменение электрического сопротивления твердых проводников под действием магнитного поля
40	Магнитострикция	Изменение формы и размеров тела при его намагничивании
41	Магнитный гистерезис	Неоднозначная зависимость намагниченности ферромагнитного тела от напряженности внешнего магнитного поля. При циклическом изменении напряженности поля кривая изменения намагниченности имеет вид петли магнитного гистерезиса
42	Намагничивание тел	Возникновение или изменение намагниченности вещества при действии на него внешнего магнитного поля. Диамагнетики намагничиваются против поля, пара- и ферромагнетики - в направлении поля
43	Пьезоэлектрический эффект	Изменение поляризации некоторых кристаллических диэлектриков (пьезоэлектриков) при механической деформации
44	Пьезомагнитный эффект	Возникновение в веществе намагниченности под действием внешнего давления
45	Пироэлектрический эффект	Возникновение электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллических диэлектриков (пироэлектриков) при их нагревании или охлаждении

46	Поверхностный эффект	Переменный ток в электропроводнике неравномерно распределяется по площади его сечения. Неравномерность плотности тока увеличивается с увеличением частоты тока и площади сечения проводника
47	Поглощение звука	Уменьшение интенсивности акустической волны, которая проходит сквозь вещество, в результате необратимого перехода энергии волны в другие виды энергии, в частности, в теплоту
48	Поглощение света	Уменьшение интенсивности электромагнитного излучения при прохождении сквозь вещество
49	Поляризация диэлектриков	Возникновение объемного дипольного момента диэлектрика под действием электрического поля. На поверхности диэлектрика появляются связанные поляризуемые заряды
50	Сверхпроводимость	Скачкообразное уменьшение практически до нуля электрического сопротивления ряда металлических проводников и сильнолегированных полупроводников при охлаждении ниже критической температуры, характерной для данного материала
51	Сила Лоренца	Действие на заряженную частицу, которая движется в магнитном поле, силы, перпендикулярной к вектору магнитной индукции поля и вектору скорости движения частицы
52	Тензорезистивный эффект	Изменение электрического сопротивления в твердых электропроводниках под действием растягивающих или сжимающих напряжений
53	Тепловое расширение тел	Изменение размеров тела при его нагревании. Характеризуется коэффициентом линейного (для твердых тел) или объемного (для жидких и газообразных тел) теплового расширения
54	Термоэлектронная эмиссия	Излучение электронов нагретыми телами в вакуум или другую среду
55	Терморезистивный эффект	Изменение электрического сопротивления электропроводных тел при изменении их температуры. В металлических проводниках сопротивление растет с ростом температуры, в жидких электролитах и полупроводниках - уменьшается
56	Фотоэлектронная эмиссия (внешний фотоэффект)	Излучение электронов твердыми телами и жидкостями в вакуум или другую среду под действием электромагнитного излучения

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. Дайте определение понятию "объект".
2. Дайте определение понятию "материальный объект".
3. Дайте определение понятию "объект измерения или контроля".
4. Что такое физическая величина?
5. Приведите примеры физических величин.
6. Какой прибор называется измерительным?
7. Что такое измерительная система?
8. В чем отличие измерительной системы от измерительного прибора?
9. Что такое измерительная цепь?
10. Что называют измерительным каналом?
11. Что называется измерительным преобразователем?
12. Какой измерительный преобразователь называют первичным?
13. Что такое датчик?
14. Какое устройство называют чувствительным элементом?
15. Дайте определение понятию "градуировочная характеристика" средства измерения.
16. В каком виде может быть представлена градуировочная характеристика?
17. Что такое "смещение нуля"?
18. Какую характеристику средства измерения называют чувствительностью?
19. Какая характеристика средства измерения называется разрешением?
20. Приведите примеры разделения датчиков в зависимости от вида входной (измеряемой) величины?
21. Как разделяются датчики по виду выходной величины?
22. Укажите преимущества преобразования входной (измеряемой) величины в электрическую величину?
23. Как разделяются электрические датчики по принципу действия?
24. Какие датчики называются генераторными?
25. Какие датчики называются параметрическими?
26. Какой электрический параметр может изменяться в параметрическом датчике?
27. Какие требования предъявляются к датчикам?
28. На чем основывается принцип действия омических (резистивных) датчиков?
29. Для каких целей служат индуктивные датчики?
30. В чем состоит принцип действия емкостных датчиков?

31. На чем основан принцип действия индукционных датчиков?
32. Приведите пример индукционного датчика.
33. В чем состоит термоэлектрический эффект?
34. Термо-ЭДС прямо- квадратично- или кубично- пропорциональна разности температур между спаями на концах термопары?
35. В чем заключается явление пьезоэффекта?

Уровень курса

1. Физическая величина как свойство объекта.
2. Преобразование физических величин, измерительные преобразователи. Определения.
3. Измерительные устройства, приборы и системы. Определения.
4. Характеристики средств измерительной техники.
5. Классификация датчиков.
6. Классы датчиков: параметрические и генераторные датчики.

Лекція № 3

Тема: Резистивные методы измерения температуры.

Оглавление

Терморезистивные преобразователи температуры	3
Терморезисторы на основе металлов	3
Основные характеристики терморезисторов на основе металлов ...	3
Конструкция чувствительных элементов терморезистивных преобразователей температуры на основе металлов.....	6
Металлопленочные терморезисторы	8
Полупроводниковые терморезистивные преобразователи	8
Термисторы.....	9
Позисторы.....	10
Полупроводниковые терморезисторы на основе нитевидных кристаллов.....	10
Подключение терморезисторов к измерительной схеме	11
Двухпроводная схема подключения терморезисторов	11
Трёхпроводная схема подключения терморезисторов	12
Четырёхпроводная схема подключения терморезисторов	13
Контрольные вопросы по теме	14
Уровень модуля.....	14
Уровень курса.....	14

Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.

4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

Терморезистивные преобразователи температуры

В современном промышленном производстве наиболее распространенными являются измерения температуры (так, на атомной электростанции среднего размера имеется около 1500 точек, в которых производится такое измерение, а на крупном предприятии химической промышленности подобных точек присутствует свыше 20 тыс.). Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют многообразие применяемых средств измерения температуры.

Терморезисторы – это резистивные элементы, изготовленные из проводникового или полупроводникового материала с положительным или отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Принцип действия терморезисторов основывается на зависимости их сопротивления от температуры.

Терморезисторы на основе металлов

Основные характеристики терморезисторов на основе металлов

Для создания терморезисторов используют материалы, которые имеют стабильный ТКС, воспроизводимость электрического сопротивления при данной температуре, большое удельное сопротивление, стабильные химические и физические свойства при нагревании, инертные к влиянию исследуемой среды.

Из проводниковых материалов широко применяется платина, медь, никель. Среди них выделяется **платина**. Этот благородный металл даже при высоких температурах в окислительной среде не изменяет своих физических и химических свойств. Температурный коэффициент сопротивления в диапазоне 0...100°C имеет приблизительно $1/273 \text{ K}^{-1}$, удельное сопротивление при 20°C равняется 0,105 Ом мм²/м, интервал измеряемых температур достигает -260... ...+1300 °C.

Температурная зависимость сопротивления платины в диапазоне 0...650 °C описывается уравнением:

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2)$$

где R_T , R_0 – сопротивления преобразователя при температуре T °C и 0 °C; A и B – постоянные коэффициенты (для платинового провода, который применяется в промышленных термопреобразователях температуры,

$$A = 3,9702 \cdot 10^{-3} 1/\text{K}, \quad B = -5,8893 \cdot 10^{-7} 1/\text{K}.$$

В інтервалі температур $-250...0^{\circ}\text{C}$ залежність опору платини від температури має вигляд:

$$R_T = R_0 [1 + AT + BT^2 + C (T - 100)^3],$$

де $C = -4,356 \cdot 10^{-12} \text{ 1/K}$ – постійний коефіцієнт.

В інтервалі температур від -200 до $+650^{\circ}\text{C}$ приведені залежності є точною апроксимацією функції перетворення платинових перетворювачів температури, в результаті чого їх використовують як еталонні для відтворення Міжнародної температурної шкали. К недолікам платинових перетворювачів температури належать достатньо висока забруднюваність платини при високих температурах парами металів (особливо кремнію і заліза), порівняно невисока хімічна стійкість в відновительній середі, в результаті чого вона стає крихкою, втрачає стабільність характеристик.

Мідь широко застосовується в перетворювачах температури в інтервалі $-40 \dots +180^{\circ}\text{C}$. Температурний коефіцієнт опору міді $\alpha_T = 1/234,7 \text{ K}^{-1}$, залежність електричного опору від температури – лінійна:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha_T T)$$

К недолікам мідних перетворювачів температури належать висока окислюваність міді при нагріванні, тому терморезистори з міді застосовуються в вказаному, порівняно вузькому, діапазоні температур в середовищах з низькою вологістю і при відсутності агресивних газів. Крім платини і міді для чутливих елементів термперетворювачів температури застосовують нікель, вольфрам і інші чисті метали (табл. 1).

Таблиця 1

Некоторые физические свойства материалов терморезистивных преобразователей (при 20°C)

Материал	ТКС $\times 10^{-3}$	Удельное сопротивление, Ом $\text{мм}^2/\text{м}$	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$
Платина	3,91	0,105	1773
Мідь	4,28	0,017	1083
Нікель	6,3-6,6	0,068	1455
Вольфрам	4,82	0,055	3410
Молибден	4,57	0,052	2630
Рений	3,11	0,211	3170
Родій	4,57	0,047	1960
Графіт	0,02	46,0	3870
Платинородій	1,21	0,160	1900

Никель – химически стойкий материал даже при высоких температурах, но имеет сложную зависимость сопротивления от температуры и невысокую ее воспроизводимость. В интервале температур (-50...+ 180) °С температурная зависимость сопротивления такова:

$$R_m = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3)$$

где $A = 0,00547$ 1/К, $B = 0,639 \times 10^{-5}$ 1/К; $C = 0,69 \times 10^{-8}$ 1/К – постоянные коэффициенты.

Тугоплавкие металлы – вольфрам, молибден, тантал и ниобий – имеют ограниченное применение. Влияние рекристаллизации и роста зерен в результате действия температуры делает чувствительный элемент из этих материалов хрупким и потому чувствительным к механическим вибрациям.

Наиболее распространенными являются терморезистивные преобразователи с платиновыми и медными чувствительными элементами. Первые предназначены для преобразования температуры в интервале от -260 до +1000 °С, вторые – от -200 до +200 °С.

Таблица 2

Основные характеристики терморезистивных преобразователей температуры

Тип преобразователя	Диапазон измеряемых температур, °С	Класс допуска	Границы допустимого отклонения НСХ, °С
Платиновый ТСР 1П ($R_0 = 1$ Ом) 10П ($R_0 = 10$ Ом) 50П ($R_0 = 50$ Ом) 100П ($R_0 = 100$ Ом) 500П ($R_0 = 500$ Ом)	-260...+850 (-200...+ 1100)	А	$\pm(0,15 + 0,002 t)$ от -200 до 850
		В	$\pm(0,3 + 0,005 t)$ от -200 до 1100
		С	$\pm(0,6 + 0,008 t)$ от -100 до +300
Медный ТСМ 10М ($R_0 = 10$ Ом) 50М ($R_0 = 50$ Ом) 100М ($R_0 = 100$ Ом)	-200...+200	А	$\pm(0,15 + 0,002 t)$ от -50 до +120
		В	$\pm(0,25 + 0,0035 t)$ от -200 до +200
		С	$\pm(0,5 + 0,0065 t)$ от -200 до +200
Никелевый ТСН 100Н ($R_0 = 100$ Ом)	-60...+ 180	С	$\pm(0,3 + 0,0165 t)$ от -60 до 0 $\pm(0,3 + 0,008 t)$ от 0 до 180

Стандартами на терморезистивные преобразователи нормируются пределы допустимых отклонений номинальных статических характеристик (НСХ), допустимые отклонения сопротивления R_0 при температуре 0 °С в

процентах от номинального значения, а также допустимые отклонения отношений сопротивления R_{100} при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ к сопротивлению R_0 при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (данное отношение обозначается W_{100}).

Основными источниками погрешностей терморезистивных преобразователей температуры является неточность подгонки R_0 и отклонение R_{100} от номинального значения, а также нестабильность этих параметров во время эксплуатации, причем изменения значения R_0 и W_{100} от длительности работы зависят также от измеряемой температуры.

Нестабильность терморезистивных преобразователей объясняется изменением значений R_0 и W_{100} в результате загрязнения чувствительного элемента конструкционными материалами. Погрешности, которые возникают за счет изменения R_0 и W_{100} , имеют разные знаки, поэтому происходит их частичная компенсация.

Конструкция чувствительных элементов терморезистивных преобразователей температуры на основе металлов

Конструкции чувствительных элементов (ЧЭ) терморезистивных преобразователей температуры в зависимости от пределов измеряемых температур, условий эксплуатации, и т.п., очень разнообразны.

На рис. 1, а показана конструкция платинового терморезистивного преобразователя температуры, которая не имеет специальной защитной арматуры. Чувствительный элемент 1 такого преобразователя выполнен из ленточной платины, навитой на трубчатый изоляционный каркас 2 из специального стекла. Для защиты от механических повреждений чувствительный элемент покрыт внешней изоляцией 3. Преобразователь предназначен для измерений относительно невысоких температур, поскольку при высоких температурах значительно ухудшаются изоляционные свойства стекла, а тепловое расширение стеклоизоляции при ее нагревании приводит к нежелательным механическим напряжениям.

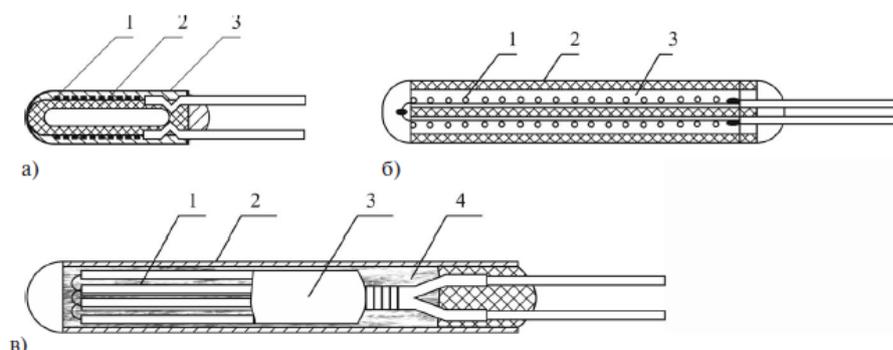


Рис. 1. Конструкции чувствительных элементов терморезистивных преобразователей

Чувствительный элемент платинового терморезистивного преобразователя температуры (рис. 1, б) имеет вид спирали 7, размещенной в канавках двух- или четырехканального керамического каркаса 2, уплотненной порошкообразным окислом алюминия 3. Окисел алюминия является хорошим электрическим изолятором, имеет большую теплостойкость и хорошую теплопроводность, а также ингибиторные свойства. Платиновая спираль к каркасу крепится с помощью глазури на основе окислов алюминия и кремния.

Чувствительный элемент медного термопреобразователя сопротивления – бескаркасная обмотка 7 из медного изолированного провода (рис. 1, в), сверху покрытая фторопластовой пленкой 3. Для обеспечения необходимой механической прочности обмотка помещается в тонкостенную металлическую гильзу 2, засыпается керамическим порошком 4 и герметизируется.

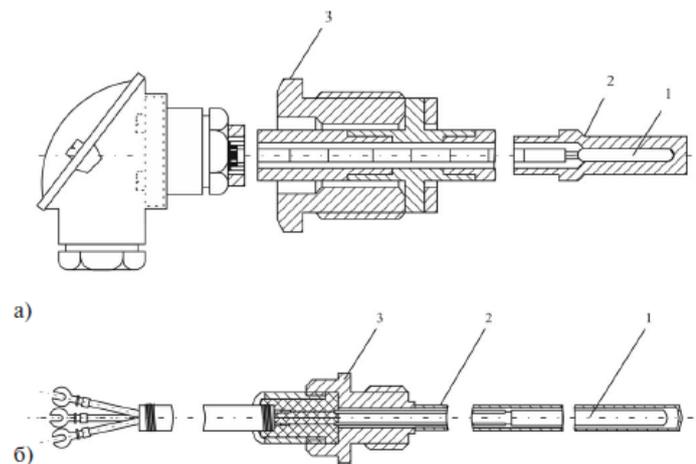


Рис. 2. Разновидности промышленных терморезистивных датчиков температуры

На рис. 2 показаны две конструктивные разновидности стержневого погружаемого терморезистивного преобразователя. Для защиты от влияния внешних механических факторов чувствительный элемент 7 помещают в защитную арматуру 2 (обычно из нержавеющей стали). Для крепления преобразователя на объекте измерения предусмотрен подвижный или неподвижный штуцер 3. Выводы чувствительного элемента выносят на клеммную колодку головки преобразователя (рис. 2, а), а в преобразователях без головки (рис. 2, б) они заканчиваются контактными наконечниками.

Кроме погружаемых выпускаются также терморезистивные преобразователи температуры специального назначения, например, для измерения температуры оборотных поверхностей и др.

Металлопленочные терморезисторы

Использование тонкопленочной технологии в производстве терморезисторов открывает новые возможности, позволяет получить разные пленочные материалы с заданными свойствами, упрощает технологию изготовления термопреобразователей на их основе. Напыление в вакууме позволяет получить пленочные структуры металл–диэлектрик–металл непосредственно на измеряемой поверхности, которая уменьшает погрешность измерений из-за несовершенства теплового контакта чувствительного элемента с поверхностью, температуру которой измеряют.

ТКС и его стабильность в зависимости от длительности работы определяются преимущественно материалом терморезистора и условиями его осаждения. Для большинства чистых металлов ТКС лежит в пределах (3...7) $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. На практике широко используют металлопленочные терморезисторы из платины, меди и никеля. Они имеют наилучшую стабильность, нечувствительны к давлению, влажности, магнитному полю.

Температурный коэффициент сопротивления тонкопленочных терморезисторов меньше, а температурный диапазон уже, чем в соответствующих проволочных. Причиной такого ограничения является разница в значениях температурного коэффициента линейного расширения основы и металлической пленки, которая вызывает пластическую деформацию пленки при достаточно стремительном повышении или снижении температуры.

Во избежание этого нежелательного явления используют многослойные структуры, которые содержат, кроме термочувствительного, еще и ряд промежуточных слоев, которые обеспечивают крепкий механический контакт. Для стабилизации электрофизических свойств пленочных терморезисторов осуществляют термическое старение в вакууме в условиях циклического изменения температуры.

Как материал пленочных терморезисторов часто применяют сплавы Ni-Fe и Ni-Co. Например, пермаллой (Ni 80% – Fe 20%) имеет температурный коэффициент сопротивления почти такой же, как у платины, его максимальное значение наблюдается при толщинах пленки от 80 до 160 нм, а у платины – при 350 нм. Соответственно, использование пермаллоя вместо платины дает возможность существенно уменьшить площадь терморезистора.

Полупроводниковые терморезистивные преобразователи

В настоящее время широко используются полупроводниковые терморезистивные преобразователи температуры. Преимуществами полупроводниковых термопреобразователей являются их малые габариты, незначительная инерционность. Однако они уступают проводниковым в

точности. Существуют две группы полупроводниковых терморезисторов: с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (термисторы *NTC*) и с положительным ТКС (позисторы *PTC*). В основном используются терморезисторы с отрицательным ТКС, значение которого может равняться (2...6) % 1/К.

Термисторы

Термисторы изготавливаются из порошков окислов Mn, Fe, Ni, Cu, Ti, Zn, Co. После тепловой обработки и старения термисторы металлизируются на поверхности, создаются сопротивления, напаиваются металлические выводы, и вся конструкция фиксируется пластмассой или стеклом. При температуре 20°C сопротивление термисторов составляет от нескольких кОм до приблизительно 40 МОм.

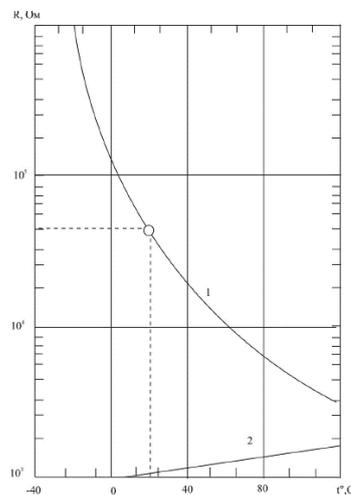


Рис. 1. – Температурная зависимость сопротивления термистора 1 и платинового терморезистора 2

Возможность создания терморезисторов очень малых размеров позволяет уменьшить влияние термопреобразователя на температурное поле исследуемого объекта, улучшить динамические характеристики процесса измерения. Границы стабильной работы полупроводниковых термисторов находятся в диапазоне (-100 ... +400) °C, относительная погрешность составляет (0,2 ... 1,0) % от диапазона преобразований.

Кроме малых габаритов полупроводниковые термисторы отличаются от металлических термопреобразователей высокой чувствительностью (высоким ТКС). Однако, температурный коэффициент сопротивления термистора не является постоянной величиной, он уменьшается обратно пропорционально квадрату абсолютной температуры.

Для сравнения на рис. 1 приведены температурные зависимости сопротивления термистора с $R_0 = 50$ кОм (кривая 1) и платинового

терморезистора, номинальное сопротивление которого $R_0 = 1000$ Ом (кривая 2).

Конструктивно терморезистивные преобразователи температуры с чувствительными элементами из термисторов могут изготавливаться самой разнообразной формы в зависимости от назначения, места его установки на исследуемом объекте.

Позисторы

Позисторы – это терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления. Обычно позисторы изготавливают на основе керамики из титаната бария. Титанат бария $BaTiO_3$ – материал с удельным сопротивлением при комнатной температуре ($10^{10} \dots 10^{12}$) Ом · см, что значительно превышает удельное сопротивление полупроводников. Прибавка к составу керамики из титаната бария добавок редкоземельных материалов (лантана, церия и др.) или других элементов (ниобия, тантала, сурьмы, висмута) позволяет уменьшить удельное сопротивление до (10... 100) Ом · см, что соответствует удельному сопротивлению полупроводниковых материалов.

Полупроводниковые терморезисторы на основе нитевидных кристаллов

На современном этапе широкое использование получили полупроводниковые терморезисторы на основе нитевидных кристаллов (НК) таких популярных полупроводников, как кремний и германий и их соединений. Они характеризуются температурной чувствительностью, которая не хуже, чем у термисторов, а их положительный ТКС находится в границах (2...5) % 1/К. Вследствие миниатюрных размеров (нитевидные монокристаллические элементы могут изготавливаться диаметром в несколько микрон и даже долей микрона) они практически безынерционны.

Такие миниатюрные преобразователи температуры (массой $\approx 0,5$ г) характеризуются диапазоном измеряемых температур (20... 120) °С, или (-50... + 50) °С, сопротивление при 20 °С от 0,5 кОм до 1,0 кОм, погрешность преобразования 0,5%, тепловая инерционность (0,1...0,3) с.

Кремниевые датчики температуры применяются в основном для измерения температуры внутри электронных приборов.

Подключение терморезисторов к измерительной схеме

Обычно при измерении температуры с помощью терморезисторов на ЧЭ подают стабилизированный ток возбуждения I_B . В результате на датчике возникает разность потенциалов, пропорциональная сопротивлению $U_t = I_B \cdot R_t$, а значит, и измеряемой температуре. Таким образом, измерение температуры сводится к измерению напряжения $U_{изм}$ на ЧЭ.

Поскольку ЧЭ имеют малое номинальное сопротивление, сравнимое с сопротивлением подводящих проводов, то должны быть приняты меры по устранению влияния сопротивления подводящих проводов на измерение температуры.

Эффективность мер определяется методом измерения и способом подключения ко вторичному прибору. Основных схем подключения три:

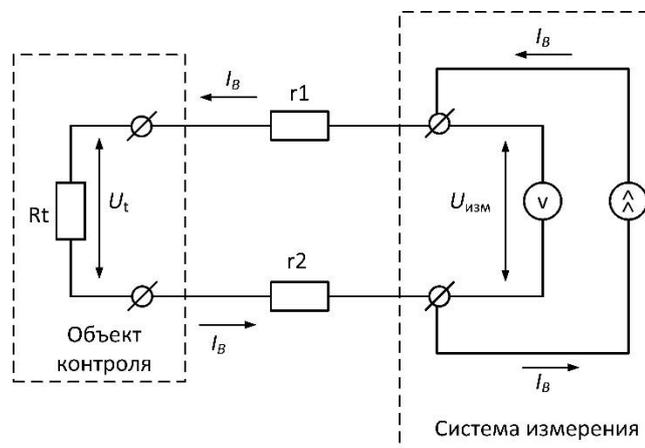
- двухпроводная;
- трехпроводная;
- четырехпроводная.

Двухпроводная схема подключения терморезисторов

В простейшей двухпроводной схеме влияние сопротивления подводящих проводов не устраняется. Напряжение измеряется не только на ЧЭ, но и на соединительных проводах.

$$U_t = U_{изм} - U_{r1} - U_{r2}$$

При этом нужно иметь в виду, что сопротивление соединительных проводов проявляет себя двумя способами. Во-первых, изменяется эквивалентное сопротивление датчика, что приводит к смещению в измерении температуры. Во-вторых, сопротивление соединительных проводов само по себе зависит от температуры окружающей среды.



Иногда смещение температуры пытаются скорректировать во вторичном приборе, однако этот подход неэффективен, так как температура окружающей среды меняется.

Двухпроводная схема может быть использована в случае, если сопротивлением подводящих проводов (r_1 , r_2) можно пренебречь по сравнению R_t .

Трёхпроводная схема подключения терморезисторов

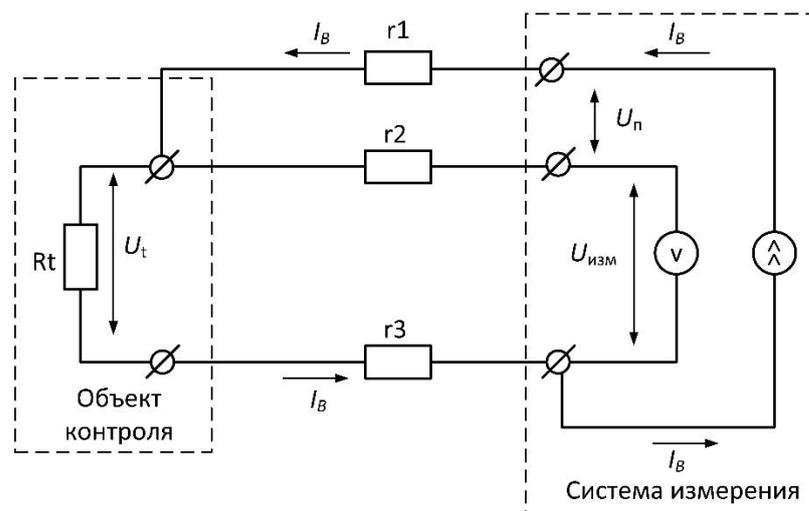
Влияние сопротивления соединительных проводов в трехпроводной схеме устраняется путем компенсации. Компенсация возможна, если соединительные провода одинаковы. В этом случае появляется возможность выделить отдельно напряжение на соединительных проводах и скомпенсировать его. Эта возможность появляется по следующим причинам:

1) Длина подводящих проводов примерно одинакова, тип провода (его сечение и материал) обычно также одинакова. Поэтому сопротивления первого r_1 и третьего r_3 проводов практически одинаковы. Следовательно, $U_{r1} \approx U_{r3}$.

2) Из-за того, что входное сопротивление вольтметра очень велико, то ток через сопротивление r_2 небольшой. Поэтому падением напряжения на этом сопротивлении можно пренебречь.

Тогда падение напряжения на терморезисторе U_t и напряжение $U_{изм}$, измеренное вольтметром, оказываются связаны следующим соотношением, в котором U_n – дополнительно измеряемое напряжение, используемое для компенсации падения напряжения на сопротивлении r_3 :

$$U_t = U_{изм} - (U_{r2} + U_{r3}) \approx U_{изм} - (U_{r2} + U_{r1}) = U_{изм} - U_n$$



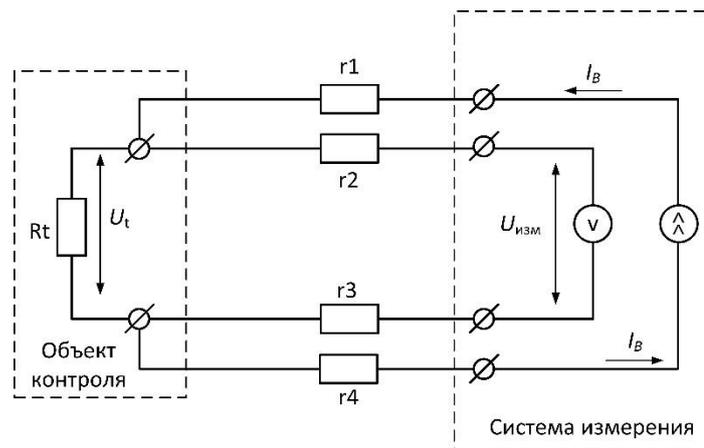
Равенство сопротивлений соединительных проводов и их температурных зависимостей является основным условием применимости трехпроводной схемы.

Четырёхпроводная схема подключения терморезисторов

В четырёхпроводной схеме питание ЧЭ током возбуждения I_B производится с помощью одних проводов, а измерение разности потенциалов $U_{изм}$ на ЧЭ – с помощью других. Если измерение напряжения производится высокоомным вольтметром (ток через r_2 и r_3 практически не течет), то влияние сопротивления всех проводов полностью исключается.

В этом случае:

$$U_t \approx U_{изм}$$



Следует учесть, что если измерительный прибор рассчитан на четырёхпроводную схему, то датчик к нему можно подключить и по двухпроводной схеме. При этом дополнительная погрешность измерения, вызванная влиянием соединительных проводов, будет иметь величину порядка $(r_2 + r_3) / R_t$.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Основные характеристики терморезисторов на основе металлов.
2. Конструкция чувствительных элементов терморезистивных преобразователей температуры на основе металлов.
3. Металлопленочные терморезисторы.
4. Термисторы.
5. Позисторы и полупроводниковые терморезистивные преобразователи на основе нитевидных кристаллов.
6. Подключение терморезисторов к измерительной схеме.

Лекція № 4

Тема: Термоэлектрические измерители температуры. Кварцевые термодатчики.

Оглавление

Принцип действия термоэлектрических преобразователей.....	2
Материалы термоэлектродов.....	4
Термопары из благородных металлов	4
Термопары из неблагородных металлов	4
Устройство термоэлектрических термометров (конструктивные формы).....	5
Удлинительные термоэлектроды	6
Схемы подключения термоэлектрических термометров.....	7
Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект.....	10
Кварцевый резонатор.....	11
Кварцевые термодатчики	12
Контрольные вопросы по теме	15
Уровень модуля.....	15
Уровень курса.....	15

Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
3. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.
4. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Принцип действия термоэлектрических преобразователей

Явление термоэлектричества было открыто в 1823 г. Зеебеком и заключается в следующем. Зеебек установил, что если электрическая цепь состоит из двух различных металлов или сплавов и точки их соединения (спаи) находятся при различных температурах, то в цепи должен протекать ток (рис. 1). При размыкании цепи на ее концах можно измерить разность потенциалов – так называемую термоэлектродвижущую силу (термо-э.д.с.).

Подобная цепь называется термоэлектрическим преобразователем или иначе термопарой; проводники, составляющие термопару, – термоэлектродами, а места их соединения – спаями.

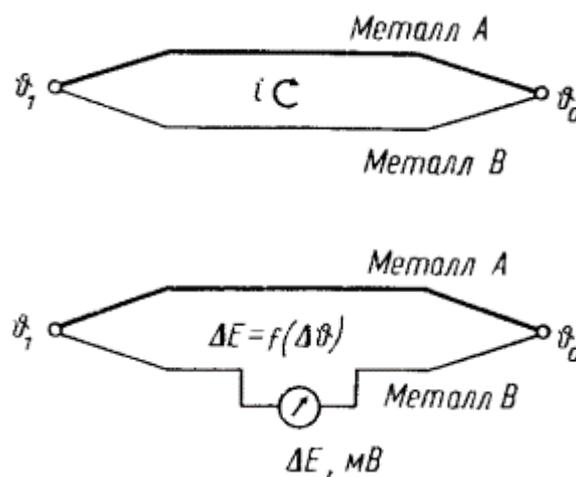


Рис.1 – Проявление термоэлектрического эффекта

Если же через такую цепь пропускать ток, то в зависимости от направления этого тока в одной точке соединения проводников будет выделяться, а в другой – поглощаться тепло (эффект Пельтье). Если температура одной точки соединения (спая) Θ_0 известна, то получаемая термо-э.д.с. будет мерой разности между измеряемой температурой Θ_1 и контрольной температурой Θ_0 (холодного спаи). Оба места соединения называют также рабочим («горячим») и свободным («холодным») спаи.

$$E_{AB}(\Theta_1, \Theta_0) = f(\Theta_1) - f(\Theta_0)$$

Опыт показывает, что у любой пары однородных проводников, подчиняющихся закону Ома, величина термо-э.д.с. зависит только от природы проводников и от температуры спаев и не зависит от распределения температур между спаями. Зависимость между термо-э.д.с. и разностью температур в общем случае нелинейна и может быть выражена уравнением третьей степени. Однако в области температур, обычных при промышленных измерениях, обычно вполне достаточно принять квадратичную зависимость:

$$\Delta E = a + b\Delta\Theta + c\Delta\Theta^2$$

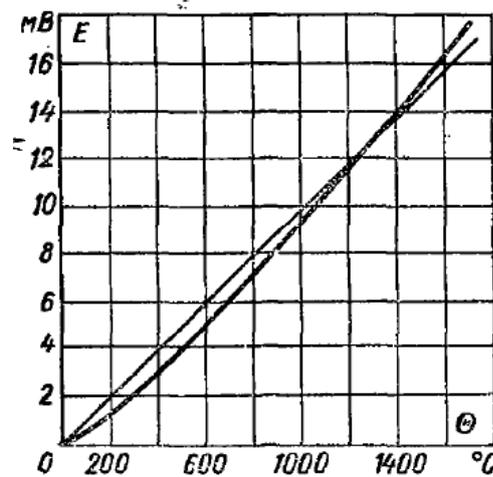


Рис. 2 – Залежність величини термо-е.д.с. від різниці температур

Постійні a , b і c залежать в першу чергу від природи обох металів або сплавів. Їх можна визначити шляхом градуировки в реперних точках. При малих змінах температур характеристики багатьох термопар можуть бути лінеаризовані без великого шкоди для точності:

$$\Delta E = k \Delta \theta \text{ [мВ]},$$

де k – коефіцієнт термо-е.д.с., залежний також і від рівня температури, мВ/К.

Використовуючи рівняння для термо-е.д.с., можна для кожної комбінації матеріалів термопар побудувати графік залежності термо-е.д.с. термопар від вимірюваної температури (температури робочого спая), припускаючи, що температура її вільного спая θ_0 дорівнює 0°C (рис. 2а). Якщо контрольна температура не дорівнює 0°C , а підтримується постійною, як це часто буває, рівної 20, 50 або 60°C або навіть взагалі непостійною (як при вимірюванні різниці температур), то в виміряне значення термо-е.д.с. ΔE_m потрібно внести поправку ΔE_k , яка відповідає відхиленню контрольної температури θ_0 від 0°C :

$$\Delta E = \Delta E_m + \Delta E_k$$

Значення термо-е.д.с. в залежності від вимірюваної температури, а також допустимі відхилення при поставці регламентуються для основних комбінацій матеріалів фірмами-виробниками і національними управліннями по стандартизації і вказуються в спеціальних таблицях (при $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$). Ці допуски вважаються гарантованими при поставках, але до похибок при наступних вимірюваннях вони не відносяться.

Полярність термо-е.д.с. вважається позитивною, якщо температура в місці вимірювання вище контрольної. При позначенні матеріалів термоелектричних елементів на першому місці перед тире ставлять умовний

символ положительного термоэлектрода, а на втором месте после тире – символ отрицательного термоэлектрода (потенциала).

Материалы термоэлектродов

Выбирать подходящую термопару для измерения определенной температуры следует с учетом различных требований, причем в отношении некоторых требований приходится принимать компромиссные решения. Однако к термоэлектродам наряду с приемлемой ценой и надежностью предъявляют следующие требования: высокая чувствительность к изменениям температуры (высокий коэффициент термо-э.д.с.), линейность характеристики термо-э.д.с., благоприятные динамические свойства (малая инерционность), достаточная механическая прочность при высоких и низких температурах, стойкость против коррозии, стабильность термоэлектрических свойств во времени.

С течением времени из большого числа возможных комбинаций материалов термоэлектродов получили применение на практике лишь некоторые, причем каждая пара, как правило, имеет свою специфическую область применения. Все материалы для термопар делят на две группы: пары благородных металлов и пары неблагородных металлов.

Термопары из благородных металлов

Термопары из благородных металлов, преимущественно из платины и ее сплава с родием (Pt10Rh – Pt и Pt13Rh – Pt6Rh), обладают высокой точностью и отличаются воспроизводимостью термоэлектрической характеристики. Поэтому платинородий-платиновая термопара Pt10Rh – Pt используется для воспроизведения Международной практической температурной шкалы (МПТШ) в интервале температур от 630,7 до 1064,4 °С. Эти термопары более устойчивы к коррозии и окислению, чем термопары из неблагородных металлов, и поэтому могут быть использованы при более высоких температурах. Так, термопары Pt10Rh – Pt используют для измерения температур от 0 до 1600 °С а термопары Pt13Rh – Pt6Rh – от 0 до 1700 °С. Термопары из благородных металлов имеют, как правило, низкую чувствительность к изменениям температуры; к тому же они довольно дороги.

Термопары из неблагородных металлов

Термопары из неблагородных металлов применяют преимущественно для измерения более низких температур. Они дешевле термопар из благородных металлов, и на их долю приходится абсолютное большинство всех применяемых термопар; во многих странах они отчасти стандартизированы. К таким стандартизированным термопарам относятся медь–константан, железо–константан и нихром–никель (хромель–алюмель).

Термопары *медь – константан* (Cu–Konst, константан – сплав меди, никеля и марганца) особенно пригодны для измерения низких температур от -250 до 400 °С. При более высоких температурах медь не обладает достаточной стойкостью к кислороду воздуха. Эти термопары наряду с железо-константановыми имеют наиболее крутую температурную характеристику, но их характеристика недостаточно линейна.

Железо-константановые термопары (Fe–Konst) допускают более широкий диапазон измерения от -250 до 700 °С, если коррозионно-активная среда не препятствует их применению (при некоторых условиях железо сильно ржавеет и покрывается окалиной). Постоянство термоэлектрических свойств во времени тоже надежно не обеспечивается.

Термопары *нихром–никель* (почти то же, что хромель–алюмель) имеют среди термопар из благородных металлов самый высокий температурный диапазон измерения: от -200 до 1300 °С. Эти термопары отличаются точностью и устойчивостью, однако их температурный коэффициент термо-э.д.с. меньше, чем термопар медь–константан и железо–константан. Характеристика их в достаточной степени линейна. Окажинообразование вследствие окисления становится заметным при температурах выше 600 °С, что ограничивает время использования термопар в верхней области их температурного диапазона.

Устройство термоэлектрических термометров (конструктивные формы)

Надежность измерения температуры с помощью термоэлектрических термометров зависит от их конструкции, расположения и от возможности их контакта с измеряемой средой. Если физические и химические условия допускают это, то термопара может быть введена в измеряемую среду без защитной оболочки (чехла). В этом случае она имеет преимущество перед другими контактными термопарами, поскольку ее можно разместить в самых труднодоступных местах, а ее размеры могут быть приняты практически сколь угодно малыми, чем обеспечивается благоприятное динамическое поведение (малая инерционность). При высоких температурах или агрессивных средах термопара должна быть помещена в защитную арматуру (чехол).

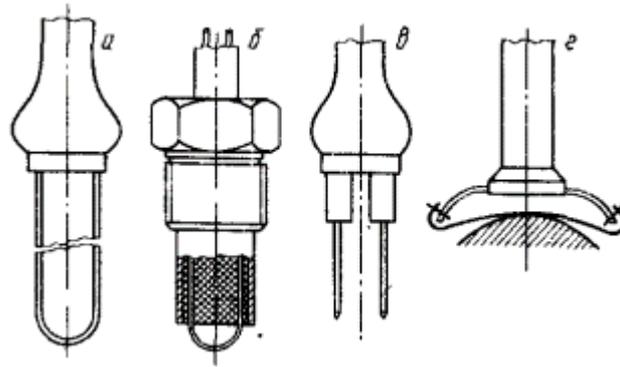


Рис. 3 – Примеры открытых, незащищенных термопар

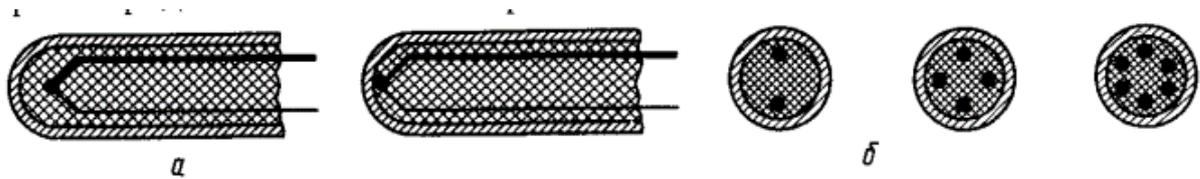


Рис. 4 – Конструктивные исполнения термопар с защитной оболочкой

Материалы термоэлектродов, выполненные в виде фольги, располагаются между двумя поддерживающими пластинами из пластмассы или алюминия. Эти элементы можно наклеивать как тензометрические датчики. Они очень легко принимают форму неровных поверхностей, толщина их может составлять примерно 0,05–1 мм (рис. 5).

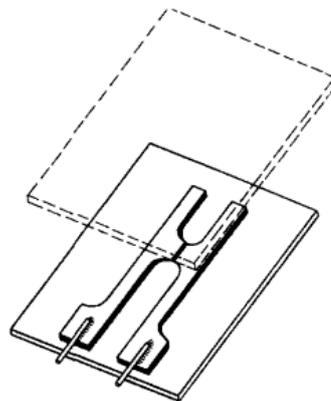


Рис. 5 – Термопара из фольги

Удлинительные термоэлектроды

Удлинительные термоэлектроды. Свободные концы термопары должны находиться при постоянной температуре, лучше всего при 0°C (рис. 6). Однако не всегда возможно сделать термоэлектроды термопары настолько длинными и гибкими, чтобы свободные концы ее можно было разместить в достаточном удалении от рабочего спая (рис. 6). Кроме того, при использовании

благородных металлов делать длинные термоэлектроды экономически невыгодно, поэтому приходится использовать провода из другого материала. Соединительные провода A_1 и B_1 (рис. 6), идущие от зажимов в головке термопары до места нахождения нерабочих спаев и выполняемые из дешевых материалов, называют *удлинительными термоэлектродами, компенсационным* или *термоэлектродным проводом*. Чтобы при включении удлинительных термоэлектродов из материалов, отличных от материалов основных термоэлектродов, не изменилась термо-э.д.с. термопары, необходимо выполнить два условия. Первое – удлинительные термоэлектроды должны быть термоэлектрически идентичны с основной термопарой, т. е. иметь ту же термо-э.д.с. в диапазоне возможных температур места соединения термоэлектродов в головке термопары (примерно в диапазоне от 0 до 100° С). И второе – места присоединения удлинительных термоэлектродов к основным термоэлектродам в головке термопары должны иметь одинаковую температуру.

Для термопары платинородий – платина применяются удлинительные термоэлектроды из меди и сплава ГП (медноникелевые сплав), образующие термопару, термоидентичную термопаре платинородий – платина в пределах до 150° С. Такие же удлинительные термоэлектроды с измененными знаками полярности применяют для термопары вольфрам – молибден. Для термопары хромель – алюмель удлинительные термоэлектроды изготавливаются из меди и константана. Для термопары хромель – копель удлинительными являются основные термоэлектроды, но выполненные в виде гибких проводов.

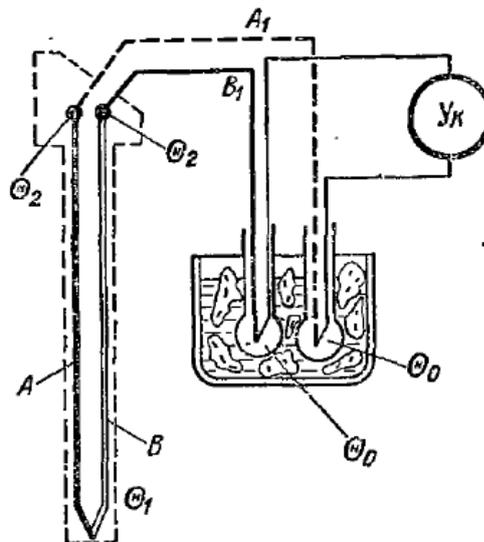


Рис. 6 – Применение удлинительных термоэлектродов

Схемы подключения термоэлектрических термометров

Длину термопар ввиду их высокого сопротивления, а также с учетом их стоимости следует принимать возможно меньшей. Поэтому место

подключения так называемого компенсационного или термоэлектродного провода (кабеля) предусматривают в непосредственной близости от места измерения – обычно в подсоединительной головке защитной трубы. К компенсационным проводам предъявляют меньшие требования, поскольку они не подвергаются воздействию тяжелых условий окружающей среды. По термоэлектрическим свойствам они идентичны термоэлектродам, так что в местах соединения не может возникнуть разность напряжений.

Наиболее простая схема подключения термопар получается при непосредственном подсоединении термоэлектродных проводов к показывающему прибору (рис. 7а). При этом место сравнительного измерения («холодный спай») переносится к клеммам измерительного прибора, температура которых неизвестна, а обычно также и непостоянна. Вследствие этого такой метод неточен и ненадежен; его следует применять только для ориентировочных измерений.

В правильной схеме (рис. 7б) должно быть предусмотрено отдельное место для свободных концов термопары («холодный спай»), температура которого (сравнительная температура) поддерживается термостатом постоянной, обычно равной 50°C.

В том же корпусе обычно подключают к прибору провода, которые могут быть медными, если все клеммы имеют одинаковую температуру θ .

На рис. 7в–е приведены схемы измерения разности температур (встречное включение термопар), увеличения измеряемой термо-э.д.с. (последовательным включением нескольких термопар в виде «термостолбика»), формирования среднего значения (при параллельном включении термопар и контроля нескольких температур одним из показывающих устройств (переключатель точек измерения, логометр, сканирующий мультиплексор).

При лабораторных измерениях температуру свободного конца термометра (холодного спаю θ_0) лучше всего поддерживать постоянной, равной 0°C, используя сосуд Дьюара (термос), заполненный тающим льдом. Поскольку термостатирование с охлаждением на основе принципа Пельтье потребовало бы слишком больших затрат на аппаратуру, температуру свободных концов θ_0 принимают немного выше комнатной, обеспечивая электрический подогрев термостата до $50 \pm 0,1$ °C. В таком случае полученный результат нужно скорректировать уже упоминавшимся способом. Другая возможность учесть повышенную температуру свободного конца заключается в том, что холодный спай не термостатируют, но измеряют его температуру θ_0 термометром сопротивления и добавляют падение напряжения, зависящее от температуры, к измеренной термо-э.д.с.

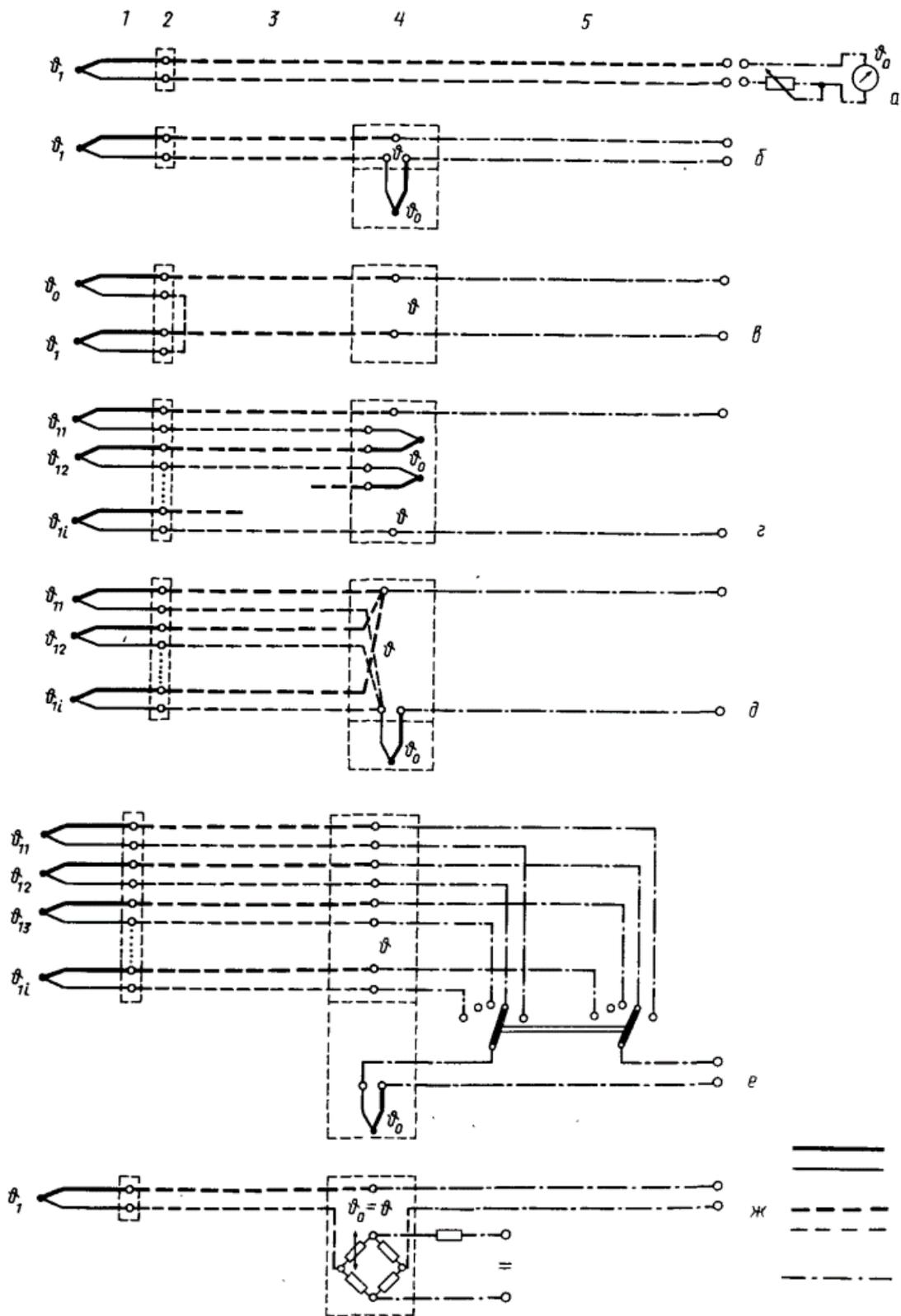


Рис. 7 – Схема подключения термоэлектрических термометров (термопар);
 а – схема, требующая минимальных затрат; б – обычное подключение;
 в – подключение для измерения разности температур; г – последовательное включение
 нескольких термопар (термобатарея); д – параллельное подключение; е – схема с
 переключением точек измерения (логометром); ж – автоматическая компенсация
 температуры свободных концов термопары; 1 – собственно термопара; 2 – место
 подключения термоэлектродов к термоэлектродным проводам; 3 – термоэлектродные
 провода; 4 – место свободных концов термопары (холодный спай; все клеммы должны
 находиться при одной и той же температуре); 5 – медные провода

Корректирующая схема (рис. 7ж) состоит из дополнительного моста сопротивления, в одно из плеч которого включено сопротивление, зависящее от температуры θ_0 . Мост питается высокостабилизированным источником напряжения постоянного тока. Он сбалансирован так, что при $\theta = 0^\circ\text{C}$ напряжение на его диагонали точно равно нулю.

Электронная промышленность поставляет интегральные схемы (модули) и измерительные преобразователи, которые линеаризируют нелинейные характеристики термодпар, регистрируют непостоянную сравнительную температуру свободного конца (холодного спая) и компенсируют ее, а также усиливают термо-э.д.с. до уровня стандартного сигнала. Линеаризация также выполняется алгоритмически при помощи ЭВМ, когда компьютер используется для обработки сигнала.

Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект

Некоторые кристаллы, не имеющие центра симметрии при деформации поляризуются. Это явление называется прямым пьезоэлектрическим эффектом или просто пьезоэлектрическим эффектом. Величина поляризации пропорциональна деформации, а, следовательно, в пределах упругости и механическому напряжению. При изменении знака деформации знак поляризации меняется также на обратный.

Важнейшими пьезоэлектриками (т. е. пьезоэлектрическими кристаллами) являются кварц, сегнетова соль, метатитанат бария и др.

Кристаллы кварца принадлежат к гексагональной системе. Если вырезать из кристалла кварца пластинку, перпендикулярную к кристаллографической оси a , и подвергнуть ее сжатию вдоль этой оси, то на гранях пластинки появляются связанные заряды (на рис. 8 пластинка расположена так, что кристаллографическая ось c направлена на нас). То же самое происходит, если пластинку подвергнуть растяжению вдоль оси OO , перпендикулярной к кристаллографическим направлениям a и c . В последнем случае эффект называют поперечным, в первом случае — продольным. При изменении знака деформации (т.е. при растяжении вдоль a или сжатии вдоль OO) на гранях пластинки появляются связанные заряды другого знака. Для практического использования пьезоэлектрического эффекта на грани пластинки накладывают металлические обкладки. Если эти обкладки включить в замкнутую цепь, то при изменениях деформации кристалла в цепи будут возникать импульсы тока. Такие процессы протекают, например, в пьезоэлектрическом микрофоне — знакопеременная деформация пластинки под действием звуковой волны преобразуется в переменный ток той же частоты.

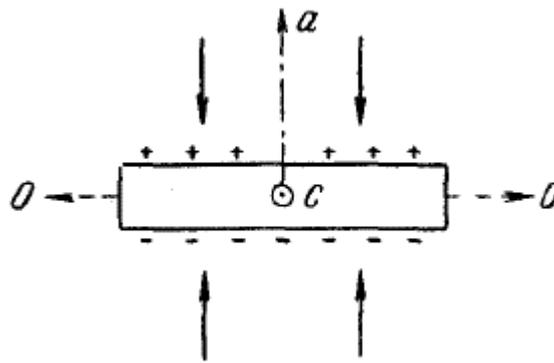


Рис. 8 – Пьезоелектричний ефект на пластинці кварца

Наряду с описанным выше прямым эффектом, у пьезоэлектрических кристаллов наблюдается обратный эффект, заключающийся в том, что поляризация под действием электрического поля сопровождается механическими деформациями кристалла. Таким образом, если на металлические обкладки изображенной на рис. 8 пластинки подать переменное электрическое напряжение, то пластинка будет попеременно, растягиваться и сжиматься вдоль оси a (одновременно происходят сжатие и растяжение вдоль оси OO), т. е. в ней возбуждятся механические колебания. Эти колебания станут особенно интенсивными, если частота переменного напряжения совпадает с собственной (резонансной) частотой пластинки.

Кварцевый резонатор

Если изменять частоту прикладываемого к кристаллу кварца переменного электрического напряжения, то на определенной частоте наступит резонанс: механические деформации кристалла резко возрастут, а его электрическое сопротивление резко уменьшится. Данная частота называется резонансной. Явление резонанса используется для построения кварцевых резонаторов.

Кварцевый резонатор – это прибор, в котором пьезоэлектрический эффект и явление механического резонанса используются для построения высокочастотного резонансного элемента электронной схемы. Кварцевый резонатор является электромеханической колебательной системой. Если приложить к кварцевой пластине переменное напряжение, которое совпадает с резонансной частотой самой кварцевой пластины, то происходит резонанс частот и амплитуда колебаний резко возрастает.

При резонансе электрическое сопротивление резонатора уменьшается. В результате получается эквивалент последовательной колебательной системы. Поскольку потери энергии в кварцевом резонаторе очень малы, то он фактически представляет собой электрический колебательный контур (рис. 9) с очень большой добротностью. Кварцевый резонатор является аналогом

колебательного контура на основе ёмкости и индуктивности. При этом кварцевый резонатор существенно превосходит LC -контур по величине добротности Q .

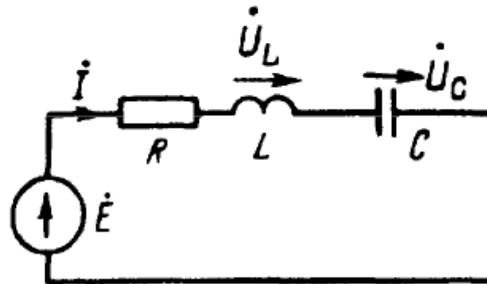


Рис. 9 – Схема последовательного колебательного контура, эквивалентного кварцевому резонатору

Резонаторы на основе кварца обладают очень высокой добротностью, которая недостижима при использовании обычного колебательного LC -контура. Если добротность Q обычных контуров лежит в пределах 100 – 300, то для кварцевых резонаторов величина добротности Q достигает 10^5 – 10^7 .

Такие настроенные в резонанс пьезоэлектрические пластинки используются для возбуждения ультразвуковых волн, для стабилизации частоты генераторов электрических колебаний в радиотехнике и т. п., а также для построения кварцевых термодатчиков.

Кварцевые термодатчики

Давно известно, что резонансная частота кристалла кварца в большей или меньшей степени (в зависимости от способа его изготовления) зависит от температуры окружающей среды. С недавнего времени благодаря созданию высокопрецизионных электронных счетчиков удалось использовать этот эффект для измерения температуры.

В головке датчика температуры расположен кварцевый резонатор, который при 0°C колеблется с частотой $f_0 \approx 28,2$ МГц. Зависимость этой частоты от температуры датчика характеризуется коэффициентом $k = 1$ кГц/К, который в основном постоянен. Для абсолютного измерения температуры частота кристалла датчика сравнивается с частотой контрольного (сравнительного) кристалла, который изготовлен по другой технологии, вследствие чего его частота почти не зависит от температуры; к тому же он работает в термостате с постоянной температурой. Частота биения (разность частот) измеряется электронным счетчиком. Если требуется определять разность температур, то сопоставляют частоты двух чувствительных элементов (кристаллов кварца).

Другим способом измерения собственной частоты кварцевого термодатчика является включение резонатора в схему автогенератора.

Пьезорезонансные кварцевые термопреобразователи (рис. 10) выполняются в виде линзового кварцевого резонатора 1, закрепленного на упругих ножках 2 и 3, которые одновременно исполняют роль токоподводов.

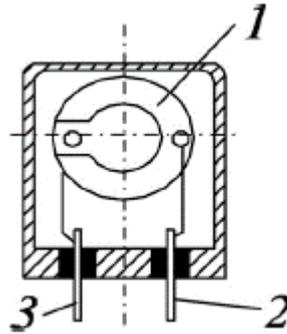


Рис. 10. – Строение кварцевого термочувствительного резонатора

Резонатор размещен в металлическом герметическом баллоне диаметром 6...8 мм, заполненном для уменьшения тепловой инерционности гелием, который характеризуется хорошей теплопроводностью. Производятся также пьезорезонансные термопреобразователи в стеклянных вакуумных баллонах. Последние обладают большой инерционностью, но более высокой временной стабильностью и разделительной способностью.

Кварцевые термометры отличаются исключительно высокой точностью. Такая измерительная система особенно нужна для научных измерений в физике, химии и технике и в первую очередь для всех калориметрических исследований. Диапазон измерений соответствует температурам от -80 до 250 °С. Нелинейность в этом диапазоне не превышает $\pm 0,05$ %, а абсолютная погрешность составляет $0,02$ К. Разрешающая способность зависит от принятого времени счета (то есть интервала времени, в течение которого выполняется измерение частоты путем подсчета количества положительных импульсов, приходящих за это время):

Время счета, с	0,1	1,0	10,0	100,0
Разрешающая способность, К	0,01	0,001	0,0001	0,00001

Динамика измерительной системы определяется размерами чувствительного элемента.

Кварцевый термометр, несмотря на его высокую точность, чрезвычайно прост по конструкции и имеет универсальную применимость. Так как измеряются частоты, то длина проводников и наложенные пульсирующие

рассеянные напряжения помех («гудение») не создают никаких проблем. Непосредственное цифровое показание быстро выдает результаты. В аналоговых приборах такого же класса точности потребовалось бы гораздо больше затрат на компенсацию и расшифровку до получения результата измерений. К тому же прибор выдает сигналы, удобные для регистрирующих устройств или последующей цифровой обработки.

Необходимо, однако, отметить, что, как и собственная частота резонанса, так и термочувствительность характеризуются значительными технологическими разбросами, что усложняет аппаратную реализацию устройств с термочувствительными пьезорезонаторами.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Принцип действия термоэлектрических преобразователей.
2. Материалы термоэлектродов термоэлектрических преобразователей.
3. Удлинительные термоэлектроды термоэлектрических преобразователей.
4. Схемы подключения термоэлектрических термометров.
5. Кварцевый резонатор.
6. Кварцевые термодатчики.

Лекція № 5

Тема: Основы функционирования индуктивных и индукционных датчиков.

Оглавление

Магнитное поле	3
Взаимодействие токов	3
Магнитная индукция	3
Магнитный поток	4
Напряженность магнитного поля и закон полного тока	5
Связь магнитной индукции и напряженности магнитного поля	6
Магнитная цепь	7
Магнитный поток через поперечное сечение магнитопровода	8
Магнитодвижущая (намагничивающая) сила	8
Падение магнитного напряжения на участке магнитной цепи	9
Магнитное сопротивление участка магнитной цепи. Закон Ома для участка магнитной цепи.	10
Законы Кирхгофа для магнитных цепей	10
Полное магнитное сопротивление неразветвленной магнитной цепи	11
Переменное магнитное поле в магнитной цепи	12
Явление электромагнитной индукции	12
Вихревые токи (токи Фуко)	13
Контрольные вопросы по теме	15
Уровень модуля	15
Уровень курса	15

Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.

2. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
3. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.
4. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Магнитное поле

Взаимодействие токов

Электрические токи взаимодействуют между собой. Например, два тонких прямолинейных параллельных проводника, по которым текут токи (мы будем называть их прямыми токами), притягивают друг друга, если токи в них имеют одинаковое направление, и отталкивают друг друга, если их направления противоположны.

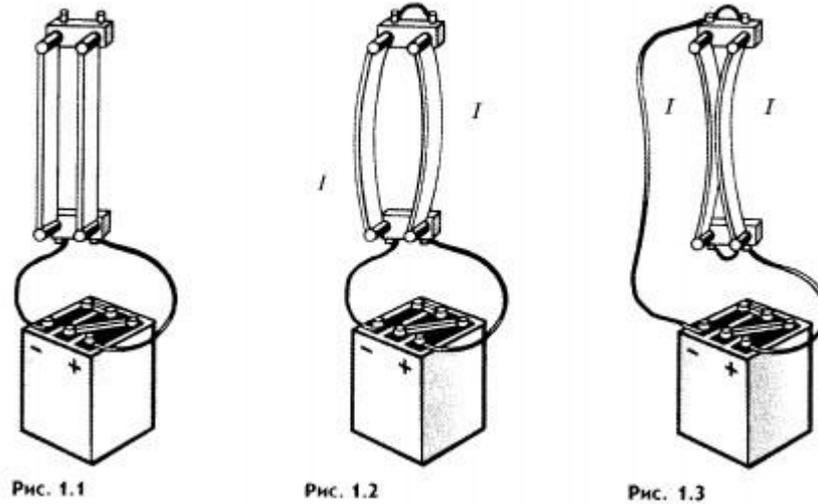


Рис. 5.1 – Взаимодействие токов через магнитное поле

Взаимодействие токов осуществляется через поле, которое называется магнитным. Это название происходит от того, что, как обнаружил Эрстед, поле, создаваемое током, оказывает ориентирующее действие на магнитную стрелку.

Итак, движущиеся заряды (токи) изменяют свойства окружающего их пространства — создают в нем магнитное поле. Это поле проявляется в том, что на движущиеся в нем заряды (токи) действуют силы.

Магнитная индукция

Силовой характеристикой магнитного поля является *магнитная индукция*, которую обычно обозначают латинской буквой B или \vec{B} — когда необходимо указать ее векторную природу. Магнитная индукция \vec{B} — это векторная величина, определяемая по силовому воздействию магнитного поля на ток. Одним из основных проявлений магнитного поля является его силовое воздействие на проводник с током, помещенный в это поле. Опыт показывает, что сила \vec{F} , с которой магнитное поле действует на элемент проводника длиной $d\vec{l}$ с током I , определяется векторным произведением:

$$\vec{F} = I [d\vec{l} \vec{B}] \quad (5.1)$$

Эта сила направлена перпендикулярно индукции в данной точке поля и перпендикулярна элементу тока $I d\vec{l}$ (рис. 5.2).

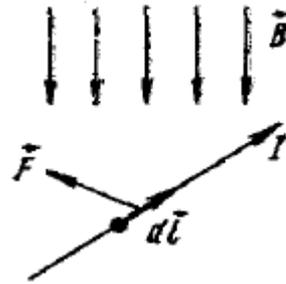


Рис. 5.2 – Воздействие силы на проводник с током в магнитном поле

В международной системе единиц СИ единицей измерения магнитной индукции является тесла (Тл): $1 \text{ Тл} = 1 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = 1 \text{ Вб} / \text{м}^2$.

Магнитный поток

Магнитный поток через контур площадью S определяется следующим образом:

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S} \quad (5.2)$$

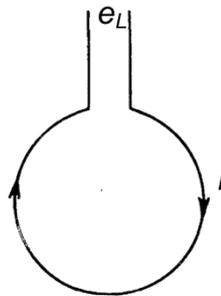


Рис. 5.3 – Контур

Под контуром понимается незамкнутый виток провода, имеющий форму петли (Рис. 5.3).

В этой формуле \vec{B} — это индукция магнитного поля, в котором находится контур. В случае плоского контура и неизменной в пределах этого контура величине магнитной индукции магнитный поток Φ прямо пропорционален величине магнитной индукции B в данной точке магнитного поля, площади контура S и косинусу угла между вектором \vec{B} и нормалью к плоскости контура (рис. 5.4):

$$\Phi = \vec{B} \vec{S} = B \cdot S \cos \alpha \quad (5.3)$$

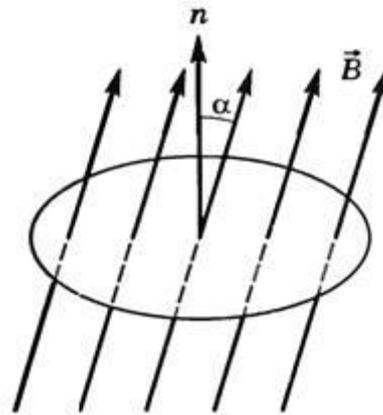


Рис. 5.4 Поток магнитной индукции через контур

Очевидно, что магнитный поток через контур имеет максимальное значение, когда магнитная индукция направлена перпендикулярно плоскости контура (то есть, когда $\alpha = 0$).

Напряженность магнитного поля и закон полного тока

Другой характеристикой магнитного поля является его *напряженность*. Магнитное поле в каждой точке характеризуется вектором *напряженности* \vec{H} , величина которого измеряется в А/м. Напряженность характеризует связь параметров поля с величиной источника поля. Как было указано выше, источником магнитного поля является электрический ток.

Магнитное поле создается электрическими токами. Количественная связь между линейным интегралом от вектора напряженности магнитного поля \vec{H} вдоль любого произвольного контура и алгебраической суммой токов $\sum I$, охваченных этим контуром, определяется **законом полного тока**:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I \quad (5.4)$$

Данная формула иллюстрируется следующим рисунком.

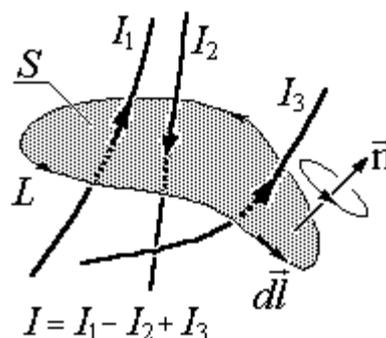


Рис. 5.5 Иллюстрация закона полного тока

Положительное направление интегрирования связано с положительным направлением тока I правилом правого винта. Если контур интегрирования будет пронизывать катушку с числом витков w (синий контур L1 на рис.5.6), по которой проходит ток I , то $\sum I = Iw$ и $\oint \vec{H}d\vec{l} = Iw$.

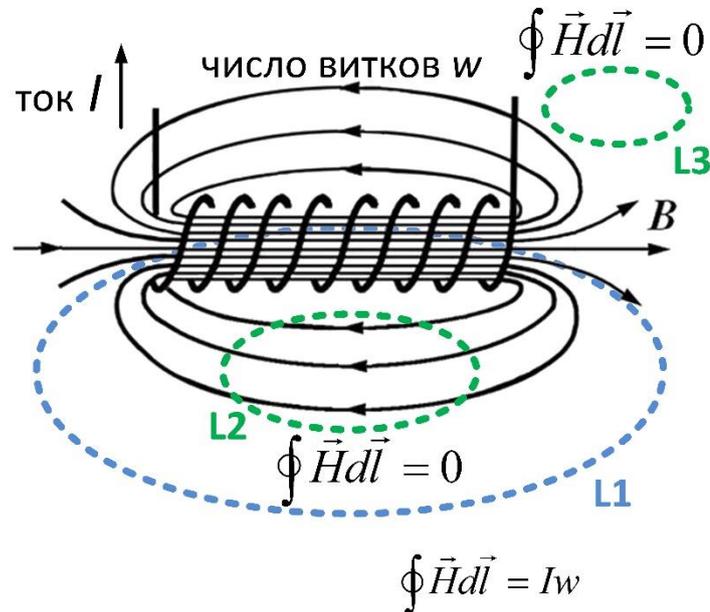


Рис. 5.6 – Пример применения закона полного тока к магнитному полю, создаваемому соленоидом

Если контур интегрирования не охватывает ни одного витка катушки (зеленые контура L2 и L3), ни одного провода, по которому протекает электрический ток, то в этом случае:

$$\oint \vec{H}d\vec{l} = 0 \quad (5.5)$$

Разумеется, этот интеграл $\oint \vec{H}d\vec{l}$ также равен нулю всегда, когда по катушке не пропускается ток, то есть, когда $I=0$, даже если интегрирование идет по контуру L1.

Связь магнитной индукции и напряженности магнитного поля

Итак, напряженность магнитного поля H показывает *причину* появления магнитного поля: почему оно возникает? Эта характеристика отражает связь с источником возникновения магнитного поля – с электрическим током (формула (5.4)). А вот магнитная индукция B отражает силовые свойства поля. Она показывает, с какой силой данное магнитное поле действует на провод с током, помещенный в это поле (формула (5.1)). То есть, магнитная индукция указывает на *последствия* наличия магнитного поля: на то, как оно проявляется, как можно его обнаружить?

Существует ли связь между этими двумя характеристиками: напряженностью и магнитной индукцией?

Да. Если мы рассматриваем магнитное поле в вакууме, то обе эти характеристики фактически представляют собой одну и ту же величину:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (5.6)$$

Они отличаются только масштабным коэффициентом, который зависит от выбранной системы единиц. Можно подобрать такую систему единиц, при которой напряженность и магнитная индукция будут полностью совпадать. В применяемой нами международной системе единиц СИ B и H связаны через коэффициент μ_0 , который носит название *магнитная постоянная*, она равна:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м} \quad (5.7)$$

Казалось бы, зачем тогда вводить две характеристики магнитного поля вместо одной? Все дело в том, что для веществ равенство (5.6) не соблюдается. Если магнитное поле распространяется не в вакууме, а внутри вещества: внутри газа (например, воздух), внутри жидкости (например, вода) или внутри твердого тела (например, дерево или железо), – то вместо формулы (5.6) необходимо пользоваться другой формулой:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad (5.8)$$

И, здесь, как видите, появляется еще один коэффициент, обозначаемый μ , и имеющий название *относительная магнитная проницаемость*. Относительная магнитная проницаемость разная для разных веществ. Соответственно, разной для разных веществ является и *абсолютная магнитная проницаемость*

$$\mu_a = \mu_0 \mu \quad (5.9)$$

С использованием абсолютной магнитной проницаемости формула (5.8) может быть переписана следующим образом:

$$\vec{B} = \mu_a \vec{H} \quad (5.10)$$

Магнитная цепь

Магнитной цепью в общем случае называют совокупность катушек с током, ферромагнитных тел или каких-либо иных тел (сред), по которым замыкается магнитный поток.

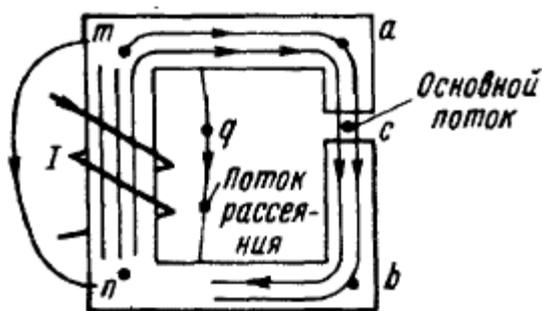


Рис. 5.7 – Неразветвленная магнитная цепь

Магнитные цепи могут быть подразделены на *неразветвленные* и *разветвленные*. Примером неразветвленной цепи может служить цепь, показанная на рис. 5.7.

Аналогом тока в электрической цепи является поток Φ в магнитной цепи, аналогом падения электрического напряжения является падение магнитного напряжения, аналогом электродвижущей силы (ЭДС) является магнитодвижущая сила (МДС), аналогом электрического сопротивления является магнитное сопротивление.

Магнитный поток через поперечное сечение магнитопровода

Если поле направлено вдоль магнитопровода (рис. 5.8), то магнитный поток через поперечное сечение магнитопровода определяется простым умножением площади поперечного сечения магнитопровода на величину магнитной индукции внутри этого магнитопровода, которую в большинстве расчетных случаев можно считать одинаковой во всех точках поперечного сечения:

$$\Phi = B \cdot S \quad (5.11)$$

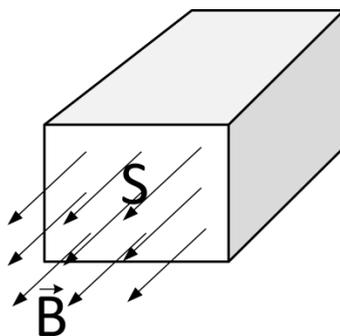


Рис. 5.8 – Магнитный поток в магнитопроводе

Магнитодвижущая (намагничивающая) сила

Магнитодвижущей силой (МДС) или намагничивающей силой (НС) катушки или обмотки с током называют произведение числа витков катушки w на протекающий по ней ток I .

МДС Iw викликає магнітний потік в магнітній ланці подібно тому, як ЕДС викликає електричний ток в електричній ланці. Як і ЕДС, МДС – величина направлена (положительное направление на схеме обозначают стрелкой).

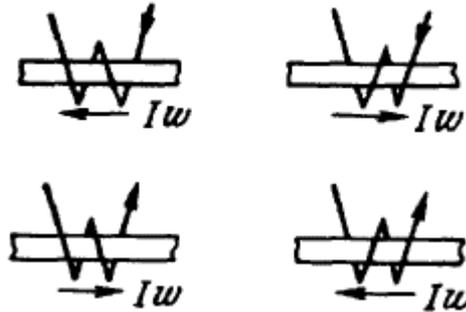


Рис. 5.9 – Определение направления МДС

Положительное направление МДС совпадает с движением острия правого винта, если винт вращать по направлению тока в обмотке.

Для определения положительного направления МДС пользуются мнемоническим правилом: если сердечник мысленно охватить правой рукой, расположив ее пальцы по току в обмотке, а затем отогнуть большой палец, то последний укажет направление МДС.

На рис. 5.9 дано несколько эскизов с различным направлением намотки катушек на сердечник и различным направлением МДС.

Падение магнитного напряжения на участке магнитной цепи

Падением магнитного напряжения между точками a и b магнитной цепи называют линейный интеграл от напряженности магнитного поля между этими точками:

$$U_{\text{маб}} = \int_a^b \vec{H} d\vec{l} \quad (5.12)$$

Если на этом участке \vec{H} постоянна и совпадает по направлению с элементом пути $d\vec{l}$, то $\vec{H}d\vec{l} = Hdl \cos 0^\circ$ и H можно вынести из-под знака интеграла. Тогда

$$U_{\text{маб}} = H \int_a^b dl = Hl_{\text{аб}} \quad (5.13)$$

где $l_{\text{аб}}$ – длина пути между точками a и b .

Единица падения магнитного напряжения – ампер (А).

В том случае, когда участок магнитной цепи между точками a и b может быть подразделен на n отдельных частей так, что для каждой части $H=H_k = const$, то

$$U_{.mab} = \sum_{k=1}^n H_k l_k \quad (5.14)$$

Магнитное сопротивление участка магнитной цепи. Закон Ома для участка магнитной цепи.

По определению (формула (5.13)), падение магнитного напряжения на участке магнитной цепи длиной l :

$$U_{.m} = Hl \quad (5.15)$$

но

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{\Phi}{\mu\mu_0 S} \quad (5.16)$$

где S – площадь поперечного сечения участка.

Следовательно,

$$U_{.m} = \frac{l}{\mu\mu_0 S} \Phi = R_{.m} \Phi \quad (5.17)$$

То есть:

$$U_{.m} = R_{.m} \Phi, \quad (5.18)$$

где $R_{.m} = \frac{l}{\mu\mu_0 S}$ – магнитное сопротивление участка цепи длиной l .

Уравнение (5.18) называют законом Ома для участка магнитной цепи. Это уравнение устанавливает связь между падением магнитного напряжения $U_{.m}$ и потоком Φ ; $R_{.m}$ называют магнитным сопротивлением участка магнитной цепи. Величину, обратную магнитному сопротивлению, называют магнитной проводимостью.

Законы Кирхгофа для магнитных цепей

При расчетах магнитных цепей, также, как и электрических, используют первый и второй законы (правила) Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа:

Алгебраическая сумма магнитных потоков в любом узле магнитной цепи равна нулю:

$$\sum \Phi_k = 0 \quad (5.19)$$

Первый закон Кирхгофа для магнитных цепей следует из принципа непрерывности магнитного потока, известного из курса физики.

Второй закон Кирхгофа:

Алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС вдоль того же контура:

$$\sum U_m = \sum I_w \quad (5.20)$$

Второй закон Кирхгофа для магнитных цепей, по сути дела, есть иная форма записи закона полного тока.

Полное магнитное сопротивление неразветвленной магнитной цепи.

Магнитная цепь обычно состоит из нескольких участков. Например, неразветвленная магнитная цепь, представленная на рисунке 5.7, состоит из четырех последовательно соединенных участков:

- 1) участок цепи от n точки до точки m , у которого площадь поперечного сечения больше, чем на других участках,
- 2) участок цепи от точки m до воздушного зазора,
- 3) участок цепи от точки n до воздушного зазора,
- 4) участок цепи воздушного зазора, в котором магнитная проницаемость во много раз меньше ($\mu \approx 1$), чем на других участках, которые изготовлены из ферромагнитного материала и где μ составляет несколько тысяч единиц.

На каждом из этих участков имеет место падение магнитного напряжения. Сумма падений этих напряжений в соответствии со вторым законом Кирхгофа равна действующей в магнитной цепи МДС:

$$U_{m1} + U_{m2} + U_{m3} + U_{m4} = I_w \quad (5.21)$$

Вспомним, что аналогом электрического тока в магнитной цепи является магнитный поток Φ , аналогом ЭДС – магнитодвижущая сила МДС. Для неразветвленной цепи можно записать:

$$U_{m1} + U_{m2} + U_{m3} + U_{m4} = R_{m1} \Phi + R_{m2} \Phi + R_{m3} \Phi + R_{m4} \Phi = (R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} + R_{m4}) \Phi \quad (5.22)$$

В соответствии с (5.21) получаем:

$$(R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} + R_{m4}) \Phi = I_w \quad (5.23)$$

Откуда получаем закон Ома для участка неразветвленной магнитной цепи:

$$R_m \Phi = I_w \quad (5.24),$$

где $R_m = R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} + R_{m4}$ – полное магнитное сопротивление неразветвленной магнитной цепи. Или в общем виде для неразветвленной цепи, состоящей из N последовательно соединенных участков:

$$R_m = \sum_{i=1}^N R_{mi} \quad (5.25),$$

Во всех датчиках обязательно имеется как минимум один участок с воздушным зазором.

Переменное магнитное поле в магнитной цепи

Явление электромагнитной индукции

Если магнитное поле является переменным, то возникает явление электромагнитной индукции, которое также было рассмотрено ранее в курсе электротехники.

Электромагнитной индукцией называется возникновения эдс в контуре при пересечении его магнитным полем. Под контуром понимается незамкнутый виток провода, имеющий форму петли (Рис. 5.3).

Индуктируемая в контуре внешним магнитным полем электродвижущая сила e определяется по формуле:

$$e_L = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (5.26)$$

где Φ – это магнитный поток, пронизывающий контур.

ЭДС индукции, наводимая внешним магнитным полем, пропорциональна **скорости изменения магнитного потока**. Знак минус в правой части формулы (5.26) обусловлен принципом Ленца, определяющим направление индуктивной эдс: «эдс направлена так, что своим действием препятствует причине, вызвавшей её появление». Или иначе говоря: эдс, наводимая в контуре изменяющимся магнитным потоком, всегда стремится вызвать ток, направленный так, чтобы воспрепятствовать изменению магнитного потока.

Явление электромагнитной индукции является причиной самоиндукции и взаимной индукции двух катушек. Напомним, что параметром, отражающим это явление в электрической цепи, являются L – индуктивность катушки и M – коэффициент взаимной индукции двух катушек.

Если на неразветвленную магнитную цепь надета катушка индуктивности, то ее индуктивность L в значительной мере зависит от параметров магнитной цепи, то есть от ее магнитного сопротивления. Если же магнитную цепь охватывают сразу две катушки индуктивности, то коэффициент взаимной индукции этих катушек M в первую очередь зависит от свойств данной магнитной цепи – от ее магнитного сопротивления. Чем меньше R_m , тем больше M .

Вихревые токи (токи Фуко)

Токи Фуко (в честь Фуко, Жан Бернар Леон) — это вихревые замкнутые электрические токи в массивном проводнике, которые возникают при изменении пронизывающего его магнитного потока. Вихревые токи являются индукционными токами и образуются в проводящем теле либо вследствие изменения во времени магнитного поля, в котором находится тело, либо вследствие движения тела в магнитном поле, приводящего к изменению магнитного потока через тело или какую-либо его часть. Величина токов Фуко тем больше, чем быстрее меняется магнитный поток.

В отличие от электрического тока в проводах, текущего по точно определённым путям, вихревые токи замыкаются непосредственно в проводящей массе, образуя вихреобразные контуры. Эти контуры тока взаимодействуют с породившим их магнитным потоком. Согласно правилу Ленца, магнитное поле вихревых токов направлено так, чтобы противодействовать изменению магнитного потока, индуцирующего эти вихревые токи.

В соответствии с законом Джоуля - Ленца вихревые токи нагревают проводники, в которых они возникли. Поэтому вихревые токи приводят к потерям энергии (потери на вихревые токи) в магнитопроводах (в сердечниках трансформаторов и катушек переменного тока, в магнитных цепях машин).

При движении проводящего тела в магнитном поле индуцированные вихревые токи обуславливают заметное механическое взаимодействие тела с полем. Токи Фуко, как и индукционные токи в простых линейных проводниках, имеют направление, которое подчиняется правилу Ленца: их магнитное поле направлено так, чтобы быть препятствием изменению магнитного потока, который вызывает вихревые токи. Например, если между полюсами невключенного электромагнита массивный медный маятник совершает практически незатухающие колебания (рис. 5.10), то при включении тока он начинает сильно тормозить и очень быстро останавливается. Этот опыт объясняется тем, что возникшие токи Фуко имеют направление, при котором действующие на них со стороны магнитного поля силы оказывают тормозящее действие на маятник и он быстро

останавливается. Этот факт практически применяется для успокоения (демпфирования) подвижных частей различных приборов и механизмов. Если сделать радиальные вырезы в описанном маятнике, то вихревые токи ослабляются и торможение почти отсутствует.

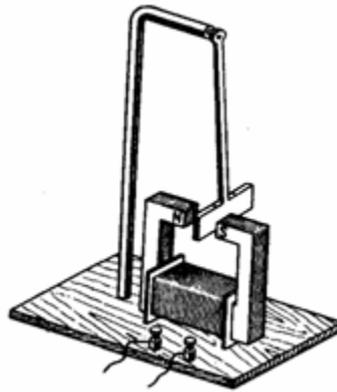


Рис. 5.10 Опыт с маятником для демонстрации действия токов Фуко

Вихревые токи применяются для пайки, плавки и поверхностной закалки металлов, а их силовое действие используется в успокоителях колебаний подвижных частей приборов и аппаратов, в индукционных тормозах (в которых массивный металлический диск вращается в поле электромагнитов) и т. п.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Магнитная индукция и магнитный поток.
2. Напряженность магнитного поля и закон полного тока.
3. Связь магнитной индукции и напряженности магнитного поля.
4. Магнитодвижущая сила.
5. Падение магнитного напряжения на участке магнитной цепи. Магнитное сопротивление участка магнитной цепи. Закон Ома для участка магнитной цепи.
6. Законы Кирхгофа для магнитных цепей. Полное магнитное сопротивление неразветвленной магнитной цепи.
7. Явление электромагнитной индукции.

Лекція № 6

Тема: Общие принципы измерения перемещений, скорости и ускорений. Измерение перемещений при помощи электромагнитных преобразователей.

Оглавление

Электромагнитные преобразователи	2
Разновидности и принципы действия электромагнитных преобразователей	2
Общие принципы измерения перемещений, скорости и ускорений ...	4
Измерение перемещений при помощи электромагнитных преобразователей	5
Типы индуктивных преобразователей.....	5
Дифференциальные индуктивные преобразователи.....	6
Измерение скорости вращения	8
Тахометрические преобразователи	8
Импульсные преобразователи для измерения угловой скорости	9
Измерение линейной скорости	10
Измерение линейного ускорения	11
Контрольные вопросы по теме	12
Уровень модуля.....	12
Уровень курса.....	12

Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
3. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.
Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Электромагнитные преобразователи

Разновидности и принципы действия электромагнитных преобразователей

На рис. 6.1а изображена магнитная цепь электромагнитного преобразователя. Магнитная цепь состоит из двух магнитопроводов 1 и 2, каждый из которых обладает своим магнитным сопротивлением R_{M1} и R_{M2} , а также воздушного зазора между ними шириной δ с магнитным сопротивлением R_δ . На магнитопровод 2 намотаны две обмотки с числом витков w_1 и w_2 .

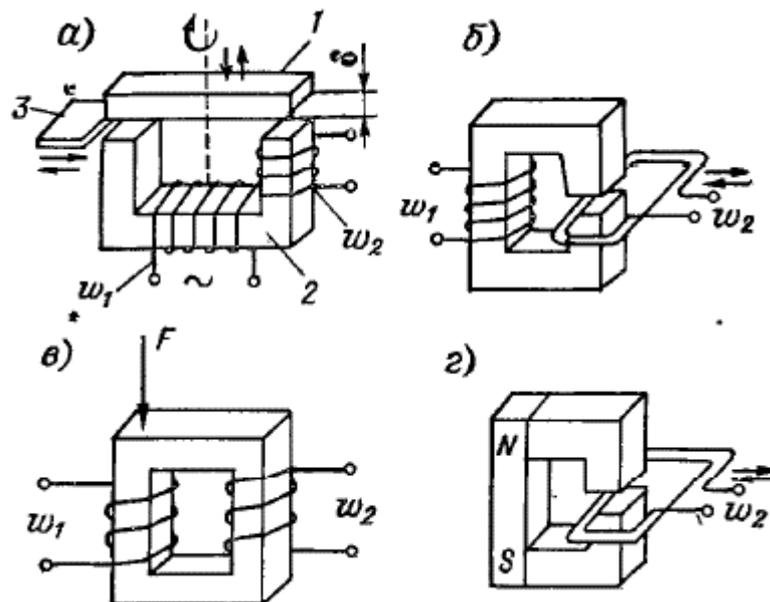


Рис.6.1 – Магнитная цепь электромагнитного преобразователя

Можно изменять магнитное сопротивление воздушного зазора R_δ , например, приближая подвижный сердечник 1 к неподвижному 2 (уменьшение δ), или уменьшать площадь S участка магнитной цепи в воздушном зазоре, поворачивая сердечник 1 относительно неподвижной части магнитной цепи 2. Тогда будет изменяться полное магнитное сопротивление R_M всей цепи. Вслед за этим будет изменяться величина индуктивности каждой из катушек $L1$, $L2$, а также величина взаимной индуктивности M .

Значения L и M можно изменять и при неподвижных сердечниках 1 и 2 путем введения в воздушный зазор пластины 3 из ферромагнитного материала (фактически, это приводит к уменьшению величины воздушного зазора δ) или пластины из электропроводного неферромагнитного материала. В последнем случае изменение L и M обусловлено размагничивающим действием вихревых токов, индуктированных в пластине основным магнитным потоком, проходящим по магнитной цепи.

Преобразователи, преобразующие естественную входную величину в виде перемещения в изменение индуктивности, называют *индуктивными*. Преобразователи, преобразующие перемещение в изменение величины взаимной индукции, принято называть *трансформаторными*.

В трансформаторных преобразователях изменение величины взаимной индукции M можно получить не только при изменении магнитного сопротивления, но и при перемещении одной из обмоток, как это показано на рис. 6.1б.

Если к магнитной цепи преобразователя (рис. 6.1в) приложить сжимающие, растягивающие или скручивающие усилия, то вследствие их воздействия произойдет изменение магнитной проницаемости μ сердечника. Последнее вызовет изменение магнитного сопротивления сердечника R_m . Это, в свою очередь, приведет к изменению индуктивности обмотки, помещенной на сердечнике, или взаимной индуктивности между обмотками w_1 и w_2 .

Подобные преобразователи в качестве естественной входной величины имеют упругую деформацию сердечника и могут быть использованы для измерения сил, давлений, моментов и т. д. Эти преобразователи, основанные на изменении магнитного сопротивления, обусловленном изменением магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника под воздействием механической деформации, называются *магнитоупругими*.

На рис. 6.1г изображен преобразователь, конструктивно аналогичный трансформаторному преобразователю на рис. 6.1б, но с постоянным магнитом, который может быть заменен постоянным электромагнитом, если через обмотку w_1 , (рис. 6.1б) пропустить постоянный ток. При неподвижной обмотке w_2 эдс на ее зажимах равна нулю. Однако если обмотка w_2 под воздействием измеряемой величины начинает перемещаться, то сцепленный с ней магнитный поток Φ изменяется, что согласно закону электромагнитной индукции вызывает появление в обмотке э. д. с., равной

$$e_L = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (6.1)$$

где $\frac{d\Phi}{dt}$ – скорость изменения магнитного потока, сцепляющегося с витками обмотки.

Поскольку скорость изменения магнитного потока определяется скоростью перемещения обмотки в воздушном зазоре, то преобразователь (рис. 6.1г) имеет естественную входную величину в виде скорости линейных или угловых перемещений, а выходную – в виде индуцированной э. д. с. Подобные преобразователи, в которых скорость изменения измеряемой

(механической) величины преобразуется в индуктированную э. д. с., называются *индукционными*.

Общие принципы измерения перемещений, скорости и ускорений

По естественной входной величине прибора методы измерения параметров движения могут быть разбиты на две группы.

К первой группе относятся методы, основанные на осуществлении непосредственного контакта между движущимся объектом и системой, принятой за неподвижную. Контакт не обязательно должен быть механическим, он может осуществляться оптическими, акустическими методами, радиометодами и др. Основным свойством всех без исключения приборов, основанных на этом методе, является их общность по естественной входной величине, которой может быть только перемещение. Приборы, основанные на этом методе, называются контактными. К этой группе приборов относятся все устройства, предназначенные для измерения параметров относительного движения.

Ко второй группе относятся методы, не требующие осуществления непосредственного контакта с неподвижной системой отсчета. Приборы, реализующие этот метод, называются *инерционными*, а принцип их действия основан на интегрировании основного уравнения механики ($F = ma$). Поэтому естественной входной величиной таких приборов может быть только сила инерции, воспринимаемая корпусом датчика, с которым связана собственная (подвижная) система отсчета. Инерционные приборы для измерения параметров линейного движения принято называть сейсмическими, а углового – гироскопическими.

Это свойство приборов для измерения параметров движения, т. е. способность реагировать или на взаимное перемещение, или на силу инерции, нашло свое отражение в их структуре. Так как основные параметры механического движения – перемещение, скорость и ускорение – связаны между собой простейшими дифференциальными зависимостями, то обычно прибор для измерения какого-либо параметра имеет предварительный преобразователь, реагирующий на другой параметр, легче поддающийся измерению, а искомая величина получается путем применения операционных звеньев в цепи дальнейшего преобразования (в датчике, измерительной цепи или указателе).

Существует достаточно большое количество методов измерения угловых и линейных перемещений, скоростей и ускорений. Соответственно, существует разнообразные датчики, построенные с использованием этих методов. Достаточно назвать пьезоэлектрические, емкостные, радиоволновые,

акустические, оптические датчики. В данной лекции представлено измерение угловых и линейных перемещений, скоростей и ускорений только электромагнитными преобразователями. Важно отметить, что эти датчики благодаря простоте конструкции и высокой надежности получили наибольшее распространение.

Измерение перемещений при помощи электромагнитных преобразователей

Типы индуктивных преобразователей

На рис. 6.2а изображен наиболее распространенный преобразователь с малым воздушным зазором δ , ширина которого изменяется под действием некоторой силы P . Комплексное сопротивление катушки индуктивности Z изменяется так, как показано на рисунке 6.3. Как видно, линейный участок $\Delta\delta$ зависимости $Z(\delta)$ довольно небольшой в сравнении с наибольшей шириной зазора δ_0 . Обычно, именно этот линейный участок используют как рабочий, то есть измерения проводят именно в этом диапазоне перемещений подвижной части сердечника. Рабочее перемещение в данных преобразователях с переменным зазором составляет 0,01–10 мм.

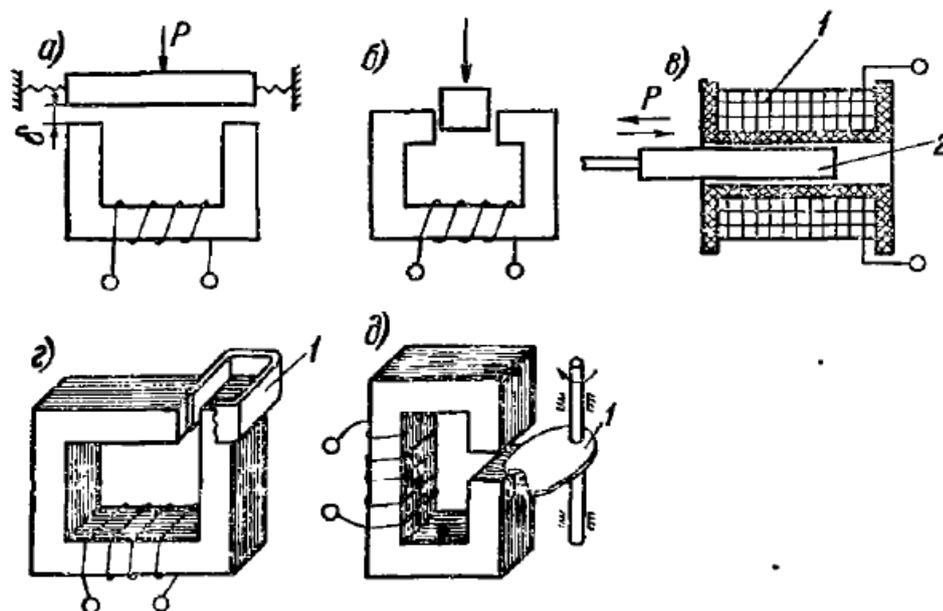


Рис. 6.2 – Индуктивные преобразователи

Преобразователь с изменяющейся в соответствии со значением измеряемой величины площадью воздушного зазора приведен на рис. 6.2б. Преобразователи такого типа можно применять при измерении перемещений порядка 5–20 мм.

На рис. 6.2в изображен преобразователь с разомкнутой магнитной цепью. Он представляет собой катушку 1, внутри которой помещен стальной

сердечник (якорь) 2. Перемещение сердечника вызывает изменение индуктивности катушки. Этот тип преобразователя применяется для измерения значительных перемещений сердечника (10–100 мм).

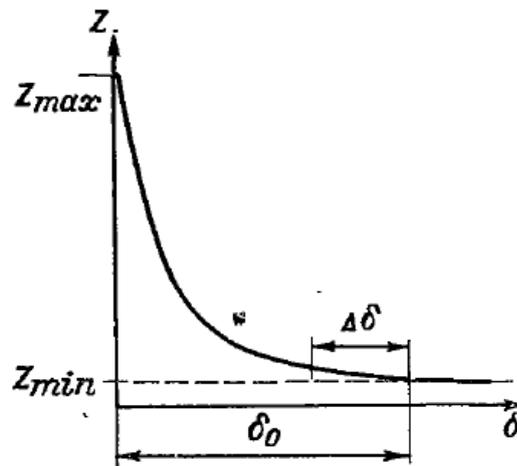


Рис. 6.3 – Зависимость комплексного сопротивления катушки от ширины зазора

Преобразователи, показанные на рис. 6.2г, 6.2д, основаны на изменении магнитного сопротивления вследствие размагничивающего действия вторичных токов. В преобразователе (рис. 6.2г) в воздушный зазор вводится короткозамкнутый виток I . В преобразователе (рис. 6.2д) аналогичное экранирующее действие обусловлено вторичными токами в профилированном электропроводном диске I из меди или алюминия. Изменяя профиль диска, можно получить любой вид зависимости индуктивности от угла поворота диска. Преобразователи этого типа используются для измерения угловых перемещений до $180 - 360^\circ$.

Одним из основных достоинств индуктивных преобразователей является возможность получения большой мощности преобразователя (до $1 - 5 \text{ В} \cdot \text{А}$), что позволяет пользоваться сравнительно малочувствительным указателем на выходе измерительной цепи и регистрировать измеряемую переменную величину самописцем или вибратором осциллографа без предварительного усиления. Лишь при малогабаритных преобразователях приходится прибегать к включению усилителя между измерительной цепью и указателем или регистратором.

Дифференциальные индуктивные преобразователи

Дифференциальные преобразователи позволяют уменьшить погрешности и увеличить линейный участок характеристики (рис. 6.5), поэтому в практике индуктивные преобразователи почти всегда выполняются дифференциальными. Некоторые их конструкции показаны на рис. 6.4.

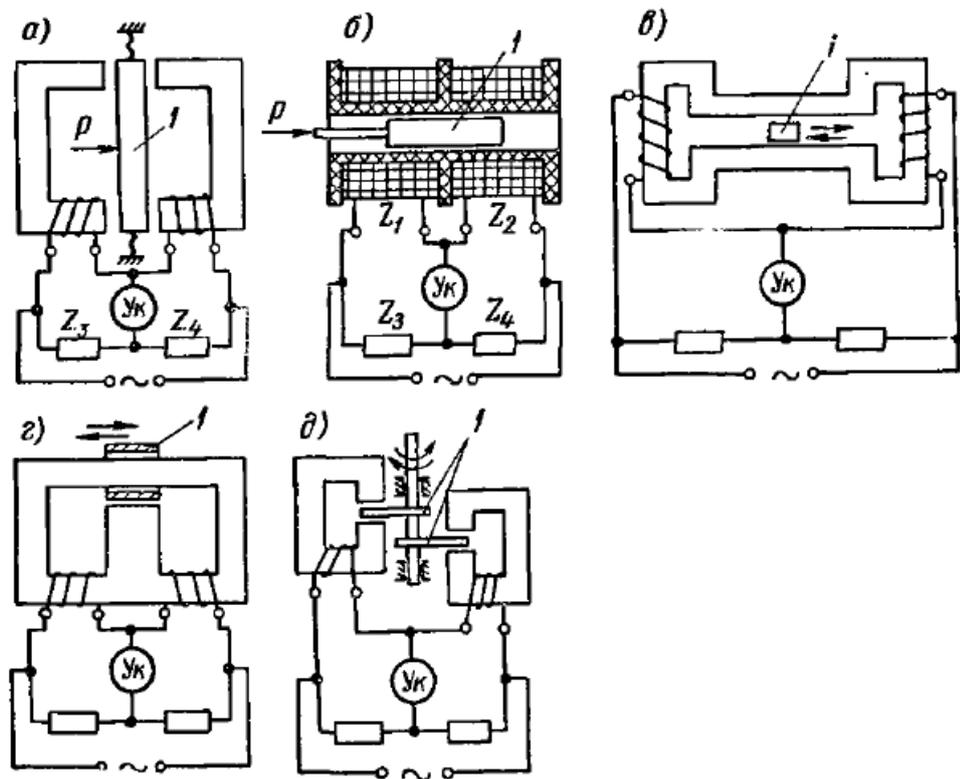


Рис. 6.4 – Дифференціальні індуктивні преобразователи

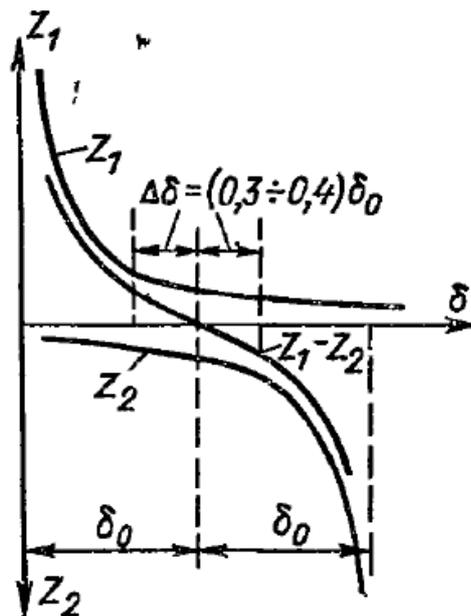


Рис 6.5 – Выходная характеристика дифференциального преобразователя

При отсутствии перемещения, когда внешняя сила равна нулю $P = 0$ якорь I (рис. 6.4a) расположен симметрично относительно обоих сердечников и магнитные сопротивления для потоков, создаваемых обеими катушками, одинаковы. Изменения магнитных сопротивлений, происходящие под воздействием силы P , имеют противоположные знаки. Аналогичное явление наблюдается при перемещениях из среднего положения якоря I в

преобразователях, показанных на рис. 6.4, б, в, д, или короткозамкнутого витка I в преобразователе на рис. 6.4г.

Измерение скорости вращения

Под скоростью вращения v (об/мин) обычно понимают число оборотов n твердого тела за единицу времени $t = 1$ мин:

$$v = nt$$

Частота вращения f Гц обозначает число полных оборотов за единицу времени $t = 1$ с:

$$f = n/t$$

В машиностроении и во многих других областях техники необходимо точно определять частоту вращения, например для контроля и регулирования работы машин. Неудивительно поэтому, что имеется много разнообразных типов тахометров, тем более что в основу измерения частоты вращения могут быть положены разные физические явления.

Наиболее простой конструкцией отличаются механические тахометры. Они выпускаются в очень больших количествах в виде неподвижно встроенных в агрегаты приборов, используемых для непрерывной индикации усредненного мгновенного значения скорости, или в виде ручных приборов, применяемых иногда для единичных измерений.

Значительно удобнее как по возможности использования для измерения различных физических эффектов, так и по возможности дальнейшей обработки измерительных сигналов являются электрические тахометры. Под ними понимаются все тахометры, дающие на выходе электрический сигнал. Сюда относятся, в частности, различные типы тахогенераторов, которые должны быть жестко связаны с объектом измерения. Они вырабатывают непрерывный сигнал, пропорциональный частоте вращения объекта измерений, и могут быть также с успехом использованы для определения изменений частоты вращения.

Тахометрические преобразователи

Тахометрические преобразователи – это индукционные датчики, построенные путем использования закона электромагнитной индукции. Преобразователи этого типа представляют собой электромашинные генераторы. В качестве примера рассмотрим синхронный (преобразователь называется синхронным, так как частота его ЭДС равна или кратна частоте вращения вала) преобразователь с вращающимся постоянным магнитом (рис. 6.6а): он состоит из статора 1, на котором помещена обмотка, и ротора 2 с

закрепленным на нем постоянным магнитом. При вращении магнита изменяется поток, проходящий через обмотку, и в ней индуцируется переменная ЭДС. Амплитуда и частота ЭДС пропорциональны частоте вращения ротора. Частота ЭДС определяется соотношением $f = np/60$, где n – частота вращения, об/мин; p – число пар полюсов.

На рис. 6.6б приведена схема тахометрического преобразователя постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита, расположенного на статоре 1. Измерительная обмотка расположена на роторе 2, и при его вращении в ней образуется переменная ЭДС, которая снимается с вращающегося ротора и подается на статор с помощью коллектора 3 и скользящих по нему щеток. При этом переменная ЭДС выпрямляется.

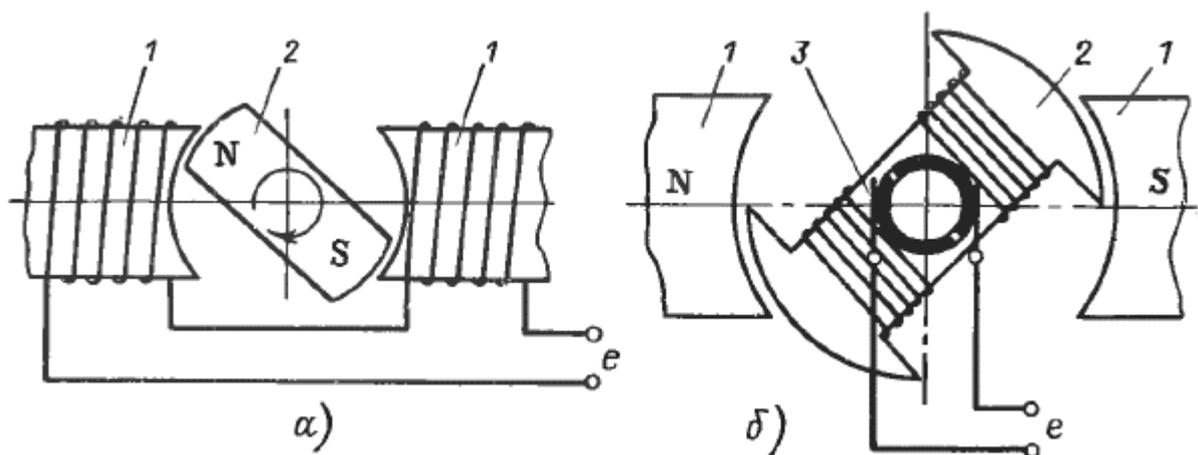


Рис. 6.6 – Конструктивная схема построения тахогенератора

Если в нагрузке преобразователя течет ток, то преобразователь отдает в измерительную цепь некоторую электрическую мощность. Эта энергия образована из механической.

Импульсные преобразователи для измерения угловой скорости

Импульсные преобразователи представляют собой электромагнитный преобразователь индуктивного типа. Импульсный преобразователь (рис. 6.7) представляет собой катушку 1 с разомкнутым ферромагнитным сердечником, установленную возле вала 2, частота вращения которого измеряется; на валу монтируется один или несколько ферромагнитных зубцов 3. Сердечник катушки предварительно намагничивается. При вращении вала зуб проходит вблизи катушки и уменьшает магнитное сопротивление R_m сердечника, как показано на графике. В соответствии с этим изменяется магнитный поток, проходящий через катушку, и в ней индуцируется ЭДС e . С выводом катушки снимается последовательность двуполярных импульсов, частота которых равна частоте прохождения зубцов вблизи катушки, т.е. пропорциональна частоте вращения вала.

Вторичним преобразователем импульсного индукционного преобразователя является частотомер, проградуированный в единицах частоты вращения.

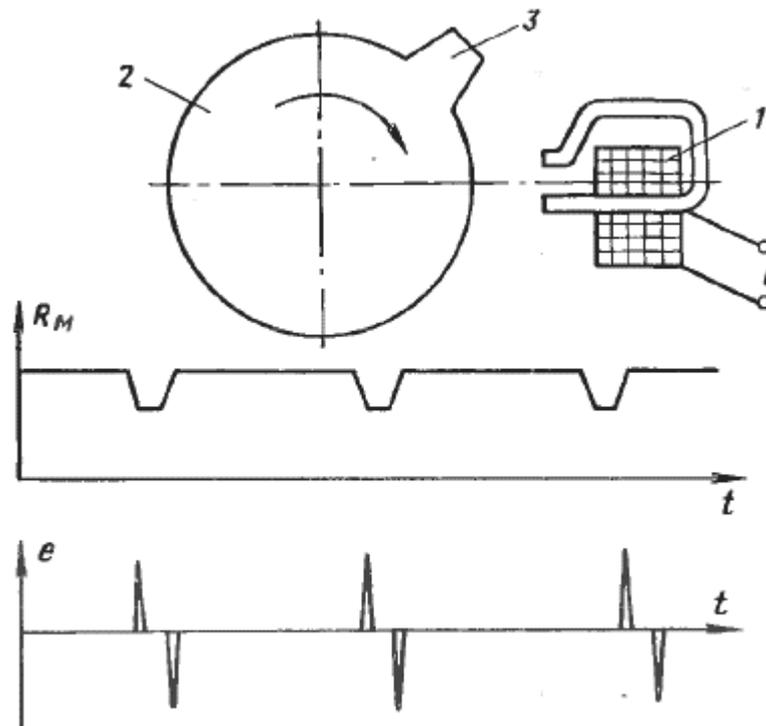


Рис. 6.7 – Принцип действия импульсного индуктивного преобразователя

Измерение линейной скорости

Под линейной скоростью v понимается отношение длины (пройденного пути) s к времени t :

$$v = s/t$$

Производной единицей линейной скорости согласно Международной системе единиц (СИ) является метр в секунду (м/с). Применяется также единица км/ч.

Это определение аналогично понятию «частота вращения», т. е. количеству оборотов за единицу времени. Поэтому имеется простая возможность измерять линейную скорость путем преобразования линейного движения во вращательное при помощи колеса. Частота вращения этого колеса и измеряемая линейная скорость связаны между собой постоянным, неизменным соотношением. Поэтому можно измерять линейную скорость градуированным в единицах линейной скорости измерителем угловой скорости (частоты вращения).

Большинство используемых в промышленности способов измерения линейной скорости основано на этой предпосылке. Например, наблюдение за скоростью ленточных конвейеров, измерение скорости автомобилей, а также измерение скорости схода нитей в текстильной промышленности.

Измерение линейного ускорения

Акселерометры – это устройства, позволяющие регистрировать линейные ускорения летательного аппарата при движении его на траектории и преобразующие эти ускорения в требуемый электрический сигнал. Сигналы, пропорциональные ускорению, используются для стабилизации и автоматического управления движущимся объектом на траектории. Чувствительным элементом акселерометра является инерционная масса, воспринимающая линейное ускорение движения летательного аппарата.

Принципиальная кинематическая схема акселерометра для измерения линейных ускорений приведена на рис. 6.8.

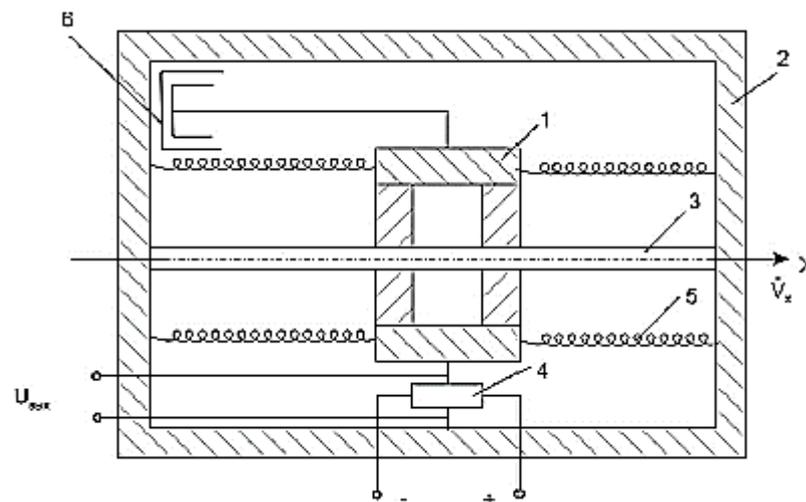


Рис. 6.8 – Схема акселерометра для измерения линейных ускорений приведена

Акселерометр устанавливается на летательном аппарате (ЛА) таким образом, чтобы ось 3 направляющей инерционной массы 1 совпадала с осью X ЛА, вдоль которой необходимо измерять ускорение a_x .

Инерционная масса 1 может перемещаться относительно корпуса прибора 2 по направляющей 3 вдоль оси X. Свобода движения инерционной массы 1 относительно корпуса 2 ограничена пружинами 5. При отсутствии ускорения ($a_x = 0$) натяжение пружин 5 одинаково, и инерционная масса располагается в среднем положении. Во время движения ЛА с ускорением a_x под действием инерционной силы $F_x = ma_x$ масса 1 перемещается относительно корпуса на величину δ . Это перемещение с помощью датчика 4 преобразуется в электрический сигнал. Для успокоения колебаний инерционной массы относительно корпуса служит демпфер б.

В качестве датчика в акселерометрах часто используются дифференциальные индуктивные преобразователи, рассмотренные ранее в данной лекции. Другим вариантом является использование пьезодатчиков.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Разновидности и принципы действия электромагнитных преобразователей.
2. Общие принципы измерения перемещений, скорости и ускорений.
3. Типы индуктивных преобразователей.
4. Дифференциальные индуктивные преобразователи.
5. Тахометрические преобразователи.
6. Импульсные преобразователи для измерения угловой скорости.
7. Измерение линейной скорости.
8. Измерение линейного ускорения.

Лекція № 7

Тема: Измерительные мосты**Оглавление**

Общие понятия	2
Измерительный мост постоянного тока	2
Измерительный мост переменного тока.....	3
Контрольные вопросы по теме	6
Уровень модуля.....	6
Уровень курса.....	6

Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
3. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.
4. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Общие понятия

Важным классом устройств, предназначенных для измерения параметров электрических цепей (сопротивления, емкости, индуктивности и др.) методом сравнения, являются мосты. Сравнение измеряемой величины с образцовой мерой, которое производится в процессе измерения при помощи моста, может осуществляться вручную или автоматически, на постоянном или на переменном токе.

Измерительный мост постоянного тока

В простейшем случае мостовая схема содержит четыре резистора, соединенных в кольцевой замкнутый контур. Такую схему имеет одинарный мост постоянного тока (рис. 7.1). Резисторы R_1 , R_2 , R_3 и R_4 этого контура называются плечами моста, а точки соединения соседних плеч – вершинами моста. Цепи, соединяющие противоположные вершины, называются диагоналями. Одна из диагоналей (3–4) содержит источник питания GB а другая (1–2) – указатель равновесия PG . В случае моста переменного тока его плечи могут включать в себя не только резисторы, но также конденсаторы и катушки индуктивности, т.е. сопротивления могут иметь комплексный характер.

Мост называется уравновешенным, если разность потенциалов между точками 1 и 2 равна нулю, т.е. напряжение на диагонали, содержащей индикатор нуля, отсутствует и ток через индикатор равен нулю.

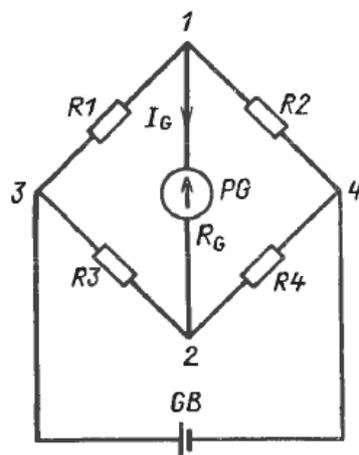


Рис. 7.1

Измерительный мост постоянного
тока

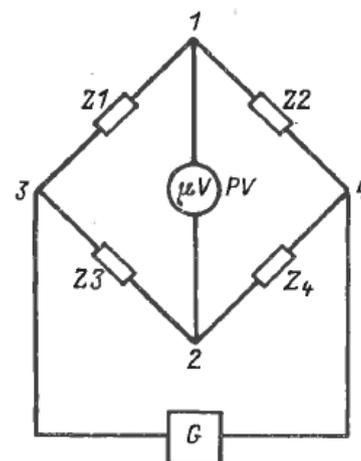


Рис.7.2

Измерительный мост переменного
тока

Соотношение между сопротивлениями плеч, при котором мост уравновешен, называется условием равновесия моста. Это условие можно получить, используя законы Кирхгофа для расчета мостовой схемы.

Например, для одинарного моста постоянного тока зависимость протекающего через индикатор нуля (гальванометр) I_G тока от сопротивлений плеч, сопротивления гальванометра и напряжения питания и имеет вид

$$I_G = \frac{U(R_1R_4 - R_2R_3)}{R_G(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1R_2(R_3 + R_4) + R_3R_4(R_1 + R_2)} \quad (7.1)$$

Ток $I_G = 0$ при

$$R_1R_4 = R_2R_3 \quad (7.2)$$

Это и есть условие равновесия одинарного моста постоянного тока, которое можно сформулировать следующим образом: для того, чтобы мост был уравновешен, произведения сопротивлений противолежащих плеч должны быть равны. Если сопротивление одного из плеч неизвестно (например, $R_1 = R_x$), то условие (7.2) будет иметь вид

$$R_x = R_2R_3/R_4 \quad (7.3)$$

Таким образом, измерение при помощи одинарного моста можно рассматривать как сравнение неизвестного сопротивления R_x с образцовым сопротивлением R_2 при сохранении неизменным отношением R_3/R_4 . По этой причине плечо R_2 называют плечом сравнения, плечи R_3 и R_4 – плечами отношения.

Измерительный мост переменного тока

Одинарные мосты могут также работать на переменном токе. В этом случае сопротивления плеч являются комплексными. Обобщенная схема моста переменного тока представлена на рис. 7.2. Индикатором нуля обычно служит электронный милливольтметр. Возможно также использование электронного индикатора нуля на базе электронно-лучевой трубки. Электронные индикаторы имеют очень большое входное сопротивление, что выгодно отличает их от электромеханических устройств, таких, как вибрационный гальванометр или телефонные наушники, которые тоже иногда используются в качестве индикаторов нуля.

Аналогично соотношению (7.2) условие равновесия одинарного моста переменного тока имеет вид

$$Z_1Z_4 = Z_2Z_3 \quad (7.4)$$

где Z_1, Z_2, Z_3 и Z_4 – комплексные сопротивления плеч.

Как известно, любое комплексное число Z можно представить в показательной форме: $Z = ze^{j\varphi}$. Используя это представление, получим вместо условия (7.4) равенство

$$z_1 e^{j\varphi_1} z_4 e^{j\varphi_4} = z_2 e^{j\varphi_2} z_3 e^{j\varphi_3}, \quad (7.5)$$

которое справедливо только в том случае, если выполняются вытекающие из него соотношения

$$z_1 z_4 = z_2 z_3 \quad (7.6)$$

и

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \quad (7.7)$$

Условие (7.6), требующее равенства произведений модулей комплексных сопротивлений противоположных плеч, дополняется условием (7.7), налагающим требование равенства сумм их аргументов. Только одновременное выполнение соотношений (7.6) и (7.7) обеспечивает равенство нулю напряжения на диагонали 1–2, в которую включен индикатор нуля PV (рис. 11).

Условия равновесия можно записать иначе, если воспользоваться не показательной, а алгебраической формой представления комплексных чисел $Z = R + jX$, где R и X – вещественная и мнимая части соответственно. В нашем случае символом Z обозначено комплексное сопротивление, а R и X представляют собой активную и реактивную составляющие. В алгебраической форме условие (7.4) переписывается в виде

$$(R_1 + jX_1)(R_4 + jX_4) = (R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3) \quad (7.8)$$

Это равенство выполняется, если справедливы равенства для активных и реактивных частей:

$$R_1 R_4 - X_1 X_4 = R_2 R_3 - X_2 X_3 \quad (7.9)$$

и

$$R_1 X_4 - R_4 X_1 = R_2 X_3 - R_3 X_2 \quad (7.10)$$

Вновь требуется одновременное выполнение соотношений (7.9) и (7.10)

Две пары равенств (7.6), (7.7) и (7.9), (7.10) полностью равноправны, и выбор того или другого определяется соображениями удобства при расчетах конкретных мостовых схем. Чтобы обеспечить выполнение двух условий

одночасно, необхідно мати не менше двох регульованих елементів. Їми частіше за все є резистори і конденсатори, оскільки вони допускають більш точну регулювання, ніж котушки індуктивності. На практиці важливо, щоб міст можна було швидко, з найменшим числом елементарних операцій по регулюванні, урівноважити. Число таких операцій, необхідних для досягнення рівноваги, характеризує "сходимость" моста. Правильний вибір регульованих елементів і їх положення в плечах моста забезпечує найкращу сходимость, а відповідно, і найменше час вимірювань.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Измерительный мост постоянного тока.
2. Измерительный мост переменного тока.

Лекція № 8

Тема: Емкостные преобразователи**Оглавление**

Принцип действия емкостного преобразователя.....	2
Конструкции емкостных преобразователей.....	4
Емкостной датчик давления.....	5
Емкостной измеритель уровня жидкости.....	6
Емкостной преобразователь для измерения толщины ленты из диэлектрика.....	7
Емкостной преобразователь для измерения угла поворота вала	7
Контрольные вопросы по теме	9
Уровень модуля.....	9
Уровень курса.....	9

Источники:

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: Наука, 1987 - 445 с.
2. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
3. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
4. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.
5. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Принцип действия емкостного преобразователя

Емкостный преобразователь (ЕП) представляет собой конденсатор, электрические параметры которого изменяются под действием входной величины.

Конденсатор состоит из двух электродов, к которым подсоединены выводные концы. Пространство между электродами заполнено диэлектриком. При изменении взаимного положения электродов или при изменении диэлектрической проницаемости среды, заполняющей межэлектродное пространство, изменяется емкость конденсатора.

В качестве емкостного преобразователя широко используется плоский конденсатор. Его емкость определяется выражением

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (8.1)$$

где d – расстояние между электродами; S – их площадь; ε_0 – электрическая постоянная; ε – относительная проницаемость диэлектрика. Изменение любого из этих параметров изменяет емкость конденсатора.

Данная функциональная зависимость и положена в основу работы емкостных измерительных преобразователей перемещений, влияющих непосредственно на S или d , и диэлектрических свойств среды, воздействующих через ε . Применение промежуточных измерительных преобразователей, в частности, механических упругих преобразователей статических сил, давлений, ускорений и т.д. в линейные или угловые перемещения значительно расширяет сферу применения емкостных датчиков (динамометры, манометры, виброметры, акселерометры и т.д.).

Воздействие через ε используется в уровнемерах, анализаторах состава и, в частности, влажности и в других измерительных преобразователях.

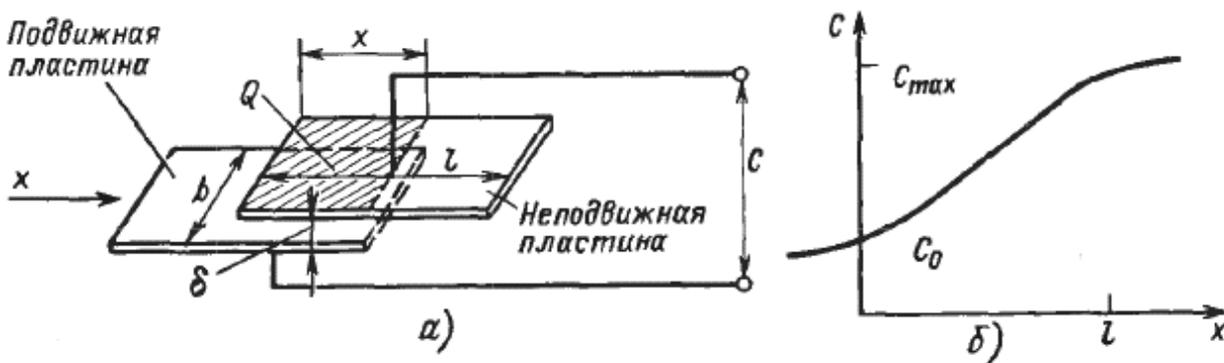


Рис. 1 – Измерение величины перемещения электродов

У преобразователя с прямоугольными электродами (рис. 1а) $S = bx$ и имеется некоторый диапазон перемещения пластин x , в котором емкость линейно зависит от x (рис. 1б). Линейная зависимость искажается вследствие краевого эффекта. В области линейной зависимости чувствительность такого преобразователя

$$Q = dC/dx = \varepsilon\varepsilon_0 b/\delta \quad (8.2)$$

постоянна и увеличивается с уменьшением расстояния между электродами δ .

Если изменяется расстояние δ между электродами, функция преобразования $C=f(x)$ представляет собой гиперболическую функцию. Чувствительность преобразователя

$$Q = dC/d\delta = \varepsilon\varepsilon_0 S/\delta^2 \quad (8.3)$$

сильнее, чем в предыдущем случае, зависит от расстояния между пластинами δ . Для увеличения чувствительности Q целесообразно уменьшить δ . Предельное его значение определяется технологическими соображениями и приложенным напряжением. Надо учитывать, что при малых δ возможен электрический пробой между электродами.

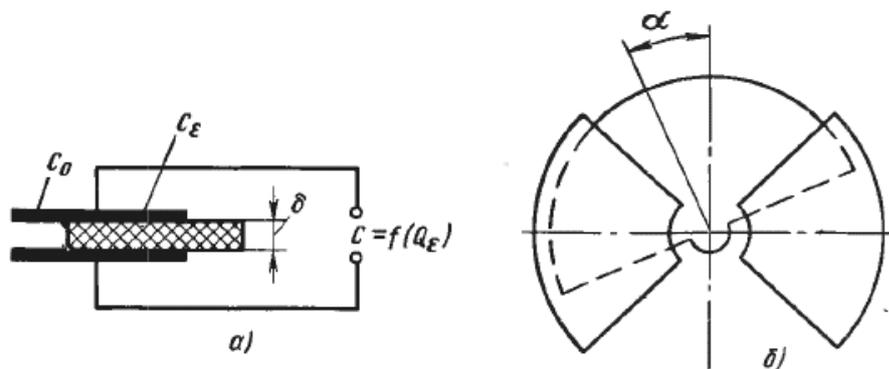


Рис. 2 – Измерение величины перемещения диэлектрической пластины

Если перемещать диэлектрическую пластину в зазоре плоского конденсатора (рис. 2а), то можно получить преобразователь с переменной диэлектрической проницаемостью. Емкость такого преобразователя определяется как емкость двух параллельно включенных конденсаторов. Один из них C_ε образован частью электродов и диэлектрической пластиной, другой C_0 – оставшейся частью электродов с межэлектродным пространством, не заполненным пластинкой. Если пластинка с относительной диэлектрической проницаемостью ε имеет толщину δ , равную расстоянию между электродами, то функция преобразования преобразователя описывается выражением

$$C = C_e + C_0 = \varepsilon_0 [S + S_e(\varepsilon - 1)] / \delta \quad (8.4)$$

где S - площадь электродов; S_e – часть площади диэлектрической пластины, находящаяся между электродами.

Емкостные преобразователи могут выполняться по дифференциальной схеме. Схема дифференциального преобразователя углового перемещения α с переменной площадью электродов приведена на рис. 2б. В таких преобразователях средний подвижный электрод обычно соединяется с экраном.

Конструкции емкостных преобразователей

В целом, несмотря на большое разнообразие конструктивных разновидностей емкостных преобразователей, их можно объединить в три группы: датчики с плоскими электродами (рис. 3); с коаксиальными электродами (рис. 4 а,б) и с электродами произвольной формы (рис. 4в).

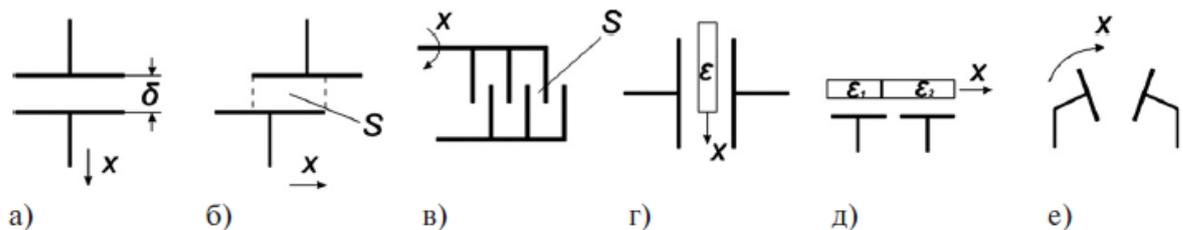


Рис. 3 – Емкостные преобразователи с плоскими электродами

Рис. 3 объясняет принцип построения емкостных преобразователей с плоскими электродами: а) и е) преобразователей с изменяющимся расстоянием между электродами; б) и в) преобразователей с изменяющейся площадью перекрытия электродов; г) и д) преобразователей с изменяющейся диэлектрической проницаемостью между электродами.

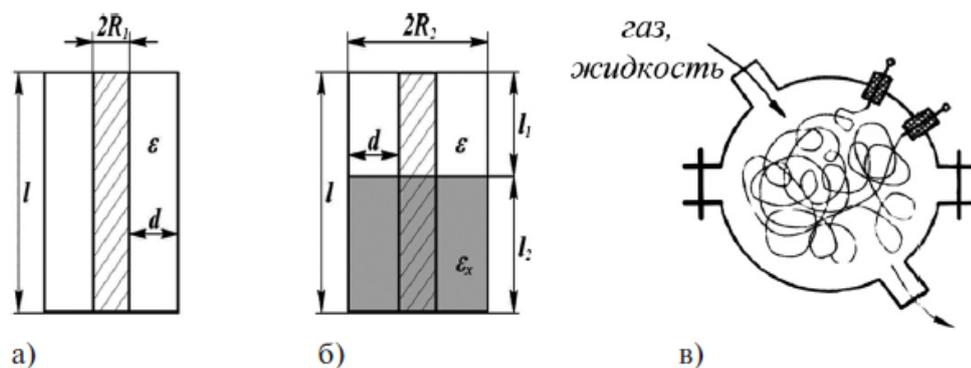


Рис. 4 – Разнообразие форм электродов емкостных преобразователей

Конструкції емкостных датчиков с электродами произвольной формы могут быть самыми разнообразными: кольцевые, сферические, конические и др. Это разнообразие диктуется спецификой конкретных условий измерений. В частности, на рис. 4в представлен возможный вариант датчика диэлектрических свойств жидкостей или газов. Electroдами такого датчика служат две гибкие проволоки (одножильные или многожильные). Хотя бы одна из них должна быть покрыта изоляцией. Проволоки укладываются в жгут и произвольно сминаются в клубок требуемой формы (сфера, тор, цилиндр и т.д.).

Емкостной датчик давления

Чувствительными элементами емкостных датчиков давления являются мембраны и диафрагмы, преобразующие измеряемое давление в перемещение. При этом они могут быть одновременно использованы в качестве подвижного электрода емкостного датчика. Соотношение между относительным изменением емкости и измеряемым давлением P емкостного датчика давления с неподвижным плоским электродом 1 и подвижным электродом 2 в виде эластичной мембраны (рис. 5а) определяется линейной зависимостью.

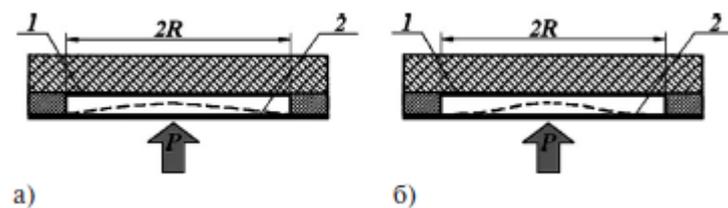


Рис. 5 — Чувствительные элементы емкостных датчиков давления

Чувствительность емкостного датчика давления с эластичной мембраной при малых ее прогибах пропорциональна приложенному давлению. Необходимо отметить, что пропорциональная зависимость распространяется только на статические отклонения, когда можно пренебречь амортизирующим действием тонкой воздушной прослойки между мембраной и неподвижным электродом. Эта воздушная подушка значительно увеличивает жесткость и снижает чувствительность к динамическим давлениям. Для снижения амортизирующего действия воздушной подушки до пренебрежимо малого значения неподвижный электрод перфорируют.

Датчики типа выпускаются как датчики абсолютного давления (рис. 6а) и как датчики относительного давления (рис. 6б). Конструктивно они почти не отличаются за исключением отверстия в основе корпуса датчика относительного давления, которое соединяет межэлектродную камеру с

атмосферой, обеспечивая в камере атмосферное давление. Такого отверстия в датчиках абсолютного давления нет, а в межэлектродном пространстве датчика создают вакуум.

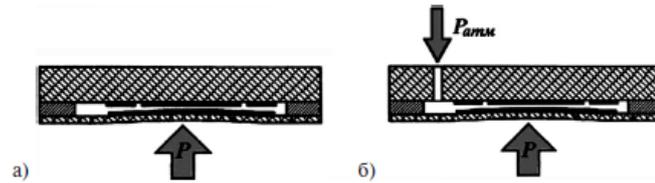


Рис. 6 – К принципу действия датчиков абсолютного и относительного давлений

Повышение чувствительности емкостных датчиков давления с упругим элементом в виде круглой мембраны постоянного сечения, жестко заделанной по контуру, можно получить, используя в качестве промежуточной физической величины не прогиб мембраны, а угол наклона воображаемой нормали к ее поверхности относительно оси круглой пластины.

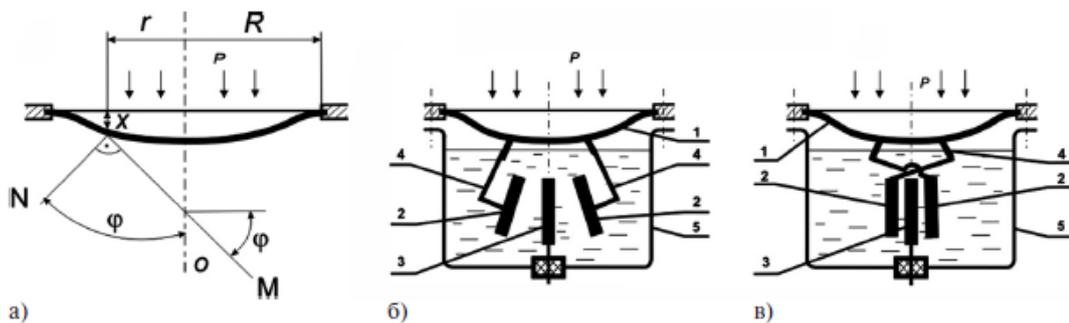
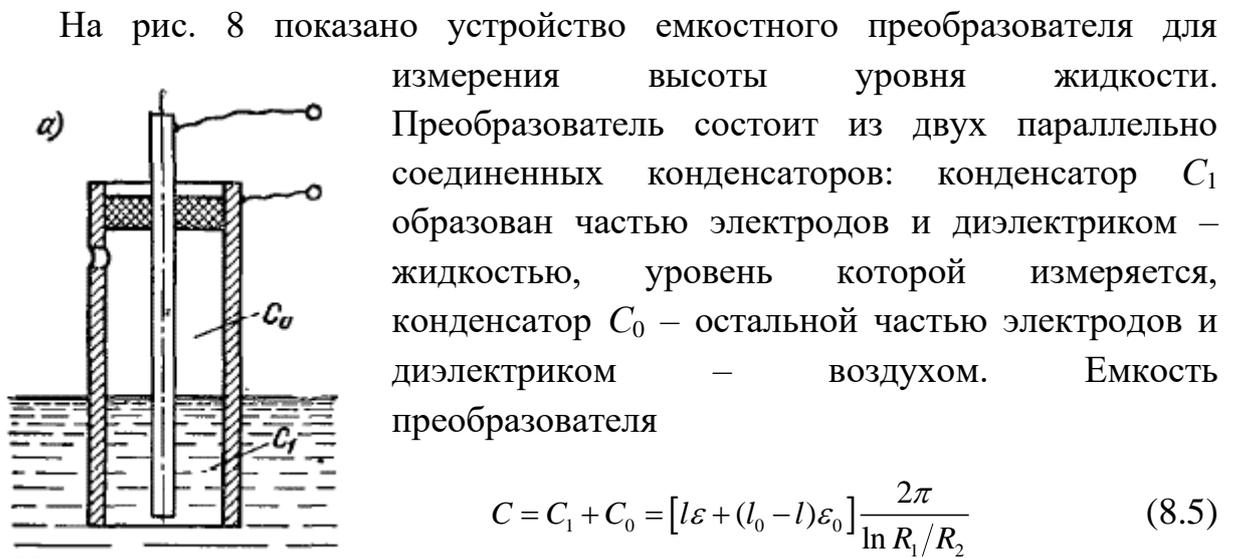


Рис. 7 – Емкостные датчики давления: а) – схема деформации круглой мембраны под действием давления P ; б), в) – варианты исполнения датчиков

Емкостной измеритель уровня жидкости



На рис. 8 показано устройство емкостного преобразователя для измерения высоты уровня жидкости. Преобразователь состоит из двух параллельно соединенных конденсаторов: конденсатор C_1 образован частью электродов и диэлектриком – жидкостью, уровень которой измеряется, конденсатор C_0 – остальной частью электродов и диэлектриком – воздухом. Емкость преобразователя

$$C = C_1 + C_0 = [l\varepsilon + (l_0 - l)\varepsilon_0] \frac{2\pi}{\ln R_1/R_2} \quad (8.5)$$

рис.8 Емкостной уровнемер

где l_0 – полная длина цилиндра; l – длина, на которую цилиндр заполнен жидкостью; ε – диэлектрическая проницаемость жидкости; R_1 и R_2 – радиусы внешнего и внутреннего цилиндров.

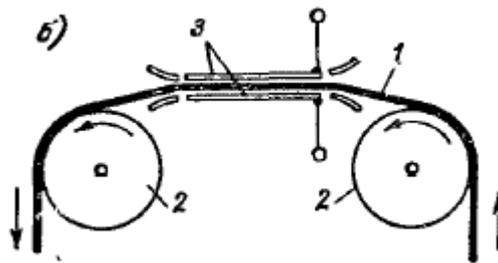
Емкостной преобразователь для измерения толщины ленты из диэлектрика

Рис. 9 – Измерение толщины диэлектрической ленты емкостным методом

На рис. 9 показан принцип устройства емкостного преобразователя для измерения толщины ленты из диэлектрика. Испытуемая лента 1 протягивается с помощью роликов 2 между обкладками 3 конденсатора. Если ширину зазора между обкладками конденсатора обозначить δ , площадь обкладок S , толщину ленты δ_d и ее диэлектрическую проницаемость ε_d , то емкость C можно выразить как

$$C = \frac{S}{(\delta - \delta_d)/\varepsilon_0 + \delta_d/\varepsilon_d} \quad (8.6)$$

Емкостной преобразователь для измерения угла поворота вала

На рис. 10а показан принцип устройства емкостных преобразователей с переменной площадью пластин, используемых для измерения угла поворота вала. Ротор 1, жестко скрепленный с валом 2, перемещается относительно статора 3 так, что ширина зазора между ними сохраняется неизменной. Емкость преобразователя при повороте ротора изменяется от максимума (выступ ротора находится против выступа статора) до минимума, как показано на рис. 10б.

Достоинством емкостных преобразователей с переменной площадью пластин (рис. 11) является возможность соответствующим выбором формы подвижной 1 и неподвижной 2 пластин получить заданную функциональную зависимость между изменением емкости и входным угловым или линейным перемещением. Преобразователи с переменной площадью применяются для измерения перемещений, больших 1 мм.

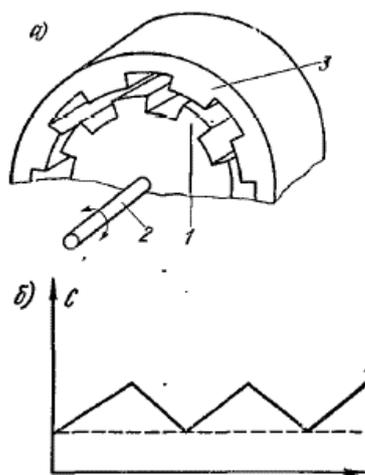


Рис. 10 – Измерение угла поворота вала

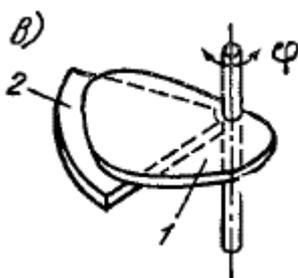


Рис. 11 – Емкостной преобразователь угла поворота вала с переменной площадью пластин

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Принцип действия емкостного преобразователя.
2. Конструкции емкостных преобразователей.
3. Емкостной датчик давления.
4. Емкостной измеритель уровня жидкости.
5. Емкостной преобразователь для измерения угла поворота вала.

Лекція № 9

Тема: Емкостные преобразователи (продолжение). Измерение емкости.

Оглавление

Емкостные преобразователи (продолжение)	3
Емкостные преобразователи для контроля размеров поперечного сечения линейно-протяжных изделий	3
Емкостные преобразователи для контроля твердых дисперсных материалов	3
Методы измерения емкости	4
Идеальный и реальный конденсатор	4
Применение мостовых схем для измерения емкости. Мост Вина...	6
Мостовая цепь в неравновесном режиме	7
Трансформаторные мосты	8
Резонансный метод	9
Особенности применения емкостных преобразователей.	10
Контрольные вопросы по теме	11
Уровень модуля.....	11
Уровень курса.....	11

Источники:

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: Наука, 1987 - 445 с.
2. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
3. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
4. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.

5. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Емкостные преобразователи (продолжение)

Емкостные преобразователи для контроля размеров поперечного сечения линейно-протяжных изделий

Для контроля размеров поперечного сечения линейно-протяжных изделий (например, проволоки, ленты, полосы, фольги, прутков и пр.) применяют проходные емкостные электрические преобразователи (ЭП). В зависимости от схемы включения электродов и объекта контроля конструкции ЭП бывают двух и трехжжимными (рис. 1). Их работа основана на измерении полной или частичной емкости. Контроль может осуществляться и по так называемой схеме с перекрестной емкостью (например, включение проходных ЭП по схеме, показанной на рис. 1, е, ж).

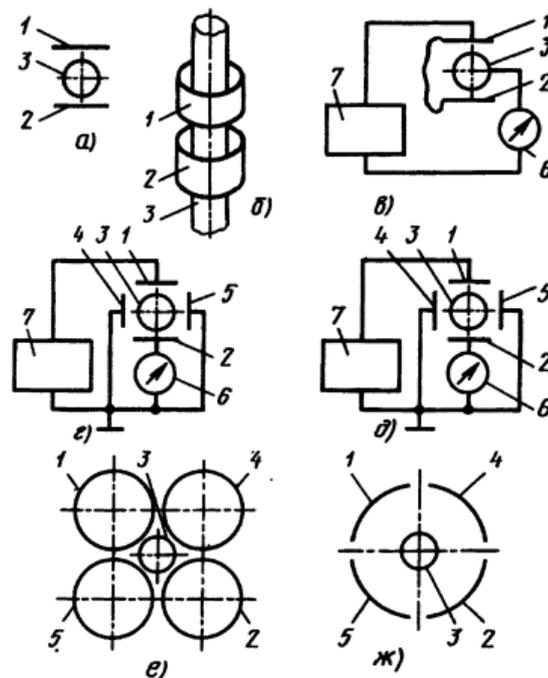


Рис. 1 – Конструкция проходных ЭП с измерением емкости:

а-в – полной; *г-д* – частичной; *е, ж* – перекрестной;

1 – высокопотенциальный электрод; 2 – низкопотенциальный электрод;

3 – объект контроля; 4 и 5 – охранные электроды; 6 – индикатор;

7 – источник питания

Емкостные преобразователи для контроля твердых дисперсных материалов

Контроль твердых дисперсных (сыпучих) материалов допускает большую свободу в выборе конструкции ЭП, так как контролируемая среда может принять любую форму в соответствии с применяемой конструкцией ЭП. Чаще всего ЭП выполняют в виде сосуда, заполняемого контролируемой

средой, или в виде преобразователя, погружаемого в эту среду. Несколько конструкций ЭП такого вида приведено на рис. 2. Контролируемыми параметрами в данном случае являются степень дисперсности среды, физико-механические параметры частиц (например, их состав, влажность), состав полидисперсных сред.

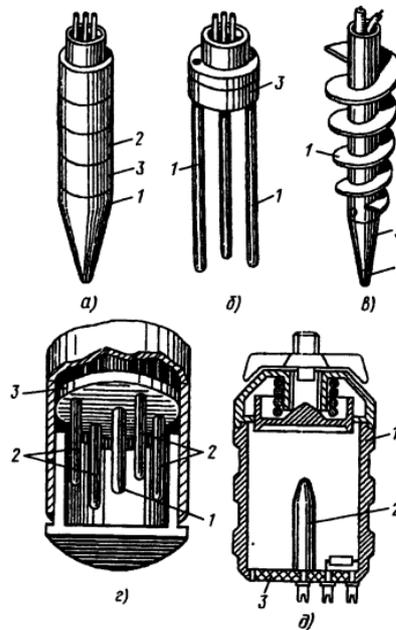


Рис. 2 – ЭП для контроля сыпучих материалов:

а-в – погружные; г– типа сосуда; д – типа сосуда с прессовым устройством для уплотнения пробы;

1 – низкопотенциальный электрод; 2 – высокопотенциальный электрод;
3 – изоляционное основание

Методы измерения емкости

Емкостный преобразователь включается в измерительную цепь; при этом изменение его емкости преобразуется в изменение напряжения или тока либо в частоту синусоидального или импульсного тока. Существует довольно много различных измерительных цепей включения емкостных преобразователей. Рассмотрим некоторые из них. Но для начала вспомним некоторые сведения из теоретических основ электротехники относительно конденсаторов.

Идеальный и реальный конденсатор

Схема идеального конденсатора, то есть устройства, обладающего исключительно емкостными свойствами, представлена на рисунке 3. Здесь же

представлена діаграма токів і напруг на конденсаторі, а також графік змінення току і напруги на ідеальному конденсаторі.

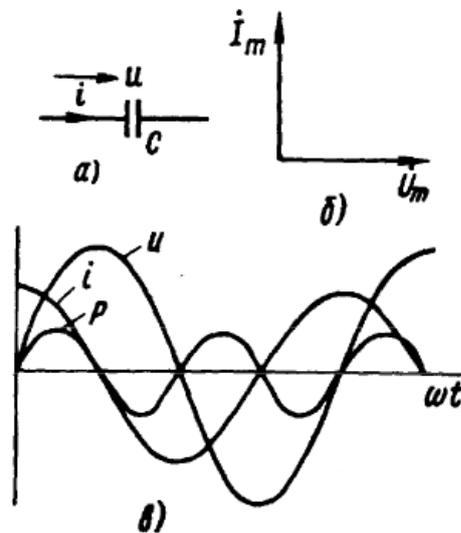


Рис. 3 – Ідеальний конденсатор

Внутреннее активное сопротивление конденсатора равно бесконечности. У реального конденсатора это не так. Активное сопротивление реального конденсатора хоть и имеет очень высокую величину, но тем не менее оно не бесконечно. То есть, реальный конденсатор обладает как емкостью, так и активным сопротивлением, что отображается эквивалентной схемой реального конденсатора (рис.4):

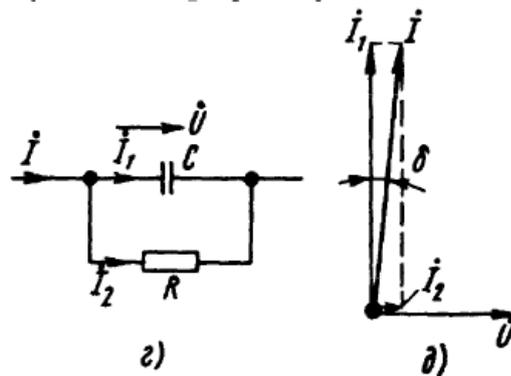


Рис. 4 – Реальный конденсатор

На эквивалентной схеме реального конденсатора его емкость и его сопротивление соединены параллельно. Напряжение и ток на реальном конденсаторе имеют разность фаз не 90 градусов, а меньше. Отличие этой разности фаз от 90 градусов (величина угла δ на рисунке 4) характеризует величину активного сопротивления конденсатора, и, чем оно больше, тем

больше активные потери мощности на конденсаторе. Поэтому угол δ называют углом потерь. Его величина определяется через тангенс отношения активной $1/R$ и реактивной ωC составляющей комплексной проводимости конденсатора:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1/R}{\omega C} = \frac{1}{\omega RC}$$

Тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ зависит от типа диэлектрика и от частоты. Угол потерь для разных конденсаторов может составлять от нескольких секунд до нескольких градусов.

Емкостные преобразователи: емкостные датчики давления, емкостные датчики перемещения, емкостные датчики измерения угла поворота и все другие виды емкостных датчиков, безусловно, относятся к категории реальных конденсаторов. Их активное сопротивление не бесконечно, а тангенс угла потерь отличен от нуля.

Применение мостовых схем для измерения емкости. Мост Вина

В лекции 10 было рассказано о мостовых схемах и их применении для проведения измерений параметров элементов цепи. В частности, указывалось, что для измерения реактивных сопротивлений используются мосты переменного тока (рис. 5).

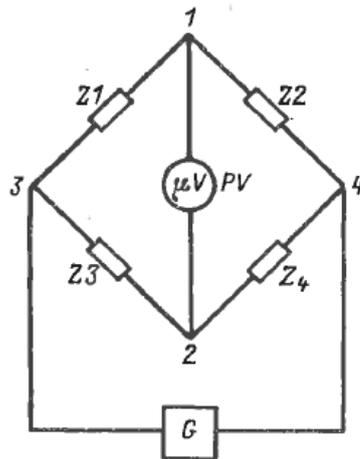


Рис. 5 – Мост переменного тока

Условие равновесия одинарного моста переменного тока имеет вид

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

где Z_1 , Z_2 , Z_3 и Z_4 – комплексные сопротивления плеч.

Когда нуль-индикатор PV на рис. 6 показывает $U_n = 0$, то это означает, что выполнено соотношение

$$Z_1 = Z_2 Z_3 / Z_4$$

Неизвестное полное сопротивление Z_X здесь играет роль Z_1 . Остальные полные сопротивления, входящие в схему, следует выбирать так, чтобы они обеспечивали возможность выполнения вышеприведенного равенства по величине и фазе. Кроме того, схема должна включать и известное образцовое полное сопротивление. Эти условия позволяют создать весьма многочисленные варианты мостов переменного тока. На рис. 6 показан вариант, часто применяемый для измерения емкости конденсаторов – так называемый мост Вина. Неизвестное полное сопротивление, соответствующее емкости C_x с углом потерь δ , может быть легко определено по образцовой емкости с минимальными потерями C_N , калиброванному резистору с сопротивлением потерь R_δ и калиброванному отношению сопротивлений R_2/R_1 . При этом:

$$C_x = C_N (R_2/R_1); \quad \text{tg} \delta_x = 1/(\omega C_N R_\delta)$$

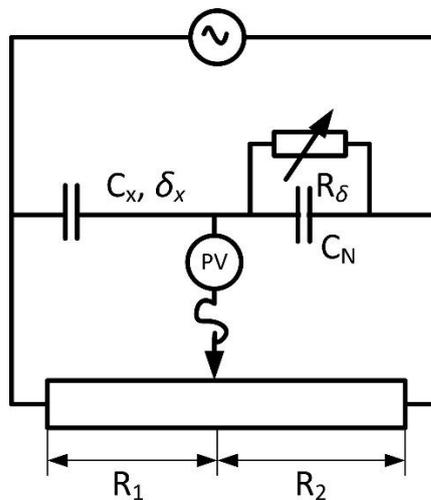


Рис. 6 – Мост Вина

Мостовая цепь в неравновесном режиме

Для включения дифференциального емкостного преобразователя может быть использована мостовая цепь (рис. 7), работающая в неравновесном режиме.

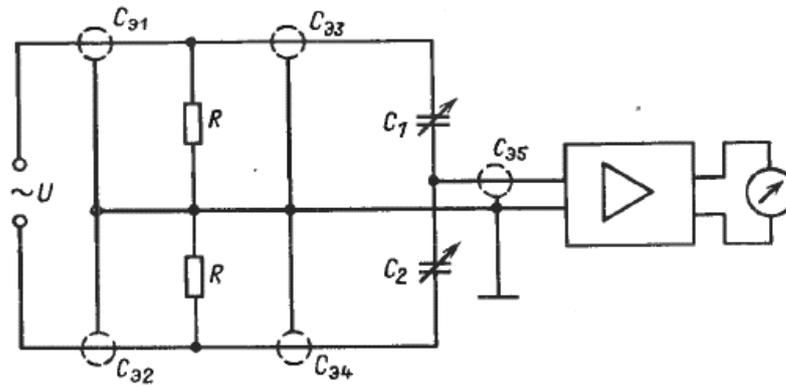


Рис. 7 – Мостовая цепь в неравновесном режиме

В этой цепи емкости C_1 и C_2 – дифференциальный преобразователь. На схеме показано также экранирование соединительных проводов и диагоналей мостовой цепи. $C_{э1}$, $C_{э2}$, $C_{э3}$, $C_{э4}$ – емкости соответствующих экранов. Эти емкости включены параллельно активным сопротивлениям и входят в полные сопротивления плеч моста. Эквивалентные емкости экранов могут несколько изменяться при работе прибора. Для того чтобы их изменения мало влияли на выходное напряжение моста, сопротивления резисторов R должны быть малыми. Емкость $C_{э5}$ не входит в уравнение равновесия моста, и ее изменение значительно меньше влияет на его выходное напряжение.

Трансформаторные мосты

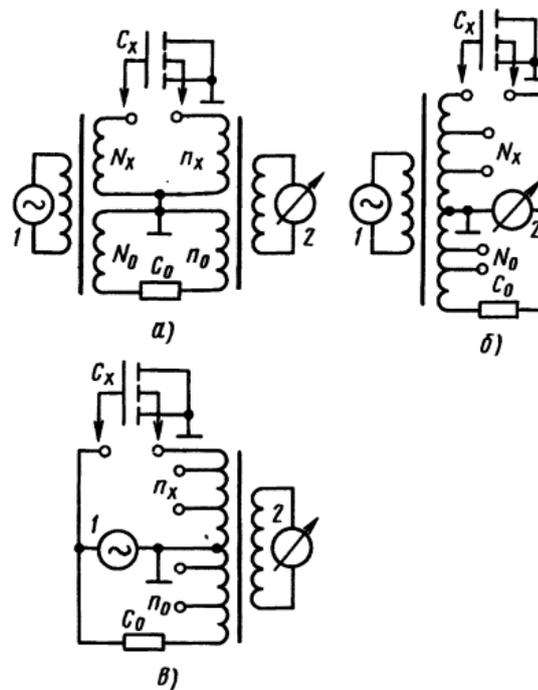


Рис. 8 – Трансформаторные мосты: мосты с индуктивно связанными плечами; 1 – генератор; 2 – индикатор

Несколько разновидностей таких схем приведено на рис. 8а - 8в.
Условия равновесия для приведенных схем:

$$а) \frac{C_x}{C_0} = \frac{N_0 n_0}{N_x n_x}$$

$$б) \frac{C_x}{C_0} = \frac{N_0}{N_x}$$

$$в) \frac{C_x}{C_0} = \frac{n_0}{n_x}$$

Основными преимуществами данного типа трансформаторных мостов являются:

- малая чувствительность к паразитным емкостям, включенным параллельно индуктивным плечам, что позволяет проводить измерения при наличии длинных соединительных проводов;
- возможность построения мостов с широким диапазоном измерений при применении многосекционированных трансформаторов при малом числе образцовых мер;
- возможность выбора образцовой меры такого значения, при котором можно ожидать наибольшую стабильность и точность измерений.

Резонансный метод

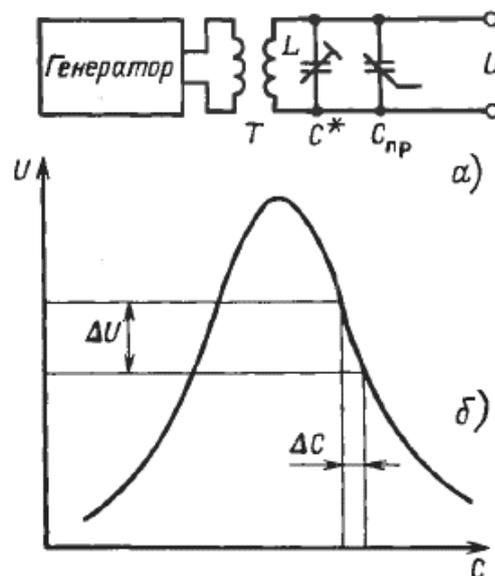


Рис. 9 – Резонансный метод измерения емкости

Для включения недифференциального преобразователя может использоваться резонансная цепь (рис.9а). Генератор через разделительный трансформатор T питает резонансный RC - контур. Емкость контура состоит из емкости преобразователя $C_{пр}$ и подстроечного конденсатора емкостью C , частота и значение напряжения генератора постоянны. При изменении

емкости напряжение на контуре изменяется по резонансной кривой, как показано на рис. 9б. При изменении емкости преобразователя на ΔC напряжение на контуре изменяется на ΔU . Подстроечный конденсатор служит для настройки контура так, чтобы чувствительность измерительной цепи $Q = \Delta U / \Delta C$ была максимальной.

Чувствительность резонансной цепи довольно высока и увеличивается с увеличением добротности контура.

Особенности применения емкостных преобразователей.

Емкостные преобразователи имеют ряд специфических достоинств и недостатков, определяющих область их применения. Конструкция емкостного датчика проста, он имеет малые массу и размеры. Его подвижные электроды могут быть достаточно жесткими, с высокой собственной частотой, что дает возможность измерять быстропеременные величины. Емкостные преобразователи можно выполнять с заданной (линейной или нелинейной) функцией преобразования. Для получения требуемой функции преобразования часто достаточно изменить форму электродов. Отличительной особенностью является малая сила притяжения электродов.

Основным недостатком емкостных преобразователей является малая их емкость и высокое сопротивление. Для уменьшения последнего преобразователи питаются напряжением высокой частоты. Однако это обуславливает другой недостаток — сложность вторичных преобразователей. Недостатком является и то, что результат измерения зависит от изменения параметров кабеля.

Для уменьшения погрешности измерительную цепь и вторичный прибор располагают вблизи датчика.

Емкостные преобразователи широко применяются в научно-исследовательской работе, где имеется высококвалифицированный персонал для разработки, эксплуатации и ремонта датчиков и вторичных приборов. В условиях научного эксперимента ценным свойством датчиков является простота их конструкции и технологии.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Емкостные преобразователи для контроля размеров поперечного сечения линейно-протяжных изделий.
2. Емкостные преобразователи для контроля твердых дисперсных материалов.
3. Идеальный и реальный конденсатор.
4. Применение мостовых схем для измерения емкости. Мост Вина.
5. Мостовая цепь в неравновесном режиме для измерения емкости.
6. Применение трансформаторных мостов для измерения емкости.
7. Резонансный метод измерения емкости.

Лекція № 10

Тема: Измерения высоты уровня жидкости и сыпучих веществ

Оглавление

Измерение количества жидкости внутри емкости	3
Методы измерения уровня жидкости	3
Типы первичных преобразователей	4
Физические основы и принцип действия преобразователей для измерения уровня жидкости	5
Визуальные уровнемеры	5
Поплавковые датчики уровня	6
Буйковые уровнемеры	6
Гидростатические уровнемеры	7
Вибрационные сигнализаторы уровня	8
Емкостные уровнемеры	9
Кондуктометрические уровнемеры	10
Акустические и ультразвуковые уровнемеры	10
Микроволновые радарные уровнемеры	11
Радиоизотопные уровнемеры	12
Контрольные вопросы по теме	13
Уровень модуля	13
Уровень курса	13

Источники:

1. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: Наука, 1987 - 445 с.
2. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.

3. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб.и доп. Л., «Энергия», 1975.
4. Измерения в промышленности. Справ, изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492 с.
5. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., 151Ж 978-5-94836-316-5

Измерение количества жидкости внутри емкости

Потребность в определении количества жидкости внутри емкости существует в самых различных отраслях промышленности, а также в сельском хозяйстве и на транспорте. Наиболее применяемым методом ее определения является использование датчиков измерения высоты уровня поверхности жидкости внутри емкости с последующим пересчетом измеренной высоты уровня в объем жидкости через градуировочные таблицы или функции, полученные заранее для данной конкретной емкости. При наличии данных о плотности можно перейти к массе жидкости, находящейся в емкости. Как было указано в предыдущих лекциях, доля измерений, приходящихся на измерение высоты уровня, составляет около 5% от всех измерений, выполняемых в промышленности.

Существуют и другие методы определения количества жидкости внутри емкости. Например, с помощью расходомеров, которые измеряют расход, с которой жидкость поступает в емкость, или выходит из нее, и проведением непрерывного интегрирования текущего значения расхода во времени. Этот метод является менее точным и менее надежным, чем измерения уровня, поэтому используется в случаях, когда непосредственное измерение уровня внутри емкости невозможно, или же по экономическим соображениям, когда высокая точность получаемых данных не требуется.

Еще одним методом является использование мерных емкостей. Мерные емкости используются для достижения высокой точности измерения, но этот метод является достаточно затратным, и существенно проигрывает в технологичности другим. Измерить количество вещества в емкости можно также и весовым методом, в этом случае емкость должна находиться на весах. Отметим, что метод мерных емкостей и весовой метод не используются на транспорте. Тем не менее, из-за высокой точности измерений, обеспечиваемой этими двумя методами, именно они применяются при проведении градуировки датчиков уровня совместно с емкостями.

Методы измерения уровня жидкости

Под измерением уровня понимается индикация положения раздела двух сред различной плотности относительно какой-либо горизонтальной плоскости, принятой за начало отсчета.

Средства измерений уровня называются уровнемерами. Как и все средства измерений, уровнемеры состоят из совокупности измерительных преобразователей и вспомогательных устройств, необходимых для осуществления процесса измерений (устройств для линеаризации функций преобразования, отсчетных устройств и т. д.).

Первичный преобразователь (датчик) воспринимает измеряемую величину — уровень — и преобразует ее в выходной сигнал (электрический, пневматический, частотный), поступающий на последующие преобразователи, или в показания, отсчитываемые по шкале уровнемера.

Принцип действия первичных преобразователей уровнемеров основан на различии физических свойств веществ, образующих границу раздела. В зависимости от того, различие каких физических свойств веществ воспринимает первичный преобразователь, уровнемеры подразделяют на механические, акустические, электрические, оптические и тепловые.

Известно достаточно большое количество методов измерения уровня жидкости. Все они основаны на различии свойств вещества жидкой среды и свойств вещества газообразной среды. Каждый метод использует различие в каком-либо свойстве, как правило - в одном, например плотности или проводимости. Название метода в большинстве случаев отражает название свойства вещества, положенного в основу измерений. Наибольшее распространение получили такие методы измерения уровня как визуальные, гидростатические, емкостные, поплавковые, кондуктометрические, высокочастотные, сверхвысокочастотные, акустические (в том числе ультразвуковые), вибрационные, радиоизотопные, тепловые, оптические, волоконно-оптические.

Типы первичных преобразователей

Требования, которые предъявляются к измерителям уровня заполнения емкостей в различных сферах деятельности, например: в химической или пищевой промышленности, при производстве строительных материалов, на транспорте, — существенно отличаются. В некоторых случаях требуется только сигнализация определенного предельного уровня; в других случаях необходимо непрерывное измерение уровня заполнения.

Имеется три типа первичных измерительных преобразователей:

Сигнализаторы уровня – устройство для фиксации прохождения уровнем жидкости заданной точки.

Непрерывные датчики уровня – устройства для непрерывного (по высоте емкости) измерения уровня жидкости.

Дискретные датчики уровня – устройство, формирующее информацию об уровне жидкости по показаниям в отдельных точках, расположенных равномерно по высоте емкости.

При выборе уровнемера необходимо учитывать такие физические и химические свойства материала, как температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, радиоактивность, химическая

агрессивность и т. д. Кроме того, следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него: давление, вакуум, нагревание, охлаждение, способ заполнения или опорожнения (пневматический или механический) резервуара, наличие мешалки, огнеопасность и взрывоопасность.

Независимо от области применения уровнемеров к ним предъявляются следующие требования:

- высокая чувствительность показаний,
- направленность действия,
- высокая избирательность,
- надежность,
- технологичность конструкции.

В отдельных случаях датчиков уровня (например, для летательных аппаратов), кроме того, требуется:

- повышенная точность при минимальных габаритах и весе,
- способность к работе в агрессивных и взрывоопасных средах,
- повышенные требования к надежности,
- способность к работе в условиях колебаний поверхности жидкости.

Принцип действия преобразователей для измерения уровня жидкости

В данном разделе рассмотрены уровнемеры следующих видов:

- визуальные;
- поплавковые и буйковые;
- гидростатические:
- электрические;
- акустические (ультразвуковые);
- микроволновые радарные уровнемеры;
- радиоизотопные уровнемеры.

Визуальные уровнемеры

Визуальные уровнемеры выполняются в виде мерных линеек, реек, рулеток и уровнемерных стекол. Наибольшее распространение получили уровнемерные стекла (рис.1), основанные на законе сообщающихся сосудов. Их изготавливают в виде стеклянной трубки, соединенной с аппаратом. Наблюдая за уровнем жидкости в трубке, судят о величине уровня в емкости. Уровнемерные стекла применяют для местного измерения уровня в аппаратах, работающих при атмосферном или избыточном давлениях.

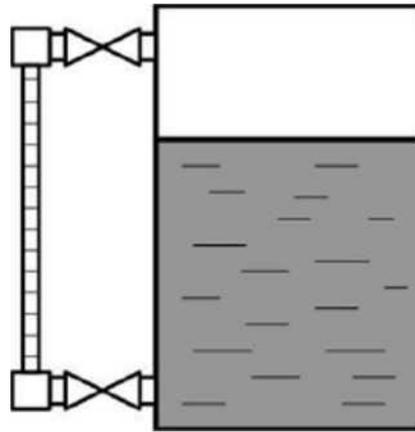


Рис. 1 – Использование уровнемерного стекла.

Поплавковые датчики уровня

Поплавковые датчики уровня (рис.2) одни из самых недорогих и, вместе с тем, надежных устройств для измерения уровня жидкостей. В этих приборах чувствительным элементом является плавающий поплавок, плотность которого меньше плотности жидкости, при этом поплавок следит за уровнем жидкости.

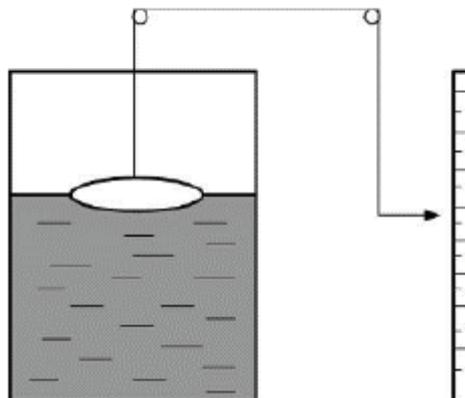


Рис. 2 – Поплавковый уровнемер.

Буйковые уровнемеры

Буйковые уровнемеры (рис. 3) имеют погруженный буюк, плотность которого больше, чем плотность жидкости. Он работает по принципу изменения выталкивающей (архимедовой) силы, действующей на буюк, который удерживается в подвешенном состоянии упругим элементом (пружиной).

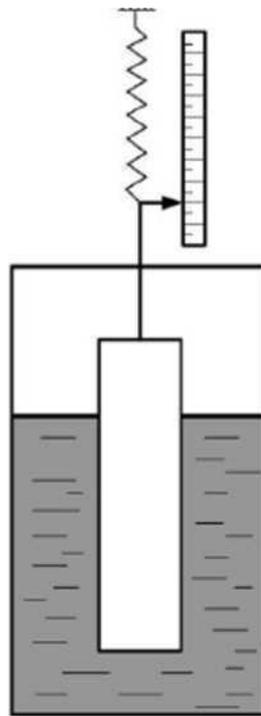


Рис. 3 – Буйковый уровнемер

Гидростатические уровнемеры.

Гидростатические уровнемеры. Их действие основано на взаимосвязи гидростатического давления столба жидкости P и измеряемого уровня h при постоянной плотности ρ .

$$P = \rho gh$$

Различают следующие виды гидростатических уровнемеров:

1) с манометром, подключенным к емкости на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня (рис.4а)

2) с дифференциальным манометром, подключенным к резервуару на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня и к уравнительной емкости. Для измерения уровня в открытых резервуарах, находящихся под атмосферным давлением, используется схема (рис. 4б), а в аппаратах под давлением – (рис. 4в). В дифференциальных манометрических уровнемерах уровень жидкости определяется по перепаду давлению столбов жидкости в аппарате и в уравнительном сосуде.

3) пневматические, действие которых (рис.4г) основано на измерении давления воздуха или газа, прокачиваемого по трубке, погруженной на фиксированную глубину в жидкость, уровень которой измеряют.

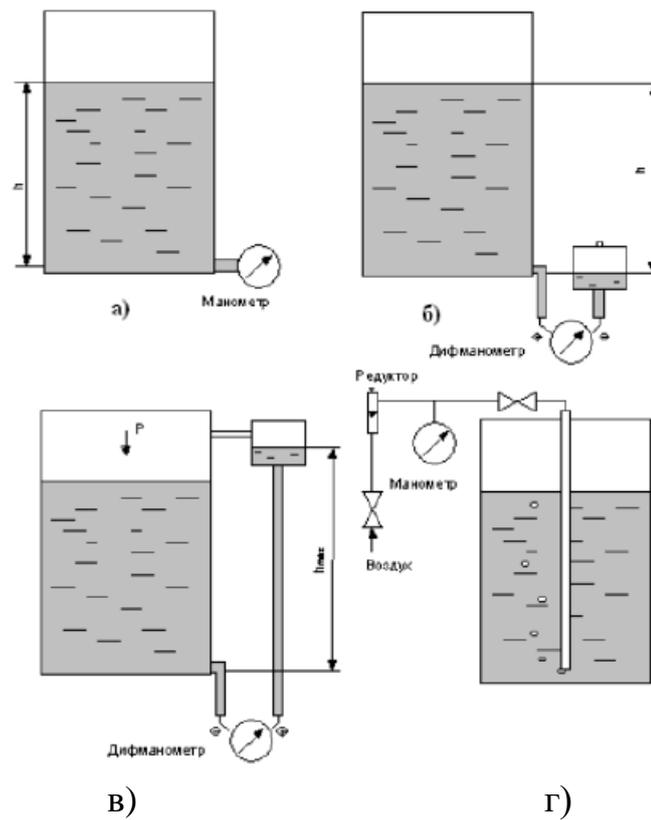


Рис. 4 – Гидростатические уровнемеры.

Вибрационные сигнализаторы уровня

Вибрационные датчики уровня используются в качестве надежных сигнализаторов уровня жидких и сыпучих веществ различной плотности и вязкости в широком диапазоне давлений и температур (рис. 22, 23, 24).



Рис. 5 – Вибрационные сигнализаторы уровня

Принцип действия датчика - вибрационный, основанный на различии резонансных колебаний чувствительного элемента - камертонного резонатора в газовой (воздушной) среде и в жидкости (сыпучем материале). Пьезоэлектрический кристалл при подаче на него напряжения создает

колебания чувствительной вибрационной вилки с частотой – 1300 Гц. Изменения этой частоты колебаний камертонного резонатора в свободном и задемпфированном материалом состоянии отслеживаются электроникой в непрерывном режиме. При погружении вилки в жидкость или сыпучий продукт частота колебания вилки уменьшаются, что приводит к переключению контактов сигнализатора. Аналогично при снижении уровня жидкости или сыпучего продукта вилка переходит в состояние «сухой контакт», при этом частота колебаний вилки увеличивается, что приводит к обратному переключению контактов. Сигнал об изменении состояния контактов подается в систему управления или на исполнительные механизмы (насосы, клапаны и т. п.).

Емкостные уровнемеры

Электрические уровнемеры. По виду чувствительного элемента электрические средства измерения уровня подразделяют на емкостные и кондуктометрические (омические).

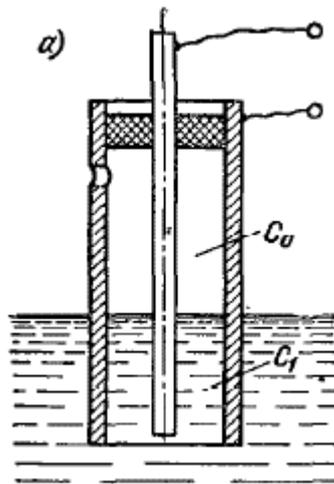


Рис.6 – Емкостной уровнемер

Для измерения уровня жидких диэлектриков применяют емкостные уровнемеры (рис.6). Чувствительным элементом последних служит конденсатор, между вертикально установленными обкладками которого находится измеряемая среда. Емкость электрического конденсатора зависит от коэффициента диэлектрической проницаемости. У измеряемой среды и газа над ней эти коэффициенты существенно различны. Изменение уровня приводит к изменению общего коэффициента диэлектрической проницаемости и емкости чувствительного элемента. Значение этой емкости преобразуется в пропорциональный сигнал с помощью электронного преобразователя. Емкостные уровнемеры можно также использовать для

измерения уровня как жидких, так и сыпучих сред. Для измерения уровня электропроводных жидкостей один из электродов датчика покрывают фторопластовой изоляцией.

Преобразователь состоит из двух параллельно соединенных конденсаторов: конденсатор C_1 образован частью электродов и диэлектриком – жидкостью, уровень которой измеряется, конденсатор C_0 – остальной частью электродов и диэлектриком – воздухом. Емкость преобразователя

$$C = C_1 + C_0 = [l\varepsilon + (l_0 - l)\varepsilon_0] \frac{2\pi}{\ln R_1/R_2} \quad (15.1)$$

где l_0 – полная длина цилиндра; l – длина, на которую цилиндр заполнен жидкостью; ε – диэлектрическая проницаемость жидкости; R_1 и R_2 – радиусы внешнего и внутреннего цилиндров.

Кондуктометрические уровнемеры

Кондуктометрические уровнемеры (рис. 7) предназначены для сигнализации уровня электропроводящих жидких и сыпучих сред с удельной проводимостью более 10^{-3} См/м. При достижении уровнем заданного значения (h) замыкается электрическая цепь между двумя электродами. При этом срабатывает реле, контакты которого включены в схему сигнализации.

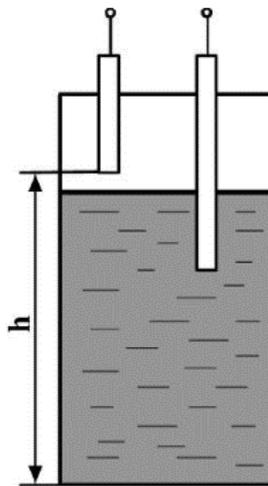


Рис. 7 – Кондуктометрический уровнемер

Акустические и ультразвуковые уровнемеры

Этот метод позволяет измерять уровень при отсутствии контакта с контролируемой средой и в труднодоступных местах. В настоящее время предложены различные принципы построения акустических уровнемеров, из которых широкое распространение получил принцип локации. В соответствии с этим принципом измерение уровня осуществляют по времени прохождения акустическими колебаниями расстояния от излучателя до границы раздела

двух сред и обратно до приёмника излучения (рис. 8). То есть, уровень среды h в резервуаре определяется по времени запаздывания τ отраженного сигнала относительно посланного при известной скорости распространения звука a в рабочей среде:

$$\tau = 2h/a$$

Локация границы раздела двух сред осуществляется либо со стороны газа, либо со стороны рабочей среды (жидкости или сыпучего материала). Уровнемеры, в которых локация границы раздела двух сред осуществляется через газ, называют акустическими, а уровнемеры с локацией границы раздела двух сред через слой рабочей среды – ультразвуковыми.

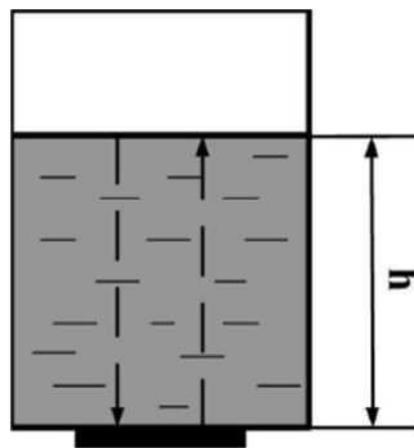


Рис. 8 – Ультразвуковой уровнемер.

Микроволновые радарные уровнемеры

Радарные уровнемеры - наиболее универсальные средства измерения уровня и подобно акустическим уровнемерам, используют явление отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ (рис. 9). Датчик уровня построен по принципу радиолокатора. Это один из классических методов радарного (радиолокационного) измерения расстояния позволяющий минимизировать влияние паразитных помех и помех, связанных с неровностями (волнениями) поверхности измеряемого объекта.

Радарные датчики уровня не имеют контакта с измеряемым объектом. Это позволяет использовать их в сложных условиях, в частности, при высоком давлении, высоких температурах, при нахождении паров и газов над поверхностью. Также они могут применяться для измерения уровня агрессивных, вязких, неоднородных жидких и сыпучих материалов.

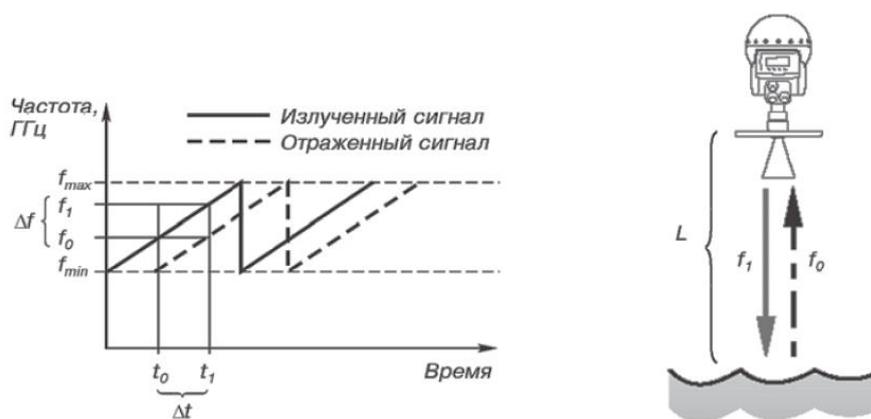


Рис. 9 – Принцип измерения расстояния до поверхности

Радиоизотопные уровнемеры

Измерение уровня жидкости этими приборами основано на изменении интенсивности радиоактивного излучения при прохождении его через слой жидкости. Источник и приемник излучения расположены снаружи с противоположных сторон аппарата, уровень жидкости в котором измеряется. Если уровень жидкости изменяется относительно линии, соединяющей источник и приемник излучения, то последний фиксирует изменение интенсивности излучения. Это изменение преобразуется в электронном блоке в электрический сигнал, который измеряется вторичным прибором.

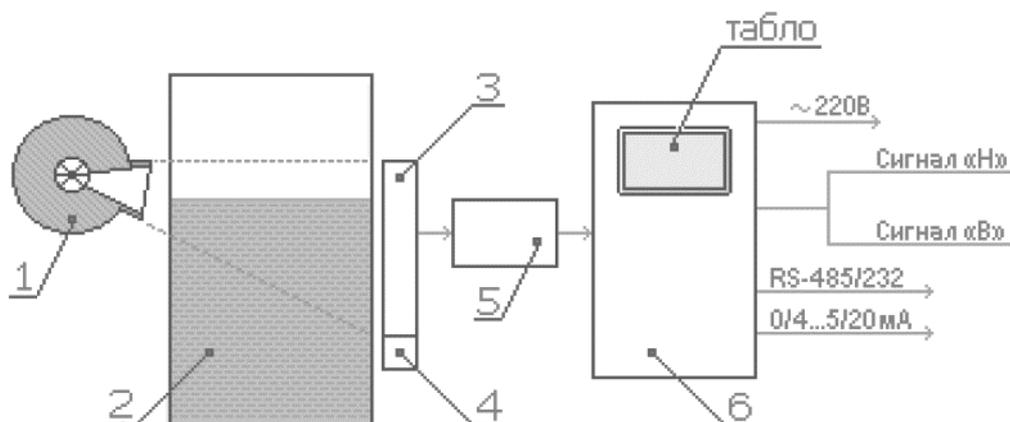


Рис. 10 – Измерение уровня с использованием блока гамма источника:

- 1 - блок гамма источника; 2 - емкость, бункер (аппарат);
- 3 - блок детектирования; 4 - преобразователь температуры;
- 5 - блок согласования; 6-устройство индикации

Радиоизотопные уровнемеры применяют для измерения уровня в закрытых резервуарах, заполненных агрессивной или легковоспламеняющейся жидкостью, а также жидкостью под высоким давлением или при высокой температуре (расплавленные металлы).

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Измерение количества жидкости внутри емкости.
2. Методы измерения уровня жидкости.
3. Типы первичных преобразователей для измерения уровня жидкости.
4. Визуальные, поплавковые и буйковые уровнемеры. Физические основы и принцип действия.
5. Гидростатические уровнемеры. Физические основы и принцип действия.
6. Вибрационные сигнализаторы уровня. Физические основы и принцип действия.
7. Кондуктометрические уровнемеры. Физические основы и принцип действия.
8. Акустические и ультразвуковые уровнемеры. Физические основы и принцип действия.
9. Микроволновые радарные уровнемеры. Физические основы и принцип действия.
10. Радиоизотопные уровнемеры. Физические основы и принцип действия.

Лекція № 11

Тема: Общее устройство компьютера**Оглавление**

Машина фон Неймана	2
Двоичная система счисления.....	3
Организация компьютерных систем.....	4
Процессор	5
Устройство центрального процессора.....	5
Выполнение команд.....	6
Контрольные вопросы по теме	8
Уровень модуля.....	8
Уровень курса.....	8

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

Машина фон Неймана

В 1946 году Д. фон Нейман, Г. Голдстайн и А. Беркс в своей совместной статье изложили принципы построения и функционирования электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Предложенное построение компьютера получило название "машина фон Неймана". Принципы Неймана реализованы во всех используемых в настоящее время ЭВМ. Современные компьютеры, по своей сути, - это машины фон Неймана.

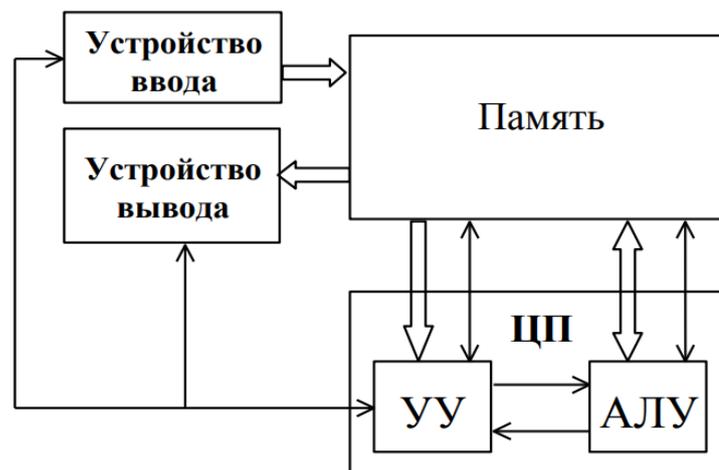


Рис. 11.1 Машина фон Неймана

Принципы фон Неймана:

1. Использование двоичной системы счисления в вычислительных машинах. Преимущество перед десятичной системой счисления заключается в том, что устройства можно делать достаточно простыми, арифметические и логические операции в двоичной системе счисления также выполняются достаточно просто.

2. Программное управление ЭВМ. Работа ЭВМ контролируется программой, состоящей из набора команд. Команды выполняются последовательно друг за другом. Созданием машины с хранимой в памяти программой было положено начало тому, что мы сегодня называем программированием.

3. Память компьютера используется не только для хранения данных, но и программ. При этом и команды программы и данные кодируются в двоичной системе счисления, т.е. их способ записи одинаков. Поэтому в определенных ситуациях над командами можно выполнять те же действия, что и над данными.

4. Ячейки памяти ЭВМ имеют адреса, которые последовательно пронумерованы. В любой момент можно обратиться к любой ячейке памяти по ее адресу. Этот принцип открыл возможность использовать переменные в программировании.

5. Возможность условного перехода в процессе выполнения программы. Несмотря на то, что команды выполняются последовательно, в программах можно реализовать возможность перехода к любому участку кода.

Двоичная система счисления

Двоичная система счисления — позиционная система счисления с основанием 2. Благодаря непосредственной реализации в цифровых электронных схемах на логических вентилях, двоичная система используется практически во всех современных компьютерах и прочих вычислительных электронных устройствах.

В ЭВМ применяется двоичная система счисления, т.е. все числа в компьютере представляются с помощью нулей и единиц. Компьютер может обрабатывать информацию, представленную только в цифровой форме. Для преобразования числовой, текстовой, графической, звуковой информации в цифровую необходимо применить кодирование. Кодирование – это преобразование данных одного типа через данные другого типа. В ЭВМ применяется система двоичного кодирования, основанная на представлении данных последовательностью двух знаков: 1 и 0, которые называются двоичными цифрами (binary digit – сокращенно bit). Двоичная система счисления – позиционная система счисления с основанием 2. Благодаря непосредственной реализации в цифровых электронных схемах на логических вентилях, двоичная система используется практически во всех современных компьютерах и прочих вычислительных электронных устройствах.

Таким образом, единицей информации в компьютере является один бит, т.е. двоичный разряд, который может принимать значение 0 или 1. Восемь последовательных бит составляют байт. В одном байте можно закодировать значение одного символа из 256 возможных ($256 = 2$ в степени 8). Более крупной единицей информации является килобайт (Кбайт), равный 1024 байтам ($1024 = 2$ в степени 10). Еще более крупные единицы измерения данных: мегабайт, гигабайт, терабайт (1 Мбайт = 1024 Кбайт; 1 Гбайт = 1024 Мбайт; 1 Тбайт = 1024 Гбайт).

Целые числа кодируются двоичным кодом довольно просто (путем деления числа на два). Отрицательные целые числа кодируются в так называемом дополнительном коде. Специальный код применяется для кодирования вещественных чисел, дробных чисел, которые представляются в компьютере в виде "чисел с плавающей точкой". Однако и эти числа записываются в виде совокупности нулей и единичек - в двоичном коде. Для кодирования нечисловой информации используется следующий алгоритм: все возможные значения кодируемой информации нумеруются и эти номера

кодируються с помощью двоичного кода. Например, для представления текстовой информации используется таблица нумерации символов или таблица кодировки символов, в которой каждому символу соответствует целое число (порядковый номер). Восемь двоичных разрядов могут закодировать 256 различных символов.

В любом случае, в памяти компьютера, в процессоре, в шинах имеются только сигналы или состояния 0 и 1, других нет. Все данные представлены в двоичном коде. Все команды на управление компьютером также состоят из нулей и единиц, команды - это тоже последовательность двоичных чисел. Невозможно понять, что находится в данной ячейке памяти. Например, записано 10011101. Что это: простое число, часть вещественного числа или команда на управление процессором? Все зависит от того, как компьютер интерпретирует эти данные: как простое число, как часть вещественного числа или как команду. Для того, чтобы правильно интерпретировать, необходимо заранее знать, какой тип информации находится в данной ячейке памяти.

Организация компьютерных систем

Цифровой компьютер состоит из связанных между собой процессоров, модулей памяти и устройств ввода-вывода.

На рис. 11.2 показана структура обычного компьютера с шинной организацией. Центральный процессор — это мозг компьютера. Его задача — выполнять программы, находящиеся в основной памяти. Для этого он вызывает команды из памяти, определяет их тип, а затем выполняет одну за другой. Компоненты соединены шиной, представляющей собой набор параллельно связанных проводов для передачи адресов, данных и управляющих сигналов. Шины могут быть внешними (связывающими процессор с памятью и устройствами ввода-вывода) и внутренними. Современный компьютер использует несколько шин.

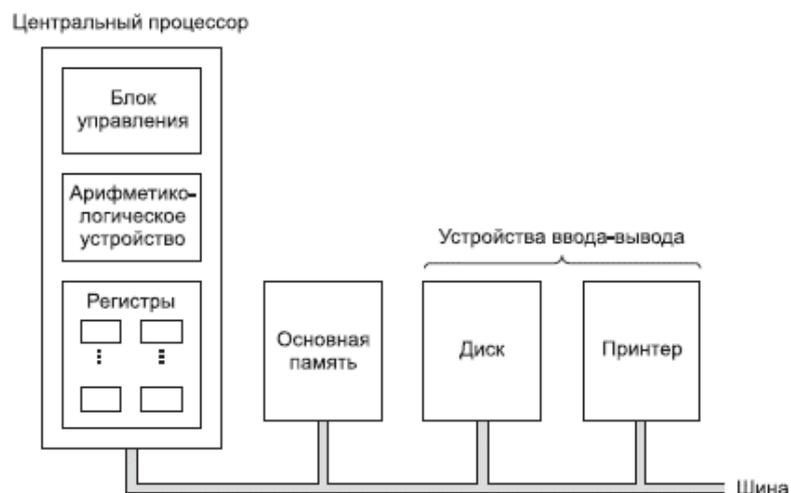


Рис. 11.2 Структура компьютера с шинной организацией

Процессор

Процессор состоит из нескольких частей. Блок управления отвечает за вызов команд из памяти и определение их типа. Арифметико-логическое устройство выполняет арифметические операции (например, сложение) и логические операции (например, логическое И).

Внутри центрального процессора находится быстрая память небольшого объема для хранения промежуточных результатов и некоторых команд управления. Эта память состоит из нескольких регистров данных, каждый из которых выполняет определенную функцию. Обычно размер всех регистров одинаков. Каждый регистр содержит одно число в диапазоне, верхняя граница которого зависит от размера регистра. Операции чтения и записи с регистрами выполняются очень быстро, поскольку они находятся внутри центрального процессора.

Самый важный регистр – счетчик команд или указатель команд, который указывает, какую команду нужно выполнять следующей. Еще есть регистр команд, в котором находится выполняемая в данный момент команда. У большинства компьютеров имеются и другие регистры, одни из них многофункциональны, другие служат лишь какие-либо конкретным целям. Третьи регистры используются операционной системой для управления компьютером.

Устройство центрального процессора

Внутреннее устройство тракта данных типичного фон-неймановского процессора иллюстрирует рис. 11.3. Тракт данных состоит из регистров данных (обычно от 1 до 32), арифметико-логического устройства (АЛУ) и нескольких соединительных шин. В самом АЛУ имеются входные и выходные регистры. Регистры процессора и регистры АЛУ – это разные регистры. Содержимое регистров данных процессора (для примера на рисунке – это регистры №3 и №4) поступает во входные регистры АЛУ, которые на рис. 11.3 обозначены буквами А и В. АЛУ непосредственно работает только со своими входными и выходными регистрами. Во входных регистрах АЛУ находятся входные данные АЛУ, пока АЛУ производит вычисления.

АЛУ выполняет сложение, вычитание и другие простые операции над входными данными и помещает результат в выходной регистр. Содержимое этого выходного регистра может записываться обратно в один из регистров процессора (на рисунке это регистр №1 процессора) или сохраняться в памяти, если это необходимо. На рис. 11.3 представлена операция сложения, но АЛУ может выполнять и другие операции.

Большинство команд можно разделить на две группы: команды типа регистр – память и типа регистр-регистр. Команды первого типа вызывают

слова из памяти, помещают их в регистры процессора, где они используются в качестве входных данных АЛУ. Слова – это такие элементы данных, порции данных, которые перемещаются между памятью и регистрами. Размер слова обычно соответствует разрядности регистра данных. Так, у 16-разрядных микропроцессоров слово имеет длину 16 бит, а у 32-разрядных микропроцессоров – 32 бита. Другие команды этого типа помещают данные из регистров обратно в память.

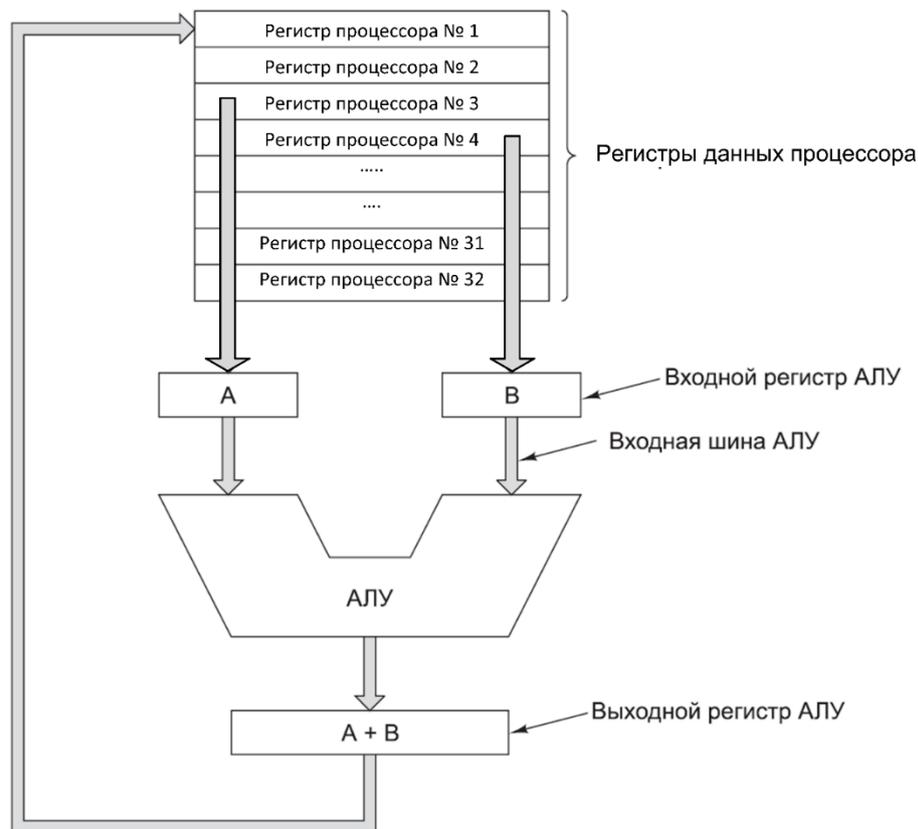


Рис. 11.3 Функциональная схема процессора

Команды второго типа вызывают два операнда из регистров, помещают их во входные регистры АЛУ, выполняют над ними какую-нибудь арифметическую или логическую операцию и переносят результат обратно в один из регистров процессора. Этот процесс называется циклом тракта данных. В какой-то степени он определяет, что может делать машина. Современные компьютеры оснащаются несколькими АЛУ, работающими параллельно и специализирующимися на разных функциях. Чем быстрее происходит цикл тракта данных, тем быстрее компьютер работает.

Выполнение команд

Центральный процессор выполняет каждую команду за несколько шагов. Он делает следующее:

1. Вызывает следующую команду из памяти и переносит ее в регистр команд.
 2. Меняет положение счетчика команд, который после этого указывает на следующую команду.
 3. Определяет тип вызванной команды.
 4. Если команда использует слово из памяти, определяет, где находится это слово.
 5. Переносит слово, если это необходимо, в регистр центрального процессора.
 6. Выполняет команду.
 7. Переходит к шагу 1, чтобы начать выполнение следующей команды.
- Такая последовательность шагов (выборка – декодирование – исполнение) является основой работы всех компьютеров.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Машина фон Неймана.
2. Двоичная система счисления.
3. Организация компьютерных систем.
4. Устройство центрального процессора.

Лекція № 12

Тема: Общее устройство компьютера. Часть 2. Память компьютера.

Оглавление

Основная память	2
Бит.....	2
Адреса памяти	2
Кэш-память	3
Сборка модулей памяти и их типы	5
Вспомогательная память	6
Магнитные диски	7
IDE-диски.....	8
SCSI-диски	9
Твердотельные накопители.....	9
Оптические диски	10
Контрольные вопросы по теме	12
Уровень модуля.....	12
Уровень курса.....	12

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

Основная память

Память – это тот компонент компьютера, в котором хранятся программы и данные. Также часто встречается термин «запоминающее устройство». Без памяти, откуда процессоры считывают и куда записывают информацию, не было бы современных цифровых компьютеров.

Бит

Основной единицей хранения данных в памяти является двоичный разряд, который называется битом. Бит может содержать 0 или 1. Эта самая маленькая единица памяти.

Адреса памяти

Память состоит из ячеек, каждая из которых может хранить некоторую порцию информации. Каждая ячейка имеет номер, который называется адресом. Выполняемая компьютером программа может ссылаться на определенную ячейку по ее адресу. Если память содержит n ячеек, они будут иметь адреса от 0 до $n - 1$. Каждая ячейка памяти состоит из определенного числа разрядов. Каждый разряд хранит один бит информации. Все ячейки памяти одного компьютера содержат одинаковое число разрядов и соответственно могут хранить одинаковое число битов. Если ячейка состоит из k разрядов, она может хранить ровно k бит информации. В такой ячейке может быть записана любая из 2^k комбинаций нулей и единиц. На рис. 3.1 показаны различные варианты организации 96-разрядной памяти, то есть памяти, которая должна содержать 96 бит информации. Отметим, что соседние ячейки по определению имеют последовательные адреса.

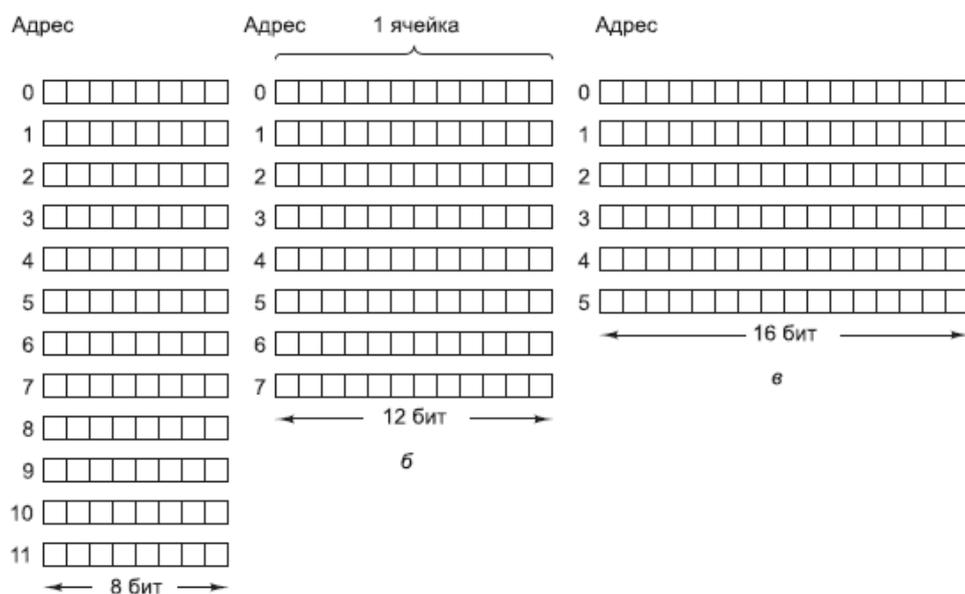


Рис. 3.1. Три варианта организации 96-разрядной памяти

В комп'ютерах використовується двоична система счислення, адреса пам'яті також виражаються в двоичних числах. Якщо адрес складається з m бит, максимальне число адресуємих ячеек складе 2^m . Наприклад, адрес для звернення до пам'яті, зображеної на рис. 3.1а повинен складатися по крайній мірі з 4 бит, щоб виражати всі числа від 0 до 11. При пристрої пам'яті, зображеному на рис. 3.1б і 3.1в достатньо 3-розрядного адреса. Число битів в адресі визначає максимальне число адресуємих ячеек пам'яті і не залежить від числа битів в ячейці. 12-розрядні адреси потрібні для пам'яті з 2^{12} ячеек по 8 бит кожна, і пам'яті з 2^{12} ячеек по 64 бит кожна.

Ячейка—мінімальна адресуєма одиниця пам'яті. В останні роки практично всі виробники випускають комп'ютери з 8-розрядними ячейками, які називаються байтами. Байти групуються в слова. В комп'ютері з 32-розрядними словами на кожне слово припадає 4 байт, а в комп'ютері з 64-розрядними словами —8 байт. Така одиниця, як слово, необхідна, оскільки більшість команд виконують операції над цілими словами (наприклад, складають два слова). Таким чином, 32-розрядна машина містить 32-розрядні регістри і команди для маніпуляцій з 32-розрядними словами, тоді як 64-розрядна машина має 64-розрядні регістри і команди для переміщення, складання, вичитання і інших операцій над 64-розрядними словами.

Кеш-пам'ять

Процесори завжди працюють швидше, ніж пам'ять. Оскільки процесори і пам'ять вдосконалюються паралельно, це невідповідність зберігається. Оскільки на мікросхемі можна розміщати все більше і більше транзисторів, розробники процесорів створюють конвеєрні і суперскалярні архітектури, що ще більше збільшує швидкість процесорів. Розробники пам'яті звичайно використовують нові технології для збільшення ємкості, а не швидкості, що робить розрив ще більшим. На практиці таке невідповідність в швидкості роботи призводить до того, що, коли процесор звертається до пам'яті, проходить кілька машинних циклів, перш ніж він отримає запрошене слово. Чим повільніше працює пам'ять, тим довше процесору доведеться чекати, тим більше циклів проходить.

Для того, щоб пам'ять працювала так же швидко, як процесор її необхідно розміщати прямо на мікросхемі процесора (оскільки інформація через шини поступає дуже повільно). Розміщення пам'яті великого об'єму на мікросхемі процесора збільшує його розміри, а отже, і ціну. При цьому існують технічні обмеження на розміри створюваних процесорів.

Память небольшого объема с высокой скоростью работы называется кэш-памятью. Основная идея кэш-памяти проста: в ней находятся слова, которые чаще всего используются. Если процессору нужно какое-нибудь слово, сначала он обращается к кэш-памяти. Только в том случае, если слова там нет, он обращается к основной памяти. Если значительная часть слов находится в кэш-памяти, среднее время доступа значительно сокращается.

Таким образом, успех или неудача зависит от того, какая часть слов находится в кэш-памяти. Известно, что программы не обращаются к памяти наугад. Если программе нужен доступ к адресу A , то скорее всего после этого ей понадобится доступ к адресу, расположенному поблизости от A . Практически все команды обычной программы (за исключением команд перехода и вызова процедур) вызываются из последовательных областей памяти. Кроме того, большую часть времени программа тратит на циклы, когда ограниченный набор команд выполняется снова и снова. Точно так же при работе с матрицами программа, скорее всего, будет многократно обращаться к одной и той же матрице, прежде чем перейдет к чему-либо другому.

Ситуация, когда при последовательных обращениях к памяти в течение некоторого промежутка времени используется только небольшая ее область, называется принципом локальности. Этот принцип составляет основу всех систем кэш-памяти. Идея состоит в том, что, когда определенное слово вызывается из памяти, оно вместе с соседними словами переносится в кэш-память, что позволяет при очередном запросе быстро обращаться к следующим словам. Общее устройство процессора, кэш-памяти и основной памяти иллюстрирует рис. 3.1. Если слово считывается или записывается k раз, компьютеру требуется сделать одно обращение к медленной основной памяти и $k-1$ обращений к быстрой кэш-памяти. Чем больше k , тем выше общая производительность.

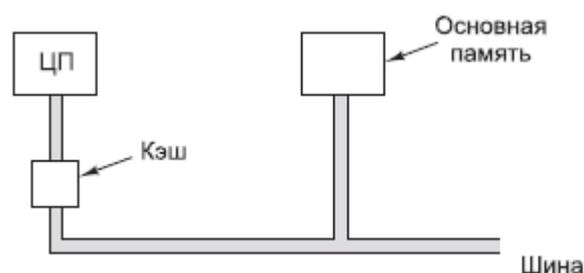


Рис. 2.13. Кэш-память должна находиться между процессором и основной памятью.

Возникает вопрос: должны ли команды и данные находиться вместе в общей кэш-памяти. Проще всего разработать объединенную кэш-память

(unified cache), в которой будут храниться и данные, и команды. В этом случае вызов команд и данных автоматически уравнивается. Однако в настоящее время существует тенденция к использованию разделенной кэш-памяти (split cache), когда команды хранятся в одной кэш-памяти, а данные — в другой. Такая архитектура также называется гарвардской (Harvard architecture), поскольку идея использования отдельной памяти для команд и отдельной памяти для данных впервые воплотилась в компьютере Marc III, который был создан Говардом Айкеном (Howard Aiken) в Гарварде. Современные разработчики пошли по этому пути, поскольку сейчас широко распространены конвейерные архитектуры, а при конвейерной организации обращения и к командам, и к данным (операндам) должны осуществляться одновременно. Разделенная кэш-память позволяет осуществлять параллельный доступ, а общая – нет. К тому же, поскольку команды обычно не меняются во время выполнения программы, содержание кэша команд не приходится записывать обратно в основную память.

В настоящее время очень часто кэш-память первого уровня располагается прямо на микросхеме процессора, кэш-память второго уровня – не на самой микросхеме, но в корпусе процессора, а кэш-память третьего уровня – еще дальше от процессора.

Сборка модулей памяти и их типы

Со времен появления полупроводниковой памяти и до начала 90-х годов все микросхемы памяти производились, продавались и устанавливались в виде отдельных микросхем. Эти микросхемы вмещали от 1 Кбит до 1 Мбит информации и выше. В первых персональных компьютерах часто оставлялись пустые разъемы, чтобы покупатель в случае необходимости мог вставить дополнительные микросхемы памяти.

В настоящее время распространен другой подход. Группа микросхем (обычно 8 или 16) монтируется на одну крошечную печатную плату и продается как один блок. Он называется SIMM (Single Inline Memory Module – модуль памяти с односторонним расположением выводов) или DIMM (Dual Inline Memory Module —модуль памяти с двухсторонним расположением выводов). На платах SIMM устанавливается один краевой разъем с 72 контактами; при этом скорость передачи данных за один тактовый цикл составляет 32 бит. Модули DIMM, как правило, снабжаются двумя краевыми разъемами (по одному на каждой стороне платы) с 120 контактами; таким образом, общее количество контактов достигает 240, а скорость передачи данных возрастает до 64 бит за цикл. Типичный модуль DIMM изображен на рис. 3.3.

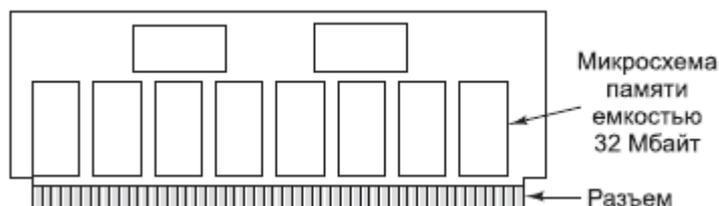


Рис. 3.3. 4-гигабайтний модуль DIMM с восемью 256-мегабайтными микросхемами с каждой стороны. Другая сторона выглядит аналогично.

Обычно модули DIMM содержат 8 микросхем по 256 Мбайт каждая. Таким образом, весь модуль вмещает 2 Гбайт информации. Во многих компьютерах предусматривается возможность установки четырех модулей; следовательно, при использовании модулей по 2 Гбайт общий объем памяти достигает 8 Гбайт (и более при использовании модулей большей емкости).

В настоящее время наиболее распространенными являются DDR4 SDRAM – синхронная динамическая память с произвольным доступом.

Вспомогательная память

Иерархическая структура памяти является традиционным решением проблемы хранения больших объемов данных (рис. 3.4). На самом верху иерархии находятся регистры процессора. Доступ к регистрам осуществляется быстрее всего. Дальше идет кэш-память, объем которой сейчас составляет от 32 Кбайт до нескольких мегабайт. Затем следует основная память, объем которой в настоящее время лежит в диапазоне от 1 Гбайт до сотен гигабайт. Затем идут магнитные диски и твердотельные накопители для долгосрочного хранения данных. Нижний уровень иерархии занимают накопители на магнитной ленте и оптические диски для хранения архивов.



Рис. 3.4. Пятиуровневая организация памяти

По мере продвижения сверху вниз по иерархии меняются три параметра. Во-первых, увеличивается время доступа. Доступ к регистрам занимает несколько наносекунд, доступ к кэш-памяти – немного больше, доступ к основной памяти – несколько десятков наносекунд. Дальше идет большой разрыв: доступ к дискам происходит по крайней мере в 10 раз медленнее для твердотельных дисков и в сотни раз медленнее для магнитных дисков. Время доступа к магнитным лентам и оптическим дискам вообще может измеряться в секундах (поскольку эти накопители информации еще нужно взять и поместить в соответствующее устройство).

Во-вторых, растет объем памяти. Регистры могут содержать в лучшем случае 128 байт, кэш-память – десятки мегабайт, основная память — гигабайты, магнитные диски — терабайты.

В-третьих, увеличивается количество битов за один доллар. Стоимость объема основной памяти измеряется в долларах за мегабайт, твердотельных накопителей — в долларах за гигабайт, магнитных дисков и лент – в центах за гигабайт или еще дешевле.

Магнитные диски

Магнитный диск состоит из одной или нескольких алюминиевых поверхностей, покрытых магнитным слоем. Изначально их диаметр составлял 50 см, сейчас — от 3 до 9 см, у портативных компьютеров — меньше 3 см, причем это значение продолжает уменьшаться. Головка диска, содержащая индукционную катушку, двигается над поверхностью диска, опираясь на воздушную подушку. Когда через головку проходит положительный или отрицательный ток, он намагничивает поверхность под головкой. При этом магнитные частицы намагничиваются направо или налево в зависимости от полярности тока. Когда головка проходит над намагниченной областью, в ней (в головке) возникает положительный или отрицательный ток, что дает возможность считывать записанные ранее биты. Поскольку диск вращается под головкой, поток битов может записываться, а потом считываться. Конфигурация дорожки диска показана на рис. 3.5.

Большинство магнитных дисков состоит из нескольких пластин, расположенных друг под другом, как показано на рис. 3.6. Каждая поверхность снабжена кронштейном и головкой. Кронштейны скреплены таким образом, что одновременно могут перемещаться на разные расстояния от оси. Совокупность дорожек, расположенных на одном расстоянии от центра, называется цилиндром.

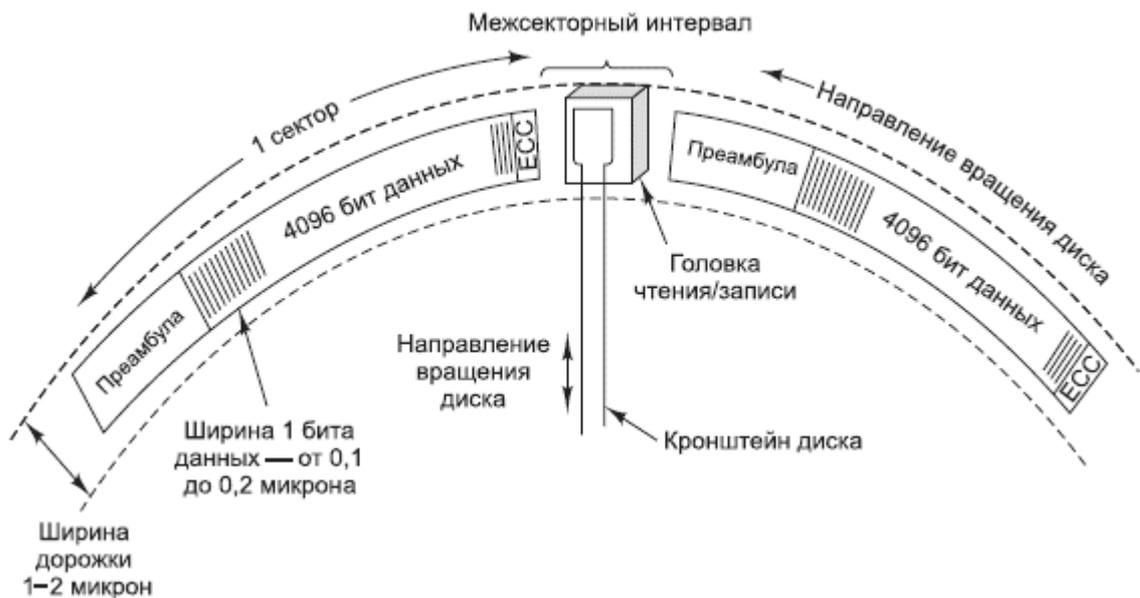


Рис. 3.5. Фрагмент дорожки диска (два сектора)

В современных моделях дисков для ПК устанавливается от 1 до 12 пластин, содержащих от 12 до 24 рабочих поверхностей. На одной пластине современных высокопроизводительных дисков может храниться до 12 Тбайт данных, и со временем это значение будет наверняка превышено.

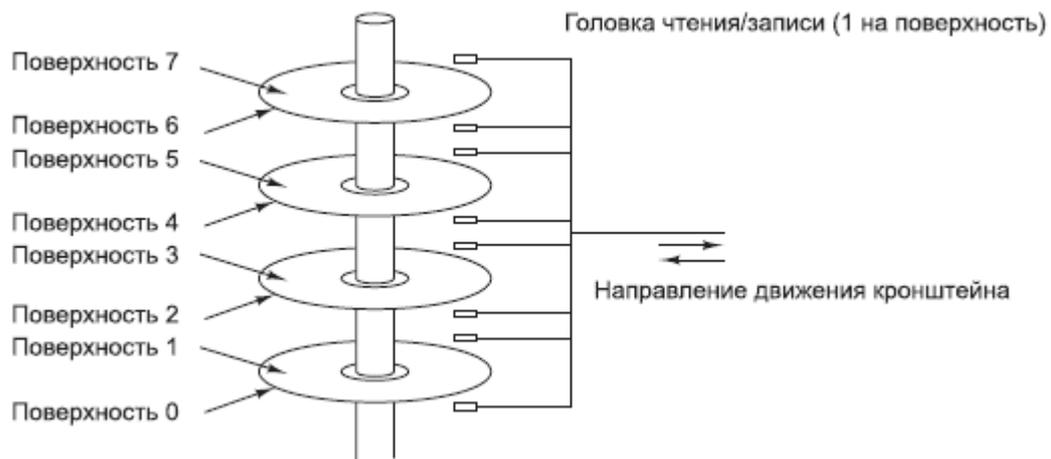


Рис. 3.6. Винчестер с четырьмя дисками

IDE-диски

Прототипом дисков современных персональных компьютеров был диск машины IBM PC XT. Это был диск Seagate на 10 Мбайт, управляемый контроллером Хебес на встроенной карте. Сначала контроллер помещался на отдельной плате, а с выходом в середине 80-х годов устройств **IDE** (Integrated Drive Electronics – устройство со встроенным контроллером) стал встраиваться в материнскую плату.

На смену IDE-дискам пришли устройства **EIDE** (Extended IDE— усовершенствованные устройства со встроенным контроллером), поддерживающие дополнительную схему адресации LBA (Logical Block Addressing — линейная адресация блоков).

Стандарт EIDE совершенствовался вместе с развитием технологического прогресса и его преемником считается **ATA-3** (AT Attachment). Следующая версия стандарта, названная ATAPI-4 (ATA Packet Interface — пакетный интерфейс ATA), отличалась скоростью 33 Мбит/с. В версии ATAPI-5 она достигла 66 Мбит/с.

Настоящий прорыв был совершен в стандарте ATAPI-7. Вместо расширения разъема диска (и, соответственно, скорости передачи данных) появилась спецификация последовательного интерфейса ATA (**Serial ATA, SATA**), позволившего передавать через 7-контактный разъем информацию на скоростях от 150 Мбит/с (со временем скорость увеличилась до 1,5 Гбит/с). Замена 80-проводного плоского кабеля круглым кабелем диаметром в несколько миллиметров улучшила вентиляцию системного блока. Кроме того, при отправке сигналов через интерфейс SATA потребляется всего 0,5 В (в сравнении с 5 В по стандарту ATAPI-6), вследствие чего уменьшается общий уровень энергопотребления.

SCSI-диски

SCSI-диски с точки зрения расположения цилиндров, дорожек и секторов не отличаются от IDE-дисков, но они имеют другой интерфейс и более высокую скорость передачи данных. Поскольку у SCSI -дисков высокая скорость передачи данных, они используются во многих высокопроизводительных рабочих станциях и серверах, особенно в конфигурациях RAID (см. ниже).

SCSI – это не просто интерфейс жесткого диска. Это шина, к которой могут подсоединяться SCSI-контроллер и до семи дополнительных устройств. Ими могут быть один или несколько жестких SCSI-дисков, дисководы CD-ROM, сканеры, накопители на магнитной ленте и другие периферийные устройства.

Твердотельные накопители

Устройства на базе энергонезависимой флэш-памяти, часто называемые твердотельными накопителями или SSD-дисками (Solid State Disk), рассматриваются как высокоскоростная альтернатива традиционным технологиям магнитных дисков.

Так как SSD-диски по сути являются памятью, они обладают более высокой производительностью по сравнению с вращающимися магнитными дисками при нулевом времени поиска. Если типичный магнитный диск может

обращаться к данным со скоростью 100 Мбит/с, то у SSD эта скорость в два-три раза выше. И поскольку устройство не имеет подвижных частей, оно особенно хорошо подходит для ноутбуков (колебания и перемещения не влияют на его способность обращаться к данным). Недостатком SSD-устройств по сравнению с магнитными дисками является их стоимость.

Другой недостаток твердотельных дисков по сравнению с магнитными – их ресурс безотказной работы. Типичная флэш-ячейка перестает функционировать примерно через 100 000 операций перезаписи. Процесс инжекции электронов в плавающий затвор медленно повреждает его и окружающие изоляторы вплоть до окончательной потери работоспособности. Для повышения срока жизни SSD была разработана методика нивелирования износа, основанная на распределении записи по всем ячейкам на диске. Каждый раз, когда на устройство записывается новый блок, для записи выбирается блок, относительно давно не использовавшийся. Для этого во флэш-накопителе должна храниться карта блоков – одна из причин, по которой хранение данных на флэш-дисках сопряжено с относительно высокими внутренними затратами. Благодаря нивелированию износа флэш-диск сможет выдержать количество операций записи, равное максимальному количеству операций записи для одной ячейки, умноженному на количество блоков на диске.

Оптические диски

Оптические **CD-ROM** диски, которые изначально использовались для записи телевизионных программ, позже стали одними из основных средств хранения информации в компьютерной индустрии. Благодаря большой емкости и низкой цене оптические диски повсеместно применяются для распространения ПО, книг, фильмов и данных других типов, а также для создания архивных копий жестких дисков.

Со временем появились **DVD-диски** большей, чем CD-ROM емкости. Изначально аббревиатура DVD расшифровывалась как Digital Video Disk (цифровой видеодиск), сейчас она официально превратилась в Digital Versatile Disk (цифровой многоцелевой диск). DVD-диски в целом похожи на компакт-диски. Как и обычные компакт-диски, они имеют 120 мм в диаметре, создаются на основе поликарбоната и содержат лунки и площадки, которые освещаются лазерным диодом и считываются фотодетектором. Однако существует несколько технических отличий, основным из которых является использование при записи-считывании красного лазера.

Имеется четыре формата DVD-дисков:

1. Односторонние однослойные диски (4,7 Гбайт).
2. Односторонние двухслойные диски (8,5 Гбайт).

3. Двухсторонние однослойные диски (9,4 Гбайт).
4. Двухсторонние двухслойные диски (17 Гбайт).

Технология **Blu-Ray** предусматривает применение синего лазера вместо красного. Синий лазер отличается более короткой длиной волны, а значит, повышенной точностью; за счет этого обстоятельства он позволяет уменьшать размеры лунок и площадок. На односторонних дисках Blu-Ray умещается около 25 Гбайт данных; на двухсторонних – 50 Гбайт. Скорость передачи данных составляет 4,5 Мбит/с, что очень неплохо для оптических дисков, хотя по-прежнему несопоставимо с магнитными (напомним, стандарт ATAPI-6 предусматривает передачу данных на скорости 100 Мбит/с, а Ultra4 SCSI позволяет поднять скорость до 320 Мбит/с).

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Основная и вспомогательная память. Пятиуровневая организация памяти.
2. Адреса основной памяти компьютера.
3. Кэш-память компьютера.
4. Основные сведения о магнитных дисках.
5. Стандарты подключения дисков.
6. Твердотельные накопители.
7. Оптические диски.

Лекція № 13

Тема: Общее устройство компьютера. Часть 3. Ввод-вывод.

Оглавление

Шины.....	2
Общее представление о компьютерных шинах.....	2
Ширина шины. Шины ISA и EISA.....	5
Шина PCI.....	7
Шина PCI Express.....	8
Видеопамять.....	9
Контрольные вопросы по теме.....	11
Уровень модуля.....	11
Уровень курса.....	11

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

Шины

Как отмечалось, компьютерная система состоит из трех основных компонентов: центрального процессора, памяти (основной и вспомогательной) и устройств ввода-вывода (принтеров, сканеров, модемов). Обмен данными между этими компонентами производится посредством шин.

Общее представление о компьютерных шинах

Логическую структуру обычного персонального компьютера иллюстрирует рис. 13.1. У данного компьютера имеется одна шина для соединения центрального процессора, памяти и устройств ввода-вывода; однако большинство систем имеют две и более шин. Каждое устройство ввода-вывода состоит из двух частей: одна объединяет большую часть электроники и называется контроллером, а другая представляет собой само устройство ввода-вывода, например, жесткий диск. Контроллер обычно располагается на плате, которая вставляется в свободный разъем системной шины. Исключение представляют собой контроллеры устройств, являющихся неотъемлемыми составными частями компьютера (например, клавиатуры), которые иногда располагаются на материнской плате. Хотя дисплей (монитор) и нельзя назвать дополнительным устройством, соответствующий контроллер иногда располагается на встроенной плате, чтобы пользователь мог по желанию выбирать платы с графическими ускорителями или без них, устанавливать дополнительную память и т. д. Контроллер связывается с самим устройством кабелем, который соединяется с разъемом на задней стороне корпуса.

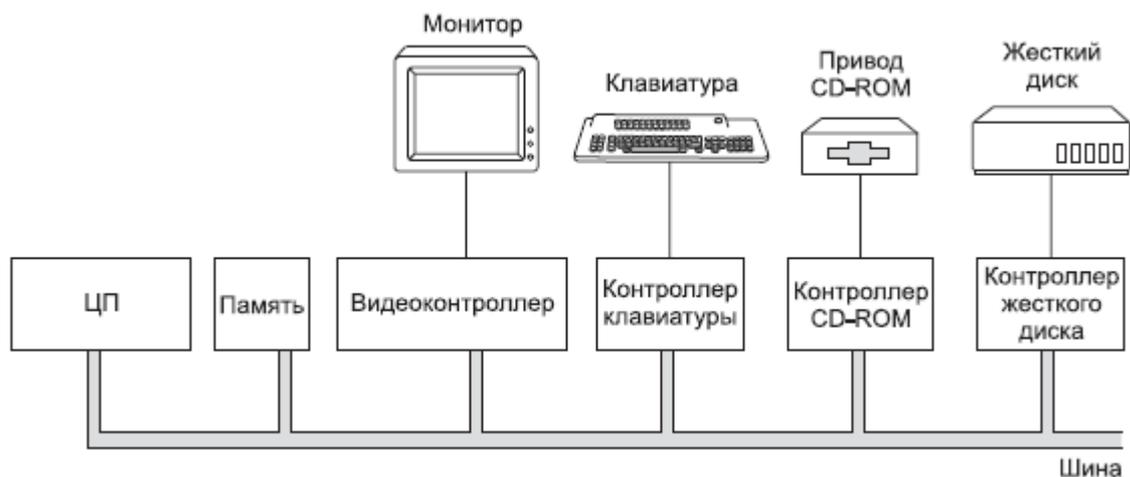


Рис. 13.1. Логическая структура обычного персонального компьютера

Контроллер управляет своим устройством ввода-вывода и для этого регулирует доступ к шине. Например, если программа запрашивает данные с диска, она посылает команду контроллеру диска, который затем отправляет диску команду поиска и другие команды. После нахождения соответствующей

дорожки и сектора диск начинает передавать контроллеру данные в виде потока битов. Задача контроллера состоит в том, чтобы разбить поток битов на фрагменты и записывать каждый такой фрагмент по мере накопления битов для него в память. Отдельный фрагмент обычно представляет собой одно или несколько слов. Если контроллер считывает данные из памяти или записывает их в память без участия центрального процессора, то говорят, что осуществляется прямой доступ к памяти (Direct Memory Access, DMA). Когда передача данных заканчивается, контроллер выдает прерывание, вынуждая центральный процессор приостановить работу текущей программы и начать выполнение особой процедуры. Эта процедура называется программой обработки прерываний и нужна она для того, чтобы проверить, нет ли ошибок, в случае их обнаружения произвести необходимые действия и сообщить операционной системе, что процесс ввода-вывода завершен. Когда программа обработки прерывания завершается, процессор возобновляет работу программы, которая была приостановлена в момент прерывания.

Шина используется не только контроллерами ввода-вывода, но и процессором для передачи команд и данных. Что происходит, если процессор и контроллер ввода-вывода хотят получить доступ к шине одновременно? В этом случае особая микросхема, которая называется арбитром шины, решает, чья очередь первая. Обычно предпочтение отдается устройствам ввода-вывода, поскольку работу дисков и других движущихся устройств нельзя прерывать, так как это может привести к потере данных. Когда ни одного устройства ввода-вывода не функционирует, центральный процессор может полностью распоряжаться шиной для взаимодействия с памятью. Однако если работает какое-нибудь устройство ввода-вывода, оно будет запрашивать доступ к шине и получать его каждый раз, когда ему это необходимо. Этот процесс, который притормаживает работу компьютера, называется захватом цикла памяти (cycle stealing).

Большинство персональных компьютеров и рабочих станций имеют физическую структуру, сходную с показанной на рис. 13.2. Обычно устройство представляет собой металлический корпус с большой интегральной схемой на дне, которая называется материнской (системной) платой. Материнская плата содержит микросхему процессора, несколько разъемов для модулей DIMM и различные вспомогательные микросхемы. Еще на материнской плате располагаются шина (она тянется вдоль платы) и несколько разъемов для подсоединения устройств ввода-вывода.

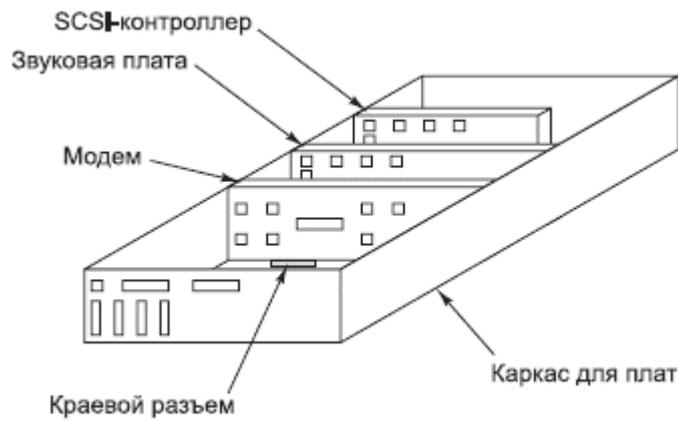


Рис. 13.2. Физическая структура персонального компьютера

Физически шина – это несколько проводников, соединяющих несколько устройств. Шины можно разделить на категории в соответствии с выполняемыми функциями. Они могут быть внутренними по отношению к процессору и служить для передачи данных в АЛУ и из АЛУ, а могут быть внешними по отношению к процессору и связывать процессор с памятью или устройствами ввода-вывода. Каждый тип шины обладает определенными свойствами и к каждому из них предъявляются определенные требования.

Первые персональные компьютеры имели одну внешнюю шину, которая называлась системной. Она состояла из нескольких медных проводов (от 50 до 100), которые встраивались в материнскую плату. На материнской плате на одинаковых расстояниях друг от друга находились разъемы для микросхем памяти и устройств ввода-вывода. Современные персональные компьютеры обычно содержат специальную шину между центральным процессором и памятью и, по крайней мере, еще одну шину для устройств ввода-вывода. На рис. 13.3 изображена система с одной шиной памяти и одной шиной ввода-вывода.

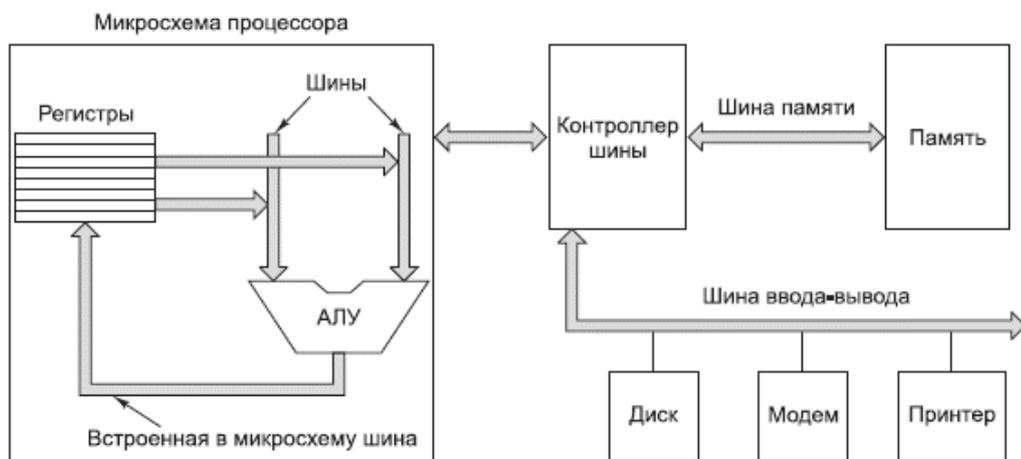


Рис. 13.3. Компьютерная система с несколькими шинами

В літературе шини обычно изображаются в виде жирных стрелок, как показано на этом рисунке. Разница между жирной стрелкой и нежирной стрелкой, через которую проходит короткая диагональная линия с указанием числа битов, небольшая. Когда тип всех битов одинаков, например, все адресные или все информационные, рисуется обычная стрелка. Когда включаются адресные линии, линии данных и управления, используется жирная стрелка.

Хотя разработчики процессоров могут использовать любой тип шины для микросхемы, должны быть введены четкие правила о том, как работает шина; и все устройства, связанные с шиной, должны подчиняться этим правилам, чтобы платы, которые выпускаются сторонними производителями, подходили к системной шине. Эти правила называются **протоколом** шины. Кроме того, должны существовать определенные технические требования, чтобы платы от сторонних производителей подходили к направляющим для печатных плат и имели разъемы, соответствующие материнской плате механически, с точки зрения напряжений, синхронизации и т. д.

Вкратце укажем, как работают шины. Некоторые устройства, соединенные с шиной, являются активными и могут инициировать передачу информации по шине, тогда как другие являются пассивными и ждут запросов. Активное устройство называется задающим, пассивное – подчиненным. Когда центральный процессор требует от контроллера диска считать или записать блок информации, центральный процессор действует как задающее устройство, а контроллер диска — как подчиненное. Контроллер диска может действовать как задающее устройство, когда он командует памяти принять слова, которые считал с диска. Память ни при каких обстоятельствах не может быть задающим устройством.

Как и процессор, шина имеет адресные, информационные линии и управляющие линии. Тем не менее между выводами процессора и сигналами шины может и не быть взаимно однозначного соответствия.

Существует целый ряд шин, широко используемых в компьютерном мире, например: Omnibus (PDP-8), Unibus (PDP-11), Multibus (8086), VME (оборудование для физической лаборатории), IBM PC (PC/XT), ISA (PC/AT), EISA (80386), MicroChannel (PS/2), Nubus (Macintosh), PCI (различные персональные компьютеры), SCSI (различные персональные компьютеры и рабочие станции), Universal Serial Bus (современные персональные компьютеры), FireWire (бытовая электроника).

Ширина шины. Шины ISA и EISA

Ширина (количество адресных линий) шины – самый очевидный параметр. Чем больше адресных линий содержит шина, тем к большему

объему памяти может обращаться процессор. Если шина содержит n адресных линий, тогда процессор может использовать ее для обращения к 2^n различным ячейкам памяти. Для памяти большой емкости необходимо много адресных линий. Проблема заключается в том, что для широких шин требуется больше проводов, чем для узких. Они занимают больше физического пространства (например, на материнской плате) и для них нужны разъемы большего размера. Все эти факторы делают шину дорогостоящей.

Многие разработчики систем оказались недальновидными, что привело к неприятным последствиям. Первая модель IBM PC содержала процессор 8088 и 20-разрядную адресную шину **ISA** (рис. 13.4). Шина позволяла обращаться к 1 Мбайт памяти.

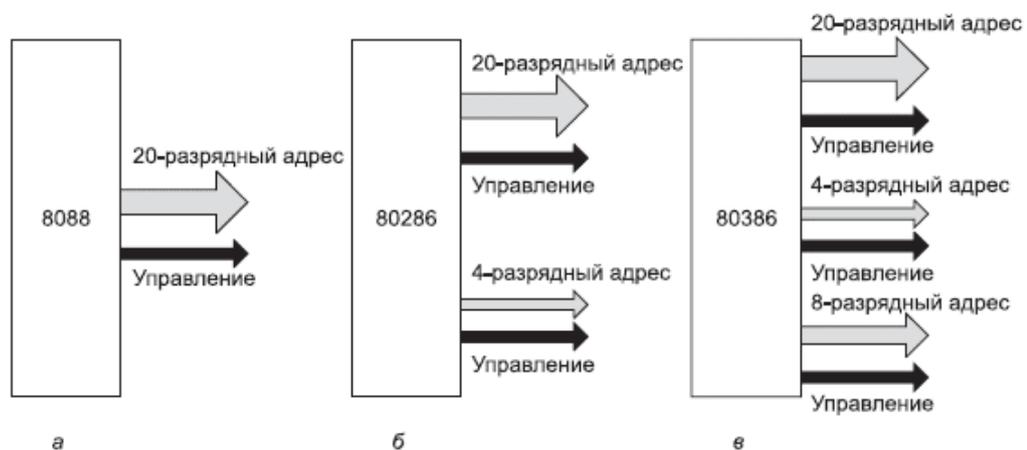


Рис. 13.4. Расширение адресной шины с течением времени

Когда появился следующий процессор (80286), компания Intel решила увеличить адресное пространство до 16 Мбайт, поэтому пришлось добавить еще 4 линии (не нарушая изначальные 20 по причинам совместимости с предыдущими версиями), как показано на рис. 13.4б. К сожалению, пришлось также добавить управляющие линии для новых адресных линий. Когда появился процессор 80386, было добавлено еще 8 адресных линий и, естественно, несколько управляющих линий, как показано на рис. 13.4в. В результате получилась шина **EISA**. Однако архитектура получилась куда более запутанной, чем если бы с самого начала использовались 32 линии.

С течением времени увеличивается не только число адресных линий, но и число информационных линий, хотя это происходит по другой причине. Можно увеличить пропускную способность шины двумя способами: сократить время цикла шины (сделать большее количество передач в секунду) или увеличить ширину шины данных (то есть увеличить количество битов, передаваемых за цикл). Можно повысить скорость работы шины, но сделать это довольно сложно, поскольку сигналы на разных линиях передаются с

разной скоростью (это явление называется расфазировкой шины). Чем быстрее работает шина, тем больше расфазировка.

При увеличении скорости работы шины возникает еще одна проблема: в этом случае она становится несовместимой с предыдущими версиями. Старые платы, разработанные для более медленной шины, не могут работать с новой. Такая ситуация невыгодна для владельцев и производителей старых плат. Поэтому обычно для увеличения производительности просто добавляются новые линии, как показано на рис. 13.4. В этом тоже есть свои недостатки. Компьютер IBM PC и его преемники, например, начали с 8 информационных линий, затем перешли к 16, потом — к 32 линиям, и все это в одной и той же шине.

Чтобы обойти эту проблему, разработчики иногда отдают предпочтение **мультиплексной** шине. В этой шине нет разделения на адресные и информационные линии. В ней может быть, например, 32 линии и для адресов, и для данных. Сначала эти линии используются для адресов, затем — для данных. Чтобы записать информацию в память, нужно сначала передавать в память адрес, а потом — данные. В случае с отдельными линиями адреса и данные могут передаваться вместе. Объединение линий сокращает ширину и стоимость шины, но система работает при этом медленнее.

Шина PCI

Peripheral Component Interconnect (PCI) является текущим стандартом для карт расширений персональных компьютеров. Intel разработала эту технологию в 1993 году для процессора Pentium. С помощью этой шины соединяется процессор с памятью и другими периферийными устройствами.

PCI поддерживает передачу 32 и 64 разрядных данных, количество передаваемых данных равно разрядности процессора, 32 битный процессор будет использовать 32 битную шину, а 64 битный — 64 битную. Работает шина на частоте 33 МГц. Большинство PCI карт работают на напряжении 5 вольт.

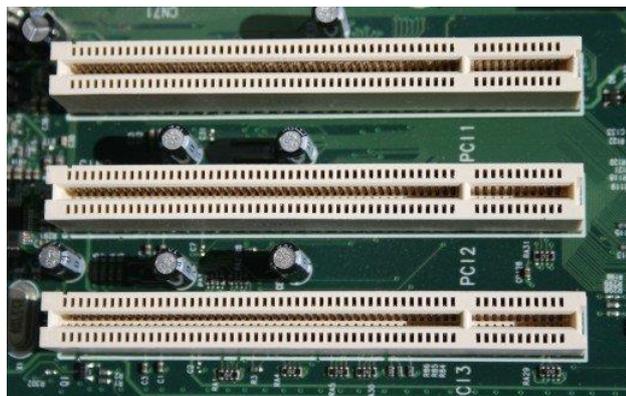


Рис. 13.5. Внешний вид разъемов PCI

Существует много различных конфигураций шины PCI. Наиболее типичная из них показана на рис. 13.6. В такой конфигурации центральный процессор взаимодействует с контроллером памяти по выделенному высокоскоростному соединению. Таким образом, контроллер соединяется с памятью непосредственно, то есть передача данных между центральным процессором и памятью происходит не через шину PCI. Другие периферийные устройства подсоединяются прямо к шине PCI. Машина такого типа обычно содержит 2 или 3 пустых разъема PCI, чтобы покупатели имели возможность подключать карты PCI для новых периферийных устройств).

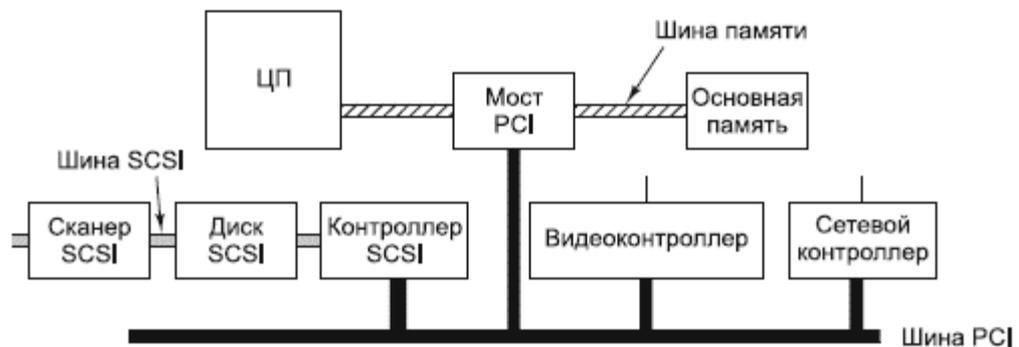


Рис. 13.6. Современный персональный компьютер с шиной PCI. Контроллер SCSI является PCI -устройством

Шина PCI Express

Дальнейшее развитие в направлении повышения скорости привело к тому, что PCI была заменена шиной **PCI Express** (сокращенно **PCIe**). Многие современные компьютеры поддерживают обе шины, благодаря чему пользователи могут подключать новые, быстрые устройства к шине PCIe, а старые, более медленные – к шине PCI.

Если шина PCI представляла собой обновленную версию старой шины ISA с более высокой скоростью и разрядностью параллельно передаваемых данных, PCIe представляет кардинальное изменение по сравнению с шиной PCI. Собственно, это вообще не шина, а одноранговая сеть, использующая разрядно-последовательные линии и коммутацию пакетов. У нее больше от Интернета, чем от традиционных шин. Архитектура PCIe изображена на рис. 13.7.

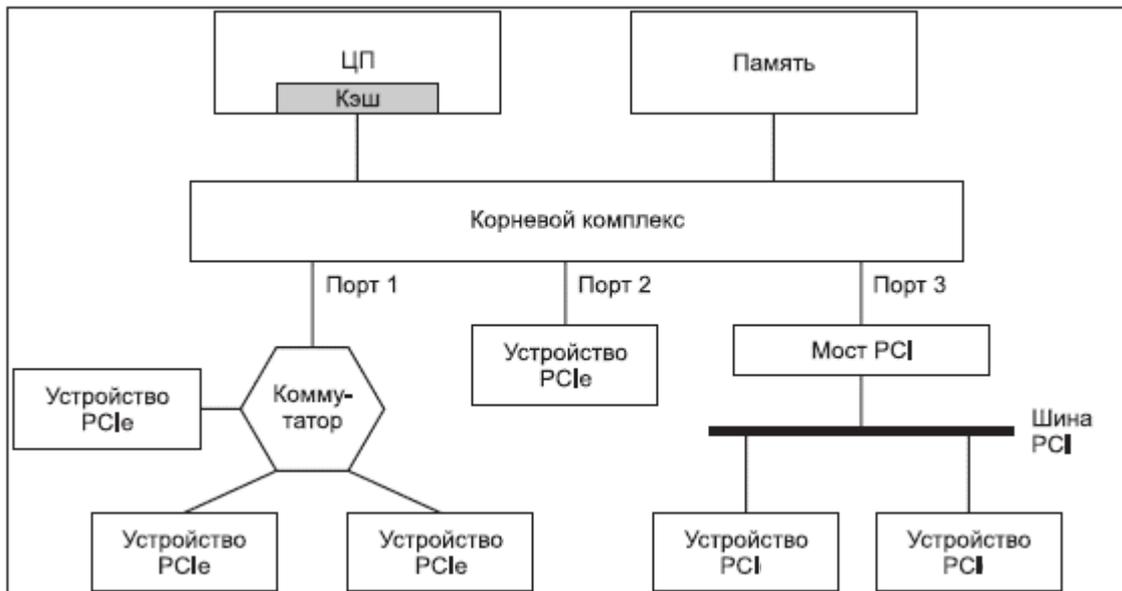


Рис. 13.7. Архитектура системы PCIe с тремя портами PCI

Соединения между устройствами являются последовательными, то есть имеют разрядность в один бит вместо 8, 16, 32 или 64 бит. Хотя, казалось бы, 64-разрядное соединение обладает более высокой пропускной способностью, на практике различия во времени распространения 64-разрядной информации, называемые расфазировкой, заставляют использовать относительно низкие скорости передачи данных. По последовательному соединению данные передаются на значительно более высокой скорости, что более чем компенсирует потерю параллелизма. Шины PCI работают на максимальной тактовой частоте 66 МГц. При передаче 64 бит за такт скорость передачи данных составляет 528 Мбайт/с. При тактовой частоте 8 Гбит/с, даже в случае последовательной передачи, скорость передачи по шине PCIe составляет 1 Гбайт/с. Кроме того, обмен данными между устройством и корневым комплексом или коммутатором не ограничивается одной проводной парой. Устройство может иметь до 32 проводных пар, называемых трактами (lanes) или дорожками. Тракты работают несинхронно, поэтому расфазировка в данном случае несущественна. На большинстве материнских плат имеется 16-трактовый разъем для графической карты, что для PCIe 3.0 обеспечивает пропускную способность в 16 Гбайт/с – примерно в 30 раз больше, чем у графических карт PCI. Такая пропускная способность необходима для приложений, требования которых постоянно растут – например, трехмерной графики.

Видеопамять

Обновление картинки на экранах мониторов производится от 60 до 100 раз в секунду; для этого используется видеопамять, размещенная на плате контроллера дисплея. Видеопамять содержит одну или несколько битовых

карт, представляючих выводимое на экран изображение. Если, скажем, на экране умещается 1920 x 1080 элементов изображения (пикселов), значит, в видеопамати содержится 1920 x 1080 значений, по одному на каждый пиксел. В целях быстрого переключения с одного изображения на другое в памяти может размещаться несколько таких карт.

В современных дисплеях каждый пиксел представлен 3-байтным значением RGB, которое определяет интенсивность красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) компонентов изображения (мощные профессиональные мониторы используют 10 и более бит на цвет). Как известно, любой цвет можно представить путем линейной суперпозиции трех упомянутых базовых цветов.

Если в видеопамати хранится информация о 1920 x 1080 пикселах, причем на каждый из них выделяется по 3 байта, общий объем этих данных составляет около 6,2 Мбайт; поэтому на любые манипуляции таким изображением уходит довольно много процессорного времени. Для вывода растровых (то есть сформированных на основе битовых карт) изображений требуется большая пропускная способность. К примеру, для воспроизведения одного кадра полноцветных мультимедийных данных в полноэкранный формат на дисплее размером 1920 x 1080 необходимо скопировать в видеопамать 6,2 Мбайт. Если учесть, что полноценный видеофильм выводится со скоростью 25 кадров в секунду, общая скорость передачи данных должна составлять 155 Мбайт/с. Такую пропускную способность не способна обеспечить даже первоначальная версия шины PCI (132 Мбайт/с), но шина PCIe легко справляется с ней.

Промышленный компьютер

Промышленный компьютер – компьютер, предназначенный для обеспечения работы программных средств в промышленном производственном процессе на предприятии, например, АСУ ТП в рамках автоматизации технологических процессов.

Для промышленных компьютеров определяющим параметром является так называемый форм-фактор. Форм-фактор (от англ. form factor) или типоразмер – стандарт, задающий габаритные размеры технического изделия, а также описывающий дополнительные совокупности его технических параметров, например форму, типы дополнительных элементов размещаемых в/на устройстве, их положение и ориентацию. В частности, форм-фактор задает шину компьютера: электрические параметры, протокол и конструкцию разъемов. Применяемая шина чаще всего именуется также, как и форм-фактор, который ее задает. Наиболее употребляемые форм-факторы в промышленных компьютерах: PC/104, MicroPC, CompactPCI.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Общее представление о компьютерных шинах.
2. Ширина шины. Шины ISA и EISA.
3. Шина PCI.
4. Шина PCI Express.
5. Видеопамять.

Лекція № 14

Тема: Аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

Оглавление

Классы сигналов.....	2
Аналого-цифровое преобразование сигналов.....	3
Аналогово-цифровые преобразователи (АЦП).....	4
Параллельные АЦП (АЦП прямого преобразования)	7
АЦП последовательного приближения	8
Сигма-дельта АЦП.....	10
Контрольные вопросы по теме	12
Уровень модуля.....	12
Уровень курса.....	12

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

Классы сигналов

Сигналы могут быть **непрерывными** и **дискретными**. В связи с этим сигналы можно разделить на следующие классы:

- а) произвольные по величине и непрерывные по времени (рис. 14.1, а);
- б) произвольные по величине и дискретные по времени (рис. 14.1, б);
- в) квантованные по величине и непрерывные по времени (рис. 14.1, в);
- г) квантованные по величине и дискретные по времени (рис. 14.1, г).

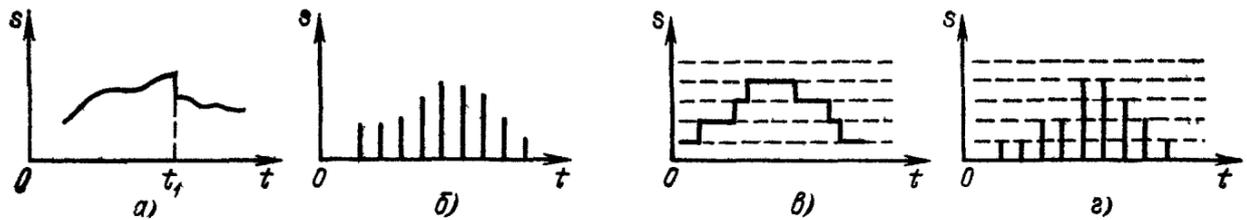


Рис. 14.1. Сигналы произвольные по величине и по времени (а), произвольные по величине и дискретные по времени (б), квантованные по величине и непрерывные по времени (в), квантованные по величине и дискретные по времени (г)

Сигналы первого класса (рис. 14.1а) называют **аналоговыми** или непрерывными, так как они задаются по оси времени на несчетном множестве точек. Такие множества называют континуальными. При этом по оси ординат сигналы могут принимать любое значение в определенном интервале. Эти сигналы могут иметь разрывы, как, например, на рис. 14.1а.

На рис. 14.1б представлен сигнал, заданный при дискретных значениях времени t (на счетном множестве точек); величина же сигнала в этих точках может принимать любое значение в определенном интервале по оси ординат (как и на рис. 14.1а). Таким образом, термин **дискретный** характеризует не сам сигнал, а способ задания его на временной оси. Дискретные сигналы могут создаваться непосредственно источником информации (например, дискретными датчиками в системах управления или телеметрии) или образовываться в результате дискретизации континуальных сигналов.

Сигнал на рис. 14.1в задан на всей временной оси, однако его величина может принимать лишь дискретные значения. В подобных случаях говорят о сигнале, квантованном по уровню.

В дальнейшем термин дискретный будет применяться только по отношению к дискретизации по времени; дискретность же по уровню будет обозначаться термином **квантование**.

Квантование используют при представлении сигналов в цифровой форме с помощью цифрового кодирования, поскольку уровни можно

пронумеровать числами с конечным числом разрядов. Поэтому дискретный по времени и квантованный по уровню сигнал (рис. 14.1г) называется цифровым.

Таким образом, можно различать: аналоговые (рис. 14.1а), дискретные (рис. 14.1б), квантованные (рис. 14.1в) и цифровые (рис. 14.1г) сигналы. Каждому из этих классов сигналов можно поставить в соответствие аналоговую, дискретную или цифровую цепи.

Аналого-цифровое преобразование сигналов

Для преобразования любого аналогового сигнала (звука, изображения) в цифровую форму необходимо выполнить три основные операции: дискретизацию, квантование и кодирование.

Дискретизация - представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений (отсчетов). Эти отсчеты берутся в моменты времени, отделенные друг от друга интервалом, который называется интервалом или шагом дискретизации. Величину, обратную интервалу между отсчетами, называют частотой дискретизации.

Квантование представляет собой замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин - уровней квантования. Другими словами, квантование – это округление величины отсчета. Уровни квантования делят весь диапазон возможного изменения значений сигнала на конечное число интервалов – шагов квантования. Расположение уровней квантования обусловлено шкалой квантования. Используются как равномерные, так и неравномерные шкалы.

Цифровое кодирование. Квантованный сигнал, в отличие от исходного аналогового, может принимать только конечное число значений. Это позволяет представить его в пределах каждого интервала дискретизации числом, равным порядковому номеру уровня квантования. В свою очередь это число можно выразить комбинацией некоторых знаков или символов. Совокупность знаков (символов) и система правил, при помощи которых данные представляются в виде набора символов, называют кодом. Конечная последовательность кодовых символов называется кодовым словом. Квантованный сигнал можно преобразовать в последовательность кодовых слов. Эта операция и называется кодированием. Каждое кодовое слово передается в пределах одного интервала дискретизации. Для кодирования сигналов звука и изображения широко применяют двоичный код. Если квантованный сигнал может принимать N значений, то число двоичных символов в каждом кодовом слове $n \geq \log_2 N$. Один разряд, или символ слова, представленного в двоичном коде, называют битом. Обычно число уровней квантования равно целой степени числа 2, т.е. $N = 2^n$.

Кодовые слова можно передавать в параллельной или последовательной формах. Для передачи в параллельной форме надо использовать n линий связи. Символы кодового слова одновременно передаются по линиям в пределах интервала дискретизации. Для передачи в последовательной форме интервал дискретизации надо разделить на n подинтервалов - тактов. В этом случае символы слова передаются последовательно по одной линии, причем на передачу одного символа слова отводится один такт. Каждый символ слова передается с помощью одного или нескольких дискретных сигналов - импульсов. Преобразование аналогового сигнала в последовательность кодовых слов поэтому часто называют импульсно-кодовой модуляцией. Форма представления слов определенными сигналами определяется форматом кода. Можно, например, устанавливать в пределах такта высокий уровень сигнала, если в данном такте передается двоичный символ 1, и низкий - если передается двоичный символ 0 (такой способ представления называют форматом БВН - Без Возвращения к Нулю). Если используются 4-разрядные двоичные слова, то это позволяет иметь 16 уровней квантования. В параллельном цифровом потоке по каждой линии в пределах интервала дискретизации передается 1 бит 4-разрядного слова. В последовательном потоке интервал дискретизации делится на 4 такта, в которых передаются (начиная со старшего) биты 4-разрядного слова.

Операции, связанные с преобразованием аналогового сигнала в цифровую форму (дискретизация, квантование и кодирование), выполняются одним устройством – *аналого-цифровым преобразователем* (АЦП). Современная АЦП выполняется на одной интегральной микросхеме.

Обратная процедура, т.е. восстановление аналогового сигнала из последовательности кодовых слов, производится в *цифро-аналоговом преобразователе* (ЦАП).

Аналогово-цифровые преобразователи (АЦП)

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

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) — один из самых важных электронных компонентов в измерительном и тестовом оборудовании. АЦП преобразует напряжение (аналоговый сигнал) в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные

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

Существуют также параллельные АЦП для приложений, требующих скоростной обработки аналоговых сигналов, и интегрирующие АЦП с высокими разрешением и помехоподавлением.

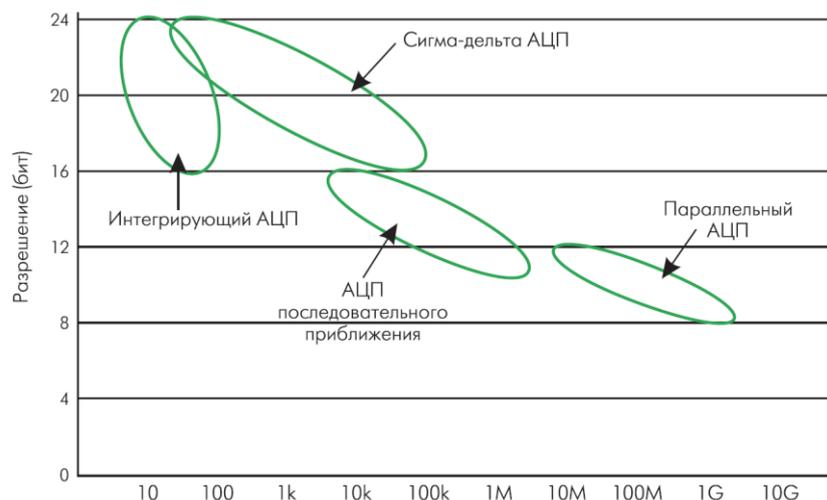


Рис. 14.2 Разрешение в зависимости от частоты дискретизации для различных типов АЦП

На рис. 14.2 показаны возможности основных архитектур АЦП в зависимости от разрешения и частоты дискретизации.

Аналогово-цифровые преобразователи можно классифицировать по нескольким признакам (рис. 14.3). Прежде всего АЦП классифицируют по способу подключения к компьютеру. Возможно непосредственное подключение АЦП к внутренней шине компьютера. Тогда плата АЦП вставляется в разъем, соединенный с системной шиной на материнской плате. Плата АЦП в этом случае должна реализовывать соответствующий шинный интерфейс: ISA, PCI, PCIe, CompactPCI, VMEbus. Возможно также подключение АЦП к компьютеру через порт. Чаще всего используется USB-порт, до распространения USB широко применялось подключение через COM-порт.

АЦП может подключаться по сетевому интерфейсу, тогда данные с выхода АЦП передаются через локальную сеть. Соответственно, АЦП должен в этом случае реализовывать соответствующий интерфейс на физическом уровне и поддерживать необходимые протоколы на канальном, сетевом, транспортном и, если необходимо, на других уровнях. АЦП в промышленности при работе через сеть обычно поддерживают один из таких интерфейсов: Ethernet, Industrial Ethernet, RS-485, CAN, PROFINET.

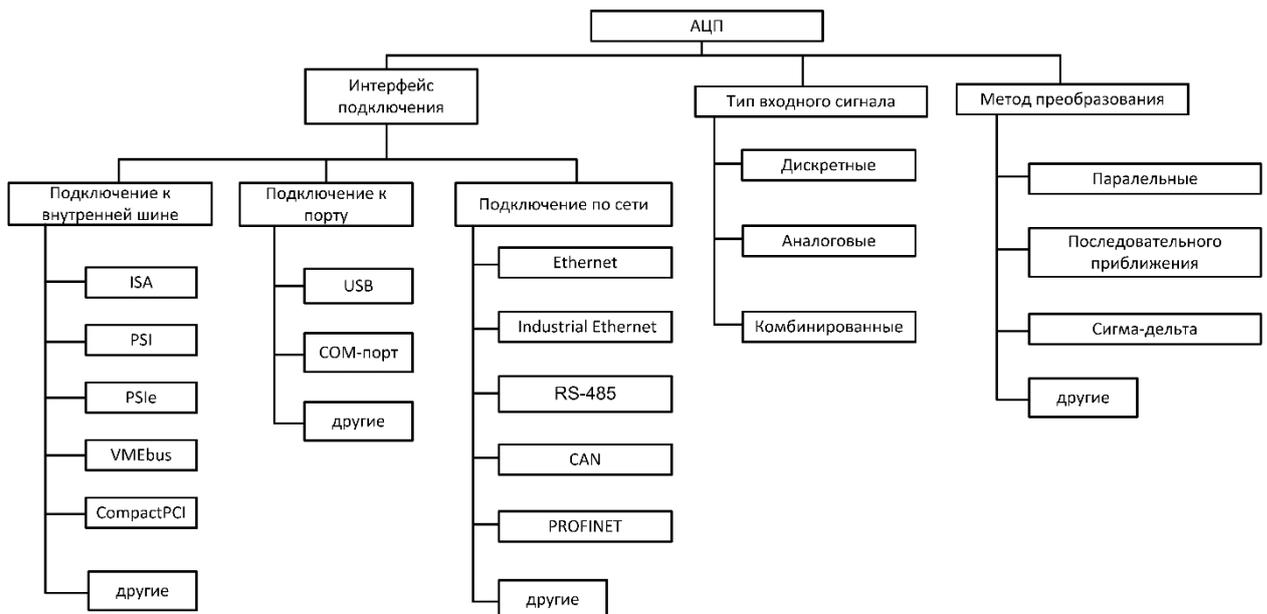


Рис. 14.3. Классификация АЦП

Сигналы, которые необходимо оцифровать и ввести компьютер, на практике разделяют на два вида: релейные (или дискретные) сигналы и аналоговые сигналы. Релейные сигналы – это сигналы, которые могут принимать только два состояния, например: 0 вольт или 5 вольт, 0 вольт или 30 вольт, 0 вольт или 220 вольт и т.д. Однако, необходимо указать, что АЦП обычно работают с входными сигналами постоянного тока порядка 5 Вольт подача высоких напряжений приведет к выходу его из строя. Поэтому релейные сигналы с другими параметрами должны быть предварительно преобразованы в вид, определяемый технической спецификацией АЦП. Другим типом релейного сигнала является сигнал "замкнуто-разомкнуто" или иначе "есть цепь - нет цепи". В данном случае напряжение на входах от объекта контроля не появляется, от объекта контроля сигнал не приходит. АЦП должно само опросить этот вход (подать напряжение на этот вход) и определить: существует ли электрическая цепь между данными двумя контактами (то есть на этом входе, который представляет собой ничто иное как просто два контакта, к которым подводятся сигнальные провода от датчиков объекта контроля) или цепь разомкнута. Такой тип сигнала называют "сухой контакт".

АЦП, работающие с релейными сигналами, называют релейными АЦП, дискретными АЦП, АЦП релейного ввода, АЦП дискретного ввода; встречаются и другие названия. АЦП, которые производят оцифровку аналоговых сигналов называют аналоговыми АЦП, АЦП аналогового ввода, а также применяются аналогичные названия, отражающие назначение этих АЦП.

На практике получили большое распространение АЦП, одновременно имеющие как релейные, так и аналоговые входы. Такие АЦП обычно называют комбинированными.

В компьютерно-интегрированных технологиях широкое применение находят многофункциональные модули, которые объединяют в себе и функции АЦП, и функции цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Эти модули имеют по несколько релейных и аналоговых входов, а также по несколько релейных и аналоговых выходов.

Параллельные АЦП (АЦП прямого преобразования)

Большинство высокоскоростных осциллографов и некоторые высокочастотные измерительные приборы используют параллельные АЦП из-за их высокой скорости преобразования, которая может достигать 5Г отсчетов/с (5×10^9) для стандартных устройств и 20Г отсчетов/с для оригинальных разработок. Обычно параллельные АЦП имеют разрешение до 8 разрядов, но встречаются также 10-разрядные версии.

Архитектура АЦП прямого преобразования изображена на рис. 14.4

Принцип действия АЦП предельно прост: входной сигнал поступает одновременно на все «плюсовые» входы компараторов, а на «минусовые» подается ряд напряжений, получаемых из опорного путем деления резисторами R. Для схемы на рис. 14.4 этот ряд будет таким: $(1/16, 3/16, 5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16) U_{ref}$, где U_{ref} – опорное напряжение АЦП.

Пусть на вход АЦП подается напряжение, равное $1/2 U_{ref}$. Тогда сработают первые 4 компаратора (если считать снизу), и на их выходах появятся логические единицы. Приоритетный шифратор (priority encoder) сформирует из «столбца» единиц двоичный код, который фиксируется выходным регистром.

Теперь становятся понятны достоинства и недостатки такого преобразователя. Все компараторы работают параллельно, время задержки схемы равно времени задержки в одном компараторе плюс время задержки в шифраторе. Компаратор и шифратор можно сделать очень быстрыми, в итоге вся схема имеет очень высокое быстродействие.

Но для получения N разрядов нужно 2^N компараторов (и сложность шифратора тоже растет как 2^N). Схема на рис. 14.4. содержит 8 компараторов

и имеет 3 разряда, для получения 8 разрядов нужно уже 256 компараторов, для 10 разрядов – 1024 компаратора, для 24-битного АЦП их понадобилось бы свыше 16 млн.

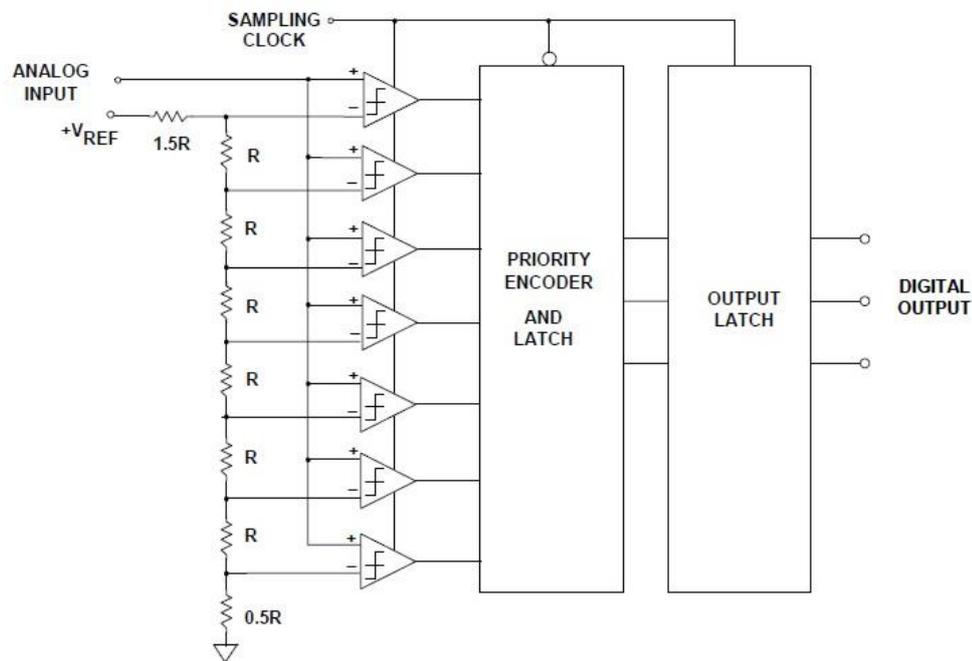


Рис. 14.4. Структурная схема АЦП прямого преобразования

Параллельные АЦП – достаточно быстрые устройства, но они имеют свои недостатки. Из-за необходимости использовать большое количество компараторов параллельные АЦП потребляют значительную мощность, и их нецелесообразно использовать в приложениях с батарейным питанием.

АЦП последовательного приближения

Когда необходимо разрешение 12,14 или 16 разрядов и не требуется высокая скорость преобразования, а определяющими факторами являются невысокая цена и низкое энергопотребление, то обычно применяют АЦП последовательного приближения. Этот тип АЦП чаще всего используется в разнообразных измерительных приборах и в системах сбора данных. В настоящий момент АЦП последовательного приближения позволяют измерять напряжение с точностью до 16 разрядов с частотой дискретизации от 100К (100×10^3) до 1М (1×10^6) отсчетов/с.

АЦП последовательного приближения реализует алгоритм «взвешивания». Аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения (SAR, Successive Approximation Register) измеряет величину входного сигнала, осуществляя ряд последовательных «взвешиваний», то есть сравнений величины входного напряжения с рядом величин, генерируемых следующим образом:

1. На первом шаге на выходе встроенного цифро-аналогового преобразователя устанавливается величина, равная $1/2U_{ref}$ (здесь и далее мы предполагаем, что сигнал находится в интервале $(0 - U_{ref})$).

2. Если сигнал больше этой величины, то он сравнивается с напряжением, лежащим посередине оставшегося интервала, т.е., в данном случае, $3/4U_{ref}$. Если сигнал меньше установленного уровня, то следующее сравнение будет производиться с меньшей половиной оставшегося интервала (т.е. с уровнем $1/4U_{ref}$).

3. Шаг 2 повторяется N раз. Таким образом, N сравнений («взвешиваний») порождает N бит результата.

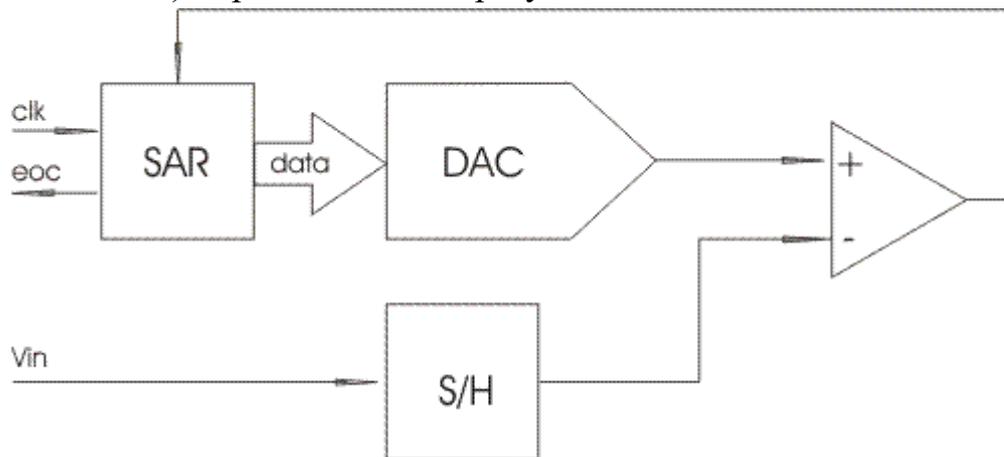


Рис. 14.5. Структурная схема АЦП последовательного приближения.

Таким образом, АЦП последовательного приближения состоит из следующих узлов:

1. Компаратор. Он сравнивает входную величину и текущее значение «весового» напряжения (на рис. 14.5. обозначен треугольником).

2. Цифро-аналоговый преобразователь (Digital to Analog Converter, DAC). Он генерирует «весовое» значение напряжения на основе поступающего на вход цифрового кода.

3. Регистр последовательного приближения (Successive Approximation Register, SAR). Он осуществляет алгоритм последовательного приближения, генерируя текущее значение кода, подающегося на вход ЦАП. По его названию названа вся данная архитектура АЦП.

4. Схема выборки-хранения (Sample/Hold, S/H). Для работы данного АЦП принципиально важно, чтобы входное напряжение сохраняло неизменную величину в течение всего цикла преобразования. Однако «реальные» сигналы имеют свойство изменяться во времени. Схема выборки-хранения «запоминает» текущее значение аналогового сигнала, и сохраняет его неизменным на протяжении всего цикла работы устройства.

Достоїнством устройства является относительно высокая скорость преобразования: время преобразования N-битного АЦП составляет N тактов. Точность преобразования ограничена точностью внутреннего ЦАП и может составлять 16-18 бит (сейчас стали появляться и 24-битные SAR ADC, например, AD7766 и AD7767).

Сигма-дельта АЦП

Для проведения большинства измерений часто не требуется АЦП со скоростью преобразования, которую дает АЦП последовательного приближения, зато необходима большая разрешающая способность. Сигма-дельта АЦП могут обеспечивать разрешающую способность до 24 разрядов, но при этом уступают в скорости преобразования. Так, в сигма-дельта АЦП при 16 разрядах можно получить частоту дискретизации до 100К отсчетов/с, а при 24 разрядах эта частота падает до 1К отсчетов/с и менее, в зависимости от устройства.

Обычно сигма-дельта АЦП применяются в разнообразных системах сбора данных и в измерительном оборудовании (измерение давления, температуры, веса и т. п.), когда не требуется высокая частота дискретизации и необходимо разрешение более 16 разрядов.

Структурная схема сигма-дельта АЦП приведена на рис. 14.6.

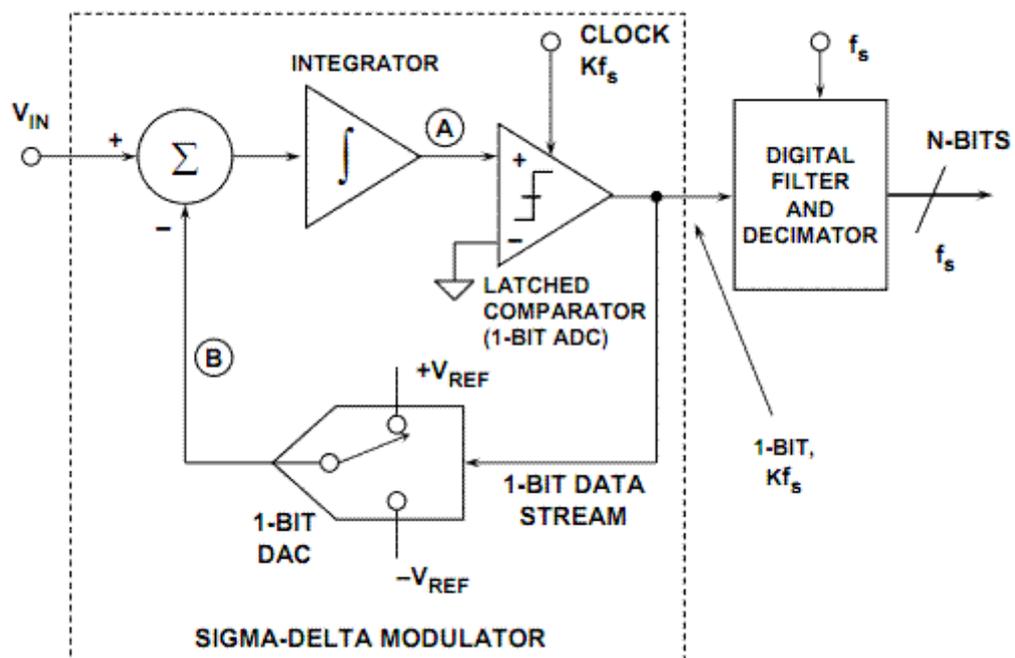


Рис.14.6. Структурная схема сигма-дельта АЦП.

Принцип действия данного АЦП несколько более сложен, чем у других типов АЦП. Его суть в том, что входное напряжение сравнивается со значением напряжения, накопленным интегратором. На вход интегратора

подаються імпульси позитивної або негативної полярності, в залежності від результату порівняння. Таким чином, даний АЦП представляє собою просту слідячу систему: напруга на виході інтегратора «відслідковує» вхідну напругу (рис. 14.7). Результатом роботи даної схеми є потік нулів і одиниць на виході компаратора, який потім пропускається через цифровий ФНЧ, в результаті отримується N-бітний результат. ФНЧ на рис. 14.6. Об'єднаний з «дециматором», пристроєм, що знижує частоту повторення відліків шляхом їх «прорежування».

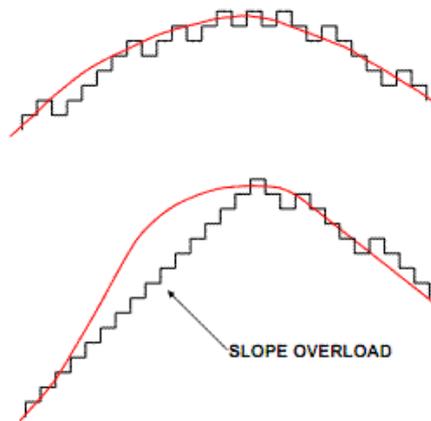


Рис. 14.7. Сигма-дельта АЦП як слідяча система

На рис. 14.7 зображена структурна схема сигма-дельта АЦП першого порядку. Сигма-дельта АЦП другого порядку має два інтегратори і дві петлі зворотного зв'язку.

Додатковим і дуже важливим достоїнством сигма-дельта АЦП є те, що всі його внутрішні вузли можуть бути виконані інтегральним способом на площині одного кремнієвого кристалла. Це помітно знижує вартість кінцевих пристроїв і підвищує стабільність характеристик АЦП.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Классы сигналов.
2. Аналого-цифровое преобразование сигналов.
3. Аналогово-цифровые преобразователи и их классификация.
4. Аналогово-цифровые преобразователи прямого преобразования.
5. Аналогово-цифровые преобразователи последовательного приближения.
6. Сигма-дельта аналогово-цифровые преобразователи.

Лекція № 15

Тема: Аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.
Часть вторая.

Оглавление

Спецификация АЦП.....	2
Статическая погрешность	2
Идеальная передаточная характеристика АЦП	3
Аддитивная погрешность.....	4
Мультипликативная погрешность.....	5
Дифференциальная нелинейность.....	5
Интегральная нелинейность	6
Погрешность квантования	6
Динамические характеристики.....	7
Цифро-аналоговый преобразователь	9
Принцип работы.....	9
Характеристики ЦАП	10
Классификация	10
Подбор ЦАП	12
Контрольные вопросы по теме	14
Уровень модуля.....	14
Уровень курса.....	14

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

Спецификация АЦП

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

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

АЦП преобразует входной аналоговый сигнал в выходной цифровой код. Для реальных преобразователей, изготавливаемых в виде интегральных микросхем, процесс преобразования не является идеальным: на него оказывают влияние как технологический разброс параметров при производстве, так и различные внешние помехи. Поэтому цифровой код на выходе АЦП определяется с погрешностью. В спецификации на АЦП указываются погрешности, которые дает сам преобразователь. Их обычно делят на статические и динамические. При этом именно конечное приложение определяет, какие характеристики АЦП будут считаться определяющими, самыми важными в каждом конкретном случае.

Статическая погрешность

В большинстве применений АЦП используют для измерения медленно изменяющегося низкочастотного сигнала (например, от датчика температуры, давления, от тензодатчика и т. п.), когда входное напряжение пропорционально относительно постоянной физической величине. Здесь основную роль играет статическая погрешность измерения. В спецификации АЦП этот тип погрешности определяют аддитивная погрешность (Offset), мультипликативная погрешность (Full-Scale), дифференциальная нелинейность (DNL),

інтегральна нелінійність (INL) и погрешность квантования. Эти пять характеристик позволяют полностью описать статическую погрешность АЦП.

Идеальная передаточная характеристика АЦП

Передаточная характеристика АЦП — это функция зависимости кода на выходе АЦП от напряжения на его входе. Такой график представляет собой кусочно-линейную функцию из 2^N «ступеней», где N — разрядность АЦП. Каждый горизонтальный отрезок этой функции соответствует одному из значений выходного кода АЦП (рис. 15.1). Если соединить линиями начала этих горизонтальных отрезков (на границах перехода от одного значения кода к другому), то идеальная передаточная характеристика будет представлять собой прямую линию, проходящую через начало координат.

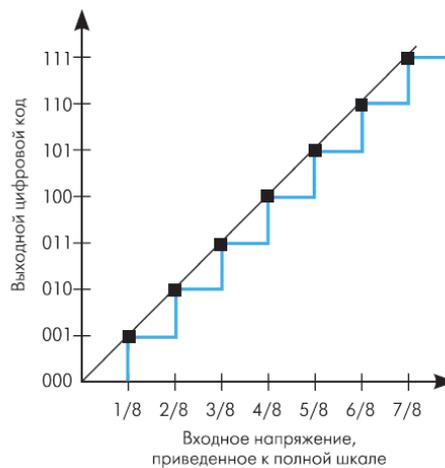


Рис. 15.1 Идеальная передаточная характеристика 3-разрядного АЦП

Рис. 15.1 иллюстрирует идеальную передаточную характеристику для 3-разрядного АЦП с контрольными точками на границах перехода кода. Выходной код принимает наименьшее значение (000b) при значении входного сигнала от 0 до 1/8 полной шкалы (максимального значения кода этого АЦП). Также следует отметить, что АЦП достигнет значения кода полной шкалы (111b) при 7/8 полной шкалы, а не при значении полной шкалы. Таким образом, переход в максимальное значение на выходе происходит не при напряжении полной шкалы, а при значении, меньшем на наименьший значащий разряд (LSB), чем входное напряжение полной шкалы. Передаточная характеристика может быть реализована со смещением $-1/2$ LSB. Это достигается смещением передаточной характеристики влево, что смещает погрешность квантования из диапазона $-1...0$ LSB в диапазон $-1/2...+1/2$ LSB.

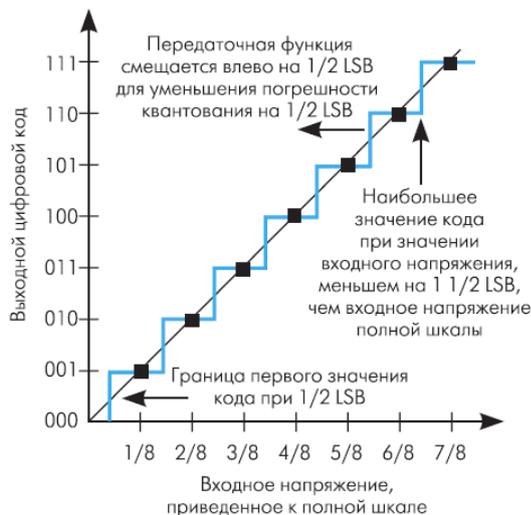


Рис. 15.2 Передаточная характеристика 3-разрядного АЦП со смещением на $-1/2$ LSB

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

Аддитивная погрешность

Идеальная передаточная характеристика АЦП пересекает начало координат, а первый переход кода происходит при достижении значения 1 LSB. Аддитивная погрешность (погрешность смещения) может быть определена как смещение всей передаточной характеристики влево или вправо относительно оси входного напряжения, как показано на рис. 15.3. Таким образом, в определение аддитивной погрешности АЦП намеренно включено смещение $1/2$ LSB.

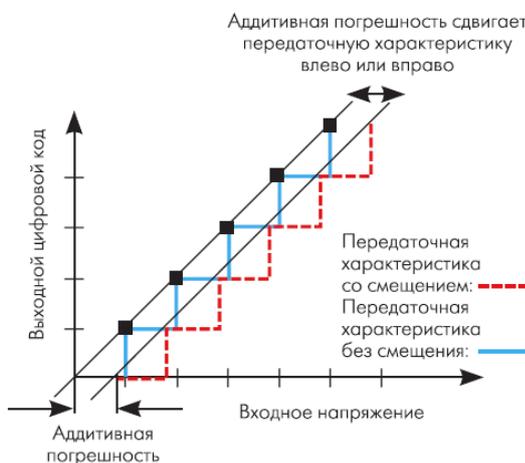


Рис. 15.3 Аддитивная погрешность

Мультипликативная погрешность

Мультипликативная погрешность (погрешность полной шкалы) представляет собой разность между идеальной и реальной передаточными характеристиками в точке максимального выходного значения при условии нулевой аддитивной погрешности (смещение отсутствует). Это проявляется как изменение наклона передаточной функции, что иллюстрирует рис. 15.4.

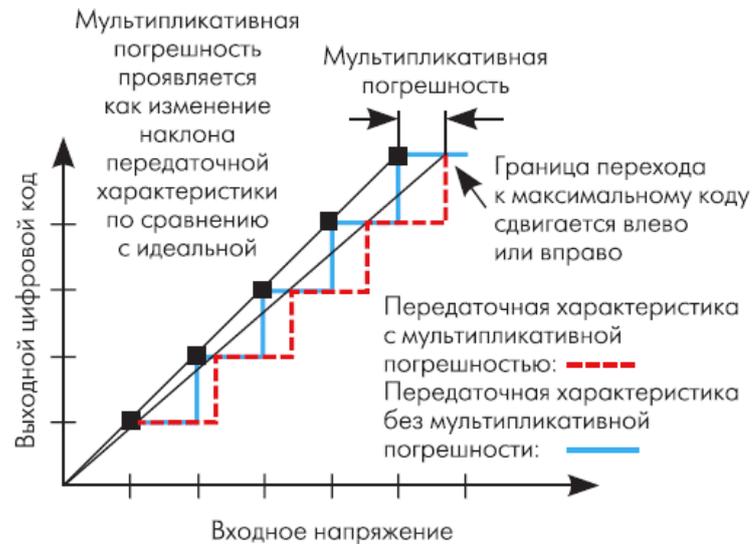


Рис. 15.4 Мультипликативная погрешность

Дифференциальная нелинейность

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

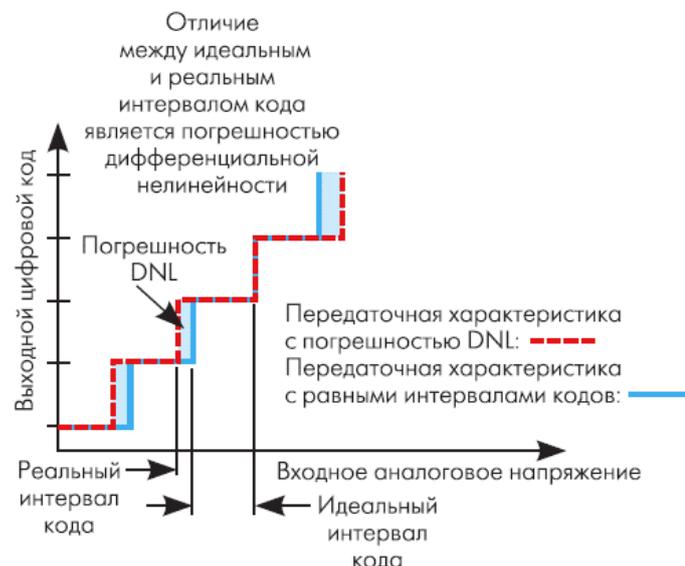


Рис. 15.5 Дифференциальная нелинейность

Величина наименьшего значащего разряда у АЦП составляет $U_{ref}/2$, где U_{ref} — опорное напряжение, N — разрешение АЦП. Разность напряжений между каждым кодовым переходом должна быть равна величине LSB . Отклонение этой разности от LSB определяется как дифференциальная нелинейность. На рисунке это показано как неравные промежутки между «шагами» кода или как «размытость» границ переходов на передаточной характеристике АЦП.

Интегральная нелинейность

Интегральная нелинейность (INL) — это погрешность, которая вызывается отклонением линейной функции передаточной характеристики АЦП от прямой линии, как показано на рис. 15.6. Обычно передаточная функция с интегральной нелинейностью аппроксимируется прямой линией по методу наименьших квадратов. Часто аппроксимирующей прямой просто соединяют наименьшее и наибольшее значения. Интегральную нелинейность определяют путем сравнения напряжений, при которых происходят кодовые переходы. Для идеального АЦП эти переходы будут происходить при значениях входного напряжения, точно кратных LSB . А для реального преобразователя такое условие может выполняться с погрешностью. Разность между «идеальными» уровнями напряжения, при которых происходит кодовый переход, и их реальными значениями выражается в единицах LSB и называется интегральной нелинейностью.

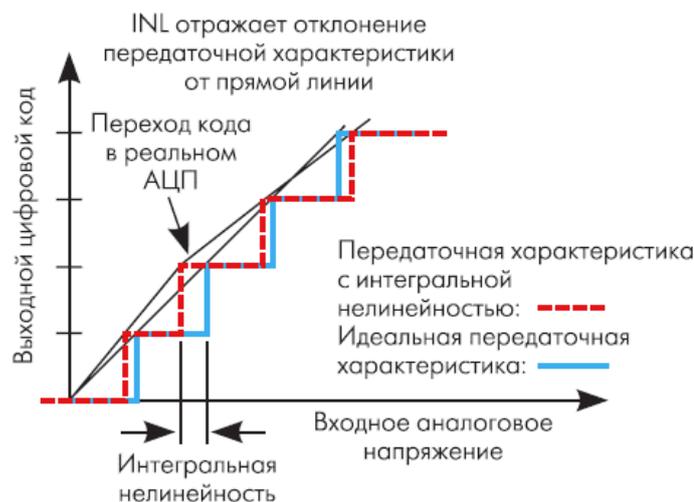


Рис. 15.6 Интегральная нелинейность

Погрешность квантования

Одна из наиболее существенных составляющих ошибки при измерениях с помощью АЦП — погрешность квантования — является результатом самого процесса преобразования. Погрешность квантования — это погрешность,

вызванная значением шага квантования и определяемая как $1/2$ величины наименьшего значащего разряда (LSB). Она не может быть исключена в аналого-цифровых преобразованиях, так как является неотъемлемой частью процесса преобразования, определяется разрешающей способностью АЦП и не меняется от АЦП к АЦП с равным разрешением.

Динамические характеристики

Динамические характеристики АЦП обычно определяют с помощью спектрального анализа, по результатам выполнения быстрого преобразования Фурье (БПФ) над массивом выходных значений АЦП, соответствующих некоторому тестовому входному сигналу.

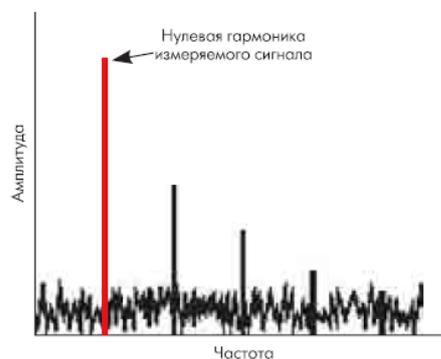


Рис. 15.7. Результат выполнения БПФ над выходными данными АЦП

Отношение «сигнал/шум»

Отношение «сигнал/шум» (SNR) — это отношение среднеквадратического значения величины входного сигнала к среднеквадратическому значению величины шума (за исключением гармонических искажений), выраженное в децибелах. Это значение позволяет определить долю шума в измеряемом сигнале по отношению к полезному сигналу.

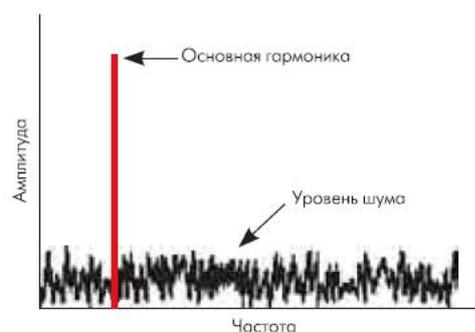


Рис. 15.8. Отношение «сигнал/шум»

Общие гармонические искажения

Нелинейность в результатах преобразования данных приводит к появлению гармонических искажений. Такие искажения наблюдаются как «выбросы» в спектре частот на четных и нечетных гармониках измеряемого сигнала. Эти искажения определяют как общие гармонические искажения (THD).

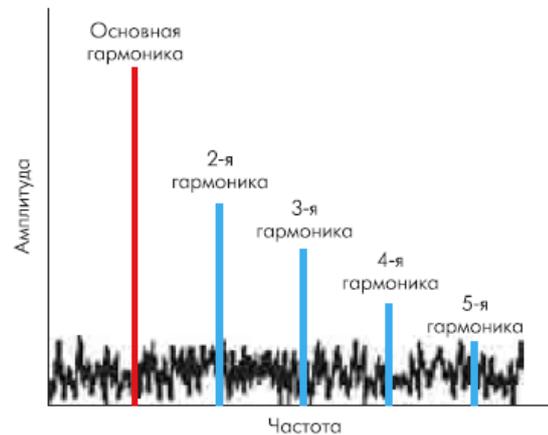


Рис. 15.9 Появление гармоник в выходных данных АЦП вследствие нелинейности преобразования

Отношение «сигнал/шум и искажения»

Отношение «сигнал/шум и искажения» (SiNAD) более полно описывает шумовые характеристики АЦП. SiNAD учитывает величину как шума, так и гармонических искажений по отношению к полезному сигналу.

Динамический диапазон, свободный от гармоник

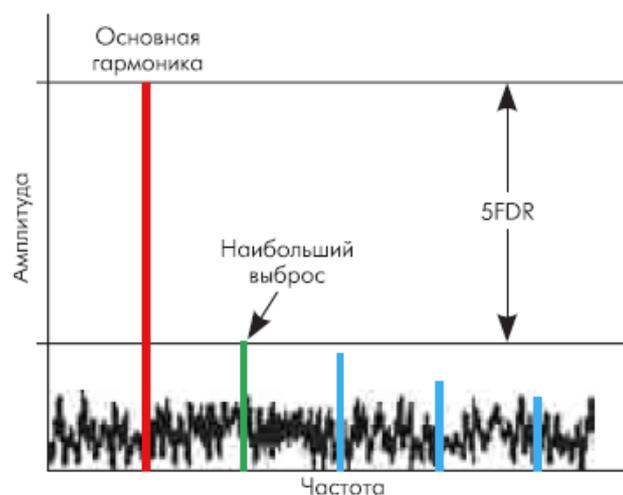


Рис. 15.10. Динамический диапазон, свободный от гармоник

Динамический диапазон, свободный от гармоник, представляет собой разницу между величиной измеряемого сигнала и наибольшим пиком

искажений (см. рис. 15.10). Этот динамический диапазон обозначается как SFDR. Он ограничен снизу амплитудой максимальной гармоники паразитных выбросов на выходе АЦП в диапазоне его рабочих частот.

Цифро-аналоговый преобразователь

Цифро-аналоговый преобразователь — устройство для перевода цифровых данных в аналоговый сигнал. Это своеобразный мост между аналоговой и цифровой частями схемы. Сфера применения ЦАП очень широка. Это — усилители звука, аудиокодеки, обработка видео, устройства отображения, системы распознавания данных, калибровка датчиков и других измерительных устройств, схемы управления двигателями, системы распределения данных, цифровые потенциометры, программируемое радио (SDR) и т.д.

Принцип работы

Принцип работы ЦАП заключается в суммировании аналоговых сигналов (ток или напряжение). Суммирование производится с коэффициентами, равными нулю или единице в зависимости от значения соответствующего разряда кода. Выходной сигнал ЦАП может иметь форму тока, напряжения или заряда. Табл. 1. Сигналы четырехразрядного ЦАП (опорное напряжение 5 В)

Входной код	Выходное напряжение, В
0000	0,0000
0001	0,3125
0010	0,6250
0011	0,9375
0100	1,2500
0101	1,5625
0110	1,8750
0111	2,1875
1000	2,5000
1001	2,8125
1010	3,1250
1011	3,4375
1100	3,7500
1101	4,0625
1110	4,3750
1111	4,6875

Преобразователи с токовым выходом используются в основном в прецизионных и высокочастотных схемах. Для определенности мы будем рассматривать ЦАП с выходным напряжением, как наиболее распространенные. Из таблицы 1 видно, что максимальное выходное напряжение на 1 МЗР (младший значащий разряд входного кода) ниже

напряжения полной шкалы (ПШ). Некоторые ЦАП позволяют использовать всю шкалу.

Характеристики ЦАП

Наиболее важные характеристики ЦАП — это разрядность, шаг квантования (разрешающая способность) и точность преобразования.

- Передаточная характеристика (ПХ) — зависимость выходного сигнала ЦАП от входных данных.
- Разрядность (N) — количество бит во входном коде.
- Разрешение — это выходное напряжение, соответствующее 1 МЗР. Оно зависит от количества разрядов и определяет точность преобразования сигнала.
- Частота дискретизации (частота Найквиста) — максимальная частота, на которой ЦАП может работать, выдавая на выходе корректный результат. В соответствии с теоремой Котельникова, для корректного воспроизведения аналогового сигнала из цифровой формы необходимо, чтобы частота дискретизации была не меньше удвоенной максимальной частоты в спектре сигнала.
- Полная шкала — диапазон значений выходного сигнала.
- Монотонность — участок на ПХ, где наклон постоянен. На этом участке ЦАП линеен.
- Время установления — интервал времени от момента изменения входного кода до окончательного вхождения выходного сигнала в заданный диапазон отклонения.
- Выходной выброс — это переходный процесс, возникающий во время смены входных данных. Величина выброса зависит от количества переключаемых разрядов.
- Погрешность смещения нуля — разность между фактическим и идеальным выходным сигналом, когда на входе ноль.
- Погрешность ПШ — разница между фактическим выходным напряжением и напряжением ПШ.
- Погрешность усиления — отклонение наклона ПХ от идеального.
- Дифференциальная нелинейность — разность приращений выходных сигналов, соответствующих смежным соседним кодам.
- Интегральная нелинейность — максимальное отклонение реальной ПХ от прямой линии.

Классификация

Цифро-аналоговые преобразователи делятся по типу входных данных на последовательные и параллельные. По разрядности выделяют ЦАП с повышенной точностью (большая разрядность, $N \geq 14$) или с высоким

быстродействием (6—8 разрядов). Выходной сигнал может иметь форму напряжения, тока или заряда.

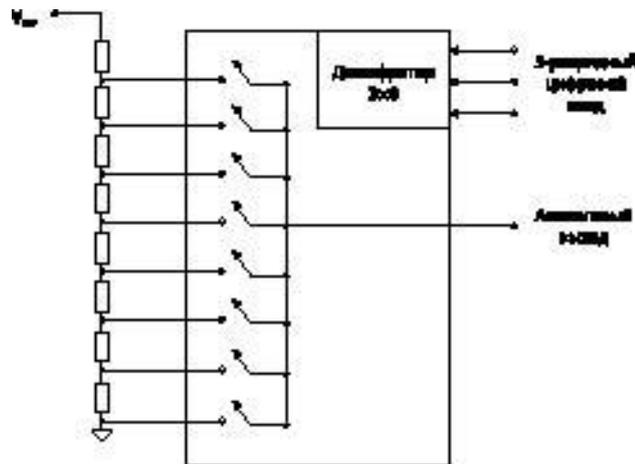


Рис. 15.11. Структура взвешивающего ЦАП

Рассмотрим некоторые структуры ЦАП. Простейшим ЦАП является взвешивающий (делитель Кельвина), структура которого показана на рисунке 1. Каждому биту преобразуемого двоичного кода соответствует резистор или источник тока, подключенный на общую точку суммирования. Сила тока источника (или проводимость резистора) пропорциональна весу бита, которому он соответствует. N -разрядный ЦАП содержит 2^N одинаковых последовательно соединенных резистора и 2^N ключа (обычно КМОП), по одному между каждым узлом цепи и выходом.

Взвешивающий метод — один из самых быстрых, однако характеризуется наименьшей точностью. Обычно такой ЦАП имеет выход по напряжению и отличается хорошей монотонностью. Если все резисторы одинаковы, ЦАП линеен. Недостаток данной модели — относительно высокий выходной импеданс и большое количество резисторов и ключей.

ЦАП на матрице $R-2R$. Это одна из наиболее распространенных структур (см. рис. 15.12). Здесь используются только две величины сопротивлений, находящихся в отношении 2:1. Количество резисторов равно 2^N . Резистивный делитель можно использовать в качестве ЦАП двумя способами, в режиме напряжения и режиме тока (они также известны как нормальный и инверсный режимы). Главное преимущество ЦАП с выходом по напряжению заключается в том, что выходной импеданс постоянен. Второе достоинство — отсутствие емкостных токов в нагрузке. Недостатки данной структуры: во-первых, опорный источник должен иметь очень низкий импеданс; во-вторых, для регулирования усиления нельзя использовать резистор, включенный последовательно с опорным источником. В токовом режиме это допустимо, однако выбросы в токовой схеме больше. С другой

сторони, ключи знаходяться під потенціалом землі, тому захист від великого перепаду напруг не потрібен.

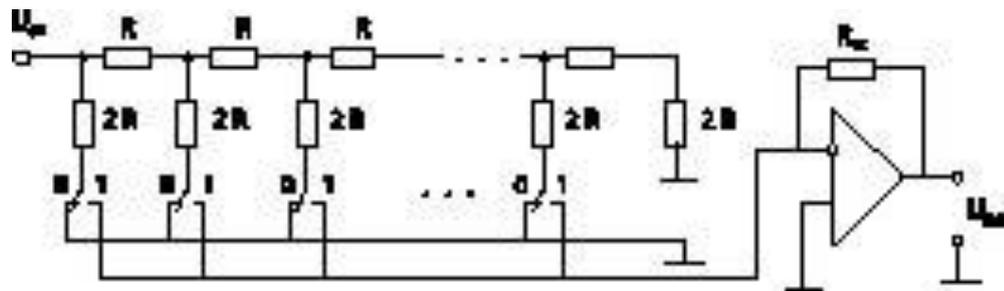


Рис. 15.12. ЦАП на R–2R матриці з виходом в формі напруги

В сигма-дельта ЦАП перетворення здійснюється за допомогою сигма-дельта модуляції, коли квантування здійснюється всього одним разрядом, але з частотою, в десятки і сотні раз перевищує частоту Найквіста. Сигма-дельта модулятор перетворює вхідний сигнал в послідовний неперервний потік нулів і одиниць. Якщо вхідний сигнал близький до позитивного краю повної шкали, в бітовому потоці на виході більше одиниць, ніж нулів, і навпаки, якщо сигнал ближче до негативного краю, то більше нулів. Для сигналу, близького до середини шкали, кількість нулів і одиниць приблизно однакова.

Інтерполяційний фільтр представляє собою цифрову схему, яка приймає дані, поступаючі з низької частотою дискретизації, вставляє нулі в потік даних, збільшуючи тим самим частоту дискретизації, потім застосовує алгоритм інтерполяції і видає дані з високою частотою дискретизації. Вихідне напруг однобітного ЦАП перемикається між рівними по значенню позитивним і негативним опорними напругами. Вихід фільтрується аналоговим ФНЧ.

Вибір ЦАП

Для вибору підходящого ЦАП необхідно визначити вимоги, яким повинні відповідати його параметри. В першу чергу це — розрядність, розрешення, час встановлення вихідного сигналу (швидкодія), інтерфейс підключення, напруга живлення і т.д.

Розрядність ЦАП і величина опорного напруг визначають крок зміни вихідного сигналу. Час встановлення визначає швидкодію ЦАП. При роботі з постійними або низькочастотними сигналами цей параметр не має великого значення. Однак його не можна ігнорувати при роботі на ВЧ.

Нелинійності бувають двох типів: інтегральна і диференціальна. Лінійний ЦАП працює як дзеркало, точно відображаючи вхідні дані. Вплив нелінійностей проілюстровано зображенням 5. Як правило, ці

искажения следует учитывать в прецизионных схемах, таких как системы калибровки или измерительное оборудование.

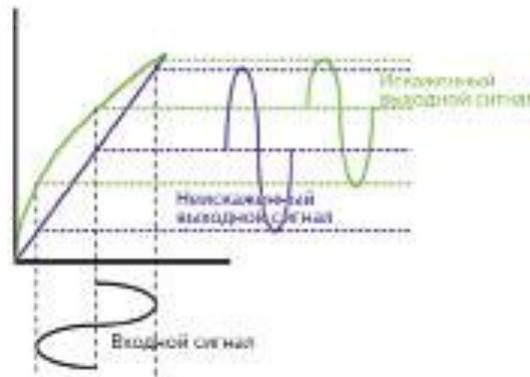


Рис. 15.13. Нелинейные искажения выходного сигнала

Для работы ЦАП нужно два источника напряжения (питания и опорное). В некоторых схемах для них используется один вывод, однако в этом случае точность ИП должна быть очень высокой, не хуже 1%. Преобразователи с отдельными выводами имеют более сложную схему, однако они не так требовательны к выбору ИП.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Спецификация аналогово-цифрового преобразователя.
2. Идеальная передаточная характеристика АЦП.
3. Аддитивная и мультипликативная погрешность АЦП.
4. Дифференциальная и интегральная нелинейность АЦП.
5. Принцип работы цифро-аналогового преобразователя.
6. Основные характеристики цифро-аналоговых преобразователей.
7. Классификация цифро-аналоговых преобразователей.

Лекція № 16

Тема: Датчики. Аналоговые интерфейсы.

Оглавление

Стандартный сигнал	2
Аналоговый интерфейс	4
Разновидности аналоговых интерфейсов	5
Мультиплексирование	6
Контрольные вопросы по теме	8
Уровень модуля.....	8
Уровень курса.....	8

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

2. Бабак В.П. Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Ерёменко и др. – К., 2014. – 832 с.

Стандартный сигнал

Первичные измерительные приборы - датчики (температуры, давления, веса, сопротивления, влажности, расхода и т.д.) реализуют тот или иной физический эффект. Поэтому, первичный выходной сигнал от них может быть, в принципе, любым. Не подвергнутые обработке сигналы от датчиков весьма разнообразны и диапазон их изменения простирается от нескольких милливольт (для термопары) до более чем сотни вольт для тахогенератора. Кроме того, они могут быть вызваны изменениями напряжения постоянного тока, переменного тока или даже сопротивления. Поэтому совершенно очевидно, что если аналоговые входные платы работают лишь в определенном диапазоне сигналов, то необходимо использовать некоторую стандартизацию. Поэтому в технике используют так называемые "датчики со стандартным сигналом выхода". Важно отметить, что "датчик со стандартным сигналом выхода" на самом деле состоит из первичного измерительного прибора и преобразователя первичного сигнала в стандартный токовый сигнал или стандартный сигнал напряжения (аналоговый интерфейс).

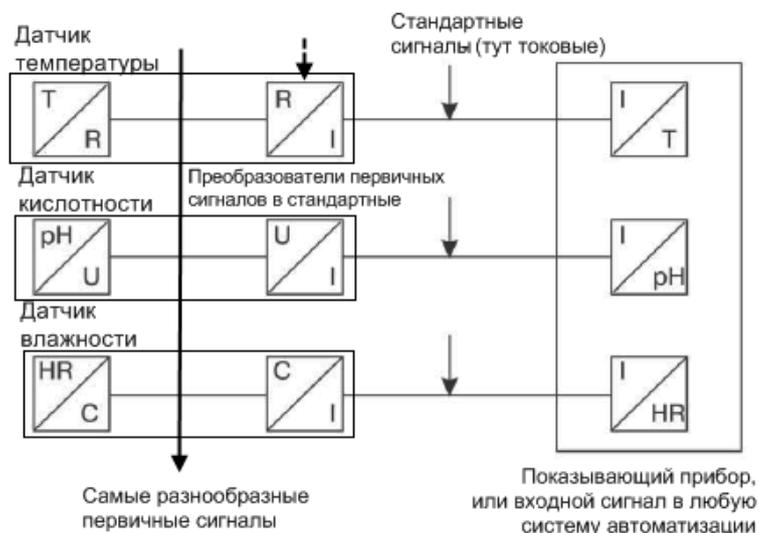


Рис. 1

Самый распространенный стандарт представляет аналоговый сигнал в виде тока с диапазоном изменения 4—20 мА, где 4 мА соответствует минимальному уровню сигнала, а 20 мА — максимальному. Если, например, преобразователь давления дает сигнал 4—20 мА, представляющий давление в диапазоне 0—10 бар, то давлению 8 бар будет соответствовать величина тока $8 \times (20 - 4)/10 + 4 = 16.8$ мА. Сигнал 4—20 мА часто с помощью балластного резистора величиной 250 Ом преобразуется в сигнал 1—5 В.

«Нулевой» сигнал 4 мА (называемый смещением) предназначен для двух целей. Во-первых, он используется как защита от повреждений

преобразователя или кабельного шнура. Если происходит отказ преобразователя или обрыв шнура, или же в линии связи возникает короткое замыкание, то ток через балластный резистор будет равен нулю, что соответствует «отрицательному» сигналу 0 В на приемной стороне. Это может быть очень легко обнаружено и использовано как аварийный сигнал «неисправность преобразователя».

Ток смещения 4 мА также упрощает компоновку системы.



Рис. 2. Двухпроводным преобразователь 4-20 мА

Наиболее распространенной (и наиболее простой) является схема, изображенная на рис. 2. Здесь источник питания (обычно 24—30В постоянного тока) помещается на стороне приемного устройства, а сигнальные линии служат как для питания преобразователя, так и для передачи тока. Преобразователь отбирает от источника питания ток в диапазоне 4—20 мА в соответствии с измеряемым сигналом. Этот ток, как и раньше, преобразуется в напряжение с помощью балластного резистора.

Смещение в 4 мА обеспечивает ток, необходимый преобразователю для его нормальной работы. Очевидно, этого нельзя добиться, если диапазон сигнала будет составлять 0—20 мА. Преобразователи, включаемые по схеме рис. 2, обычно называются двухпроводными.

Требования к выходному сигналу приведены в стандарте ГОСТ 26.011-80. Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические непрерывные входные и выходные.

Таблица 1. Требования к цепям аналоговых сигналов напряжения постоянного тока. Аналоговые сигналы напряжения.

Сигнал напряжения, В	Нагрузочное сопротивление, Ом, не более	Входное сопротивление приемника, Ом, не менее
От 0 до 0,01 включит	—	10000
От 0 до 1 включит.	—	10000
От 0 до 10 включит.	2000	—

Таблица 2. Требования к цепям аналоговых сигналов постоянного тока. Аналоговые токовые сигналы. Аналоговые токовые петли. Постоянный ток.

Сигнал тока, мА	Выходное сопротивление источника, Ом, не менее	Входное сопротивление приемника Ом, не более
От 0 до 5 включит	2500 (2000)	500
От 0 до 20 включит.	1000 (500)	250
От 4 до 20 включит.	1000 (500)	250

Аналоговый интерфейс

Аналоговый интерфейс (АИ) - это совокупность средств измерительной техники, являющихся составной частью измерительного канала между датчиком и АЦП, находящимися в информационно-измерительной (ИИС) системе сбора данных.

АИ являются одной из наиболее важных составных частей ИИС с точки зрения определения их метрологических характеристик.

АИ в ИИС выполняют следующие функции.

Масштабное преобразование - обеспечивает повышение отношения сигнал/шум на входе АЦП при наличии линии связи между передающей и приемной составляющими АИ. Усиление сигнала происходит в передающей части АИ в непосредственной близости от первичного преобразователя – собственно датчика.

Фильтрация необходима для ограничения полосы частот помех и подавления нежелательных частотных составляющих в полосе измерительного сигнала, в первую очередь сетевых наводок, а также для уменьшения влияния эффекта наложения спектров во время дискретизации аналоговых сигналов.

Изолирование достигается с помощью трансформаторных, емкостных или оптических гальванически развязывающих устройств и обеспечивает разрыв паразитных контуров заземления, возможность работы при значительных по величине синфазных составляющих сигнала.

Компенсация температуры холодных спаев термопар необходима для уменьшения методической погрешности термопары.

Линеаризация характеристик датчиков. В большинстве случаев функция преобразования датчика является нелинейной. Для уменьшения влияния аддитивных погрешностей последующих звеньев измерительного канала ее линеаризуют, что достигается включением в передающую часть АИ программно-управляемых усилителей или функциональных преобразователей.

Инициализация пассивных датчиков. Большинство первичных преобразователей (например, термометры сопротивления, тензорезистивные, индуктивные, емкостные преобразователи) требуют дополнительной энергии в виде напряжения или тока для получения активного выходного электрического сигнала.

Разновидности аналоговых интерфейсов

Классификация АИ по типу электрических сигналов (типу информативного параметра или модуляции) представлена на рис. 8.5. Постоянный ток, благодаря высокой помехозащищенности и отсутствию в значительной степени влияния паразитных параметров линии связи, используется в качестве сигнала измерительной информации для распределенных в пространстве систем в случаях, когда расстояние между системой сбора данных и объектом измерений находится в пределах от нескольких метров до сотен метров. В случаях непосредственной близости датчика и системы сбора данных (менее нескольких метров) в качестве сигнала измерительной информации используют напряжение. Частота, как информативный параметр измерительного сигнала, пока еще не нашла широкого применения несмотря на известные преимущества из-за ограничений помехозащищенности и быстродействия, присущих используемым сегодня широкополосным частотным демодуляторам.

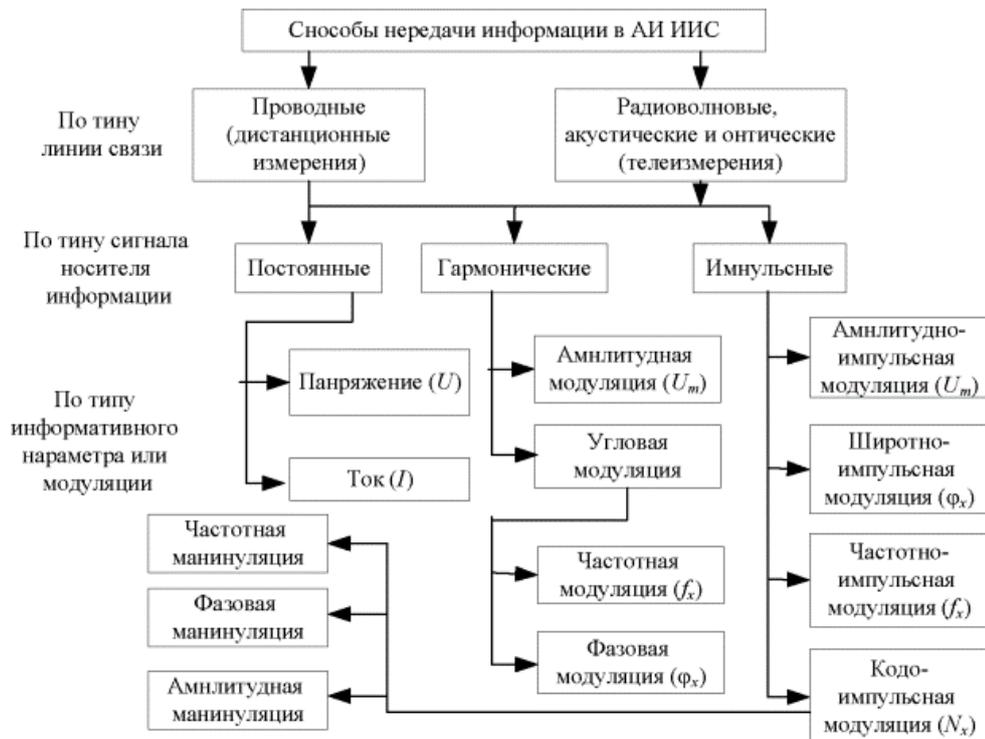


Рис. 3

Классификация АИ по типу средств связи. По этому признаку различают следующие АИ:

АИ с проводными линиями связи (используются при дистанционных измерениях) подразделяются на:

двухпроводные, в которых по линиям связи передаются как измерительные, так и сигналы инициализации резидентной части АИ; наиболее распространен токовый унифицированный сигнал в диапазоне 4-20 мА;

трехпроводные, в которых ток питания резидентной части и выходной ток датчика передаются в линиях связи по отдельным проводам;

четырёхпроводные, в которых контуры питания и выходного сигнала изолированы друг от друга;

оптические;

радиоволновые (используют электромагнитные колебания $f > 30$ кГц);

акустические.

Последние три способа используются с одним из методов модуляции и применяются в телеизмерительных системах.

Наиболее распространенными в ИИС являются АИ с проводными линиями связи. Оптические АИ более помехозащищенные, но дороже. Радиоволны в АИ используют, как правило, совместно с кодоимпульсной модуляцией. АИ на акустических волнах применяются в специальных условиях, например на подводных лодках.

Реализация двухпроводных и трехпроводных АИ существенно упрощается благодаря тому, что ряд универсальных приемопередающих измерительных преобразователей для унифицированных измерительных сигналов постоянного тока выпускаются в виде интегральных микросхем.

АИ с четырехпроводными линиями связи используются, как правило, совместно с датчиками общего применения и потенциальными выходными сигналами (0-5 В, 0-10 В).

Мультиплексирование

Мультиплексирование заключается в поочередном считывании всех сигналов в ИИС путем их поочередного подключения. Применяется для повышения эффективности использования цифровых процессоров и других компонент ИИС, сокращения времени их простаивания и уменьшения аппаратных затрат и стоимости ИИС. Реализуется введением в структуру АИ мультиплексоров или коммутаторов. Многоканальные ИИС разрабатывают, как правило, на 10... 100 каналов.

Мультиплексоры строятся на основе электронных ключей. В простейшем случае мультиплексор содержит k ключей, подключающих один из k входов системы к одному выходу. Для предотвращения короткого

замыкания между двумя входами эти ключи действуют по принципу переключения: сначала размыкается одна цепь, потом замыкается другая. В простом мультиплексоре переключение происходит только тогда, когда он получает команду от системного блока синхронизации. Такой мультиплексор называют последовательным: в нем k каналов подключаются к выходу в порядке, в котором они присоединены ко входам. В мультиплексорах с произвольным доступом центральный процессор определяет, какой из каналов должен быть подключен, указывая его адрес. С помощью таких мультиплексоров реализуют адаптивное мультиплексирование, что позволяет обращаться к узкополосным входным сигналам реже и получать выборки сигнала с меньшей частотой, чем для широкополосных сигналов. Этот метод позволяет экономить ресурсы ИИС, если спектры входных сигналов существенно различны.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Стандартный сигнал от датчика.
2. Назначение и функции аналогового интерфейса.
3. Классификация аналоговых интерфейсов.
4. Мультиплексирование сигналов от датчиков.

Лекции № 17 Операционные системы. (Часть первая)

Оглавление

Структура программного обеспечения.....	2
Системное ПО	3
Прикладное ПО	4
Инструментальное ПО.....	4
Операционная система, ее назначение и состав	5
Функции операционной системы	7
Абстрактные ресурсы	7
Операционная система в качестве менеджера ресурсов.....	9
Контрольные вопросы по теме	11
Уровень модуля.....	11
Уровень курса.....	11

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.
<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>
2. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.: ил.
3. Бабак В.П. Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Ерёменко и др. — К., 2014. — 832 с.

Структура программного обеспечения

Совокупность программ, предназначенная для решения задач на компьютере, называется программным обеспечением. Программное обеспечение (ПО), можно условно разделить на три категории:

1. **Системное** (программы общего пользования), выполняющие различные вспомогательные функции, например создание копий используемой информации, выдачу справочной информации о компьютере, проверку работоспособности устройств компьютера и т.д.

2. **Прикладное**, обеспечивающее выполнение задач, необходимых пользователю: обработка информационных массивов, математическое моделирование, редактирование текстовых документов, создание и редактирование изображений, и т.д.

3. **Инструментальное** (системы программирования), обеспечивающее разработку новых программ для компьютера на языке программирования.

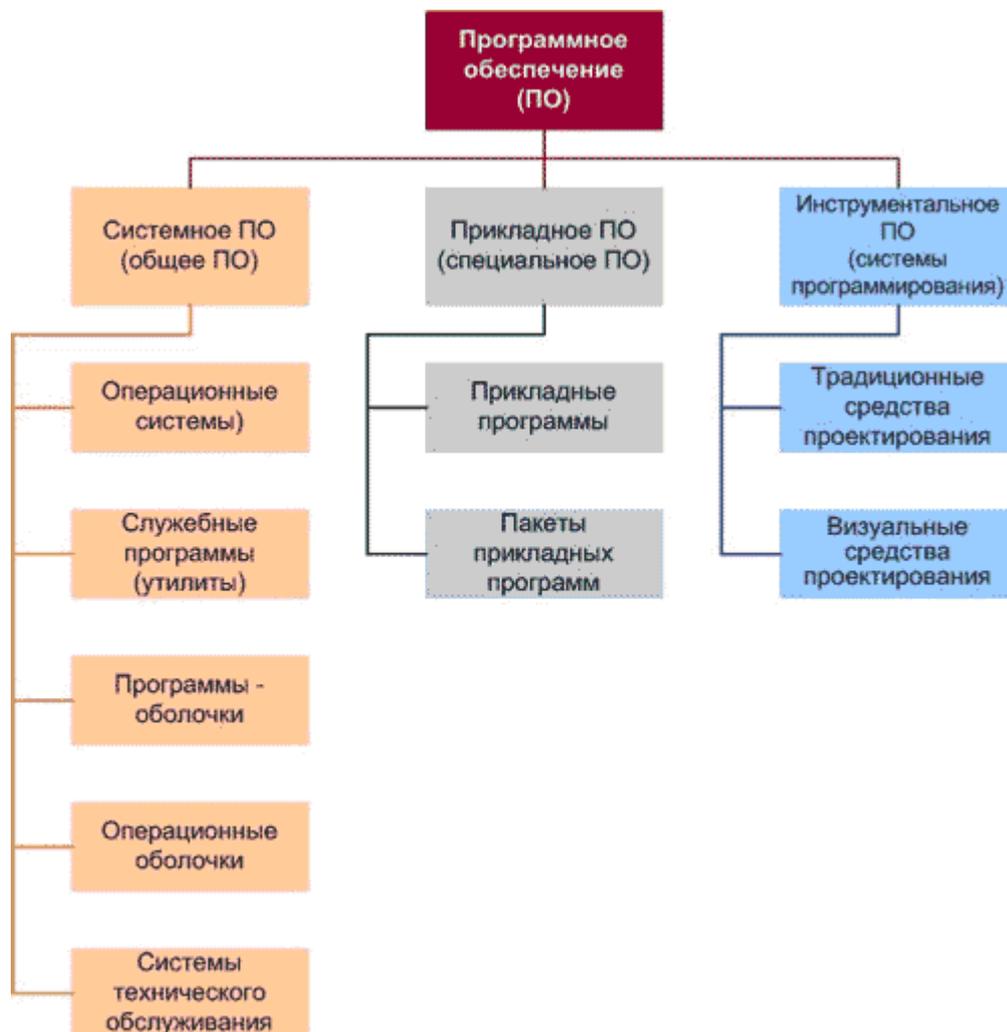


Рис. 1. Классификация программного обеспечения

Системное ПО

Системное программное обеспечение — комплекс программ, которые обеспечивают управление компонентами компьютерной системы, такими как процессор, оперативная память, устройства ввода-вывода, сетевое оборудование, выступая как «межслойный интерфейс», с одной стороны которого аппаратура, а с другой — приложения пользователя. В отличие от прикладного программного обеспечения, системное не решает конкретные практические задачи, а лишь обеспечивает работу других программ, предоставляя им сервисные функции, абстрагирующие детали аппаратной и микропрограммной реализации вычислительной системы, управляет аппаратными ресурсами вычислительной системы.

К системному ПО относятся:

- операционные системы;
- драйверы (программы, предназначенные для управления портами периферийных устройств);
- утилиты.

Утилита – вспомогательная компьютерная программа в составе общего программного обеспечения для выполнения специализированных типовых задач, связанных с работой оборудования и операционной системы. Утилиты предоставляют доступ к возможностям (параметрам, настройкам, установкам), недоступным без их применения, либо делают процесс изменения некоторых параметров проще (автоматизируют его).

Утилиты могут входить в состав операционных систем, идти в комплекте со специализированным оборудованием или распространяться отдельно. К утилитам, в частности, относятся:

- утилиты управления процессами
- диспетчеры файлов или файловые менеджеры;
- архиваторы;
- средства динамического сжатия данных;
- средства просмотра и воспроизведения;
- средства контроля и диагностики – позволяют проверить конфигурацию компьютера и проверить работоспособность устройств компьютера, прежде всего жестких дисков;
- утилиты восстановления после сбоев;
- Оптимизатор диска – вид утилиты для оптимизации размещения файлов на дисковом накопителе, например, путём дефрагментации диска;
- деинсталлятор;

- средства обеспечения компьютерной безопасности (резервное копирование, антивирусное ПО).

Необходимо отметить, что часть утилит входит в состав операционной системы, а другая часть функционирует автономно. Большая часть общего (системного) ПО входит в состав ОС. Часть общего ПО входит в состав самого компьютера – часть программ ОС и контролирующих тестов записана в постоянном запоминающем устройстве системной платы. Часть общего ПО относится к автономным программам и поставляется отдельно.

Прикладное ПО

Прикладные программы могут использоваться либо автономно, либо в составе программных комплексов и пакетов.

Пакеты прикладных программ – это система программ, которые по сфере применения делятся на проблемно – ориентированные, пакеты общего назначения и интегрированные пакеты. К прикладному ПО, например, относятся:

- комплект офисных приложений MS OFFICE,
- бухгалтерские системы и системы управления предприятиями,
- CAD – системы (системы автоматизированного проектирования),
- браузеры – средства просмотра Web - страниц,
- графические редакторы,
- редакторы HTML или Web – редакторы,
- системы выполнения математических расчетов и моделирования,
- экспертные системы.

Инструментальное ПО

Инструментальное ПО или системы программирования – это системы для автоматизации разработки новых программ на языках программирования.

В самом общем случае для создания программы на выбранном языке нужно иметь следующие компоненты:

1. Текстовый редактор для создания файла с исходным текстом программы.
2. Компилятор или интерпретатор. Исходный текст с помощью программы-компилятора переводится в промежуточный объектный код. Исходный текст большой программы состоит из нескольких *модулей* (файлов с исходными текстами). Каждый модуль компилируется в отдельный файл с объектным кодом, которые затем надо объединить в одно целое.
3. Редактор связей или сборщик, который выполняет связывание объектных модулей и формирует на выходе работоспособное

приложение – исполнимый код. Исполнимый код – это законченная программа, которую можно запустить на любом компьютере, где установлена операционная система, для которой эта программа создавалась. Как правило, итоговый файл имеет расширение .EXE или .COM.

Операционная система, ее назначение и состав

Современный компьютер представляет собой сложную систему. Компьютер состоит из одного или нескольких процессоров, оперативной памяти, дисков, принтера, клавиатуры, мыши, дисплея, сетевых интерфейсов и других разнообразных устройств ввода-вывода. Если каждому программисту, создающему прикладную программу, нужно будет разбираться во всех тонкостях работы всех этих устройств, то он не напишет ни строчки кода. Более того, управление всеми этими компонентами и их оптимальное использование представляет собой очень непростую задачу. По этой причине компьютеры оснащены специальным уровнем программного обеспечения, который называется операционной системой, в чью задачу входит управление пользовательскими программами, а также всеми упомянутыми ресурсами.

Программы, с которыми непосредственно взаимодействуют пользователи, обычно называемые оболочкой, когда они основаны на применении текста, и графическим пользовательским интерфейсом (Graphical User Interface (GUI)), когда в них используются значки, фактически не являются частью операционной системы, хотя задействуют эту систему в своей работе. Схематично основные рассматриваемые здесь компоненты представлены на рис. 2.

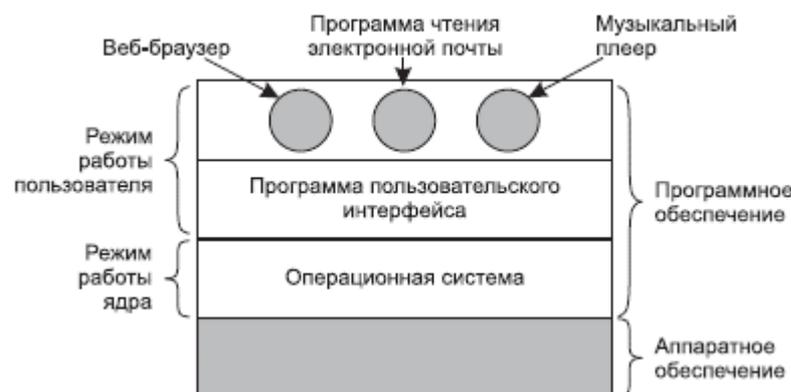


Рис. 2. Место операционной системы в структуре программного обеспечения

В нижней части рисунка показано аппаратное обеспечение. Оно состоит из микросхем, плат, дисков, клавиатуры, монитора и других физических объектов. Над аппаратным обеспечением находится программное обеспечение. Большинство компьютеров имеют два режима работы: режим

ядра и режим пользователя. Операционная система — наиболее фундаментальная часть программного обеспечения, работающая в режиме ядра (этот режим называют еще режимом супервизора). В этом режиме она имеет полный доступ ко всему аппаратному обеспечению и может задействовать любую инструкцию, которую машина в состоянии выполнить. Вся остальная часть программного обеспечения работает в режиме пользователя, в котором доступно лишь подмножество инструкций машины. В частности, программам, работающим в режиме пользователя, запрещено использование инструкций, управляющих машиной или осуществляющих операции ввода-вывода (Input/Output — I/O).

Программы пользовательского интерфейса — оболочка или GUI — находятся на самом низком уровне программного обеспечения, работающего в режиме пользователя, и позволяют пользователю запускать другие программы, такие как веб-браузер, программа чтения электронной почты или музыкальный плеер. Эти программы также активно пользуются операционной системой.

Местонахождение операционной системы показано на рис. 2. Она работает непосредственно с аппаратным обеспечением и является основой остального программного обеспечения. Важное отличие операционной системы от обычного (работающего в режиме пользователя) программного обеспечения состоит в следующем: если пользователь недоволен конкретной программой чтения электронной почты, то он может выбрать другую программу или, если захочет, написать собственную программу, но не может написать собственный обработчик прерываний системных часов, являющийся частью операционной системы и защищенный на аппаратном уровне от любых попыток внесения изменений со стороны пользователя.

Во многих системах также есть программы, работающие в режиме пользователя, но помогающие работе операционной системы или выполняющие особые функции. К примеру, довольно часто встречаются программы, позволяющие пользователям изменять их пароли. Они не являются частью операционной системы и не работают в режиме ядра, но они выполняют важную функцию и должны быть особым образом защищены. В некоторых системах эта идея доведена до крайней формы, и те области, которые традиционно относились к операционной системе (например, файловая система), работают в пространстве пользователя. В таких системах трудно провести четкую границу. Все программы, работающие в режиме ядра, безусловно, являются частью операционной системы, но некоторые программы, работающие вне этого режима, возможно, также являются ее частью или, по крайней мере, имеют с ней тесную связь.

Операционные системы отличаются от пользовательских программ (то есть приложений) не только местоположением. Их особенности – довольно большой объем, сложная структура и длительные сроки использования. Исходный код основы операционной системы типа Linux или Windows занимает порядка 5 млн строк. И это касается только той части, которая работает в режиме ядра. При включении необходимых общих библиотек объем Windows превышает 70 млн строк кода, не считая основных прикладных программ (таких, как Windows Explorer, Windows Media Player и т. д.). Поэтому операционные системы живут достаточно долго, – их очень трудно создавать. После создания одной такой системы нет смысла ее выбрасывать и приступать к созданию новой. Поэтому операционные системы развиваются в течение долгого периода времени. Семейство Windows 95/98/Me по своей сути представляло одну операционную систему, а семейство Windows NT/2000/XP/Vista/Windows 7 – другую. Для пользователя они были похожи друг на друга, поскольку Microsoft позаботилась о том, чтобы пользовательский интерфейс Windows 2000/XP/ Vista/Windows 7 был очень похож на ту систему, которой он шел на замену, а чаще всего это была Windows 98. Другим примером является операционная система UNIX, ее варианты и клоны. Она также развивалась в течение многих лет, существуя в таких базирующихся на исходной системе версиях, как System V, Solaris и FreeBSD. А вот Linux имеет новую программную основу, хотя ее модель весьма близка к UNIX и она обладает высокой степенью совместимости с этой системой.

Функции операционной системы

Дать точное определение операционной системы довольно трудно. Можно сказать, что это программное обеспечение, которое работает в режиме ядра. Операционные системы осуществляют две значительно отличающиеся друг от друга функции: предоставляют прикладным программистам (и прикладным программам, естественно) вполне понятный абстрактный набор ресурсов взамен неупорядоченного набора аппаратного обеспечения, а также управляют этими ресурсами. Рассмотрим эти функции.

Абстрактные ресурсы

Архитектура большинства компьютеров (система команд, организация памяти, ввод-вывод данных и структура шин) на уровне машинного языка слишком примитивна и неудобна для использования в программах, особенно это касается систем ввода-вывода. Поэтому оборудованием, например жестким диском, занимается не пользовательская программа (для чего в каждую пользовательскую программу необходимо было бы вводить специальные сложные блоки программных кодов), а та часть системного

программного обеспечения, которая называется драйвером диска и предоставляет, не вдаваясь в детали, интерфейс для чтения и записи дисковых блоков. Операционные системы содержат множество драйверов для управления устройствами ввода-вывода.

Но для большинства приложений слишком низким является даже этот уровень. Поэтому все операционные системы предоставляют еще один уровень абстракции для использования дисков — файлы. Используя эту абстракцию, программы могут создавать, записывать и читать файлы, не вникая в подробности реальной работы оборудования.

Эта абстракция является ключом к управлению сложностью. Хорошая абстракция превращает практически неподъемную задачу в две, решить которые вполне по силам. Первая из этих задач состоит в определении и реализации абстракций, а вторая — в использовании этих абстракций для решения текущей проблемы. Одна из абстракций, понятная практически любому пользователю компьютера, — это уже упомянутый ранее файл. Он представляет собой полезный объем информации, скажем, цифровую фотографию, сохраненное сообщение электронной почты или веб-страницу. Работать с фотографиями, сообщениями электронной почты и веб-страницами намного легче, чем с особенностями SATA-дисков (или других дисковых устройств). Задача операционной системы заключается в создании хорошей абстракции, а затем в реализации абстрактных объектов, создаваемых в рамках этой абстракции, и управлении ими.

Существующие процессоры, блоки памяти, диски и другие компоненты представляют собой слишком сложные устройства, предоставляющие трудные, неудобные, не похожие друг на друга и не обладающие постоянством интерфейсы. Одна из главных задач операционной системы — скрыть аппаратное обеспечение и существующие программы под создаваемыми взамен них и приспособленными для нормальной работы неизменными абстракциями. Следует отметить, что в действительности «заказчиками» операционных систем являются прикладные программы (разумеется, не без помощи прикладных программистов). Именно они непосредственно работают с операционной системой и ее абстракциями. А конечные пользователи работают с абстракциями, предоставленными пользовательским интерфейсом, — это или командная строка оболочки, или графический интерфейс. Абстракции пользовательского интерфейса могут быть похожими на абстракции, предоставляемые операционной системой, но так бывает не всегда. Чтобы пояснить это положение, рассмотрим обычный рабочий стол Windows и командную строку. И то и другое — программы, работающие под управлением операционной системы Windows и использующие

предоставленные этой системой абстракции, но они предлагают существенно отличающиеся друг от друга пользовательские интерфейсы.

Операционная система в качестве менеджера ресурсов

Представление о том, что операционная система главным образом предоставляет абстракции для прикладных программ, — это взгляд сверху вниз. Сторонники альтернативного взгляда, снизу вверх, придерживаются того мнения, что операционная система существует для управления всеми частями сложной системы. Современные компьютеры состоят из процессоров, памяти, таймеров, дисков, манипуляторов, сетевых интерфейсов, принтеров и широкого спектра других устройств. Сторонники взгляда снизу вверх считают, что задача операционной системы заключается в обеспечении упорядоченного и управляемого распределения процессоров, памяти и устройств ввода-вывода между различными программами, претендующими на их использование.

Современные операционные системы допускают одновременную работу нескольких программ. Представьте себе, что будет, если все три программы, работающие на одном и том же компьютере, попытаются распечатать свои выходные данные одновременно на одном и том же принтере. Первые несколько строчек распечатки могут быть от программы № 1, следующие несколько строчек — от программы № 2, затем несколько строчек от программы № 3 и т. д. В результате получится полный хаос. Операционная система призвана навести порядок в потенциально возможном хаосе за счет буферизации на диске всех выходных данных, предназначенных для принтера. После того как одна программа закончит свою работу, операционная система сможет скопировать ее выходные данные с файла на диске, где они были сохранены, на принтер, а в то же самое время другая программа может продолжить генерацию данных, не замечая того, что выходные данные фактически (до поры до времени) не попадают на принтер.

Когда с компьютером (или с сетью) работают несколько пользователей, потребности в управлении и защите памяти, устройств ввода-вывода и других ресурсов значительно возрастают, поскольку иначе пользователи будут мешать друг другу работать. Кроме этого, пользователям часто требуется совместно использовать не только аппаратное обеспечение, но и информацию (файлы, базы данных и т. п.). Первичной задачей операционной системы является отслеживание того, какой программой какой ресурс используется, чтобы удовлетворять запросы на использование ресурсов, нести ответственность за их использование и принимать решения по конфликтующим запросам от различных программ и пользователей.

Управление ресурсами включает в себя **мультиплексирование** (распределение) ресурсов двумя различными способами: во времени и в пространстве. Когда ресурс разделяется во времени, различные программы или пользователи используют его по очереди: сначала ресурс получают в пользование одни, потом другие и т. д. К примеру, располагая лишь одним центральным процессором и несколькими программами, стремящимися на нем выполняться, операционная система сначала выделяет центральный процессор одной программе, затем, после того как она уже достаточно поработала, центральный процессор получает в свое распоряжение другая программа, затем еще одна программа, и, наконец, его опять получает в свое распоряжение первая программа. Определение того, как именно ресурс будет разделяться во времени — кто будет следующим потребителем и как долго, — это задача операционной системы. Другим примером мультиплексирования во времени может послужить совместное использование принтера. Когда в очереди для распечатки на одном принтере находятся несколько заданий на печать, нужно принять решение, какое из них будет выполнено следующим.

Другим видом разделения ресурсов является пространственное разделение. Вместо поочередной работы каждый клиент получает какую-то часть разделяемого ресурса. Например, оперативная память обычно делится среди нескольких работающих программ, так что все они одновременно могут постоянно находиться в памяти (например, используя центральный процессор по очереди). При условии, что памяти достаточно для хранения более чем одной программы, эффективнее разместить в памяти сразу несколько программ, чем выделять всю память одной программе, особенно если ей нужна лишь небольшая часть от общего пространства. Разумеется, при этом возникают проблемы равной доступности, обеспечения безопасности и т. д., и их должна решать операционная система. Другим ресурсом с разделяемым пространством является жесткий диск. На многих системах на одном и том же диске могут одновременно храниться файлы, принадлежащие многим пользователям. Распределение дискового пространства и отслеживание того, кто какие дисковые блоки использует, — это типичная задача операционной системы по управлению ресурсами.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Структура программного обеспечения компьютерно-интегрированных систем.
2. Системное программное обеспечение, его назначение и состав.
3. Прикладное и инструментальное программное обеспечение.
4. Операционная система, ее назначение и состав.
5. Понятие абстрактных ресурсов.
6. Операционная система в качестве менеджера ресурсов.

Лекции № 18 *Тема:* Операционные системы (часть 2).**Оглавление**

Основные понятия и абстракции операционной системы.....	3
Процессы.....	3
Адресные пространства.....	6
Файлы.....	6
Ввод-вывод данных.....	7
Безопасность.....	8
Оболочка.....	8
Классы операционных систем.....	9
Операционные системы мейнфреймов.....	9
Серверные операционные системы.....	9
Многопроцессорные операционные системы.....	10
Операционные системы персональных компьютеров.....	10
Операционные системы карманных персональных компьютеров, планшетов и смартфонов.....	11
Встроенные операционные системы.....	11
Операционные системы сенсорных узлов.....	11
Операционные системы реального времени.....	12
Операционные системы смарт-карт.....	13
Контрольные вопросы по теме.....	14
Уровень модуля.....	14
Уровень курса.....	14

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.

<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>

2. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.: ил.
3. Бабак В.П. Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Ерёменко и др. — К., 2014. — 832 с.

Основные понятия и абстракции операционной системы

Большинство операционных систем используют определенные основные понятия и абстракции, такие как процессы, адресные пространства и файлы, которые играют главную роль в осмыслении самих систем.

Процессы

Ключевым понятием во всех операционных системах является процесс. Процессом, по существу, является программа во время ее выполнения. С каждым процессом связано его адресное пространство – список адресов ячеек памяти от нуля до некоторого максимума, откуда процесс может считывать данные и куда может записывать их. Адресное пространство содержит выполняемую программу, данные этой программы и ее стек. Кроме этого, с каждым процессом связан набор ресурсов, который обычно включает регистры (в том числе счетчик команд и указатель стека), список открытых файлов, необработанные предупреждения, список связанных процессов и всю остальную информацию, необходимую в процессе работы программы. Таким образом, процесс – это контейнер, в котором содержится вся информация, необходимая для работы программы.

Для того чтобы выработать интуитивное представление о процессе, рассмотрим систему, работающую в мультипрограммном режиме. Пользователь может запустить программу редактирования видео и указать конвертирование одночасового видеофайла в какой-нибудь определенный формат (процесс займет несколько часов), а затем переключиться на блуждания по Интернету. При этом может заработать фоновый процесс, который периодически «просыпается» для проверки входящей электронной почты. И у нас уже будет (как минимум) три активных процесса: видеоредактор, веб-браузер и программа получения (клиент) электронной почты. Периодически операционная система будет принимать решения остановить работу одного процесса и запустить выполнение другого, возможно, из-за того, что первый исчерпал свою долю процессорного времени в предыдущую секунду или две.

Если процесс приостанавливается таким образом, позже он должен возобновиться именно с того состояния, в котором был остановлен. Это означает, что на период приостановки вся информация о процессе должна быть явным образом где-то сохранена. Например, у процесса могут быть одновременно открыты для чтения несколько файлов. С каждым из этих файлов связан указатель текущей позиции (то есть номер байта или записи, которая должна быть считана следующей). Когда процесс приостанавливается, все эти указатели должны быть сохранены, чтобы вызов read, выполняемый после возобновления процесса, приводил к чтению

нужных данных. Во многих операционных системах вся информация о каждом процессе, за исключением содержимого его собственного адресного пространства, хранится в таблице операционной системы, которая называется **таблицей процессов** и представляет собой массив (или связанный список) структур, по одной на каждый из существующих на данный момент процессов.

Таким образом, процесс (в том числе приостановленный) состоит из собственного адресного пространства, которое обычно называют образом памяти, и записи в таблице процессов с содержимым его регистров, а также другой информацией, необходимой для последующего возобновления процесса.

Системный вызов – это обращение прикладной программы (процесса) к операционной системе для выполнения какой-либо операции.

Главными системными вызовами, используемыми при управлении процессами, являются вызовы, связанные с созданием и завершением процессов. Рассмотрим простой пример. Процесс, называемый интерпретатором команд, или оболочкой, считывает команды с терминала. Пользователь только что набрал команду, требующую компиляции программы. Теперь оболочка должна создать новый процесс, запускающий компилятор. Когда этот процесс завершит компиляцию, он произведет системный вызов для завершения собственного существования.

Если процесс способен создавать несколько других процессов (называемых дочерними процессами), а эти процессы в свою очередь могут создавать собственные дочерние процессы, то перед нами предстает дерево процессов, подобное изображенному на рис. 3.

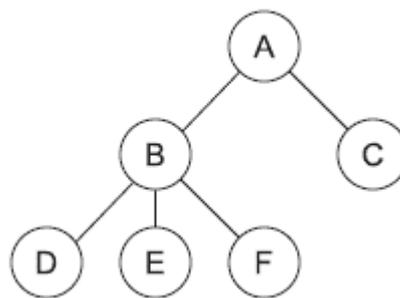


Рис. 1 – Дерево процессов. Процесс А создал два дочерних процесса, В и С. Процесс В создал три дочерних процесса, D, E и F

Связанные процессы, совместно работающие над выполнением какой-нибудь задачи, зачастую нуждаются в обмене данными друг с другом и синхронизации своих действий. Такая связь называется межпроцессным взаимодействием. Другие системные вызовы, предназначенные для управления процессом, позволяют запросить выделение дополнительной

памяти (или освобождение незадействованной), организовать ожидание завершения дочернего процесса или загрузку какой-нибудь другой программы поверх своей.

Временами возникает потребность в передаче информации запущенному процессу, который не находится в состоянии ожидания этой информации. Можно привести в пример процесс, который обменивается информацией с другим процессом, запущенным на другом компьютере, и посылает удаленному процессу сообщение по сети. Чтобы застраховаться от возможной утраты сообщения или ответа на него, отправитель может запросить собственную операционную систему уведомить его по истечении определенного интервала времени, чтобы он мог повторно отправить сообщение, если не получит подтверждения его получения раньше. После установки такого таймера программа может продолжить выполнение другой работы.

Когда истечет заданный интервал времени, операционная система посылает процессу сигнал тревоги. Этот сигнал заставляет процесс приостановить выполняемую работу, сохранить в стеке состояние своих регистров и запустить специальную процедуру обработки сигнала тревоги, для того чтобы, к примеру, заново передать предположительно утраченное сообщение. Когда обработчик сигнала завершит свою работу, запущенный процесс возобновится в том самом состоянии, которое было до поступления сигнала. Сигналы являются программными аналогами аппаратных прерываний. Они могут генерироваться в различных ситуациях, а не только по истечении времени, установленного в таймере. Многие аппаратные прерывания (например, выполнение недопустимой команды или обращение по неверному адресу) также транслируются процессу, при выполнении которого произошла ошибка.

Напомним (лекция 4), что *прерывание* (англ. *interrupt*) – это сигнал от программного или аппаратного обеспечения, сообщающий процессору о наступлении какого-либо события, требующего немедленного внимания. Прерывание извещает процессор о наступлении высокоприоритетного события, требующего прерывания текущего кода, выполняемого процессором. Процессор отвечает приостановкой своей текущей активности, сохраняя свое состояние, и выполняя функцию, называемую обработчиком прерывания (или программой обработки прерывания), который реагирует на событие и обслуживает его, после чего возвращает управление в прерванный код.

Адресные пространства

Каждый компьютер обладает определенным объемом оперативной памяти, используемой для хранения исполняемых программ. В самых простых операционных системах в памяти присутствует только одна программа. Для запуска второй программы сначала нужно удалить первую, а затем на ее место загрузить в память вторую.

Более сложные операционные системы позволяют одновременно находиться в памяти нескольким программам. Чтобы исключить взаимное негативное влияние программ друг на друга из-за неправильного обращения к памяти (одна программа обращается к участку оперативной памяти, где в это время хранятся данные или коды совершенно другой программы или даже самой операционной системы), что приведет к общему сбою, необходим защитный механизм. Этот механизм управляется операционной системой.

Кроме необходимости защиты памяти управление адресным пространством процессов необходимо и по другой причине. Обычно каждому процессу отводится для использования некоторый непрерывный набор адресов, как правило, от нуля и до некоторого максимума. В самом простом случае максимальный объем адресного пространства, выделяемого процессу, меньше объема оперативной памяти. Таким образом, процесс может заполнить свое адресное пространство и для его размещения в оперативной памяти будет достаточно места. При этом на многих компьютерах используется 32- или 64-разрядная адресация, позволяющая иметь адресное пространство размером 2^{32} или 2^{64} байт соответственно. Что произойдет, если адресное пространство процесса превышает объем оперативной памяти, установленной на компьютере, а процессу требуется использовать все свое пространство целиком? На первых компьютерах такой процесс неизменно терпел крах. В наше время, на современных компьютерах, применяется технология виртуальной памяти, которая состоит в том, что операционная система хранит часть адресного пространства в оперативной памяти, а часть – на диске, по необходимости меняя их фрагменты местами. По сути, операционная система создает абстракцию адресного пространства в виде набора адресов, на которые может ссылаться процесс. Адресное пространство отделено от физической памяти машины и может быть как больше, так и меньше нее. Управление адресными пространствами и физической памятью является важной частью работы операционной системы.

Файлы

Другим ключевым понятием, поддерживаемым практически всеми операционными системами, является файловая система. Основная функция операционной системы – скрыть специфику дисков и других устройств ввода-

вывода и предоставит программисту удобную и понятную абстрактную модель, состоящую из независимых от устройств файлов. Вполне очевидно, что для создания, удаления, чтения и записи файлов понадобятся системные вызовы. Перед тем, как файл будет готов к чтению, он должен быть найден на диске и открыт, а после считывания – закрыт. Для проведения этих операций предусмотрены системные вызовы.

Чтобы предоставить место для хранения файлов, многие операционные системы используют каталог как способ объединения файлов в группы. Для создания и удаления каталогов нужны системные вызовы. Они также нужны для помещения в каталог существующего файла и удаления его оттуда. Элементами каталога могут быть либо файлы, либо другие каталоги.

Каждый файл, принадлежащий иерархии каталогов, может быть обозначен своим полным именем с указанием пути к файлу, начиная с вершины иерархии – корневого каталога. Этот абсолютный путь состоит из списка каталогов, которые нужно пройти от корневого каталога, чтобы добраться до файла, где в качестве разделителей компонентов служат символы косой черты (слеша).

В любой момент времени у каждого процесса есть текущий рабочий каталог, относительно которого рассматриваются пути файлов, не начинающиеся с косой черты. Процесс может изменить свой рабочий каталог, воспользовавшись системным вызовом, определяющим новый рабочий каталог. Перед тем как с файлом можно будет работать в режиме записи или чтения, он должен быть открыт. На этом этапе происходит также проверка прав доступа. Если доступ разрешен, система возвращает целое число, называемое дескриптором файла, который используется в последующих операциях. Если доступ запрещен, то возвращается код ошибки.

Ввод-вывод данных

У всех компьютеров имеются физические устройства для получения входной и вывода выходной информации. Существует масса разнообразных устройств ввода-вывода: клавиатуры, мониторы, принтеры и т.д., а также АЦП и ЦАП. Управление всеми этими устройствами возлагается на операционную систему. Поэтому у каждой операционной системы для управления такими устройствами существует своя подсистема ввода-вывода. Некоторые программы ввода-вывода не зависят от конкретного устройства, то есть в равной мере подходят для применения со многими или со всеми устройствами ввода-вывода. Другая часть программ, например драйверы устройств, предназначена для определенных устройств ввода-вывода.

Безопасность

Компьютеры содержат большой объем информации, и часто пользователям нужно защитить ее и сохранить ее конфиденциальность. Возможно, это электронная почта, бизнес-планы, налоговые декларации и многое другое. Управление безопасностью системы также возлагается на операционную систему: например, она должна обеспечить доступ к файлам только пользователям, имеющим на это право.

Чтобы понять сам замысел возможной организации работы системы безопасности, обратимся в качестве примера к системе UNIX. Файлам в UNIX присваивается 9-разрядный двоичный код защиты. Этот код состоит из трехбитных полей. Одно поле – для владельца, второе – для представителей группы, в которую он входит (разделяет пользователей на группы системный администратор), третье – для всех остальных. В каждом поле есть бит, определяющий доступ для чтения, бит, определяющий доступ для записи, и бит, определяющий доступ для выполнения. Эти три бита называются *гwx*-битами (*read, write, execute*). Например, код защиты *гwxr-x--x* означает, что владельцу доступны чтение, запись или выполнение файла, остальным представителям его группы разрешается чтение или выполнение файла (но не запись), а всем остальным разрешено выполнение файла (но не чтение или запись). Дефис (минус) означает, что соответствующее разрешение отсутствует.

Кроме защиты файлов существует множество других аспектов безопасности. Один из них – это защита системы от нежелательных вторжений как с участием, так и без участия людей (например, путем вирусных атак).

Оболочка

Операционная система представляет собой программу, выполняющую системные вызовы. Не являясь частью операционной системы, оболочка нашла широкое применение как средство доступа ко многим ее функциям. Когда не применяется графический пользовательский интерфейс, она также является основным интерфейсом между пользователем, сидящим за своим терминалом, и операционной системой. Существует множество оболочек, Оболочка запускается после входа в систему любого пользователя. В наши дни на большинстве персональных компьютеров используется графический пользовательский интерфейс (*graphical user interface, GUI*). По сути, графический пользовательский интерфейс – это просто программа (или совокупность программ), работающая поверх операционной системы наподобие оболочки. В системах Linux этот факт проявляется явным образом, поскольку у пользователя есть выбор по крайней мере из двух сред, реализующих графический пользовательский интерфейс: *Gnome* и *KDE*. Или

он может вообще не выбрать ни одну из них, воспользовавшись окном терминала. В Windows также есть возможность заменить стандартный менеджер рабочего стола (Windows Explorer) какой-нибудь другой программой путем внесения изменений в некоторые значения реестра, хотя этой возможностью практически никто не пользуется.

Редакторы, компиляторы, ассемблеры, компоновщики, утилиты и интерпретаторы команд по определению не являются частью операционной системы. Они относятся к инструментальному ПО.

Классы операционных систем

История операционных систем насчитывает уже более полувека. За это время было разработано огромное количество разнообразных операционных систем, но не все они получили широкую известность. В данном разделе вкратце, для сведения, рассмотрим классы операционных систем. Для компьютерно-интегрированных технологий наиболее важное значение имеют операционные системы жесткого реального времени.

Операционные системы мейнфреймов

К высшей категории относятся операционные системы мейнфреймов (больших универсальных машин) — компьютеров, занимающих целые залы и до сих пор еще встречающихся в крупных центрах обработки корпоративных данных. Такие компьютеры отличаются от персональных компьютеров объемами ввода-вывода данных. Мейнфреймы, имеющие тысячи дисков и петабайты данных, — весьма обычное явление. Мейнфреймы также находят применение в качестве мощных веб-серверов, серверов крупных интернет-магазинов и серверов, занимающихся межкорпоративными транзакциями. Операционные системы мейнфреймов ориентированы преимущественно на одновременную обработку множества заданий, большинство из которых требует колоссальных объемов ввода-вывода данных. Работа в режиме разделения времени дает возможность множеству удаленных пользователей одновременно запускать на компьютере свои задания, например запросы к большой базе данных. Все эти функции тесно связаны друг с другом, и зачастую операционные системы универсальных машин выполняют их в комплексе. Примером операционной системы универсальных машин может послужить OS/390, наследница OS/360. Однако эти операционные системы постепенно вытесняются вариантами операционной системы UNIX, например Linux.

Серверные операционные системы

Чуть ниже по уровню стоят серверные операционные системы. Они работают на серверах, которые представлены очень мощными персональными

компьютерами, рабочими станциями или даже универсальными машинами. Они одновременно обслуживают по сети множество пользователей, обеспечивая им общий доступ к аппаратным и программным ресурсам. Серверы могут предоставлять услуги печати, хранения файлов или веб-служб. Интернет-провайдеры для обслуживания своих клиентов обычно задействуют сразу несколько серверных машин. При обслуживании веб-сайтов серверы хранят веб-страницы и обрабатывают поступающие запросы. Типичными представителями серверных операционных систем являются Solaris, FreeBSD, Linux и Windows Server 201x.

Многопроцессорные операционные системы

Сейчас все шире используется объединение множества центральных процессоров в единую систему, что позволяет добиться большой вычислительной мощности. В зависимости от того, как именно происходит это объединение, а также каковы ресурсы общего пользования, эти системы называются параллельными компьютерами, мультикомпьютерами или многопроцессорными системами. Им требуются специальные операционные системы, в качестве которых часто применяются особые версии серверных операционных систем, оснащенные специальными функциями связи, сопряжения и синхронизации. С появлением многоядерных процессоров для персональных компьютеров операционные системы даже обычных настольных компьютеров и ноутбуков стали работать по меньшей мере с небольшой многопроцессорной системой. Со временем число ядер будет только расти. На многопроцессорных системах могут работать многие популярные операционные системы, включая Windows и Linux.

Операционные системы персональных компьютеров

К следующей категории относятся операционные системы персональных компьютеров. Все их современные представители поддерживают многозадачный режим. При этом довольно часто уже в процессе загрузки на одновременное выполнение запускаются десятки программ. Задачей операционных систем персональных компьютеров является качественная поддержка работы отдельного пользователя. Они широко используются для обработки текстов, создания электронных таблиц, игр и доступа к Интернету. Типичными примерами могут служить операционные системы Linux, FreeBSD, Windows 7, Windows 8, Windows 10 и OS X (macOS) компании Apple..

Операционные системы карманных персональных компьютеров, планшетов и смартфонов

Продолжая двигаться по нисходящей ко все более простым системам, мы дошли до планшетов, смартфонов и других карманных компьютеров. Эти компьютеры, изначально известные как КПК, или PDA (Personal Digital Assistant — персональный цифровой секретарь), представляют собой небольшие компьютеры, которые во время работы держат в руке. Самыми известными их представителями являются смартфоны и планшеты. На этом рынке доминируют операционные системы Android от Google и iOS от Apple, но у них имеется множество конкурентов. Большинство таких устройств обладают многоядерными процессорами, GPS, камерами и другими датчиками, достаточным объемом памяти и сложными операционными системами.

Встроенные операционные системы

Встроенные системы работают на компьютерах, которые управляют различными устройствами. Поскольку на этих системах установка пользовательских программ не предусматривается, их обычно компьютерами не считают. Примерами устройств, где устанавливаются встроенные компьютеры, могут послужить микроволновые печи, телевизоры, автомобили, пишущие DVD, обычные телефоны и MP3-плееры. В основном встроенные системы отличаются тем, что на них ни при каких условиях не будет работать стороннее программное обеспечение. В микроволновую печь невозможно загрузить новое приложение, поскольку все ее программы записаны в ПЗУ. Следовательно, отпадает необходимость в защите приложений друг от друга и операционную систему можно упростить. Наиболее популярными в этой области считаются операционные системы Embedded Linux, QNX и VxWorks.

Операционные системы сенсорных узлов

Сети, составленные из миниатюрных сенсорных узлов, связанных друг с другом и с базовой станцией по беспроводным каналам, развертываются для различных целей. Такие сенсорные сети используются для защиты периметров зданий, охраны государственной границы, обнаружения возгораний в лесу, измерения температуры и уровня осадков в целях составления прогнозов погоды, сбора информации о перемещениях противника на поле боя и многого другого. Узлы такой сети представляют собой миниатюрные компьютеры, питающиеся от батареи и имеющие встроенную радиосистему. Они ограничены по мощности и должны работать длительный период времени в необслуживаемом режиме на открытом воздухе, часто в сложных климатических условиях. Сеть должна быть достаточно надежной и допускать отказы отдельных узлов, что по мере потери емкости батарей питания будет

случаться все чаще. Каждый сенсорный узел является настоящим компьютером, оснащенным процессором, оперативной памятью и постоянным запоминающим устройством, а также одним или несколькими датчиками. На нем работает небольшая, но настоящая операционная система, обычно управляемая событиями и откликающаяся на внешние события или периодически производящая измерения по сигналам встроенных часов. Операционная система должна быть небольшой по объему и несложной, поскольку основными проблемами этих узлов являются малая емкость оперативной памяти и ограниченное время работы батарей. Так же как и у встроенных систем, все программы являются предварительно загруженными, и пользователи не могут запустить программу, загруженную из Интернета, что значительно упрощает всю конструкцию. Примером широко известной операционной системы для сенсорных узлов может послужить TinyOS.

Операционные системы реального времени

Еще одна разновидность операционных систем — это системы реального времени. Эти системы характеризуются тем, что время для них является ключевым параметром. Например, в системах управления производственными процессами компьютеры, работающие в режиме реального времени, должны собирать сведения о процессе и использовать их для управления станками на предприятии. Довольно часто они должны отвечать очень жестким временным требованиям. Например, когда автомобиль перемещается по сборочному конвейеру, то в определенные моменты времени должны осуществляться вполне конкретные операции. Если, к примеру, сварочный робот приступит к сварке с опережением или опозданием, машина придет в негодность. Если операция должна быть проведена точно в срок (или в определенный период времени), то мы имеем дело с системой **жесткого реального времени**. Множество подобных систем встречается при управлении производственными процессами, в авиационно-космическом электронном оборудовании, в военной и других подобных областях применения. Эти системы должны давать абсолютные гарантии того, что определенные действия будут осуществляться в конкретный момент времени. Системами жесткого реального времени являются такие системы как QNX, RTOS, VxWorks.

Другой разновидностью подобных систем является система мягкого реального времени, в которой хотя и нежелательно, но вполне допустимо несоблюдение срока какого-нибудь действия, что не наносит непоправимого вреда. К этой категории относятся цифровые аудио- или мультимедийные системы. Смартфоны также являются системами мягкого реального времени.

Поскольку к системам реального времени предъявляются очень жесткие требования, иногда операционные системы представляют собой простую библиотеку, сопряженную с прикладными программами, где все тесно взаимосвязано и между частями системы не существует никакой защиты. Примером такой системы может послужить eCos. Категории операционных систем для КПК, встроенных систем и систем реального времени в значительной степени перекрываются друг с другом по свойственным им признакам. Практически все они имеют по крайней мере некоторые аспекты систем мягкого реального времени. Встроенные системы и системы реального времени работают только с тем программным обеспечением, которое вложили в них разработчики этих систем; пользователи не могут добавить в этот арсенал собственное программное обеспечение, что существенно облегчает решение задач защиты. КПК и встроенные системы предназначены для индивидуальных потребителей, а системы реального времени чаще используются в промышленном производстве. Тем не менее, несмотря на все это, у них есть определенное количество общих черт.

Операционные системы смарт-карт

Самые маленькие операционные системы работают на смарт-картах. Смарт-карта представляет собой устройство размером с кредитную карту, имеющее собственный процессор. На операционные системы для них накладываются очень жесткие ограничения по требуемой вычислительной мощности процессора и объему памяти. Некоторые из смарт-карт получают питание через контакты считывающего устройства, в которое вставляются, другие — бесконтактные смарт-карты — получают питание за счет эффекта индукции, что существенно ограничивает их возможности. Некоторые из них способны справиться с одной-единственной функцией, например с электронными платежами, но существуют и многофункциональные смарт-карты.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Понятие "процесс" в операционных системах.
2. Понятие "адресное пространство" в операционных системах.
3. Понятие "файл" в операционных системах.
4. Оболочка операционной системы.
5. Классы операционных систем.
6. Операционные системы реального времени.

Лекція № 19

Тема: Базы данных**Оглавление**

Понятие баз данных	2
Структура базы данных	3
Иерархическая структура базы данных	3
Сетевая структура базы данных	4
Реляционная структура базы данных.....	4
Объектно-ориентированные и гибридные базы данных	4
Реляционные базы данных	5
Язык программирования SQL.....	8
Простой пример применения оператора SQL SELECT	10
Синтаксис оператора SELECT.....	10
Пример использования оператора SELECT	11
Контрольные вопросы по теме	13
Уровень модуля.....	13
Уровень курса.....	13

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.
<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>
2. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.: ил.
3. Бабак В.П. Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Ерёменко и др. — К., 2014. — 832 с.

Понятие баз данных

Возможно, вы еще не знаете, что входит в понятие базы данных, но то, что вы ими постоянно пользуетесь абсолютно точно. Каждый раз, когда вы что-то ищете в поисковике, вы используете базу данных. Когда вы вводите свои логин и пароль для входа на какой-нибудь сервис, они сравниваются со значениями, которые хранятся в базе данных этого сервиса.

Несмотря на то, что мы постоянно используем базы данных, для многих остается непонятным, что же это такое на самом деле. И связано это отчасти с тем, что одни и те же термины, относящиеся к базам данных, используются людьми для определения совершенно разных вещей.

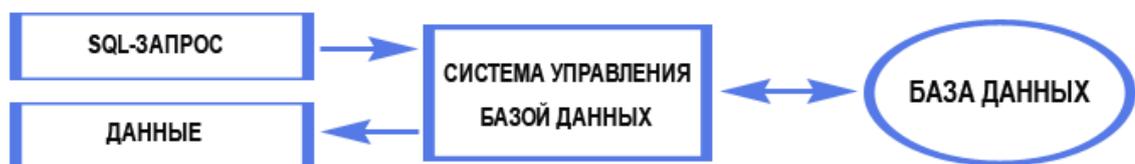
Давайте разберемся с терминами и понятиями баз данных:

База данных – набор сведений, хранящихся некоторым упорядоченным способом. Можно сравнить базу данных со шкафом, в котором хранятся документы. Иными словами, база данных – это хранилище данных. Сами по себе базы данных не представляли бы интереса, если бы не было систем управления базами данных (СУБД).

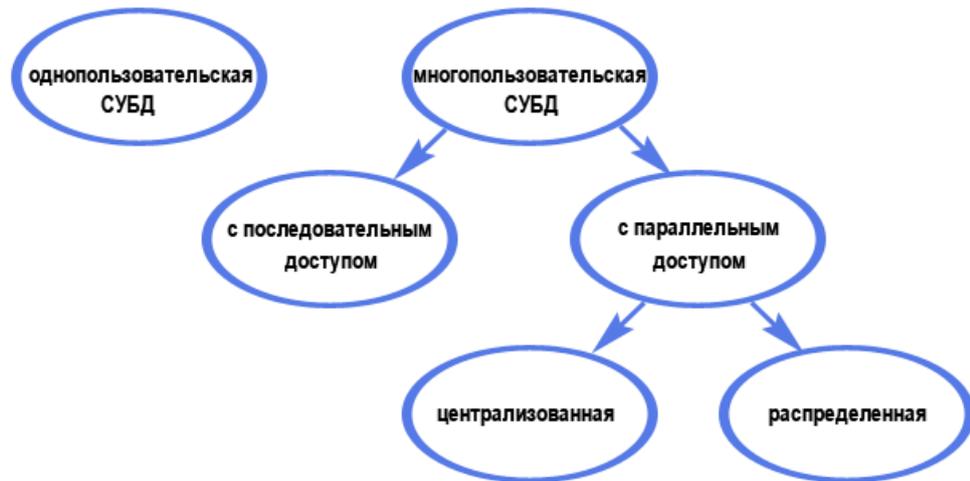
Система управления базами данных – это совокупность языковых и программных средств, которая осуществляет доступ к данным, позволяет их создавать, менять и удалять, обеспечивает безопасность данных и т.д. В общем СУБД – это система, позволяющая создавать базы данных и манипулировать сведениями из них. А осуществляет этот доступ к данным СУБД посредством специального языка – SQL.

SQL – язык структурированных запросов, основной задачей которого является предоставление простого способа считывания и записи информации в базу данных.

Итак, простейшая схема работы с базой данных выглядит примерно так:



По характеру использования СУБД делят на однопользовательские (предназначенные для создания и использования БД на персональном компьютере) и многопользовательские (предназначенные для работы с единой БД нескольких компьютеров, объединенных в локальные сети). Вообще деление по характеру использования можно представить следующей схемой:



Не вдаваясь далее в подробности, отметим, что на сегодняшний день число используемых СУБД исчисляется десятками. Наиболее известные однопользовательские СУБД - Microsoft Visual FoxPro и Access, многопользовательские - MS SQL Server, Oracle и MySQL.

В определении базы данных говорится, что это сведения, которые упорядочены некоторым образом. А как, собственно, они упорядочены? Об этом и пойдет речь в следующем разделе.

Структура базы данных

Создавая базу данных, мы стремимся упорядочить информацию по различным признакам для того, чтобы потом извлекать из нее необходимые нам данные в любом сочетании. Сделать это возможно, только если данные структурированы. Структурирование – это набор соглашений о способах представления данных. Понятно, что структурировать информацию можно по-разному. В зависимости от структуры различают иерархическую, сетевую, реляционную, объектно-ориентированную и гибридную модели баз данных. Самой популярной на сегодняшний день является реляционная структура, поэтому об остальных упомянем лишь вскользь.

Иерархическая структура базы данных

Это древовидная структура представления информации. Ее особенность в том, что каждый узел на более низком уровне имеет связь только с одним узлом на более высоком уровне. Посмотрим, например, на фрагмент иерархической структуры базы данных "Университет":



Из структуры понятно, что на одной кафедре может работать несколько преподавателей. Такая связь называется "один ко многим" (одна кафедра - много преподавателей). Но если мы попытаемся добавить в эту структуру группы студентов, то нам понадобится связь "многие ко многим":



(один преподаватель может работать со многими группами, а одна группа может учиться у многих преподавателей), а такой связи в иерархической структуре быть не может (т.к. связь может быть только с одним узлом на более высоком уровне). Это основной недостаток подобной структуры базы данных.

Сетевая структура базы данных

По сути, это расширение иерархической структуры. Все то же самое, но существует связь "многие ко многим". Сетевая структура базы данных позволяет нам добавить группы в наш пример. Недостатком сетевой модели является сложность разработки серьезных приложений.

Реляционная структура базы данных

Все данные представлены в виде простых таблиц, разбитых на строки и столбцы, на пересечении которых расположены данные. Подробно об этом мы будем говорить в следующем разделе.

Объектно-ориентированные и гибридные базы данных

В объектно-ориентированных базах данных данные хранятся в виде объектов, что очень удобно. Но на сегодняшний день такие БД еще не распространены, т.к. уступают в производительности реляционным.

Гибридные БД совмещают в себе возможности реляционных и объектно-ориентированных, поэтому их часто называют объектно-

реляционными. Примером такой СУБД является Oracle, начиная с восьмой версии.

Несомненно, такие БД будут развиваться в будущем, но пока первенство остается за реляционными структурами.

Реляционные базы данных

Реляционные базы данных состоят из таблиц. Каждая таблица состоит из столбцов (их называют полями или атрибутами) и строк (их называют записями или кортежами). Таблицы в реляционных базах данных обладают рядом свойств. Основными являются следующие:

- В таблице не может быть двух одинаковых строк.
- Столбцы располагаются в определенном порядке, который создается при создании таблицы. В таблице может не быть ни одной строки, но обязательно должен быть хотя бы один столбец.
- У каждого столбца есть уникальное имя (в пределах таблицы), и все значения в одном столбце имеют один тип (число, текст, дата...).
- На пересечении каждого столбца и строки может находиться только *атомарное* значение (одно значение, не состоящее из группы значений). Таблицы, удовлетворяющие этому условию, называют нормализованными.

В теории баз данных атомарные данные (значения) – это атрибуты, которые хранят единственное значение и не являются ни списком, ни множеством значений. Иными словами, это такие данные, разделение которых на составляющие приводит к потере их смысла с точки зрения решаемой задачи. Например, если атрибут «Цена» содержит значение 15, то попытка разделить его на 1 и 5 приведет к полной бессмыслице. Данные, не являющиеся атомарными, называются составными.

Все будет понятнее на примере. Предположим, мы захотели создать базу данных для форума. У форума есть зарегистрированные пользователи, которые создают темы и оставляют сообщения в этих темах. Эта информация и должна храниться в базе данных.

Теоретически (на бумаге) мы можем все это расположить в одной таблице, например, так:

Имя	E-mail	Пароль	Созданные темы	Созданные сообщения

Но это противоречит свойству атомарности (одно значение в одной ячейке), а в столбцах Темы и Сообщения у нас предполагается неограниченное количество значений. Значит, нашу таблицу надо разбить на три: Пользователи, Темы и Сообщения.

Пользователи			Темы		Сообщения	
Имя	E-mail	Пароль	Наименование	Автор	Текст	Автор

Наша таблица Пользователи удовлетворяет всем условиям. А вот таблицы Темы и Сообщения - нет. Ведь в таблице не может быть двух одинаковых строк, а где гарантия, что один пользователь не оставит два одинаковых сообщения, например:

Сообщения

Текст	Автор
Думаю надо сделать так...	Кирилл
Согласен	Вася
А еще можно сделать так...	Семен
Согласен	Вася

Кроме того, мы знаем, что каждое сообщение обязательно относится к какой-либо теме. А как это можно узнать из наших таблиц? Никак. Для решения этих проблем, в реляционных базах данных существуют ключи.

Первичный ключ (сокращенно РК - primary key) - столбец, значения которого во всех строках различны. Первичные ключи могут быть логическими (естественными) и суррогатными (искусственными). Так, для нашей таблицы Пользователи первичным ключом может стать столбец e-mail (ведь теоретически не может быть двух пользователей с одинаковым e-mail). На практике лучше использовать суррогатные ключи, т.к. их применение позволяет абстрагировать ключи от реальных данных. Кроме того, первичные ключи менять нельзя, а что если у пользователя сменится e-mail?

Суррогатный ключ представляет собой дополнительное поле в базе данных. Как правило, это порядковый номер записи (хотя вы можете задавать их на свое усмотрение, контролируя, чтобы они были уникальны). Давайте внесем поля первичных ключей в наши таблицы:

Пользователи

id пользователя	Имя	E-mail	Пароль
1	Кирилл	kirill@mail.ru	Gh345fgh
2	Вася	vasy@rambler.ru	As3bh7
3	Семен	semen@yandex.ru	gk4bb6

Темы

id темы	Наименование	Автор
1	О рыбалке	Кирилл
2	Велосипеды	Вася
3	Ночные клубы	Семен
4	О рыбалке	Вася

Сообщения

id сообщения	Текст	Автор
1	Думаю надо сделать так...	Кирилл
2	Согласен	Вася
3	А еще можно сделать так...	Семен
4	Согласен	Вася

Теперь каждая запись в наших таблицах уникальна. Нам осталось установить соответствие между темами и сообщениями в них. Делается это также при помощи первичных ключей. В таблицу сообщения мы добавим еще одно поле:

Сообщения

id сообщения	Текст	Автор	id темы
1	Думаю надо сделать так...	Кирилл	1
2	Согласен	Вася	4
3	А еще можно сделать так...	Семен	1
4	Согласен	Вася	1

Теперь понятно, что сообщение с id=2 принадлежит теме "О рыбалке" (id темы = 4), созданной Васей, а остальные сообщения принадлежат теме "О рыбалке" (id темы = 1), созданной Кириллом. Такое поле называется внешний ключ (сокращенно FK - foreign key). Каждое значение этого поля соответствует какому-либо первичному ключу из таблицы "Темы". Так устанавливается однозначное соответствие между сообщениями и темами, к которым они относятся.

Последний нюанс. Предположим, у нас добавился новый пользователь, и зовут его тоже Вася:

Пользователи

id пользователя	Имя	E-mail	Пароль
1	Кирилл	kirill@mail.ru	*****
2	Вася	vasy@rambler.ru	*****
3	Семен	semen@yandex.ru	*****
4	Вася	vasy@mail.ru	*****

Как мы узнаем, какой именно Вася оставил сообщения? Для этого поля автор в таблицах "Темы" и "Сообщения" мы сделаем также внешними ключами:

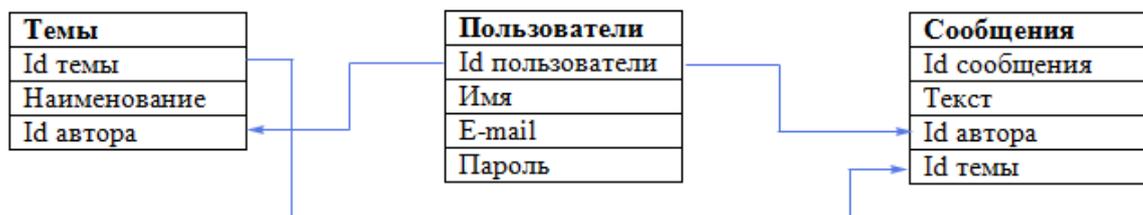
Темы

id темы	Наименование	id автора
1	О рыбалке	1
2	Велосипеды	2
3	Ночные клубы	3
4	О рыбалке	1
5	К кому обратиться	4

Сообщения

id сообщения	Текст	id автора	id темы
1	Думаю надо сделать так...	1	1
2	Согласен	2	4
3	А еще можно сделать так...	3	1
4	Согласен	2	1

Наша база данных готова. Схематично ее можно представить так:



В нашей маленькой базе данных всего три таблички, а если бы их было 10 или 100? Понятно, что сразу невозможно представить все таблицы, поля и связи, которые нам могут понадобиться. Именно поэтому проектирование базы данных всегда начинается с ее концептуальной модели.

Язык программирования SQL

Structured Query Language (структурированный язык запросов) или SQL – язык управления базами данных для реляционных баз данных. SQL изначально создан IBM. Он была принят в качестве стандарта американским Национальным институтом стандартов (ANSI) в 1986 и ISO в 1987.

Как следует из названия, язык программирования SQL предназначен для конкретных, ограниченных целей – запросов данных, содержащихся в реляционной базе данных. Как таковой, он представляет собой набор инструкций языка программирования для создания выборок данных, а не процедурный язык, такой как C или BASIC, которые предназначены для решения гораздо более широкого круга проблем. Основной подход заключается в том, что позволяет в запросы SQL встраивать команды процедурного языка программирования и взаимодействовать с базой данных.

SQL состоит из четырех отдельных частей (групп):

1. Первая – это Data Manipulation Language или DML (язык управления данными). DML является подмножеством языка, используемого для запроса к базам данных, добавления, обновления и удаления данных.

- SELECT является одной из наиболее часто используемых команд; она выбирает данные, удовлетворяющие заданным условиям
- INSERT используется для добавления строк для существующей таблицы.
- UPDATE используется для изменения значений данных в существующей строке таблицы.
- DELETE определяет строки, которые будут удалены из таблицы.

2. Вторая группа Data Definition Language или DDL (язык определения данных). DDL позволяет пользователю определять новые таблицы и связанные с ними элементы. Основными командами DDL являются команды "создавать" и "удалять" объекты.

- CREATE определяет объекты (например, таблицы), которые будут созданы в базе данных.
- DROP определяет, какие существующие объекты в базе данных будут удалены, как правило, безвозвратно.

Некоторые системы баз данных также поддерживают команду ALTER, которая позволяет пользователю изменять существующий объект по-разному. Например, так можно произвести добавление столбцов в существующую таблицу.

3. Третьей группой ключевых слов SQL является Data Control Language или DCL(язык контроля данных). DCL отвечает за права доступа к данным и позволяет пользователю контролировать, кто имеет доступ, чтобы просматривать или манипулировать данными в базе данных. Имеются два основных ключевых слова:

- GRANT - разрешает пользователю выполнять операции

- **REVOKE** - удаляет или ограничивает возможность пользователю выполнять операции.

4. Язык управления транзакциями (TCL) используется для контроля обработки транзакций в БД. Обычно операторы TCL включают commit для подтверждения изменений, сделанных в ходе транзакции, rollback для их отмены и savepoint для разбиения транзакции на несколько меньших частей.

Простой пример применения оператора SQL SELECT

Синтаксис оператора SELECT

```
SELECT column_list
FROM table_name
[WHERE условие]
[GROUP BY условие]
[HAVING условие]
[ORDER BY условие]
```

SELECT Ключевое слово, которое сообщает базе данных о том, что оператор является запросом. Все запросы начинаются с этого слова, за ним следует пробел.

Column_list Список столбцов таблицы, которые выбираются запросом. Столбцы, не указанные в операторе, не будут включены в результат. Если необходимо вывести данные всех столбцов, можно использовать сокращенную запись. Звездочка (*) означает полный список столбцов.

FROM table_name Ключевое слово, которое должно присутствовать в каждом запросе. После него через пробел указывается имя таблицы, являющейся источником данных.

Код в скобках является не обязательным в операторе SELECT. Он необходим для более точного определения запроса.

Также необходимо сказать, что SQL код является регистронезависимым. Это означает, что запись SELECT можно написать как select. СУБД не отличит эти две записи, однако советуют все операторы SQL писать прописными буквами, чтобы его легко можно было отличить от другого кода.

Примеры рассмотрим на таблице Salespeople (продавцы). Таблица выглядит так:

snum	sname	city	comm
1001	Peel	London	0,12
1002	Serres	San Jose	0,13
1003	Axelrod	New York	0,1
1004	Motika	London	0,11
1007	Rifkin	Barcelona	0,15

Столбцы таблицы Salespeople:

snum	Номер продавца
sname	Имя продавца
city	Город
comm	Коммиссионные продавца, в десятичной форме

Пример использования оператора SELECT

1. Необходимо вывести список продавцов, и отобразить их имена (sname)

```
SELECT sname  
FROM Salespeople
```

Результат:

sname
Peel
Serres
Axelrod
Motika
Rifkin

В данном запросе, после оператора SELECT идет имя столбца, которое необходимо отобразить. После ключевого слова FROM указывается имя таблицы.

2. Необходимо вывести список продавцов, и отобразить их имена и город (sname и city)

```
SELECT sname , city  
FROM Salespeople
```

Результат:

sname	city
Peel	London
Serres	San Jose
Axelrod	New York
Motika	London
Rifkin	Barcelona

Здесь после оператора **SELECT** перечисляются столбцы, которые необходимо вывести. Имена столбцов пишутся через запятую.

3. Необходимо вывести всю таблицу

Для этого можно использовать разный синтаксис написания запросов. Перечисляем каждый столбец после оператора **SELECT**:

```
SELECT snum , sname , city , comm  
FROM Salespeople
```

Или можно добиться того же результата, используя сокращенную запись:

```
SELECT * FROM Salespeople
```

Результат:

snum	sname	city	comm
1001	Peel	London	0,12
1002	Serres	San Jose	0,13
1003	Axelrod	New York	0,1
1004	Motika	London	0,11
1007	Rifkin	Barcelona	0,15

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Понятие баз данных.
2. Структура базы данных.
3. Реляционные базы данных.
4. Язык программирования SQL.

Лекции № 20

Тема: Технология "Клиент-сервер"**Оглавление**

Введение в клиент-серверные технологии	2
Виды клиент-серверных технологий	3
Web-серверы	3
Серверы приложений.....	3
Серверы баз данных.....	3
Файл-серверы	3
Почтовые серверы.....	3
ОРС-серверы.....	4
Клиентское приложение.....	4
Клиент-серверная архитектура.....	4
Двухзвенная архитектура	4
Трехзвенная архитектура	5
ОРС сервер в компьютерно-интегрированных технологиях	6
Обзор стандарта ОРС.....	6
Тег	8
ОРС DA сервер.....	9
Контрольные вопросы по теме	14
Уровень модуля.....	14
Уровень курса.....	14

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.
<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>
2. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.: ил.
3. Бабак В.П. Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Ерёмченко и др. – К., 2014. – 832 с.

Введение в клиент-серверные технологии

Как правило компьютеры и программы, входящие в состав информационной системы, не являются равноправными. Некоторые из них владеют ресурсами (файловая система, процессор, принтер, база данных и т.д.), другие имеют возможность обращаться к этим ресурсам. Компьютер (или программу), управляющий ресурсом, называют сервером этого ресурса (файл-сервер, сервер базы данных, вычислительный сервер...). Клиент – это аппаратный или программный компонент вычислительной системы, посылающий запросы серверу и получающий от сервера запрошенную информацию. Сервер – аппаратный или программный компонент вычислительной системы, выполняющий сервисные (обслуживающие) функции по запросу клиента, предоставляя ему доступ к определённым ресурсам или услугам. Клиент и сервер какого-либо ресурса могут находиться как на одном компьютере, так и на различных компьютерах, связанных сетью.

Архитектура «клиент-сервер» определяет общие принципы организации взаимодействия в системе, где имеются *серверы*, узлы-поставщики некоторых специфичных функций (сервисов) и *клиенты*, потребители этих функций.

Основная идея архитектуры «клиент-сервер» состоит в разделении сетевого приложения на несколько компонентов, каждый из которых реализует специфический набор сервисов. Компоненты такого приложения могут выполняться на разных компьютерах, выполняя серверные и/или клиентские функции. Это позволяет повысить надёжность, безопасность и производительность сетевых приложений и сети в целом.

Практические реализации такой архитектуры называются **клиент-серверными технологиями**. Каждая технология определяет собственные или использует имеющиеся правила взаимодействия между клиентом и сервером, которые называются *протоколом обмена (протоколом взаимодействия)*.

Архитектура «клиент-сервер» широко применяется в измерительных и управляющих системах. Можно говорить, что технология «клиент-сервер» является частью компьютерно-интегрированных технологий. Датчики компьютерно-интегрированных систем являются источником измерительной информации, и они отправляют измеренные данные в программы управления и сбора данных. То есть, датчики предоставляют сервис по предоставлению измерительных данных. Они, по существу, являются серверами. А программа управления и сбора данных в данном случае является клиентом. Об этом взаимодействии применительно к компьютерно-интегрированным системам речь пойдет в разделе, посвященном ОРС серверам. Первоначально будут рассмотрены основные понятия и принципы клиент-серверного взаимодействия.

Отметим, что программы диспетчерского управления и сбора данных в компьютерно-интегрированных технологиях называют SCADA-системами (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) или SCADA-пакетами, поскольку они на самом деле представляют собой целый комплекс программ. SCADA-системам будет посвящена одна из лекций.

Виды клиент-серверных технологий

Архитектура клиент-сервер применяется в большом числе сетевых технологий, используемых для доступа к различным сетевым сервисам. Кратко рассмотрим некоторые типы таких сервисов (и серверов). Это лишь несколько типов из всего многообразия клиент-серверных технологий, используемых как в локальных, так и в глобальных сетях.

Web-серверы

Изначально представляли доступ к гипертекстовым документам по протоколу HTTP (Hyper Text Transfer Protocol). Сейчас поддерживают расширенные возможности, в частности работу с бинарными файлами (изображения, мультимедиа и т.п.).

Серверы приложений

Предназначены для централизованного решения прикладных задач в некоторой предметной области. Для этого пользователи имеют право запускать серверные программы на исполнение. Использование серверов приложений позволяет снизить требования к конфигурации клиентов и упрощает общее управление сетью.

Серверы баз данных

Серверы баз данных используются для обработки пользовательских запросов на языке SQL. При этом СУБД находится на сервере, к которому и подключаются клиентские приложения.

Файл-серверы

Файл-сервер хранит информацию в виде файлов и представляет пользователям доступ к ней. Как правило файл-сервер обеспечивает и определенный уровень защиты от несакционированного доступа.

Почтовые серверы

Представляют услуги по отправке и получению электронных почтовых сообщений.

OPC-сервери

OPC-сервери предназначены для управления объектами автоматизации и технологическими процессами. Они реализуют интерфейс OPC — набор спецификаций стандартов, разработанный специально для целей автоматизации.

Клиентское приложение

Для доступа к тем или иным сетевым сервисам используются клиенты, возможности которых характеризуются понятием «толщины». Оно определяет конфигурацию оборудования и программное обеспечение, имеющиеся у клиента. Рассмотрим возможные граничные значения:

«Тонкий» клиент

Этот термин определяет клиента, вычислительных ресурсов которого достаточно лишь для запуска необходимого сетевого приложения через web-интерфейс. Пользовательский интерфейс такого приложения формируется средствами статического HTML (выполнение JavaScript не предусматривается), вся прикладная логика выполняется на сервере. Для работы тонкого клиента достаточно лишь обеспечить возможность запуска web-браузера, в окне которого и осуществляются все действия. По этой причине web-браузер часто называют "универсальным клиентом".

«Толстый» клиент

Таковым является рабочая станция или персональный компьютер, работающие под управлением собственной дисковой операционной системы и имеющие необходимый набор программного обеспечения. К сетевым серверам «толстые» клиенты обращаются в основном за дополнительными услугами (например, доступ к web-серверу или корпоративной базе данных). Так же под «толстым» клиентом подразумевается и клиентское сетевое приложение, запущенное под управлением локальной ОС. Такое приложение совмещает компонент представления данных (графический пользовательский интерфейс ОС) и прикладной компонент (вычислительные мощности клиентского компьютера).

Как уже отмечалось выше, отдельным видом клиента является SCADA-система.

Клиент-серверная архитектура

Двухзвенная архитектура

В любой сети, построенной на современных сетевых технологиях, присутствуют элементы клиент-серверного взаимодействия, чаще всего на основе **двухзвенной архитектуры**. Двухзвенной она называется из-за необходимости распределения трех базовых компонентов: представление

данных, прикладной компонент, управление ресурсами – между двумя узлами (клиентом и сервером).

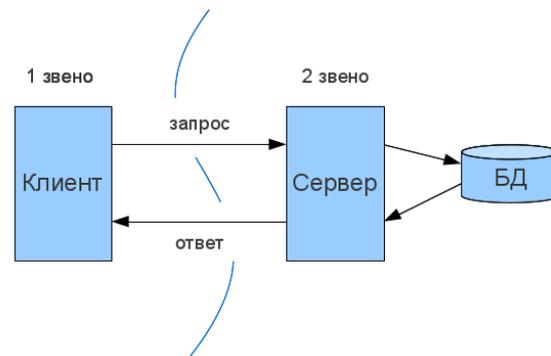


Рис.1. Двухзвенная клиент-серверная архитектура

Двухзвенная архитектура используется в клиент-серверных системах, где сервер отвечает на клиентские запросы напрямую и в полном объеме, при этом используя только собственные ресурсы. Т.е. сервер не вызывает сторонние сетевые приложения и не обращается к сторонним ресурсам для выполнения какой-либо части запроса (рис. 1)

Трехзвенная архитектура

В сетевых технологиях все больше и больше начинают использовать распределенные вычисления. Они реализуются на основе модели сервера приложений, где сетевое приложение разделено на две и более частей, каждая из которых может выполняться на отдельном компьютере. Выделенные части приложения взаимодействуют друг с другом, обмениваясь сообщениями в заранее согласованном формате. В этом случае двухзвенная клиент-серверная архитектура становится **трехзвенной**.

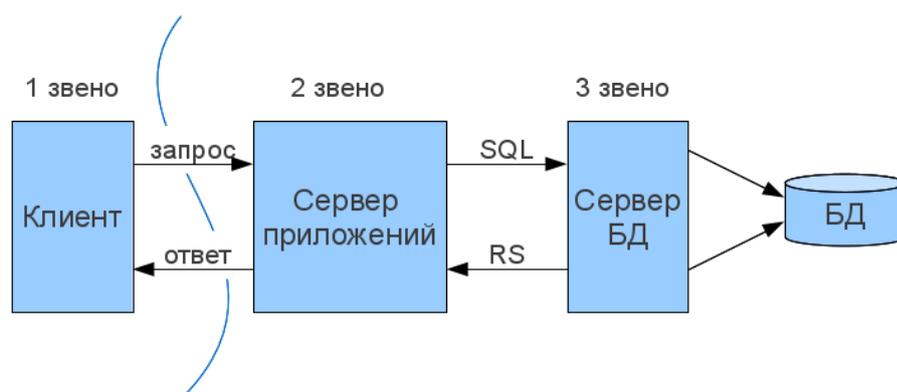


Рис.2. Трехзвенная клиент-серверная архитектура

Как правило, третьим звеном в трехзвенной архитектуре становится сервер приложений, т.е. компоненты распределяются следующим образом (рис. 2):

1. Представление данных – на стороне клиента.
2. Прикладной компонент – на выделенном сервере приложений (как вариант, выполняющем функции промежуточного ПО).
3. Управление ресурсами – на сервере БД, который и представляет запрашиваемые данные.

Трехзвенная архитектура может быть расширена до многозвенной путем выделения дополнительных серверов, каждый из которых будет представлять собственные сервисы и пользоваться услугами прочих серверов разного уровня. Абстрактный пример многозвенной модели приведен на 3.

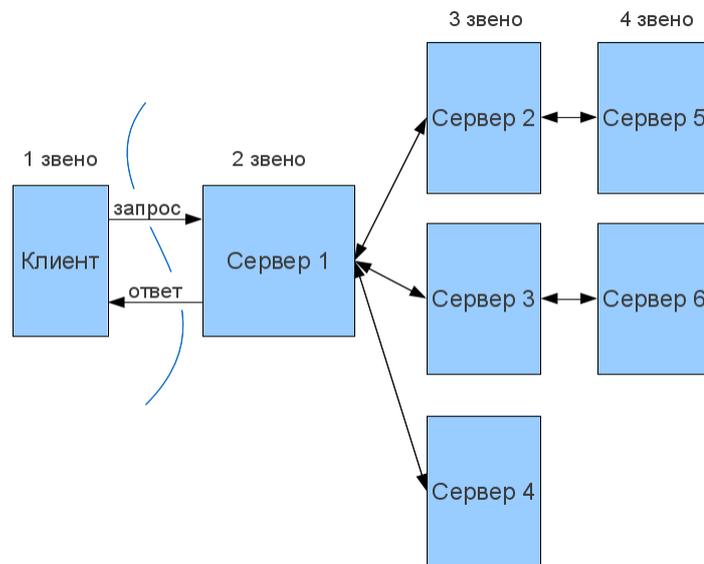


Рис.3. Многозвенная клиент-серверная архитектура

OPC сервер в компьютерно-интегрированных технологиях

Как уже было указано, OPC-серверы специально предназначены для управления объектами автоматизации и технологическими процессами. Они реализуют так называемый интерфейс OPC, представленный в соответствующих стандартах. Стандарт OPC разработан международной организацией OPC Foundation, членами которой являются более 400 фирм, работающих в области средств автоматизации и измерительной техники. Первая версия OPC стандарта была выпущена в 1998 г

Обзор стандарта OPC

Главной целью стандарта OPC явилось обеспечение возможности совместной работы (интероперабельности) средств автоматизации, функционирующих на разных аппаратных платформах, в разных промышленных сетях и производимых разными фирмами. До разработки OPC стандарта SCADA пакет нужно было адаптировать к каждому новому оборудованию индивидуально. Существовали длинные списки

"поддерживаемого оборудования", очень сложной была техническая поддержка. При модификации оборудования нужно было вносить изменения во все драйверы, каждый из которых поддерживал протокол обмена только с одной клиентской программой. Число таких драйверов доходило до сотен.

После появления стандарта OPC практически все SCADA-пакеты были перепроектированы как OPC-клиенты, а каждый производитель аппаратного обеспечения стал снабжать свои контроллеры, модули ввода-вывода, интеллектуальные датчики и исполнительные устройства стандартным OPC сервером. Благодаря появлению стандартизации интерфейса стало возможным подключение любого физического устройства к любой SCADA, если они оба соответствовали стандарту OPC. Разработчики получили возможность проектировать только один драйвер для всех SCADA-пакетов, а пользователи получили возможность выбора оборудования и программ без прежних ограничений на их совместимость.

Стандарт OPC относится только к интерфейсам, которые OPC сервер предоставляет клиентским программам. Метод же взаимодействия сервера с аппаратурой (например, с модулями ввода-вывода), стандартом не предусмотрен и его реализация возлагается полностью на разработчика аппаратуры. Поэтому стандарт OPC может быть использован не только для взаимодействия SCADA с "железом", но и для обмена данными с любым источником данных, например, с базой данных или с GPS приемником.

OPC сервер как средство взаимодействия с техническим устройством может быть использован при разработке заказных программ на C++, Visual Basic, VBA и т. п.

Стандарт OPC состоит из нескольких частей:

- OPC DA (OPC Data Access) - спецификация для обмена данными между клиентом (например SCADA) и аппаратурой (контроллерами, модулями ввода-вывода и др.) в реальном времени;
- OPC Alarms & Events (A&E) - спецификация для уведомления клиента о событиях и сигналах тревоги, которые посылаются клиенту по мере их возникновения. Этот сервер пересылает аварийные сигналы, действия оператора, информационные сообщения, результаты контроля состояния системы;
- OPC HDA (Historical Data Access) - спецификация для доступа к предыстории процесса (к сохраненным в архиве данным). Сервер обеспечивает унифицированный способ доступа с помощью DCOM технологии. Обеспечивает чтение, запись и изменение данных;
- Batch - спецификация для особых физико-химических технологических процессов обработки материалов, которые не

являются непрерывными. В таких процессах выполняется загрузка нескольких видов сырья в определенных пропорциях согласно рецепту, устанавливаются режимы обработки, а после выполнения цикла обработки и выгрузки готового материала загружается новая партия сырья. OPC сервер выполняет обмен между клиентом и сервером рецептами, характеристиками технологического оборудования, условиями и результатами обработки;

- OPC Data eXchange - спецификация для обмена данными между двумя OPC DA серверами через сеть Ethernet;
- OPC Security - спецификация, которая определяет методы доступа клиентов к серверу, которые обеспечивают защиту важной информации от несанкционированной модификации;
- OPC XML-DA - набор гибких, согласующихся друг с другом правил и форматов для представления первичных данных с помощью языка XML, веб технологий и сообщений SOAP (см. раздел "Архитектура автоматизированной системы".);
- OPC Complex Data - дополнительные спецификации к OPC DA и XML-DA, которые позволяют серверам работать со сложными типами данных, такими как бинарные структуры и XML-документы;
- OPC Commands - набор программных интерфейсов, который позволяет OPC клиентам и серверам идентифицировать, посылать и контролировать команды, исполняемые в техническом устройстве (в контроллере, модуле ввода-вывода);
- OPC Unified Architecture - принципиально новый набор спецификаций, который уже не базируется на DCOM технологии.

Наиболее широко используется спецификации OPC DA и реже - OPC HDA.

Тег

При использовании сервер OPC используется понятие тег. Тег – это метка, адрес, идентификатор данных (точка, источник или канал поступления данных), переменная, которая приписана этим данным. В простейшем случае один датчик и есть один тег - переменная в которой находится текущее значение. Например, к системе подключен датчик температуры. Показаниям датчика приписан уникальный тег. Эти показания можно найти по этому уникальному тегу.

В более сложном случае одному устройству могут соответствовать несколько тегов. Например, к сети подключен программируемый логический контроллер (ПЛК), а к этому ПЛК подключено несколько датчиков, каждый

из которых измеряет какой-то один параметр. Тогда каждому датчику (точнее - показаниям каждого датчика) будет соответствовать свой уникальный тег.

Бывает, что одно и то же устройство измеряет несколько параметров, например: влажность и температуру. Тогда данным измерения влажности будет соответствовать один тег, а данным измерения температуры – другой тег.

OPC DA сервер

Сервер OPC DA является наиболее широко используемым в промышленной автоматизации. Он обеспечивает обмен данными (запись и чтение) между клиентской программой и физическими устройствами. Данные состоят из трех полей: значение, качество и временная метка. Параметр качества данных позволяет передать от устройства клиентской программе информацию о выходе измеряемой величины за границы динамического диапазона, об отсутствии данных, ошибке связи и другие.

Существует четыре стандартных режима чтения данных из OPC сервера:

- *синхронный режим*: клиент посылает запрос серверу и ждет от него ответ;
- *асинхронный режим*: клиент отправляет запрос и сразу же переходит к выполнению других задач. Сервер после выполнения функции запроса посылает клиенту уведомление и тот забирает предоставленные данные;
- *режим подписки*: клиент сообщает серверу список тегов, значения которых сервер должен отправлять клиенту только в случае их изменения. Для того, чтобы шум данных не был принят за их изменение, вводится понятие "мертвой зоны", которая слегка превышает максимально возможный размах помехи;
- *режим обновления данных*: клиент вызывает одновременное чтение всех активных тегов. Активными называются все теги, кроме обозначенных как "пассивные". Такое деление тегов уменьшает загрузку процессора обновлением данных, принимаемых из физического устройства.

В каждом из этих режимов данные могут читаться либо из кэша OPC сервера, либо непосредственно из физического устройства. Чтение из кэша выполняется гораздо быстрее, но данные к моменту чтения могут устареть. Поэтому сервер должен периодически освежать данные с максимально возможной частотой. Для уменьшения загрузки процессора используют параметр частоты обновления, которая может быть установлена для каждой группы тегов индивидуально. Кроме того, некоторые теги можно сделать

пассивными, тогда их значения не будут обновляться данными из физического устройства.

Запись данных в физическое устройство может быть выполнена только двумя методами: синхронным и асинхронным и выполняется сразу в устройство, без промежуточной буферизации. В синхронном режиме функция записи выполняется до тех пор, пока из физического устройства не поступит подтверждение, что запись выполнена. Этот процесс может занимать много времени, в течение которого клиент находится в состоянии ожидания завершения функции и не может продолжать выполнение своей работы. При асинхронной записи клиент отправляет данные серверу и сразу продолжает свою работу. После окончания записи сервер отправляет клиенту соответствующее уведомление.

В соответствии со стандартом, OPC сервер во время инсталляции автоматически регистрируется в реестре Windows. Запуск сервера осуществляется так же, как любой другой программы или автоматически из клиентской программы.

На рис. 4 показано диалоговое окно OPC сервера. Сервер позволяет выполнить поиск физических устройств, подключенных к COM-порту компьютера. На рис. 4 окно сервера слева показывает, что к компьютеру подключены три модуля ввода: NL16HV, NL8TI и NL8AI. Для удобства представления измеряемых величин (тегов) на объекте автоматизации имена тегов могут быть составными и путь к тегу может быть представлен в виде дерева, как показано на рис. 4. Имя выделенного на рисунке тега выглядит как "NL8TI.Laboratory32.Top.Vin4". Все имена и их структура задаются с помощью средств окна OPC сервера.

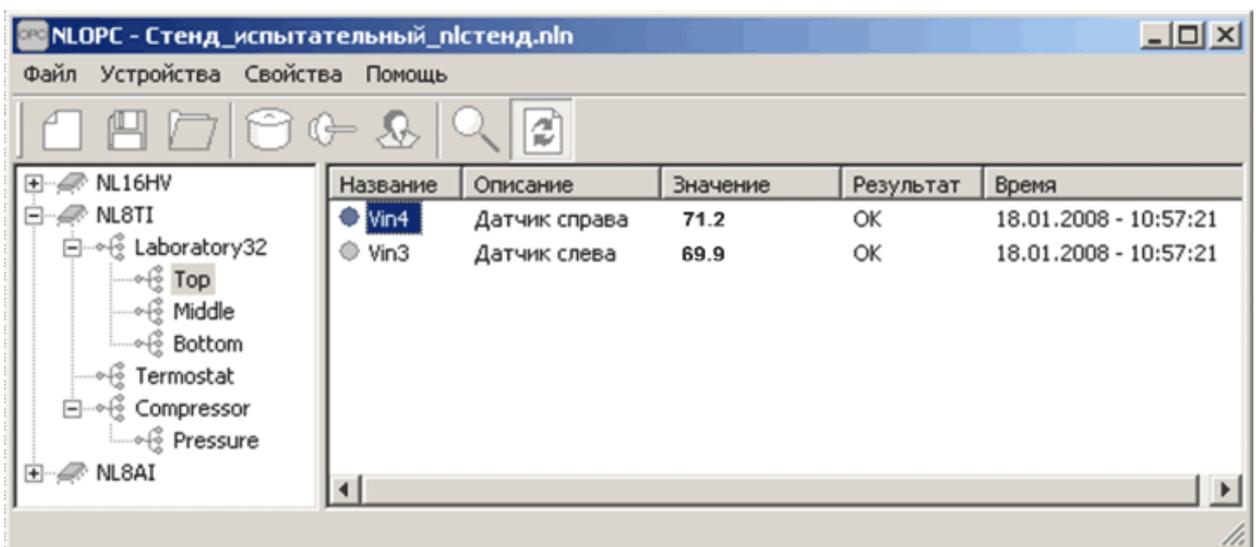


Рис. 4. Пример диалогового окна OPC сервера

При использовании OPC клиента (например, SCADA), имена тегов, доступные через OPC сервер, представляются в аналогичной форме в окне навигатора тегов (рис. 5). Клиент показывает все OPC серверы, установленные на компьютерах, доступных по сети Ethernet, и позволяет использовать все теги этих серверов.

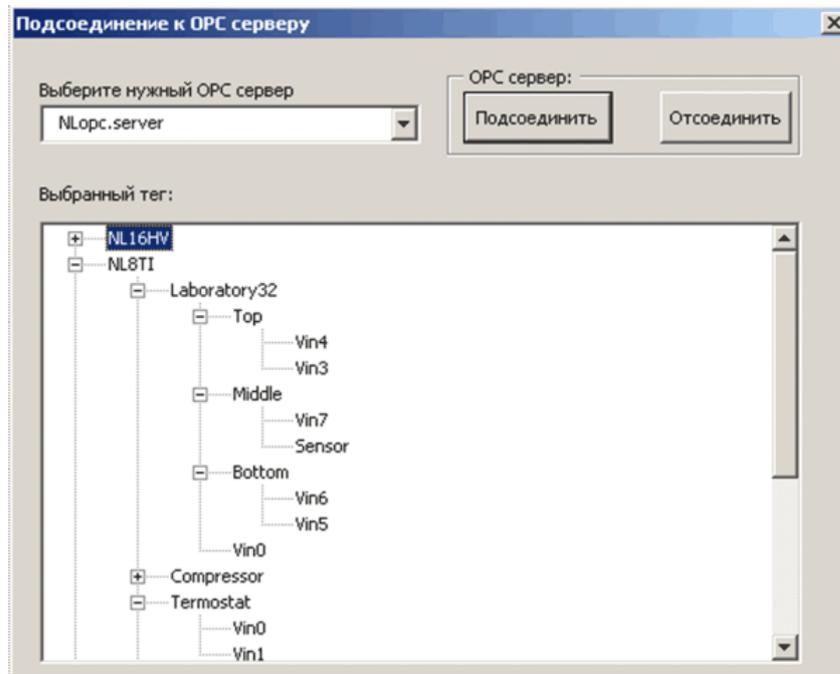


Рис. 5. Пример диалогового окна навигатора тегов OPC клиента

Пример архитектуры систем, включающих OPC серверы и OPC клиенты, показаны на рис. 6 и рис. 7. В качестве OPC клиента может выступать программа на языке C++ (например, SCADA-пакет) или программа на языке Visual Basic, VBA, Delphi или любая другая программа, поддерживающая внедрение COM-объектов (рис. 6). Программа на языке C++ взаимодействует с OPC сервером через интерфейс OPC Custom, а программа на Visual Basic, VBA, Delphi - через интерфейс автоматизации OPC Automation. OPC сервер и OPC клиенты могут работать только на компьютерах и контроллерах с операционными системами, поддерживающими технологию DCOM (например, Windows XP и Windows CE).

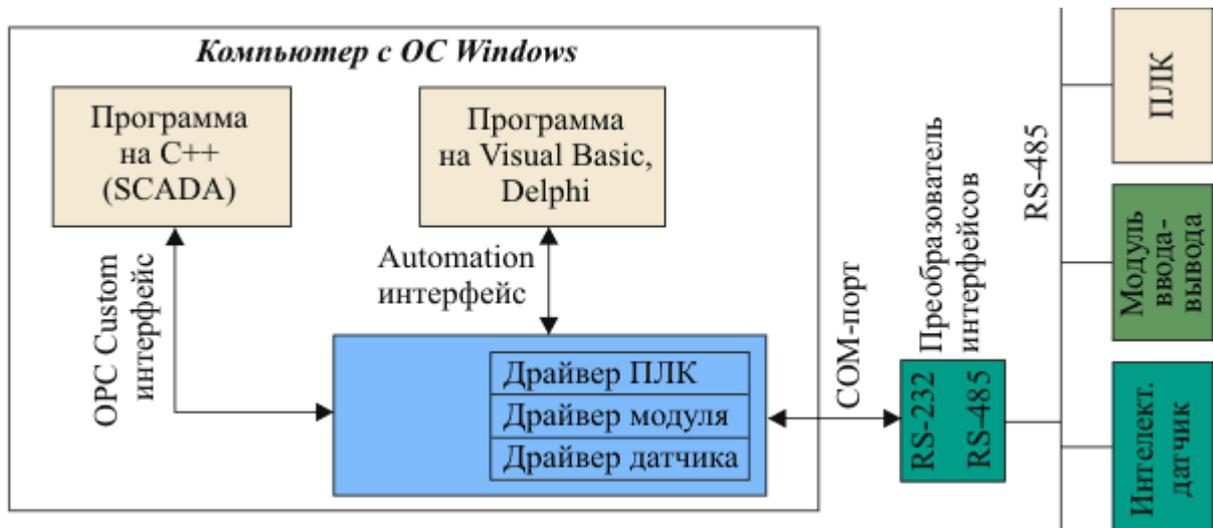


Рис. 6. Простой пример взаимодействия прикладных программ и физических устройств через OPC сервер на одном компьютере.

OPC сервер подключается к физическим устройствам любым способом; эти способы стандартом не предусмотрены. Например, сервер NLogics фирмы НИЛ АП использует для каждого физического устройства свой драйвер (рис. 6).

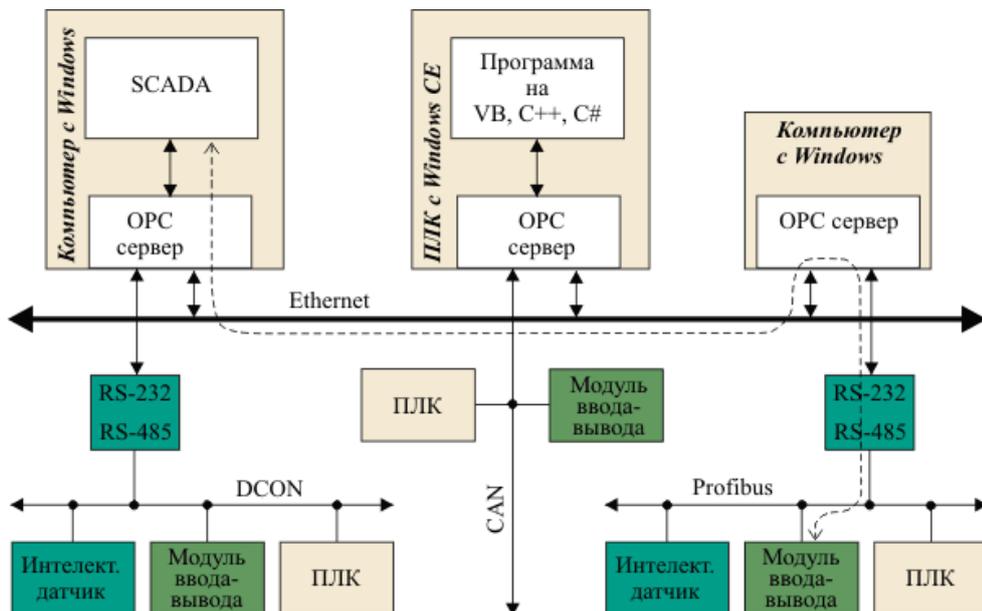


Рис. 7. Пример применения OPC технологии для сетевого доступа к данным в системах автоматизации

Клиентская программа и OPC сервер могут быть установлены на одном и том же компьютере, как показано на рис. 6, или на разных компьютерах сети Ethernet (рис. 7). При наличии нескольких компьютеров каждый из них может содержать OPC сервер и подключенные к нему физические устройства. В такой системе любой OPC клиент с любого компьютера может обращаться к любому OPC серверу, в том числе к расположенному на другом компьютере

сети. Это достигается благодаря технологии DCOM, использующей удаленный вызов процедур (RPC - Remote Procedure Call). Например, SCADA на рис. 7 может обратиться за данными к модулю ввода-вывода по пути, указанному на рис. 7 штриховой линией. Обратим внимание, что компьютеры и контроллеры в такой архитектуре могут работать с разными промышленными сетями. Обмен данными с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), работающими с ОС Windows CE, выполняется точно так, как с компьютерами.

При использовании оборудования разных производителей на компьютере (контроллере) может быть установлено несколько OPC серверов разных производителей, однако OPC сервер монопольно занимает COM-порт компьютера (поскольку непрерывно выполняет обновление данных), поэтому количество портов должно быть равно количеству OPC серверов. Для наращивания количества COM портов можно использовать преобразователи интерфейса USB в RS-232. К разным портам компьютера могут быть подключены разные промышленные сети. В этом случае OPC серверы используются в качестве межсетевых шлюзов.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

Уровень курса

1. Введение в клиент-серверные технологии.
2. Виды клиент-серверных технологий.
3. Клиент-серверная архитектура.
4. OPC сервер в компьютерно-интегрированных технологиях. Стандарт OPC.
5. Понятие "тег" в компьютерно-интегрированных технологиях.
6. Режимы чтения данных из OPC сервера.

Лекции № 21 *Тема: SCADA-системы***Оглавление**

Пользовательский интерфейс, SCADA-пакеты	2
Функции SCADA	2
Разработка человеко-машинного интерфейса	4
SCADA как система диспетчерского управления	5
SCADA как часть системы автоматического управления	6
Хранение истории процесса.....	6
Безопасность SCADA	7
Общесистемные функции	7
Свойства SCADA	8
Инструментальные свойства.....	8
Эксплуатационные свойства.....	10
Степень открытости.....	10
Экономическая эффективность	11
Программное обеспечение	11
MasterSCADA	11
Trace Mode	12
Заключение к главе "Программное обеспечение"	13
Контрольные вопросы по теме	14
Уровень курса.....	14

Источники:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2013. — 816 с.: ил.
<https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4956359>
2. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.: ил.
3. Бабак В.П. Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Ерёменко и др. — К., 2014. — 832 с.

Пользовательский интерфейс, SCADA-пакеты

Большинство систем автоматизации функционирует с участием человека (оператора, диспетчера). Интерфейс между человеком и системой называют человеко-машинным интерфейсом (ЧМИ), в зарубежной литературе - HMI (Human-Machinery Interface) или MMI (Man-Machinery Interface). В частном случае, когда ЧМИ предназначен для взаимодействия человека с автоматизированным технологическим процессом, его называют SCADA-системой (Supervisory Control And Data Acquisition). Этот термин переводится буквально как "диспетчерское управление и сбор данных", но на практике его трактуют гораздо шире, а современные SCADA-пакеты включают в себя широчайший набор функциональных возможностей, далеко выходящий за рамки сбора данных и диспетчерского управления.



Рис. 1 Пульт оператора технологического процесса

Функции SCADA

Существующие в настоящее время SCADA-пакеты выполняют множество функций, которые можно разделить на несколько групп:

- настройка SCADA на конкретную задачу (т. е. разработка программной части системы автоматизации);
- диспетчерское управление;
- автоматическое управление;
- хранение истории процессов;
- выполнение функций безопасности;
- выполнение общесистемных функций.

Несмотря на множество функций, выполняемых SCADA, основным ее отличительным признаком является наличие интерфейса с пользователем. При отсутствии такого интерфейса перечисленные выше функции совпадают с функциями средств программирования контроллеров, а управление является автоматическим, в противоположность диспетчерскому.

Качество решений, принятых оператором (диспетчером), часто влияет не только на качество производимой продукции, но и на жизнь людей. Поэтому комфорт рабочего места, понятность интерфейса, наличие подсказок и блокировка явных ошибок оператора являются наиболее важными свойствами SCADA, а дальнейшее их развитие осуществляется в направлении улучшения эргономики и создания экспертных подсистем.

Иногда SCADA комплектуются средствами для программирования контроллеров, однако эта функция вызвана коммерческими соображениями и слабо связана с основным назначением SCADA.

В SCADA-пакетах используют понятие *аларма* и *события*. Событие - это изменение некоторых состояний в системе. Примерами событий могут быть включение перевалки зерна в элеваторе, завершение цикла периодического процесса обработки детали, окончание загрузки бункера, регистрация нового оператора и т. п. События не требуют срочного вмешательства оператора, а просто информируют его о состоянии системы.

В отличие от события, аларм (от английского "alarm" - "сигнал тревоги") представляет собой предупреждение о важном событии, в ответ на которое нужно срочно предпринять некоторые действия. У английского слова "аларм" имеется точный русский перевод - "сигнал тревоги" или "аварийный сигнал", однако термин "аларм" уже прочно вошел в лексикон промышленной автоматизации.

Примерами алармов может быть достижение критической температуры хранения зерна в элеваторе, после которого начинается его возгорание, достижение критического значения давления в автоклаве, после которого возможен разрыв оболочки, срабатывание датчика открытия охраняемой двери, превышение допустимого уровня загазованности в котельной и т.п.

В связи с тем, что алармы требуют принятия решения, их делят на подтвержденные и неподтвержденные. Подтвержденным называется аларм, в ответ на который оператор ввел команду подтверждения. До этого момента аларм считается неподтвержденным.

Алармы делятся на дискретные и аналоговые. Дискретные сигнализируют об изменении дискретной переменной, аналоговые алармы появляются, когда непрерывная переменная $y^{(t)}$ входит в заранее заданный интервал своих значений. В качестве примера на рис. 5 показано деление всего интервала изменения переменной $y^{(t)}$ на интервалы "Норма", "Внимание" (предаварийное состояние) и "Авария":

- аларм "Внимание" возникает при $y^{(a)} < y^{(t)} < y^{(b)}$ во время нарастания наблюдаемой переменной и при $y^{(d)} < y^{(t)} < y^{(c)}$ во время ее уменьшения;

- аларм "Авария" возникает при $y^{(b)} < y^{(t)}$.

Каждая критическая граница на рис. 5 имеет зону нечувствительности (мертвую зону), которая нужна для того, чтобы после снятия состояния аларма переменная не могла вернуться в него вследствие случайных выбросов в системе (шумов). Границы зон на рис. 5 могут изменяться с течением времени.

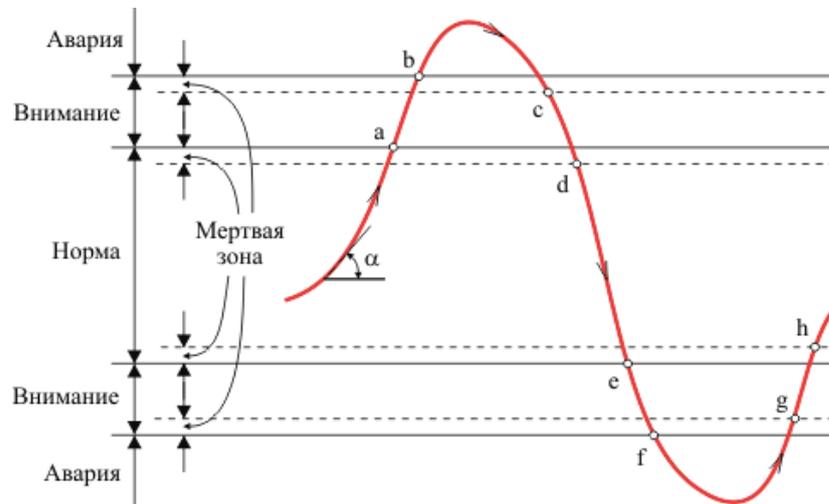


Рис. 2. Пример назначения интервалов аналоговым алармам

Аналогичные границы могут быть назначены для скорости изменения переменной (для производной функции $y^{(t)}$), которая определяется как угол α наклона касательной к кривой $y^{(t)}$.

Методика выдачи алармов должна быть надежной. В частности, всплывающие окна с сообщениями алармов должны быть всегда поверх остальных окон, алармы могут дублироваться звуком и светом. Поскольку алармов в системе может быть много, им назначают разные приоритеты, разные громкости и тоны звукового сигнала и т. п.

Разработка человеко-машинного интерфейса

Одной из основных функций SCADA является разработка человеко-машинного интерфейса, т.е. SCADA одновременно является и ЧМИ, и инструментом для его создания. Быстрота разработки существенно влияет на рентабельность фирмы, выполняющей работу по внедрению системы автоматизации, поэтому скорость разработки является основным показателем качества SCADA с точки зрения системного интегратора. В процесс разработки входят следующие операции:

- создание графического интерфейса (мнемосхем, графиков, таблиц, всплывающих окон, элементов для ввода команд оператора и т. д.);

- программирование и отладка алгоритмов работы системы автоматизации. Многие SCADA позволяют выполнять отладку системы как в режиме эмуляции оборудования, так и с подключенным оборудованием;
- настройка системы коммуникации (сетей, модемов, коммуникационные контроллеры и т.п.);
- создание баз данных и подключение к ним SCADA.

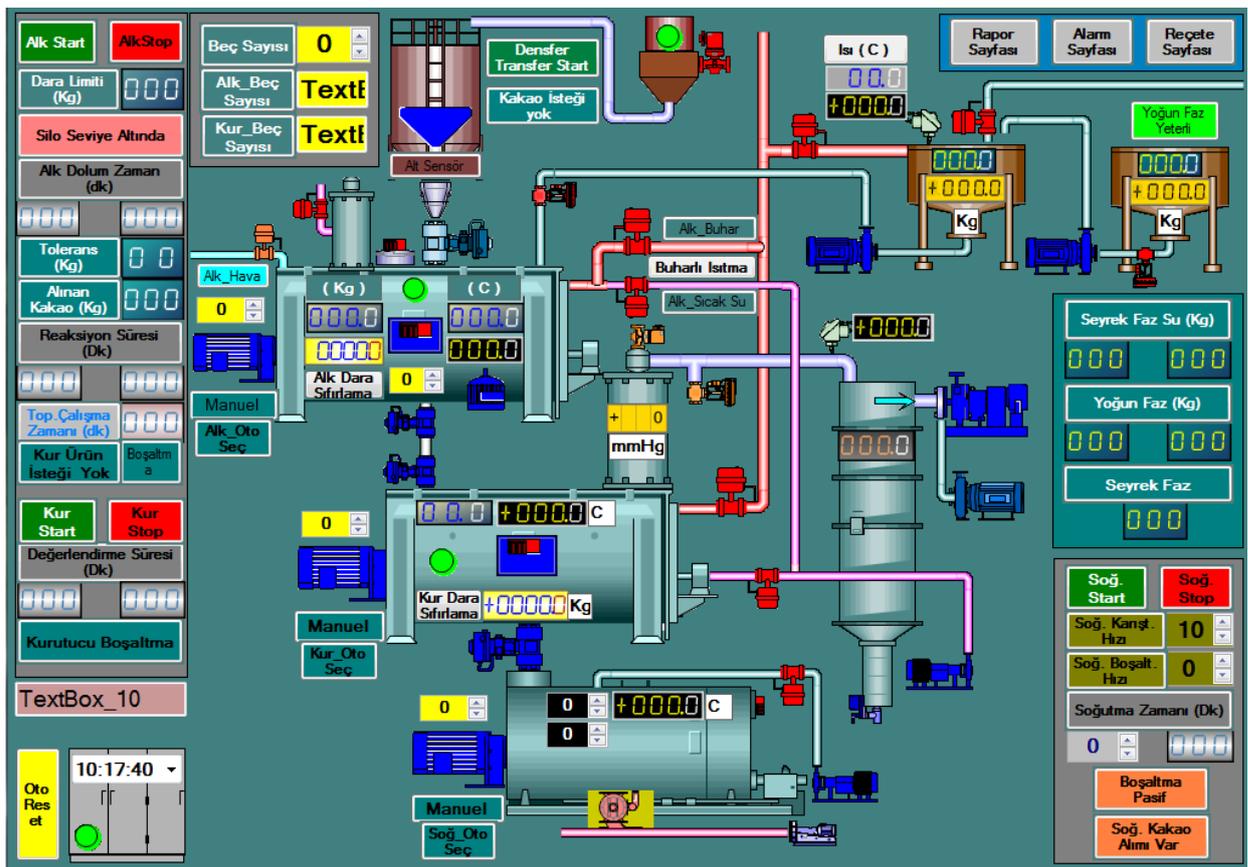


Рис. 3 Пример экрана пульта оператора в SCADA-системе

SCADA как система диспетчерского управления

Как система диспетчерского управления SCADA может выполнять следующие задачи:

- взаимодействие с оператором (выдача визуальной и слуховой информации, передача в систему команд оператора);
- помощь оператору в принятии решений (функции экспертной системы);
- автоматическая сигнализация об авариях и критических ситуациях;
- выдача информационных сообщений на пульт оператора;
- ведение журнала событий в системе;

- извлечение информации из архива и представление ее оператору в удобном для восприятия виде;
- подготовка отчетов (например, распечатка таблицы температур, графиков смены операторов, перечня действий оператора);
- учет наработки технологического оборудования.

SCADA как часть системы автоматического управления

Основная часть задач автоматического управления выполняется, как правило, с помощью ПЛК, однако часть задач может возлагаться на SCADA. Кроме того, во многих небольших системах управления ПЛК могут вообще отсутствовать и тогда компьютер с установленной SCADA является единственным средством управления. SCADA обычно выполняет следующие задачи автоматического управления:

- автоматическое регулирование;
- управление последовательностью операций в системе автоматизации;
- адаптация к изменению условий протекания технологического процесса;
- автоматическая блокировка исполнительных устройств при выполнении заранее заданных условий.

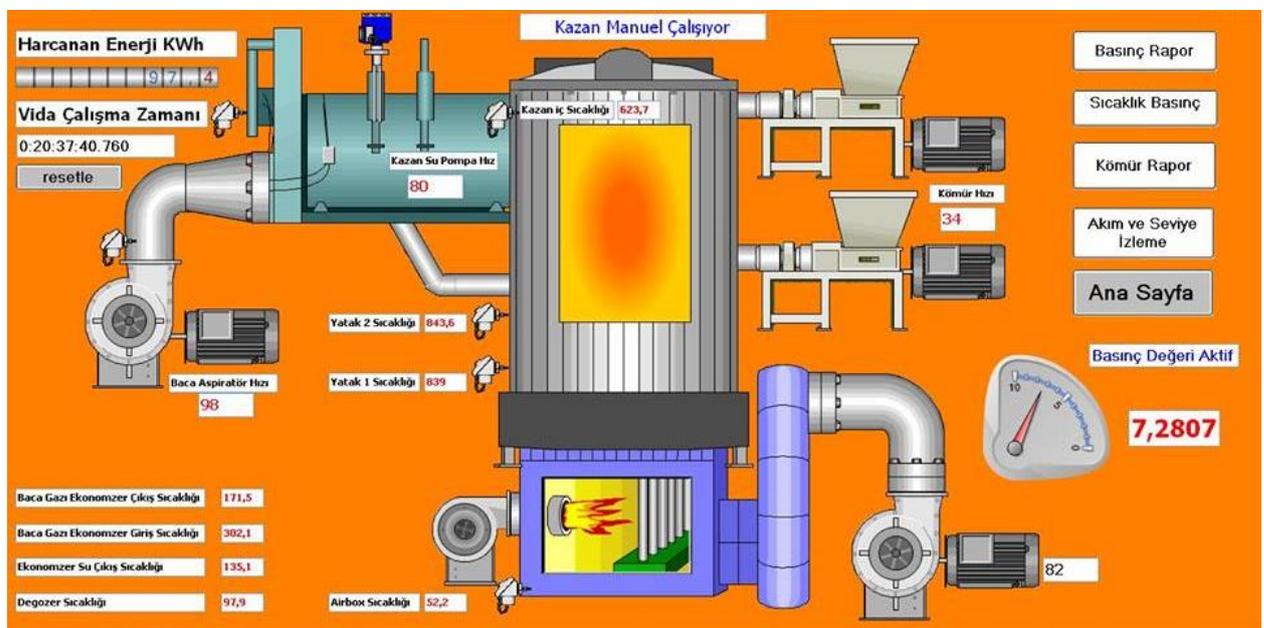


Рис. 4 Пример экрана пульта оператора в SCADA-системе

Хранение истории процесса

Знание предыстории управляемого процесса позволяет улучшить будущее поведение системы, проанализировать причины возникновения опасных ситуаций или брака продукции, выявить ошибки оператора. Для создания истории система выполняет следующие операции:

- сбор данных и их обработка (цифровая фильтрация, интерполяция, сжатие, нормализация, масштабирование и т. д.);
- архивирование данных (действий оператора, собранных и обработанных данных, событий, алармов, графиков, экранных форм, файлов конфигурации, отчетов и т. п.);
- управление базами данных (реального времени и архивных).

Безопасность SCADA

Применение SCADA в системах удаленного доступа через интернет резко повысило уязвимость SCADA к действиям враждебных лиц. Пренебрежение этой проблемой может приводить, например, к отказу в работе сетей электроснабжения, жизнеобеспечения, связи, отказу морских маяков, дорожных светофоров, к заражению воды неочищенными стоками и т.п. Возможны и более тяжелые последствия с человеческими жертвами или большим экономическим ущербом. Для повышения безопасности SCADA используют следующие методы:

- разграничение доступа к системе между разными категориями пользователей (у сменного оператора, технолога, программиста и директора должны быть разные права доступа к информации и к модификации настроек системы);
- защиту информации (путем шифрования информации и обеспечения секретности протоколов связи);
- обеспечение безопасности оператора благодаря его отдалению от опасного управляемого процесса (дистанционное управление). Дистанционный контроль и дистанционное управление являются типовыми требованиями и выполняются по проводной сети, радиоканалу (через GSM- или радиомодем), через интернет и т.д.;
- специальные методы защиты от кибератак;
- применение межсетевых экранов.

Общесистемные функции

Поскольку SCADA обычно является единственной программой для управления системой автоматизации, на нее могут возлагаться также некоторые общесистемные функции:

- осуществление взаимодействий между несколькими SCADA, между SCADA и другими программами (MS Office, базой данных, MATLAB и т.п.);
- диагностика аппаратуры, каналов связи и программного обеспечения.

Свойства SCADA

Анализ свойств различных SCADA позволяет выбирать систему, оптимальную для решения поставленной задачи. Все многообразие свойств SCADA-пакетов можно разбить на следующие группы:

- инструментальные свойства;
- эксплуатационные свойства;
- свойства открытости;
- экономическая эффективность.

Инструментальные свойства

К инструментальным относятся свойства SCADA, влияющие на эффективность работы системных интеграторов:

- быстрота разработки проекта;
- легкость освоения;
- поддерживаемые средства коммуникации;
- наличие функций для сложной обработки данных;
- наличие языков МЭК 61131-3 и универсального алгоритмического языка типа Visual Basic;
- степень открытости для разработчика (поддержка COM и ActiveX для подключения программных модулей пользователя, а также OPC, ODBC, OLE DB);
- качество технической документации (полнота, ясность изложения, количество ошибок);
- наличие режима эмуляции оборудования для отладки;
- наличие внутренних графических редакторов, позволяющих отказаться от применения внешних редакторов типа CorelDraw или Photoshop; поддержка типовых графических форматов файлов;
- качество технической поддержки (время реакции на вопросы пользователей, наличие "горячей линии" технической поддержки).

SCADA используют языки программирования МЭК 61131-3, ориентированные на технологов, которые дополняются функциями, специфическими для SCADA. Большинство SCADA имеют встроенный редактор и интерпретатор языка Visual Basic фирмы Microsoft.

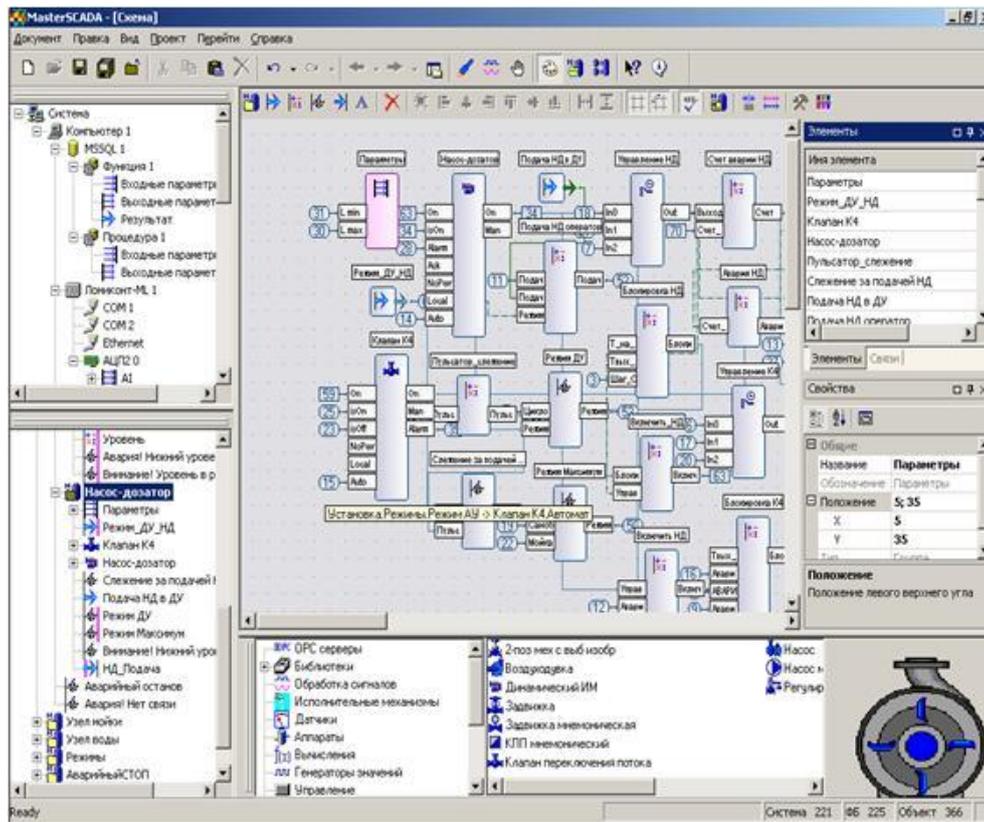


Рис. 5 Среда разработки в SCADA-системе

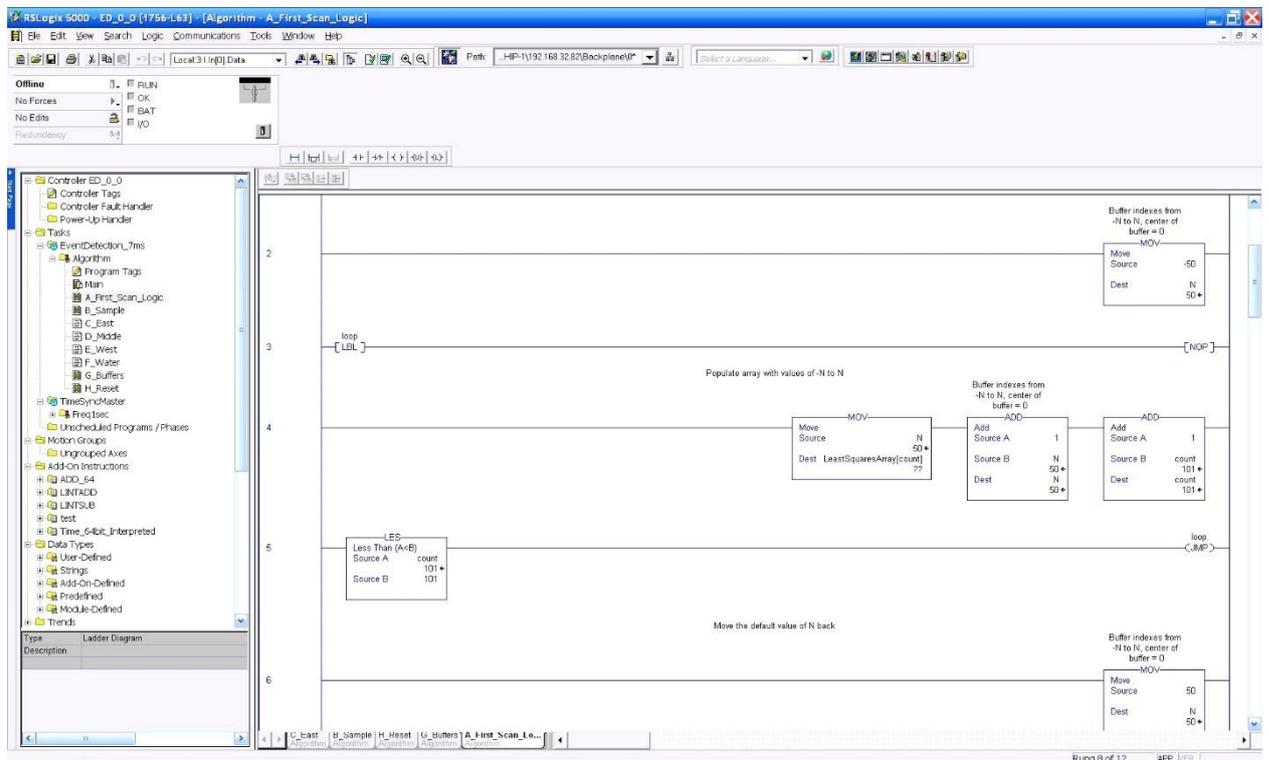


Рис. 6 Программирование ПЛК в SCADA-системе

Эксплуатационные свойства

Качество SCADA в процессе эксплуатации оценивается конечными пользователями и характеризуется следующим набором свойств:

- робастность (нечувствительность к ошибкам пользователя, защищенность от вандалов и враждебных элементов, устойчивость к ошибкам в исходных данных);
- надежность;
- информационная защищенность;
- наличие средств сохранения данных при нештатных ситуациях, отключениях питания и сбоях;
- наличие автомата перезапуска системы при ее зависании или после прерывания питания;
- поддержка резервирования SCADA (операторской станции, сетевых серверов, клиентских рабочих станций, резервное копирование данных);
- поддержка переключения экранов с разной детализацией изображений; поддержка нескольких мониторов.

Степень открытости

Степень открытости очень сильно влияет на экономическую эффективность системы, однако это влияние носит случайный характер, поскольку зависит от степени использования свойств открытости в конкретном проекте.

Открытость для программирования пользователем SCADA обеспечивается возможностью подключения программных модулей, написанных пользователем или другими производителями. Это обычно достигается тем, что SCADA разрабатывается как контейнер для COM-объектов и ActiveX элементов. Совместимость с аппаратурой и базами данных других производителей достигается с помощью стандарта OPC, применением интерфейса ODBC или OLE DB. Открытость системы программирования достигается поддержкой языков МЭК 61131-3.

Особенно интересно с точки зрения открытости применение веб-интерфейса, поскольку он обеспечивает доступ к SCADA с любого компьютера из любой точки мира, независимо от аппаратной платформы, типа канала связи, операционной системы и используемого веб-навигатора.

Экономическая эффективность

Экономическую эффективность SCADA можно определить как отношение экономического эффекта от ее внедрения к общей сумме затрат на внедрение и поддержание системы в работоспособном состоянии. На экономическую эффективность в конечном счете влияют практически все свойства SCADA, однако в первую очередь можно выделить следующие:

- масштабируемость (возможность применения как для больших, так и для малых систем);
- модульность. Модульность позволяет сделать заказную комплектацию системы в зависимости от поставленной задачи. Типовыми модулями могут быть, например, модуль ввода-вывода, модуль визуализации, модуль алармов, модуль трендов, модуль отчетов, модуль коммерческого учета энергоресурсов и др.;
- стоимость обслуживания;
- условия обновления версий;
- надежность поставщика, наличие опыта практического применения;
- стоимость обучения;
- стоимость технической поддержки;
- методы ценообразования.

Общим недостатком универсальных SCADA является их низкая экономическая эффективность при использовании для решения простых задач. Несмотря на то, что цена SCADA-пакетов существенно снижается при уменьшении количества доступных пользователю тегов и набора модулей, остается высокой цена технической поддержки. Также дорогой (трудоемкой) остается адаптация универсальной SCADA к конкретной задаче. Поэтому ряд фирм предлагают более узкоспециализированные, но достаточно простые в настройке микро-SCADA с сокращенной функциональностью, например, пакет RLDataView.

Программное обеспечение

Ниже мы рассмотрим отличительные особенности двух известных пакетов: MasterSCADA и Trace Mode.

MasterSCADA

Система MasterSCADA предназначена для создания полномасштабных систем автоматизации в различных отраслях промышленности. Основной ее особенностью является объектный подход, использованный на уровне описания системы при ее настройке на конкретный объект автоматизации. Например, цех, участок, технологический блок и физическое устройство при

создании проекта с помощью MasterSCADA рассматриваются как отдельные объекты. Для каждого объекта создается свое описание на технологическом языке программирования. Описание включает в себя свойства объекта и документы объекта. Свойствами могут быть период опроса, способ линеаризации датчика, диапазон входных сигналов. Документами объекта являются его изображение, мнемосхема, график изменения переменных и т. п. Любой документ в системе относится к некоторому объекту. Такой подход позволяет легко размножать один раз созданные объекты, что повышает скорость настройки SCADA на задачу пользователя.

К признакам объектного подхода относится также возможность наследования всех настроек от "родительских" объектов. Это означает, что в MasterSCADA нет необходимости вводить настройки для каждого типа объектов "с нуля". Можно использовать наследование этих настроек от родительского объекта, изменив в них только те параметры, которые отличают родителя от потомка.

Созданные объекты можно копировать с целью многократного использования. При копировании объекта сохраняются все связанные с ним документы и свойства. Связи с внешними источниками и приемниками данных восстанавливаются после копирования, если в системе имеются такие источники или свободные приемники данных (физические устройства). Это позволяет пополнять библиотеку объектов вновь созданными экземплярами и использовать объекты, созданные другими разработчиками.

Trace Mode

SCADA-система Trace Mode 6 фирмы AdAstrA состоит из инструментальной системы и набора исполнительных модулей. В состав Trace Mode 6 входят также средства управления бизнес-процессами производственного предприятия.

Для увеличения скорости разработки проекта пользователя применяется оригинальная технология автопостроения. Автоматически в SCADA могут быть построены:

- ✓ источники данных ПЛК и модулей ввода-вывода по известной конфигурации;
- ✓ каналы по источникам данных;
- ✓ связи каналов из редактора аргументов;
- ✓ связи контроллер-сервер и сервер-сервер;
- ✓ SQL-запросы;
- ✓ связи с OPC-сервером;
- ✓ связь с ODBC.

Автопостроение позволяет снизить количество ошибок, допускаемых пользователем при ручном создании проекта.

В пятой версии Trace Mode инструментальная система представлена в виде отдельных компонентов, в 6-ой использована интегрированная среда разработки.

В систему Trace M ode 6 включены пять языков программирования – Techno SFC, Techno LD, Techno FBD, Techno ST, и Techno IL, которые являются расширениями соответствующих языков стандарта МЭК 61131-3.

Заключение к главе "Программное обеспечение"

Основными тенденциями развития программного обеспечения для средств автоматизации являются максимальное упрощение процесса программирования и обеспечение открытости инструментальных средств. Конечной целью является предоставление потребителю возможности построения качественной системы автоматизации в максимально короткий срок.

Долгий период неопределенности в средствах программирования ПЛК и SCADA пакетов завершился принятием общепризнанного стандарта МЭК 61131-3 и созданием на его основе инструментальных средств программирования, которые поддерживаются фирмами, специализирующимися на программном обеспечении.

Существенный вклад в открытость систем автоматизации внес стандарт OPC, обеспечивший системным интеграторам широчайший выбор аппаратного обеспечения, совместимого с любыми стандартными SCADA пакетами, а разработчикам контроллерного оборудования - расширение рынков сбыта.

Контрольные вопросы по теме

Уровень курса

1. Функции SCADA.
2. Разработка человеко-машинного интерфейса.
3. SCADA как система диспетчерского управления.
4. SCADA как часть системы автоматического управления.
5. Свойства SCADA.

Лекція № 22

Тема: Жизненный цикл системы**Оглавление**

Единая система конструкторской документации ЕСКД	3
Украинское положение о разработке образцов ракетно-космической техники.	4
Российские стандарты	5
Державні будівельні норми.....	5
Жизненный цикл системы в соответствии со сложившейся практикой создания и эксплуатации систем в Украине и других постсоветских государствах	6
ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering -- System life cycle processes (Системная и программная инженерия - Процессы жизненного цикла систем)	7
Процесс определения требований правообладателей.....	8
Процесс анализа требований	9
Процесс проектирования архитектуры.....	9
Процесс реализации элементов системы.....	10
Процесс комплексирования	10
Процесс верификации.....	10
Процесс передачи.....	10
Процесс валидации	11
Процесс функционирования	11
Процесс обслуживания.....	11
Процесс изъятия и списания	11
Контрольные вопросы по теме	13
Уровень модуля.....	13
Уровень курса.....	13
Задание для самостоятельной работы.....	13

Источники:

1. ГОСТ 2.102-68 «Виды и комплектность конструкторских документов»
2. ГОСТ 2.102-68 «Стадии разработки»
3. ГОСТ Р 15.201–2000 Система разработки и постановки продукции на производство. ПРОДУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. Порядок разработки и постановки продукции на производство
4. ДБН А.2.2-3-2012 СКЛАД ТА ЗМІСТ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА БУДІВНИЦТВО
5. ДБН.А.3.1-3-94. ПРИЙНЯТТЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ ЗАКІНЧЕНИХ БУДІВНИЦТВОМ ОБ'ЄКТІВ. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем

Единая система конструкторской документации ЕСКД

Стандарты и нормы, созданные в советский период (ГОСТ), также как и стандарты и нормы, созданные в постсоветский период на основе этих стандартов в странах бывшего СССР, не определяют и не содержат в явном виде этапы, стадии или фазы жизненного цикла изделия. Тем не менее, косвенное или частичное упоминание этих стадий в стандартах имеется. Так, например, ГОСТ 2.102-68 «Виды и комплектность конструкторских документов» упоминает следующие стадии жизненного цикла изделия: разработка, изготовление, приемка, эксплуатация и ремонт. ГОСТ 2.102-68 «Стадии разработки» определяет следующие стадии разработки и их содержание. Отметим, что стадия разработки сама по себе является только одной из ряда последовательных стадий жизненного цикла изделия или системы.

<i>Стадия разработки</i>	<i>Этапы выполнения работ</i>
Техническое предложение	Подбор материалов. Разработка технического предложения. Рассмотрение и утверждение технического предложения.
Эскизный проект	Разработка эскизного проекта. Изготовление и испытание макетов (при необходимости). Рассмотрение и утверждение эскизного проекта.
Технический проект	Разработка технического проекта. Изготовление и испытание макетов (при необходимости). Рассмотрение и утверждение технического проекта.

<p>Рабочая конструкторская документация: а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления)</p>	<p>Разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии). Изготовление и предварительные <i>испытания опытного образца</i> (опытной партии). Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии). Приемочные испытания опытного образца (опытной партии). Корректировка конструкторской документации по результатам приемочных испытаний опытного образца (опытной партии). Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии).</p>
<p>б) серийного (массового) производства</p>	<p><i>Изготовление</i> и испытание установочной серии. Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия. Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, — изготовление и испытание головной (контрольной) серии и соответствующая корректировка документов.</p>

Украинское положение о разработке образцов ракетно-космической техники.

НКАУ в своих нормативных документах («Положение о разработке образцов ракетно-космической техники (ОРКТ)») определяет следующие этапы создания космического ракетного комплекса.

Розробка (модернізація), виготовлення та експлуатація ОРКТ та їх складових частин, систем, агрегатів (приладів) повинно здійснюватися за такими етапами:

- аванпроект (технічні пропозиції);

- ескізний проект;
- розробка робочих документів на дослідні складові частини ОРКТ (в тому числі, при необхідності, макети);
- виготовлення дослідних зразків, попередні випробування (автономні, комплексні) та коригування робочих документів;
- приймальні випробування (міжвідомчі, льотні);
- підготовка документів на ОРКТ серійного виробництва;
- підготовка і освоєння серійного виробництва, виготовлення, випробування ОРКТ і коригування документів;
- введення в експлуатацію;
- експлуатація.

Российские стандарты

Российский стандарт ГОСТ Р 15.201–2000 определяет, что разработка и постановка продукции на производство в общем случае предусматривает:

- 1) разработку ТЗ на опытно-конструкторскую работу (ОКР);
- 2) проведение ОКР, включающей:
 - разработку технической документации [конструкторской (КД) и технологической (ТД)],
 - изготовление опытных образцов,
 - испытания опытных образцов,
 - приемку результатов ОКР;
- 3) постановку на производство, включающую:
 - подготовку производства,
 - освоение производства:
 - изготовление установочной серии,
 - квалификационные испытания.

Державні будівельні норми

В строительстве стадии объекта несколько отличаются от стадий изделия технического или бытового назначения, что связано с особенностями этого вида деятельности. Основное отличие в том, что при проведении строительства опытные образцы не изготавливаются и не испытываются. Также не проводятся научно-исследовательские работы. В то же время, технические системы, заказываемые для оснащения зданий и сооружений, обладают жизненным циклом таким же, как и все другие технические системы. Поэтому возникает необходимость того, чтобы создание таких систем было «вписано» в рамки жизненного цикла объекта строительства.

Державні будівельні норми передбачають наступні стадії життєвого циклу об'єкта будівництва.

- Стадії проектування (ДБН А.2.2-3-2012 СКЛАД ТА ЗМІСТ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА БУДІВНИЦТВО):
 - техніко-економічне обґрунтування (ТЕО);
 - техніко-економічний розрахунок (ТЕР);
 - ескізний проект (ЕП);
 - проект (П);
 - робочий проект (РП);
 - робоча документація (Р)
 - Будівництво
 - Монтаж технологічного обладнання
 - ПРИЙНЯТТЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ ЗАКІНЧЕНИХ БУДІВНИЦТВОМ ОБ'ЄКТІВ

Жизненный цикл системы в соответствии со сложившейся практикой создания и эксплуатации систем в Украине и других постсоветских государствах

Отсутствие четкого выделения всех стадий жизненного цикла в едином нормативном документе объясняется разнообразием видов систем, степени их сложности, различием в назначении и в степени ответственности. Вследствие такого многообразия невозможно дать один перечень стадий и содержания работ в стадиях для всех видов систем. Следует отметить также, что в советских стандартах понятие «система» не выделялась как отдельная категория, всегда рассматривались только изделия, в том числе и системы. Также в то время еще не выделилась явно программная составляющая (software) как неотъемлемая часть системы. Понимание единства программной и аппаратной части системы пришло в последующие десятилетия. То есть, советские стандарты являются устаревшими, а современные «постсоветские» стандарты, основывающиеся на ГОСТах и продолжающие их, оказались «законсервированными» в старых понятиях и отстали от требований времени. Таким образом, для определения жизненного цикла системы необходимо выработать совершенно другой подход, отказавшись от наследия старых ГОСТов. Иной подход демонстрирует стандарт ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering -- System life cycle processes (Системная и программная инженерия - Процессы жизненного цикла систем), разработанные Международной организацией по стандартизации (ISO) и международной электротехнической комиссией (IEC). Этот подход

базирується на понятті «процесс». Положення цього стандарта будут рассмотрены ниже.

Важно указать, что отсутствие в нормативной документации строгого определения жизненного цикла системы является отрицательным фактором при взаимодействии заказчиков и разработчиков систем. Единое, одинаково понимаемое всеми сторонами выделение стадий жизненного цикла, необходимо для правильного определения объема работ и, соответственно – стоимости работ при заключении и выполнении контракта.

Обобщая вышесказанное, а также учитывая сходную практику, сложившуюся в промышленности стран бывшего СССР, основанную на применении ГОСТов, можно выделить следующие стадии (фазы, этапы) жизненного цикла системы, в том числе систем контроля.

1. Контрактная стадия: запрос, предложение, обсуждение, заключение контракта.
2. Разработка конструкторской документации.
3. Изготовление и испытания опытных образцов.
4. Разработка технологической документации.
5. Подготовка производства.
6. Изготовление.
7. Монтаж, пуско-наладочные работы.
8. Ввод в эксплуатацию.
9. Эксплуатация.
10. Утилизация.

ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering -- System life cycle processes (Системная и программная инженерия - Процессы жизненного цикла систем)

Важно подчеркнуть, что международные стандарты по управлению не оперируют понятиями стадия или фаза. Основной единицей в структуре управления является «процесс». Под процессом понимается совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы.

После выделения процессов могут быть определены стадии, которые объединяют крупные блоки работ в определенные временные рамки. Эти блоки должны иметь явно выраженный результат. Стадии могут перекрываться по времени.

Процессы жизненного цикла системы подразделяются на четыре группы процессов:

- процессы соглашения;

- процессы предприятия;
- процессы проекта;
- технические процессы.

Процессы соглашения состоят из:

- a) процесса приобретения, используемого организациями для приобретения продукции или получения услуг;
- b) процесса поставки, используемого организациями для поставок продукции или оказания услуг.

Процессы предприятия включают в себя:

- a) процесс управления средой предприятия;
- b) процесс управления инвестициями;
- c) процесс управления процессами жизненного цикла системы;
- d) процесс управления ресурсами;
- e) процесс управления качеством.

Процессы проекта состоят из следующих процессов:

- a) процесс планирования проекта;
- b) процесс оценки проекта;
- c) процесс контроля проекта;
- d) процесс принятия решений;
- e) процесс управления рисками;
- f) процесс управления конфигурацией;
- g) процесс управления информацией.

Технические процессы включают в себя:

- a) процесс определения требований правообладателей;
- b) процесс анализа требований;
- c) процесс проектирования архитектуры;
- d) процесс реализации элементов системы;
- e) процесс комплексирования;
- f) процесс верификации;
- g) процесс передачи;
- h) процесс валидации;
- i) процесс функционирования;
- j) процесс технического обслуживания;
- k) процесс изъятия и списания.

Процесс определения требований правообладателей

Цель процесса определения требований правообладателей состоит в выявлении требований к системе, выполнение которых может обеспечить функциональные возможности, необходимые пользователям системы и иным заинтересованным лицам в заданной эксплуатационной среде.

Процесс позволяет определить правообладателей или классы правообладателей, которые связаны с системой на протяжении всего жизненного цикла, а также их потребности и пожелания. В рамках процесса эти данные анализируются и преобразуются в общий набор требований правообладателей, описывающих ожидаемое поведение системы в процессе взаимодействия с эксплуатационной средой, и совокупность базовых показателей, проверка на соответствие которым является целью процесса валидации, позволяющего подтвердить, что система отвечает заявленным требованиям.

Процесс анализа требований

Цель процесса анализа требований состоит в преобразовании требований правообладателя, выраженных в виде его представлений о желаемых функциональных возможностях, в техническое видение требуемого продукта, способного предоставить такие функциональные возможности.

В ходе этого процесса создается представление о будущей системе, которая сможет удовлетворить требования правообладателей и, если позволят ограничения, не подразумевают какой-либо специфической реализации. В результате данного процесса задаются измеримые системные требования, зависящие от видения разработчика, в которых определяется, какими характеристиками должна обладать система и какими должны быть значения этих характеристик, чтобы удовлетворить требования правообладателей.

Процесс проектирования архитектуры

Цель процесса проектирования архитектуры состоит в синтезе решения, которое бы удовлетворяло системным требованиям.

Этот процесс выделяет и устанавливает области решения, представленные в виде набора различных проблем управленческого, концептуального и, наконец, реализационного характера. В рамках процесса определяются и исследуются одна или несколько стратегий реализации системы со степенью детализации, соответствующей техническим и коммерческим требованиям и рискам. Исходя из этого выбирается решение о проектировании архитектуры. Оно определяется на основе требований к набору системных элементов, из которых komponуется система. Конкретные требования, формируемые в результате этого процесса, являются основой для проведения верификации реализованной системы и для разработки стратегий комплексирования и верификации.

Процесс реализации элементов системы

Цель процесса реализации элементов системы состоит в создании заданных (специфицированных) элементов системы.

В ходе этого процесса происходит преобразование заданных поведенческих, интерфейсных и производственных ограничений в действия по реализации, в результате которых в соответствии со сложившимися правилами и технологией создается элемент системы. Системный элемент конструируется или адаптируется путем обработки материалов и (или) информации, соответствующих выбранной технологии реализации, и использования соответствующих технических приемов и дисциплин. Результатом процесса является элемент системы, удовлетворяющий как архитектурным решениям, что подтверждается при верификации, так и требованиям правообладателей, что подтверждается при валидации.

Процесс комплексирования

Цель процесса комплексирования заключается в сборке системы согласно архитектурному проекту.

В ходе этого процесса системные элементы комбинируются таким образом, чтобы сформировать конфигурацию всей системы или ее части и создать продукт в соответствии с заданными системными требованиями.

Процесс верификации

Цель процесса верификации состоит в подтверждении того, что заданные (специфицированные) требования проекта полностью реализованы в системе.

В ходе этого процесса получают информацию, которая требуется для совершения действий по устранению недостатков, что позволяет корректировать несоответствия в реализованной системе или процессы, происходящие в ней.

Процесс передачи

Цель процесса передачи состоит в достижении способности обеспечивать услуги в среде функционирования согласно заданным требованиям правообладателей.

В ходе этого процесса в соответствии с соглашениями приводится в рабочее состояние верифицированная система вместе с соответствующими обеспечивающими системами, например, операционной системой, системой поддержки, системой обучения операторов, системой обучения пользователей.

Процесс валидации

Цель процесса валидации заключается в получении объективных доказательств того, что функции, обеспечиваемые системой при ее использовании, соответствуют требованиям правообладателей.

В ходе данного процесса выполняется сравнительная оценка и подтверждается тот факт, что требования правообладателей правильно определены. В случае обнаружения отклонений они регистрируются и корректируются. Валидация системы утверждается правообладателями.

Процесс функционирования

Цель процесса функционирования состоит в использовании системы для выполнения заданных функций.

В ходе этого процесса назначается персонал для работы в системе контроля выполнения функций и рабочих характеристик взаимодействия в звене "оператор-система". Для поддержания соответствующих услуг определяются и анализируются проблемы функционирования, связанные с соглашениями, требованиями правообладателей и организационными ограничениями.

Процесс обслуживания

Цель процесса обслуживания состоит в поддержании способности системы выполнять заданные функции.

В ходе данного процесса контролируется способность системы выполнять заданные функции, регистрируются проблемы для анализа, предпринимаются действия по корректировке, адаптации, исправлению и предупреждению нарушений функционирования, а также подтверждаются возможности выполнения функций в случае их восстановления после нарушений функционирования.

Процесс изъятия и списания

Цель процесса изъятия и списания состоит в прекращении существования системного объекта.

В течение этого процесса происходит деактивация, демонтаж и удаление системы и любых отходов, переход их в финальное состояние, возвращение окружающей среды к начальным или приемлемым условиям. В ходе данного процесса происходит уничтожение, сохранение или восстановление полезных свойств системного элемента и отходов экологически приемлемым способом в соответствии с законодательством, соглашениями, организационными ограничениями и требованиями правообладателей. При необходимости ведутся записи с целью контроля

состояния здоровья операторов и пользователей, а также безопасности окружающей среды.

Стадии жизненного цикла согласно ISO/IEC/IEEE 15288:2015 не регламентируются, а должны составляться при создании системы для конкретных условий. В качестве типичного набора стадий жизненного цикла системы приводится следующий перечень:

1. Стадия замысла.
2. Стадия разработки.
3. Стадия производства.
4. Стадия применения.
5. Стадия поддержки применения.
6. Стадия прекращения применения и списания.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. Перечислите этапы жизненного цикла системы в соответствии со сложившейся практикой создания и эксплуатации систем в Украине и других постсоветских государствах.
2. Какие четыре группы процессов жизненного цикла изделия выделяет стандарт ISO/IEC/IEEE 15288:2015.
3. Какова цель процесса определения требований правообладателей?
4. Какова цель процесса анализа требований?
5. Какова цель процесса проектирования архитектуры?
6. Какова цель процесса реализации элементов системы?
7. Какова цель процесса комплексирования?
8. Какова цель процесса верификации?
9. Какова цель процесса передачи?
10. Какова цель процесса валидации?
11. Какова цель процесса функционирования?
12. Какова цель процесса технического обслуживания?
13. Какова цель процесса изъятия и списания?

Уровень курса

1. Жизненный цикл системы в соответствии со сложившейся практикой создания и эксплуатации систем в Украине. Нормативная база для определения стадий жизненного цикла.
2. Технические процессы жизненного цикла системы и их цели в соответствии с ISO/IEC/IEEE 15288:2015.

Задание для самостоятельной работы

Сопоставить и сравнить стадии жизненного цикла системы в соответствии со сложившейся практикой в Украине и технические процессы жизненного цикла в соответствии с ISO/IEC/IEEE 15288:2015. К следующему занятию составить сравнительную таблицу. Следует учитывать, что одна стадия может включать несколько процессов и наоборот. Также возможно перекрытие стадий и процессов.

Таблицу подготовить в любой удобной форме: печатной или «от руки». Строгость в оформлении не требуется. Если есть средства для демонстрации непосредственно на занятии, то возможно представление и в электронном виде.

Лекція № 23

Тема: Порядок разработки системы: техническое задание и состав конструкторской документации

Оглавление

Техническое задание и его назначение.....	3
Техническое задание как неотъемлемая часть контракта	5
Техническое задание как неотъемлемая часть проекта	5
Контроль выполнения требований ТЗ	6
Частные технические задания.....	6
Типовое содержание ТЗ на примере технического задания системы управления ракеты-носителя	7
Виды изделий	8
Конструкторская документация	11
Виды и типы схем	13
Основной конструкторский документ	14
Контрольные вопросы по теме	15
Уровень модуля.....	15
Уровень курса.....	16

Источники:

1. ГОСТ 2.102-68 «Стадии разработки»
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем
3. ГОСТ 2.101-68 Единая система конструкторской документации. Виды изделий.
4. ГОСТ 2.102-68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.
5. ДБН А.2.2-3-2012 СКЛАД ТА ЗМІСТ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА БУДІВНИЦТВО
6. Динамическое проектирование ракет. Задачи динамики ракет и их космических ступеней: монография /И.М.Игдалов, Л.Д.Кучма, Н.В.Поляков, Ю.Д.Шептун; под ред. акад. С.Н.Конюхова. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та, 2010. – 264 с.

Техническое задание и его назначение

Техническое задание (ТЗ) является основой для разработки и последующего изготовления системы. ТЗ содержит все требования, которые должны быть выполнены при создании системы, начиная от назначения, наименования, индекса, общих и специальных требований и заканчивая требованиями по утилизации системы.

Без ТЗ система создана быть не может. Техническое задание отражает все требования заказчика и одновременно понимание задачи исполнителем. ТЗ является компромиссом между желанием заказчика получить определенный продукт и возможностями исполнителя предоставить данный продукт.

Если разработка системы выполняется в инициативном порядке, то ТЗ выдается не от заказчика к исполнителю, а формируется внутри предприятия. При этом иницируют, формируют основные требования и контролируют ТЗ одно подразделение, ответственное за стратегические технические вопросы внутри предприятия, а принимает ТЗ подразделение, ответственное за создание системы. Между этими двумя подразделениями возникают отношения, аналогичные отношениям между заказчиком и исполнителем. В этом случае ТЗ содержит не требования заказчика, а набор требований, которые определяют потребности будущего потребителя создаваемой продукции или системы. Для качественного определения этих потребностей должны быть проведены необходимые исследования.

Несмотря на огромную важность ТЗ для создания системы стандарты бывшего СССР не определяли ни форму, ни содержание этого документа. В свое время был создан единственный документ, относящийся к этому вопросу – это стандарт на разработку тактико-технического задания на работы по заказу Министерства обороны. Однако данный стандарт не публиковался, применялся исключительно в военной отрасли и не был доступен инженерам других отраслей.

Поскольку стандарты не регламентируют ТЗ, то документ, являющийся, по сути, техническим заданием, не всегда так называется. В качестве ТЗ может выступать документ, называемый Технические требования, Тактико-технические требования, Исходные данные и т.д. Форму и содержание подобного документа обычно определяют совместно заказчик и исполнитель. Если документ определяется как требования или исходные данные, то он содержит исключительно технические требования к системе. На практике зачастую необходимо приводить и некоторые требования к выполнению работы по созданию системы, например состав выпускаемых документов, этапы работ и тому подобное, – то есть необходимо добавлять бизнес-требования, а не только технические. Поэтому, в практике заказчиков

и исполнителей постсоветских государств, в подавляющем большинстве случаев выпускаемое ТЗ содержит и технические и управленческие требования. То есть оно является заданием не только на саму систему, но и на весь проект, в рамках которого создается система.

В западных странах документ, аналогичный техническому заданию, также обязателен. У зарубежных разработчиков этот документ тоже может называться по-разному. Наибольшее распространение и самым близким аналогом ТЗ является Statement of Work. Statement of Work в большей степени является заданием на проект, на работы по созданию системы и среди прочих включает в себя технические требования к самой системе. Подобный документ может иметь и такие названия:

- System requirements,
- Requirement specification
- Functional specification
- Design specification, Product specification

Документы с приведенными выше названиями отражают в первую очередь технические требования к системе и, чаще всего не включают бизнес-требований. При этом первые два документа являются более общими, третий и четвертый являются более специфичными. В частности, Functional specification содержит только функциональные требования (требования по назначению и требуемые характеристики будущего изделия). Design specification или Product specification содержат требования к структуре системы: ее состав, деление на составные части, требуемые параметры и т.д., то есть, по сути, Design specification и Product specification сами по себе уже являются результатом разработки (или, как минимум, начальной проработки системы).

Упомянув термин «спецификация» (specification), важно указать, что его употребление может привести к определенной путанице. Дело в том, что английский термин specification совершенно не связан с понятием, которое определено в ГОСТ: «спецификация – основной конструкторский документ, для сборочной единицы, комплекса, комплекта, который в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяют данное изделие и его состав» и также не связан с терминами data sheet или spec sheet, которые у нас также переводятся как спецификация, а по существу представляют собой краткие технические сведения о системе. То есть в используемой технической терминологии, «спецификация» и в русском и английском варианте specification может принимать очень разные значения и применяться по-разному.

Ключевым положением любого ТЗ является указание о том, в соответствии с какими нормативными документами должна вестись разработка системы. Это положение имеет особую важность в настоящее время, когда в Украине осуществляется переход от стандартов бывшего СССР и так называемых межгосударственных стандартов, действующих на территории постсоветских государств, к международным и европейским стандартам.

Техническое задание как неотъемлемая часть контракта

Техническое задание (или аналогичный документ, его заменяющий) является неотъемлемой частью контракта. Контракт на разработку системы всегда содержит фразу, что «система должна соответствовать ТЗ такому-то», или что «работы по контракту должны выполняться в соответствии с ТЗ таким-то». ТЗ или документу, его замещающему, обычно присваивается номер.

Невыполнение пунктов ТЗ рассматривается как невыполнение контракта с вытекающими из этого юридическими и финансовыми последствиями. С другой стороны, изменение ТЗ в процессе выполнения контракта, когда разработка или изготовление уже идут, например требование о повышении точности, или изменение по требованию заказчика функций и характеристик системы, таких как защищенность данных или надежность системы, всегда влечет за собой изменение стоимости контракта. Поэтому и заказчик, и исполнитель должны тщательно проработать все пункты ТЗ еще до начала действия контракта.

В инженерной деятельности один и тот же специалист может выполнять и функции заказчика и функции исполнителя в зависимости от текущих интересов предприятия. Поэтому понимание необходимости тщательной подготовки ТЗ является важнейшим качеством современного квалифицированного специалиста.

Техническое задание как неотъемлемая часть проекта

При выполнении инициативных работ ТЗ играет такую же важную роль, как и при наличии контрактных отношений, несмотря на то, что взаимодействие происходит внутри одного и того же предприятия. Правильная, точная формулировка системных требований обеспечивает быструю и качественную разработку. Наличие в ТЗ неопределенностей и неясностей приводит к ошибкам при разработке и получению технического результата, отличного от того, который был поставлен целью данной инициативной разработки. Исправление ситуации, перепроектирование, проведение дополнительных испытаний, повторное изготовление и тому

подобная непредусмотренная ранее деятельность приводит к срыву сроков выполнения проекта и, как следствие, – к задержке к выходу на рынок и финансовым потерям предприятия. В особо сложных случаях проект может быть прекращен. Участвовавшие в проекте специалисты теряют свою репутацию. Поэтому задачей каждого специалиста – обеспечение разработки качественного технического задания, правильное понимание потребностей будущего пользователя, точная и ясная формулировка всех пунктов ТЗ.

Контроль выполнения требований ТЗ

При завершении контракта или при завершении инициативного проекта выполнение всех пунктов ТЗ должно быть проконтролировано, что является частью приема работ. Поэтому исполнитель при согласовании должен заранее продумывать каким образом он сможет подтвердить выполнение требований ТЗ и не допускать включение в ТЗ пунктов, выполнение которых он технически не сможет подтвердить, или подтверждение которых потребует больших финансовых затрат, не предусмотренных контрактом. Заказчик также заинтересован в ясном понимании того, возможно ли подтверждение того или иного требования ТЗ приемлемым техническим способом. В противном случае заказчик рискует принять систему, которая не отвечает его требованиям.

Частные технические задания

Исполнитель получает ТЗ на создание системы от заказчика. Сложные системы не могут быть разработаны или изготовлены одним предприятием. Составные части системы исполнитель, который в таком случае называется Главным исполнителем, заказывает у других специализированных предприятий. Для того, чтобы эти предприятия могли выполнять работы Главной исполнитель разрабатывает и выдает этим субподрядчикам отдельные ТЗ, на основании которых данный субподрядчик будет разрабатывать свои подсистемы. Такое ТЗ разрабатывается на основе Главного ТЗ (главного ТЗ, полученного от основного, главного заказчика, который в данном случае называется Главным заказчиком) и называется *частным техническим заданием*.

В настоящее время широко распространена практика, когда Главным исполнителем является некая инжиниринговая компания, которая не имеет в своем составе штата специалистов – разработчиков, а также не имеет в своем составе производственных мощностей. Такая инжиниринговая компания выполняет управление проектом по созданию системы, заказывая разработку составных частей системы и их изготовление, а также интеграцию всей системы у других специализированных предприятий. Она несет полную

ответственность за выполнение всего комплекса работ перед Главным заказчиком. Создание составных частей системы происходит по частным ТЗ.

Типовое содержание ТЗ на примере технического задания системы управления ракеты-носителя

Объем и содержание типичного технического задания, используемого в ракетной технике, приведено в книге [6]. Ниже приводится его оглавление. ТЗ предназначено для разработки Системы управления ракеты-носителя и содержит наиболее широкий перечень требований, которые должны быть отражены в техническом задании.

1. Наименование разработки. Основание для разработки
2. Цель разработки. Назначение системы
3. Технические требования
 - 3.1. Состав системы
 - 3.2. Общие требования к системе
 - 3.3. Требования к бортовой системе управления
 - 3.4. Требования к наземной аппаратуре системы управления
 - 3.5. Требования к надежности
 - 3.6. Требования к взаимодействию со смежными системами
 - 3.7. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта
 - 3.8. Требования к живучести и стойкости к внешним воздействиям
 - 3.9. Требования к радиоэлектронной защите
 - 3.10. Конструктивные требования
 - 3.11. Требования по транспортабельности
 - 3.12. Требования к безопасности
 - 3.13. Требования к стандартизации и унификации
 - 3.14. Требования к эргономике и технической эстетике
 - 3.15. Требования к технологичности
 - 3.16. Требования к патентной чистоте
4. Требования к видам обеспечения
 - 4.1. Требования к метрологическому обеспечению
 - 4.2. Требования к программно-математическому обеспечению
5. Техничко-экономические требования
6. Требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям
7. Требования к консервации, упаковке и маркировке
8. Требования по обеспечению сохранения государственной и военной тайны

8.1. Требования по обеспечению сохранения государственной и военной тайны

8.2. Требования к сохранению коммерческой тайны

9. Этапы выполнения работ

10. Порядок выполнения и приёмки этапов работ

11. Ссылочные нормативные документы

12. Перечень принятых сокращений.

Разумеется, что не все разделы и не все пункты, перечисленные выше, должны включаться в ТЗ на каждую систему. Полный перечень требований всегда определяется назначением системы и условиями ее применения. Приведенный перечень дан для примера, и может быть взят за основу при разработке конкретного ТЗ. Он может быть как дополнен, так и урезан. Но в целом он дает ориентировку на то, что следует включить в техническое задание.

Отдельные пункты из приведенного выше перечня требований в современные ТЗ не вводятся. Это относится, например, к разделу «Техно-экономические требования». Поскольку эти требования являются частью контрактных условий, то помещаются в другие контрактные документы. Такой раздел как «Требования к стандартизации и унификации» в условиях плановой экономики реализовывал директивные требования государства, в настоящее время в качестве требований заказчика этот раздел неактуален: любое предприятие, если желает снизить себестоимость продукции, вынуждено повышать уровень стандартизации и унификации изделий и это является частью политики предприятия. То же относится к разделу «Требования к технологичности».

Если идет речь о разработке программного комплекса, то в ТЗ дополнительно включаются разделы:

- требования к составу и параметрам технических средств;
- требования к информационной и программной совместимости;

Виды изделий

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Устанавливаются следующие виды изделий:

- а) детали;
- б) сборочные единицы;
- в) комплексы;
- г) комплекты.

Определение видов изделий приведено в таблице.

Вид изделия	Определение
Деталь	<p>Изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, например: валик из одного куска металла, литой корпус; пластина из биметаллического листа; печатная плата; маховичок из пластмассы (без арматуры); отрезок кабеля или провода заданной длины. Эти же изделия, подвергнутые покрытиям (защитным или декоративным), независимо от вида, толщины и назначения покрытия, или изготовленные с применением местной сварки, пайки, склейки, сшивки и т.п., например: винт, подвергнутый хромированию; трубка, спаянная или сваренная из одного куска листового материала; коробка, склеенная из одного куска картона</p>
Сборочная единица	<p>Изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т.п.), например: автомобиль, станок, телефонный аппарат, микромодуль, редуктор, сварной корпус, маховичок из пластмассы с металлической арматурой.</p> <p>К сборочным единицам, при необходимости, также относят:</p> <p>а) изделия, для которых конструкцией предусмотрена разборка их на составные части предприятием-изготовителем, например, для удобства упаковки и транспортирования;</p> <p>б) совокупность сборочных единиц и (или) деталей, имеющих общее функциональное назначение и совместно устанавливаемых на предприятии-изготовителе в другой сборочной единице, например: электрооборудование станка, автомобиля, самолета; комплект составных частей врезного замка (замок, запорная планка, ключи);</p> <p>в) совокупность сборочных единиц и (или) деталей, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных на предприятии-изготовителе в укладочные средства (футляр, коробку и т.п.), которые предусмотрено использовать вместе с уложенными в них изделиями, например: готовальня, комплект концевых плоскопараллельных мер длины</p>

Комплекс	<p>Два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.</p> <p>Каждое из этих специфицированных изделий, входящих в комплекс, служит для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса, например цех-автомат; завод-автомат, автоматическая телефонная станция, бурильная установка; изделие, состоящее из метеорологической ракеты, пусковой установки и средств управления; корабль.</p> <p>В комплекс, кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа комплекса на месте его эксплуатации; комплекс запасных частей, укладочных средств, тары и др.</p>
Комплект	<p>Два и более изделия, несоединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары и т. п.</p> <p>К комплектам также относят сборочную единицу или деталь, поставляемую вместе с набором других сборочных единиц и (или) деталей, предназначенных для выполнения вспомогательных функций при эксплуатации этой сборочной единицы или детали, например: осциллограф в комплекте с укладочным ящиком, запасными частями, монтажным инструментом, сменными частями</p>

К покупным относятся изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им в готовом виде.

Структура изделий приведена на схеме.

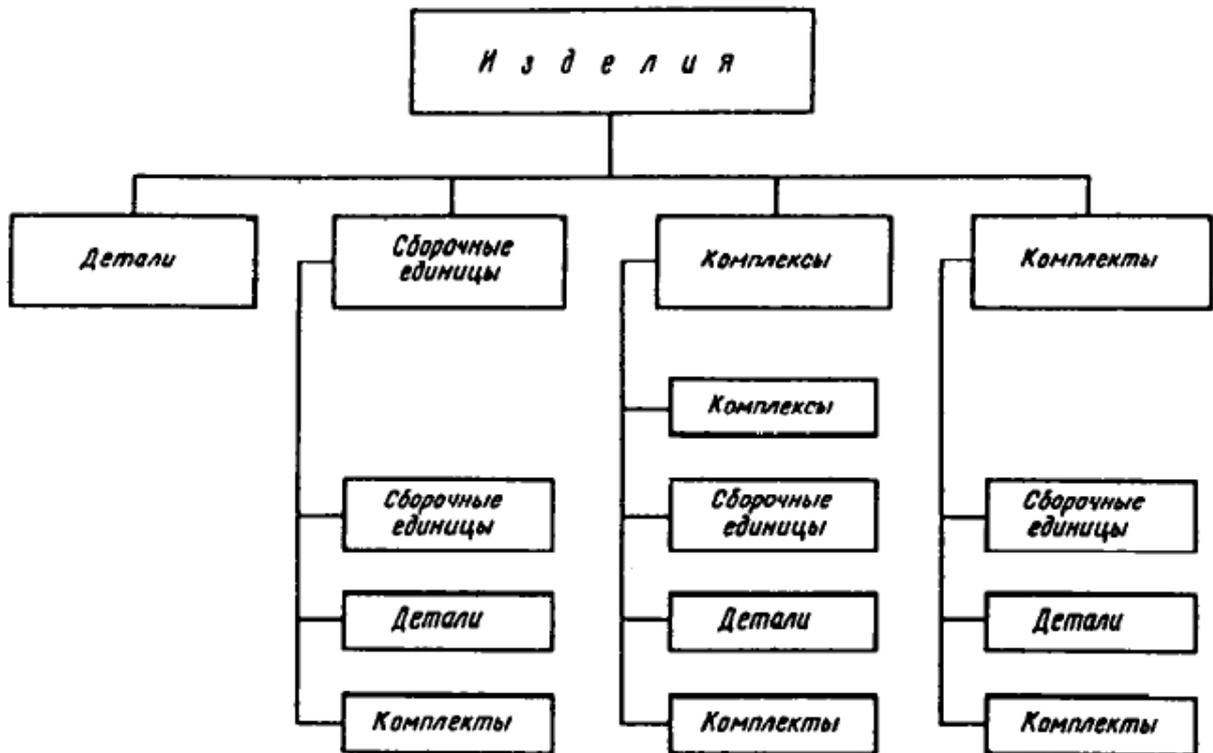


Рис. 23.1 Структура изделий

Конструкторская документация

К конструкторским документам (именуемым в дальнейшем словом «документы») относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

Документы подразделяют на виды, указанные в таблице.

Вид документа	Определение
Чертеж детали	Документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля
Сборочный чертеж	Документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. К сборочным чертежам также относят чертежи, по которым выполняют гидромонтаж и пневмомонтаж
Чертеж общего вида	Документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняющий принцип работы изделия

Теоретический чертеж	Документ, определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения составных частей
Габаритный чертеж	Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами
Электромонтажный чертеж	Документ, содержащий данные, необходимые для выполнения электрического монтажа изделия
Монтажный чертеж	Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия, а также данные, необходимые для его установки (монтажа) на месте применения. К монтажным чертежам также относят чертежи фундаментов, специально разрабатываемых для установки изделия
Упаковочный чертеж	Документ, содержащий данные, необходимые для выполнения упаковывания изделия
Схема	Документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними
Спецификация	Документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта
Ведомость спецификаций	Документ, содержащий перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости
Ведомость ссылочных документов	Документ, содержащий перечень документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия
Ведомость покупных изделий	Документ, содержащий перечень покупных изделий, примененных в разрабатываемом изделии
Ведомость разрешения применения покупных изделий	Документ, содержащий перечень покупных изделий, разрешенных к применению в соответствии с ГОСТ 2.124—85
Ведомость держателей подлинников	Документ, содержащий перечень предприятий (организаций), на которых хранят подлинники документов, разработанных и (или) примененных для данного изделия
Ведомость технического предложения	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в техническое предложение
Ведомость эскизного проекта	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в эскизный проект
Ведомость технического проекта	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в технический проект

Пояснительная записка	Документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений
Технические условия	Документ, содержащий требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в других конструкторских документах
Программа и методика испытаний	Документ, содержащий технические данные, подлежащие проверке при испытании изделий, а также порядок и методы их контроля
Таблица	Документ, содержащий в зависимости от его назначения соответствующие данные, сведенные в таблицу
Расчет	Документ, содержащий расчеты параметров и величин, например, расчет размерных цепей, расчет на прочность и др.
Эксплуатационные документы	Документы, предназначенные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации
Ремонтные документы	Документы, содержащие данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях
Инструкция	Документ, содержащий указания и правила, используемые при изготовлении изделия (сборке, регулировке, контроле, приемке и т.п.)

Виды и типы схем

Схемы в зависимости от основного назначения подразделяют на следующие типы:

- структурные;
- функциональные;
- принципиальные (полные);
- соединений (монтажные);
- подключения;
- общие;
- расположения;
- объединенные.

Наименование и код схем определяют их видом и типом.

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы.

Виды схем обозначают буквами:

- электрические — Э;
- гидравлические — Г;
- пневматические — П;
- газовые (кроме пневматических) — Х;
- кинематические — К;
- вакуумные — В;
- оптические — Л;
- энергетические — Р;
- деления — Е;
- комбинированные — С.

Типы схем обозначают цифрами:

- структурные — 1;
- функциональные — 2;
- принципиальные (полные) — 3;
- соединений (монтажные) — 4;
- подключения — 5;
- общие — 6;
- расположения — 7;
- объединенные — 0;

Например, схема электрическая принципиальная — Э3; схема гидравлическая соединений — Г4; схема деления структурная — Е1.

При разработке приборов, устройств и систем контроля, управления и измерения чаще всего используются схемы Э3, Э4, Э5, Э6.

Основной конструкторский документ

Основной конструкторский документ изделия в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяют данное изделие и его состав. За основные конструкторские документы принимают:

- для деталей — чертеж детали;
- для сборочных единиц, комплексов и комплектов — спецификацию.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. В каких случаях выпускается ТЗ?
2. Какие Вам известны стандарты, которые регламентируют форму и содержание ТЗ?
3. Могут ли документы с другим названием использоваться в качестве ТЗ? Какие названия встречаются на практике?
4. ТЗ обычно содержит два рода требований. Какие?
5. Названия каких зарубежных документов, аналогичных техническому заданию, вам известны?
6. Обязаны ли указываться в ТЗ стандарты и нормативы? Если нет, то почему?
7. Как связаны контракт и ТЗ?
8. Существует ли связь между стоимостью контракта и содержанием ТЗ?
9. Является ли невыполнение пункта ТЗ нарушением закона?
10. Можно ли изменять пункты ТЗ в ходе контракта? На каких условиях?
11. Почему необходима качественная подготовка ТЗ при выполнении инициативных проектов?
12. Какая процедура, связанная с ТЗ, выполняется при завершении контракта?
13. Для чего нужно частное техническое задание?
14. Перечислите разделы типового ТЗ.
15. Перечислите пункты раздела «Технические требования» типового ТЗ.
16. Все ли разделы и пункты типового ТЗ включаются во все технические задания?
17. Перечислите виды изделий.
18. Какой вид изделия обладает наиболее сложной структурой?
19. Какой вид изделия не может быть поделен на меньшие структурные единицы?
20. Какие виды конструкторских документов Вам известны?
21. Какие виды схем Вам известны?
22. Назовите известные Вам типы схем.
23. Каким образом составляется код схемы?
24. Что такое основной конструкторский документ?
25. Какой документ является основным конструкторским документом для детали?
26. Какой документ является основным конструкторским документом для сборочной единицы?

27. Какой документ является основным конструкторским документом для комплекса?

28. Система – это деталь, сборочная единица, комплекс или комплект?

Уровень курса

1. Техническое задание и его назначение.
2. Роль технического задания в контракте и в проекте.
3. Контроль выполнения требований технического задания. Частные технические задания.
4. Типовое содержание технического задания.
5. Виды и структура изделий.
6. Конструкторская документация. Виды конструкторских документов.
7. Виды и типы схем.

Лекція № 24

Тема: Качество системы и методы его обеспечения.**Оглавление**

Понятие качества	2
Качество и сорт	2
Принципы менеджмента качества ИСО 9000	3
а) Ориентация на потребителя.....	3
б) Лидерство руководителя.....	3
в) Вовлечение работников.....	3
г) Процессный подход	3
д) Системный подход к менеджменту	4
е) Постоянное улучшение	4
ж) Принятие решений, основанное на фактах	4
и) Взаимовыгодные отношения с поставщиками.....	4
Основные процессы обеспечения качества согласно ИСО 9000	4
Основные признаки качества системы	4
Средства и способы обеспечения качества при создании системы.....	6
Контрактная стадия: запрос, предложение, обсуждение, заключение контракта.....	6
Этап разработки	6
Изготовление , монтаж, пуско-наладочные работы.	7
Ввод в эксплуатацию, эксплуатация.....	7
Контрольные вопросы по теме	8
Уровень модуля.....	8
Уровень курса.....	9

Источники:

1. ISO 9000:2015 Системы менеджмента качества – Основные положения и словарь
2. ГОСТ 27.002-89 НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ Основные понятия. Термины и определения

Понятие качества

В соответствии с международным стандартом ИСО 8402:1994 «качество - совокупность характеристик объекта, которые придают ему способность удовлетворять установленные и предполагаемые потребности». Объектами являются продукция, процесс, услуга, деятельность, система и т.д., и каждый из них описывается совокупностью характеристик и параметров, которые подлежат нормированию и оценке путем измерений, контроля либо испытаний.

Надлежащее качество определяется результатом совокупной деятельности стандартизации, метрологии и оценки соответствия (сертификации). Учитывая важную роль каждого из этих видов деятельности, в Украине приняты законы «Про стандартизацію», «Про метрологію і метрологічну діяльність» и «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». Закон «Про стандартизацію» установил правовые основы стандартизации в стране, обязательные для всех юридических и физических лиц, и определил меры государственной защиты интересов потребителей и государства посредством применения нормативных документов по стандартизации.

Качество и сорт

Следует различать понятия *качество* и *сорт*. Качество и сорт – концептуально различные понятия. **Качество** как поставляемый выход или результат — это «степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям» (ISO 9000). **Сорт** как конструктивный замысел — это категория, присваиваемая поставляемым результатам, имеющим одно и то же функциональное назначение, но различные технические характеристики. Руководитель проекта и команда управления проектом отвечают за достижение компромиссных решений в отношении обеспечения требуемых уровней как качества, так и сорта. Уровень качества, который не отвечает требованиям к качеству, — это всегда проблема, а низкий сорт может не быть проблемой. Например:

- Проблема может не быть, если программный продукт низкого сорта (ограниченное число функций) и при этом высокого качества (отсутствие очевидных дефектов, доступно написанное руководство пользователя). В этом примере продукт соответствует общей цели использования.
- Проблема возникает тогда, когда программный продукт высокого сорта (множество функций) имеет низкое качество (множество дефектов, плохо организованная пользовательская

документація). По суті набір его функцій високого сорта оказывається неефективним и/или недостаточным в связи с низким качеством.

Принципы менеджмента качества ИСО 9000

Совокупность международных стандартов серии 9000 (ИСО 9000) определяет все требования к процессу обеспечения качества, и в частности определяет требования к управлению (менеджменту) качества.

Успешное руководство организацией и ее функционирование обеспечивается путем ее систематического и прозрачного управления. Успех может быть достигнут в результате внедрения и поддержания в рабочем состоянии системы менеджмента качества, разработанной для постоянного улучшения деятельности с учетом потребностей всех заинтересованных сторон. Управление организацией помимо менеджмента качества включает в себя также и другие аспекты менеджмента.

Следующие восемь принципов менеджмента качества были определены для того, чтобы высшее руководство могло руководствоваться ими с целью улучшения деятельности организации.

а) Ориентация на потребителя

Организации зависят от своих потребителей, и поэтому должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания.

б) Лидерство руководителя

Руководители обеспечивают единство цели и направления деятельности организации. Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в решение задач организации.

в) Вовлечение работников

Работники всех уровней составляют основу организации, поэтому их полное вовлечение в решение задач дает возможность организации с выгодой использовать их способности.

г) Процессный подход

Желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом.

д) Системный подход к менеджменту

Выявление, понимание и менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействуют повышению результативности и эффективности организации при достижении ее целей.

е) Постоянное улучшение

Постоянное улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель.

ж) Принятие решений, основанное на фактах

Эффективные решения должны основываться на анализе данных и информации.

и) Взаимовыгодные отношения с поставщиками

Организация и ее поставщики взаимозависимы, поэтому отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать ценности.

Эти восемь принципов менеджмента качества были взяты за основу при разработке стандартов на системы менеджмента качества, входящих в семейство ИСО 9000.

Основные процессы обеспечения качества согласно ИСО 9000

Планирование управления качеством – процесс определения требований и/или стандартов качества для проекта и его поставляемых результатов, а также документирования того, каким образом проект будет демонстрировать соответствие требованиям и/или стандартам качества.

Обеспечение качества – процесс проверки соблюдения требований к качеству и результатов измерений в контроле качества для обеспечения использования соответствующих стандартов качества и операционных определений.

Контроль качества – процесс мониторинга и документирования результатов действий в области качества для оценки исполнения и вынесения рекомендаций относительно необходимых изменений.

Основные признаки качества системы

Качество проявляется в ряде признаков, основными из которых являются нижеперечисленные признаки. Если система обладает указанными качествами, то эту систему можно признать качественной. Не всегда удается придать системе все перечисленные свойства и не всегда это требуется в полном объеме.

- 1 Надежность, безотказность, живучесть и стойкость к внешним воздействиям такого рода:

- климатические: дождь, снег, солнечная радиация, низкие температуры, роса, изморось, влага, туман, соли
 - природные явления: молниезащита
 - биологического происхождения: грызуны, термиты, бактерии, плесень
 - коррозионная стойкость
 - вибростойкость, стойкость к воздействию ударов и акустических воздействий.
- 2 Высокие эксплуатационные характеристики:
 - механизация, автоматизация процессов
 - самоконтроль
 - отсутствие необходимости в высококвалифицированном персонале
 - удобство, простота обслуживания, доступность узлов соединительных и крепления
 - эргономичность: обзор, наблюдаемость и т.п. условия работы оператора
 - эстетика, дизайн
 - ремонтпригодность, взаимозаменяемость, унификация, стандартизация, ремонтные комплекты, запасные части и принадлежности
 - 3 Стойкость к воздействию радиоэлектронных помех внешних и собственных
 - 4 Отсутствие или низкий уровень собственных излучений: радиоэлектронных, тепловых, эмиссия материала (запах) и т.п.
 - 5 Низкое потребление электроэнергии и других ресурсов: воды, теплоносителя, охлаждающего воздуха и т.д.
 - 6 Экологичность: экологически чистые материалы, низкий уровень потребления и выделения
 - 7 Транспортабельность, габарит, надежная и достаточная упаковка.
 - 8 Маркировка
 - 9 Возможность консервации системы для ее хранения, в частности до начала монтажа системы.
 - 10 Безопасность
 - 11 Эксплуатационная и ремонтная документация, детальная и в полном объеме, в необходимом количестве экземпляров.

Средства и способы обеспечения качества при создании системы

Контрактная стадия: запрос, предложение, обсуждение, заключение контракта.

Точное выявление и описание требований заказчика.
Детальное ТЗ.

Этап разработки

- 1 Высококвалифицированные специалисты–проектировщики системы – самый главный фактор в деле создания качественной системы.
 - образование (признанные вузы)
 - навыки, умение выполнения расчетов и моделирования, оформления документов
 - опыт проектирования
 - опыт разработки подобных устройств и систем
 - умение работать в коллективе
- 2 Точное выявление и описание требований заказчика.
 - Детальное ТЗ.
- 3 Сбор информации о подобных устройствах и системах.
- 4 Использование опыта, извлеченные уроки (Lessons learned)
- 5 Применение стандартов:
 - наилучший опыт и практика,
 - готовые методики,
 - надежные методики расчетов и надежные конструкции – это гарантия
- 6 Тщательное проведение расчетов и компьютерного моделирования.
- 7 Планирование и выполнение экспериментальных работ в требуемом объеме: макетирование, моделирование, исследования и отработка
- 8 Применение надежных, отработанных решений, преемственность – не менее 50% – 70%
- 9 Стандартизация и унификация
- 10 Использование патентов
- 11 Правильный выбор сырья, материалов и комплектующих изделий
 - детали military, ОС и т.д.
 - выбор поставщиков

- 12 Применение зарекомендовавшего себя программно-математического обеспечения
- 13 Программа отработки
- 14 Качественное выполнение конструкторской документации: чертежей, схем, инструкций, технических условий и т.д.
- 15 Качественная ЭД: полнота комплекта, детальные инструкции на выполнение работ, обслуживание и ремонт системы.
- 16 Технологичность, ориентация на производителя
- 17 Метрологическое обеспечение на всех стадиях: исследовательские работы, отработка, изготовление
- 18 Подготовка будущего персонала
- 19 Качественное управление проектом – менеджмент:
 - Противоречивые факторы: сроки, стоимость, качество
 - тщательное рассмотрение технических вопросов на ранних стадиях проектирования
 - устранение ошибок – страдает качество
 - соблюдение плановых сроков разработки, недопущение спешки
 - своевременное финансирование в объеме, обеспечивающем полный объем проектирования, моделирования и экспериментальных работ
 - контроль документации
 - контроль конфигурации
 - тщательный выбор подрядчиков (смежников, поставщиков, разработчиков подсистем и устройств)

Изготовление, монтаж, пуско-наладочные работы.

Контроль

Метрология

Контроль документации

Контроль конфигурации

Ввод в эксплуатацию, эксплуатация.

Качественная подготовка персонала, обучение, тренинг

Сертификация

Контроль

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. Дайте определение понятию «качество».
2. Какие три вида деятельности в совокупности определяют требуемое качество?
3. Какие украинские законы направлены на обеспечение качества?
4. Чем отличаются качество и сорт?
5. Перечислите восемь принципов менеджмента качества, установленных стандартом ИСО 9000.
6. Перечислите основные процессы обеспечения качества, установленные стандартом ИСО 9000.
7. Стойкость к воздействиям какого рода должна проявлять качественная система?
8. Какие климатические воздействия следует учитывать при разработке системы?
9. Какие биологические воздействия на системы при их эксплуатации Вам известны?
10. В чем проявляются высокие эксплуатационные характеристики системы?
11. Какие эксплуатационные требования, связанные с работой оператора, следует соблюдать при проектировании качественной системы?
12. Какие экологические требования соблюдаются при проектировании качественной системы?
13. Как можно охарактеризовать качественную систему в отношении радиоэлектронного излучения?
14. Как называются характеристики системы, необходимые для доставки системы в место сборки, а также для ее хранения?
15. Какой документацией должна сопровождаться качественная система?
16. Насколько важен этап разработки ТЗ для создания качественной системы?
17. Что является главным фактором в деле создания качественной системы?
18. Какими параметрами можно охарактеризовать высокую квалификацию проектировщика?
19. Какой информацией целесообразно обладать перед началом разработки новой системы?
20. Какие работы при проектировании системы требуют особой тщательности?

21. Следует ли при проектировании системы использовать старые технические решения из предыдущих разработок?
22. Следует ли стремиться к использованию уникальных элементов, устройств и приборов в составе системы?
23. Какие виды экспериментальных работ проводят при разработке системы? Насколько это важно?
24. Что понимается под качественной эксплуатационной документацией?
25. Какое условие важно выполнить для качественной эксплуатации системы до ее ввода в эксплуатацию?

Уровень курса

1. Качество системы. Основные понятия.
2. Принципы менеджмента качества, установленные стандартом ИСО 9000. Основные процессы обеспечения качества.
3. Основные признаки качественной системы.
4. Средства и способы обеспечения качества системы при ее разработке.

Лекція № 25**Тема:** Надежность системы**Содержание**

Определение надежности и основные понятия	2
Основы расчета надежности	6
Мажоритарное резервирование	7
Проблемы обеспечения высоких показателей надежности при разработке системы.....	8
Контрольные вопросы по теме	9
Уровень модуля.....	9
Уровень курса.....	10

Источники:

1. ISO 9000:2015 Системы менеджмента качества – Основные положения и словарь
2. ГОСТ 27.002-89 НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ Основные понятия. Термины и определения

Определение надежности и основные понятия

В общем случае: надежность – это свойство объекта сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность - комплексное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Например, для неремонтируемых объектов основным свойством может являться безотказность. Для ремонтируемых объектов одним из важнейших свойств, составляющих понятие надежности, может быть ремонтпригодность.

Основные понятия, связанные с надежностью системы приведены в таблице.

Термин	Определение
ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ	
Надежность Reliability , dependability	Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.
Безотказность Reliability, failure-free operation	Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки
Долговечность Durability, longevity	Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта
Ремонтпригодность Maintainability	Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта
Сохраняемость Storability	Свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования
СОСТОЯНИЕ	
Исправное состояние <i>Исправность</i> Good state	Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации
Неисправное состояние	Состояние объекта, при котором он не

<i>Неисправность</i> Fault , faulty state	соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации
Работоспособное состояние <i>Работоспособность</i> Up state	Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции, относят кинематические и динамические параметры, показатели конструкционной прочности, показатели точности функционирования, производительности, скорости и т. п. С течением времени значения этих параметров могут изменяться.
Неработоспособное состояние <i>Неработоспособность</i> Down state	Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.
Предельное состояние Limiting state	Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно
Отказ Failure	Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта
ВРЕМЕННЫЕ ПОНЯТИЯ	
Наработка Operating time	Продолжительность или объем работы объекта. Примечание. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).
Наработка до отказа Operating time to failure	Наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа
Время восстановления Restoration time	Продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта
Ресурс Useful life, life	Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние
Срок службы Useful lifetime, lifetime	Календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние

Назначенный ресурс Assigned operating time	Суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния
Назначенный срок службы Assigned lifetime	Календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния
ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ	
Вероятность безотказной работы Reliability function, survival function	Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет
Средняя наработка до отказа Mean operating time to failure	Математическое ожидание наработки объекта до первого отказа
Средняя наработка на отказ <i>Наработка на отказ</i> Mean operating time between failures	Отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки
Среднее время восстановления Mean restoration time	Математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа
КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ	
Коэффициент готовности (Instantaneous) availability function	Вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается
РЕЗЕРВИРОВАНИЕ	
Резервирование Redundancy	Способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций
Резерв Reserve	Совокупность дополнительных средств и (или) возможностей, используемых для резервирования
Основной элемент Major element	Элемент объекта, необходимый для выполнения требуемых функций без использования резерва
Резервируемый элемент Element under redundancy	Основной элемент, на случай отказа которого в объекте предусмотрены один или несколько резервных элементов
Резервный элемент Redundant element	Элемент, предназначенный для выполнения функции основного элемента в случае отказа последнего
Кратность резерва	Отношение числа резервных элементов к числу

Redundancy ratio	резервируемых ими элементов, выраженное несокращенной дробью
Дублирование Duplication	Резервирование с кратностью резерва один к одному
Нагруженный резерв Active reserve, loaded reserve	Резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в режиме основного элемента
Облегченный резерв Reduced reserve	Резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в менее нагруженном режиме, чем основной элемент
Ненагруженный резерв Standby reserve, unloaded reserve	Резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функции основного элемента
Общее резервирование Whole system redundancy	Резервирование, при котором резервируется объект в целом
Раздельное резервирование Segregated redundancy	Резервирование, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы
ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ	
Программа обеспечения надежности Reliability support programme	Документ, устанавливающий комплекс взаимосвязанных организационно-технических требований и мероприятий, подлежащих проведению на определенных стадиях жизненного цикла объекта и направленных на обеспечение заданных требований к надежности и (или) на повышение надежности
Расчетный метод определения надежности Analytical reliability assessment	Метод, основанный на вычислении показателей надежности по справочным данным о надежности компонентов и комплектующих элементов объекта, по данным о надежности объекта, по данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту оценки надежности
Расчетно-экспериментальный метод определения надежности Analytical-experimental reliability assessment	Метод, при котором показатели надежности всех или некоторых составных частей объектов определяют по результатам испытаний и (или) эксплуатации, а показатели надежности объекта в целом рассчитывают по математической модели
Экспериментальный метод определения надежности Experimental reliability assessment	Метод, основанный на статистической обработке данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации объекта в целом
ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ	
Испытания на надежность Reliability test	Испытания, проводимые для определения показателей надежности в заданных условиях.

	Примечание. В зависимости от исследуемого свойства различают испытания на безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность (ресурсные испытания)
Нормальные испытания на надежность Normal test	Лабораторные (стендовый) испытания, методы и условия проведения которых максимально приближены к эксплуатационным для объекта
Ускоренные испытания на надежность Accelerated test	Лабораторные (стендовые) испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение информации о надежности в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях
План испытаний на надежность Reliability test programme	Совокупность правил, устанавливающих объем выборки, порядок проведения испытаний, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний
Объем испытаний на надежность Scope of reliability	Характеристика плана испытаний на надежность, включающая число испытываемых образцов, суммарную продолжительность испытаний в единицах наработки и числа серий испытаний

Основы расчета надежности

1. При отсутствии резерва в системе любой отказ любого блока приводит к отказу всей системы. Для работоспособности всей системы необходима работоспособность всех блоков. То есть, случайное событие, состоящее в том, что система находится в безотказном состоянии, представляет собой произведение событий, состоящих в безотказном состоянии каждого блока. Имеет место последовательное соединение событий безотказности:



Надежность системы (вероятность безотказной работы системы)
 $P = \prod_{i=1}^n p_i$, где p_i – надежность i -того блока (вероятность безотказной работы i -того блока).

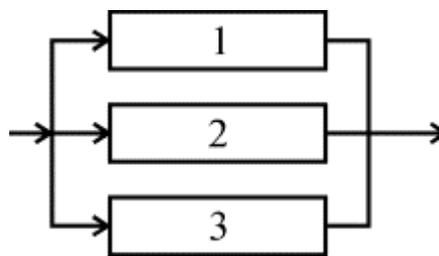
Например, если система состоит из трех блоков, и все блоки имеют одинаковую вероятность безотказной работы $p_i = 0.90$, то надежность всей системы $P = 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,90 = 0,73$. То есть, надежность всей системы всегда ниже, чем надежность любого из блоков, в том числе – самого ненадежного. И она тем ниже, чем больше число блоков в системе.

Точно также рассчитывается и надежность блока, только в этом случае блок рассматривается как система, а вместо блоков рассматриваются узлы блока.

Соответственно рассчитывается и надежность узлов. В этом случае на месте системы в схеме расчета надежности находится узел, а роль блоков играют элементы узла.

И так далее. Однако, на самом деле, расчет начинают снизу и ведут вверх по иерархии – от элемента к узлу, затем от узла – к блоку, и уже затем находят надежность всей системы в целом.

2. Резервирование представляет собой параллельное соединение событий: то есть, для того, чтобы отказала вся система, необходимо, чтобы отказали все блоки сразу. То есть, случайное событие, состоящее в отказе системы, представляет собой произведение событий, состоящих в отказе всех блоков.



Надежность системы в случае резервирования $P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$, где p_i – надежность i -того блока

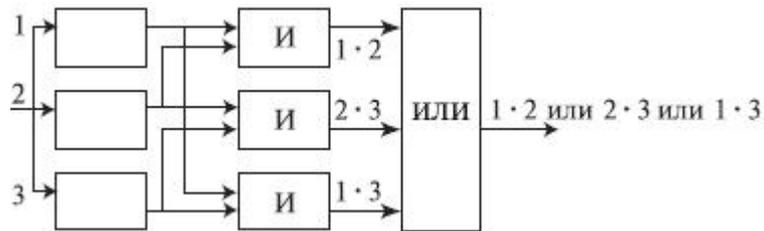
Например, если имеется 3 блока, резервирующих друг друга, и все блоки имеют одинаковую вероятность безотказной работы $p_i = 0.90$, то надежность всей системы $P = 1 - 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,999$. Таким образом, применение резервирования значительно повышает надежность системы.

Точно также как и схема расчета для систем без резервирования, данная схема расчета, учитывающая резерв, используется на всех уровнях системной иерархии: для системы в целом, для блоков, для узлов. Все зависит от того, на каком уровне происходит резервирование: резервируются элементы, резервируются узлы, резервируются блоки – это отдельное резервирование. Иногда резервируется система в целом – это общее резервирование. В последнем случае фактически имеется два идентичных экземпляра одной системы, которые оформляются в виде каналов системы: основной канал и резервный канал. Зачастую основному каналу присваивают индекс «А», а резервному индекс «Б». Так и указывают: работа идет по каналу «А». Или: работа идет по каналу «Б».

Мажоритарное резервирование

Для уменьшения вероятности ложного срабатывания в системе с резервированием из-за неисправности всего одного блока (если такое

событие возможно – что имеет место в редких случаях, и эти случаи должны быть тщательно проанализированы и выявлены) применяют так называемое «мажоритирование» или более строго – мажоритарное резервирование. Схема, реализующая подобный вид резервирования имеющая название «два из трех» приведена ниже:



Существуют и находят применение в технике схемы «три из пяти», которые используются в случае наличия очень высоких требований по надежности и безопасности.

Проблемы обеспечения высоких показателей надежности при разработке системы

1. Основным проектным способом повышения надежности является использование высоконадежных элементов и применение резервирования.
2. При проведении сертификации показатели надежности должны быть подтверждены экспериментально, а в случае невозможности экспериментального подтверждения – расчетным путем.
3. Чем выше надежность системы, тем выше ее стоимость: стоимость высоконадежных элементов, закладываемых в конструкцию изделия, существенно выше, чем обычных элементов; проведение экспериментальных работ по определению показателей надежности и по их подтверждению требует значительных затрат. Поэтому, всегда должен соблюдаться разумный баланс между стоимостью системы и ее надежностью. Повышение надежности системы без особой необходимости, когда это не требуется по ТЗ или самим назначением системы, приводит к необоснованному росту ее стоимости.
4. В случае наличия гарантийных обязательств низкая надежность системы может привести к росту стоимости всего проекта. Стоимость ремонта по гарантийным обязательствам может оказаться значительно выше стоимости мероприятий по повышению надежности системы, выполняемых еще на этапе ее разработки.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. Дайте определение понятия надежность.
2. Из каких четырех составляющих свойств системы складывается ее надежность?
3. Что такое безотказность?
4. Что понимается под долговечностью?
5. Дайте определение ремонтпригодности.
6. Что такое сохраняемость?
7. В каких состояниях может находиться система? Перечислите.
8. Какое состояние системы называется предельным?
9. Что такое наработка?
10. Чем отличаются ресурс системы и срок службы системы?
11. Что означает понятие «назначенный ресурс»?
12. Что означает понятие «назначенный срок службы»?
13. Как определяется термин «вероятность безотказной работы»?
14. Чем отличается средняя наработка до отказа от средней наработки на отказ?
15. Что понимается под резервированием?
16. Что такое резерв?
17. Что означает термин «кратность резерва»?
18. Дублирование – это частный случай резервирования или нет?
19. Что такое «общее резервирование»?
20. Какие методы определения надежности Вам известны?
21. Что выше: надежность блока или системы в целом?
22. Что выше: надежность узла или системы?
23. Что выше: надежность элемента или системы?
24. Если в системе не применяется резервирование, то вероятность безотказной работы системы – это сумма, произведение или частное вероятности безотказной работы всех блоков, входящих в систему?
25. Если в системе применяется резервирование, то вероятность отказа системы – это сумма, произведение или частное вероятности отказа резервируемых блоков?
26. Какие схемы мажоритирования применяются на практике: «один из двух», «два из четырех», «два из трех», «три из пяти»?
27. Какой проектный способ повышения надежности является основным?

Уровень курса

1. Надежность системы. Общие понятия.
2. Надежность: состояния системы. Временные понятия надежности и показатели надежности.
3. Основные понятия резервирования. Мажоритарное резервирование.
4. Методы определения надежности. Основы расчета надежности систем с резервированием и без резервирования.

Лекція № 26

Тема: Эксплуатация систем контроля

Содержание

Общие сведения об эксплуатации	2
Этапы эксплуатации	2
Виды эксплуатации.....	4
Эксплуатационные процессы	4
Эксплуатационные документы	7
Ремонтные документы.....	8
Техническое обслуживание	8
Типовое содержание работ по техническому обслуживанию.....	12
Подготовка и сертификация эксплуатирующего персонала	12
Назначение, состав и виды комплектов ЗИП.....	13
Поиск и устранение неисправностей	15
Метрологическое обеспечение	17
Контрольные вопросы по теме	18
Уровень модуля.....	18
Уровень курса.....	19

Источники:

1. ГОСТ 25866-83 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНИКИ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ
2. ГОСТ 27.002-89 НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ Основные понятия. Термины и определения
3. Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Том 1. Объекты космической инфраструктуры. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.: ил.
4. Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Том 3. Практические основы эксплуатации объектов космической инфраструктуры.

Общие сведения об эксплуатации

В процессе создания системы, ее разработки и изготовления, система получает такие свойства и характеристики, которые придают ей способность удовлетворять установленным к ней требованиям. То есть на **стадии создания** формируется и закладывается в систему ее качество.



Рисунок 1 - Создание и реализация качества

На стадии эксплуатации качество системы реализуется (используется по назначению, удовлетворяя установленную потребность потребителя), поддерживается (поддержание готовности к применению) и восстанавливается (техническое обслуживание, ремонт, доработки, модернизация). Термин «эксплуатация» происходит от понятия exploitation - использование, извлечение выгоды. В широком, хозяйственном смысле, **эксплуатация** - это использование для каких-либо целей природных богатств, зданий, сооружений, средств транспорта, машин, приборов и т.д. В узком, общетехническом смысле, в соответствии с ГОСТ 25866-83 «Эксплуатация техники. Термины и определения», **эксплуатация** - это стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество.

Этапы эксплуатации

Основными этапами эксплуатации общепромышленных изделий в соответствии с ГОСТ 25866-83 являются: хранение при эксплуатации; транспортирование при эксплуатации; ввод в эксплуатацию; приведение в готовность к использованию по назначению; поддержание в готовности к

использованию по назначению; использование по назначению, снятие с эксплуатации (рисунок 2).

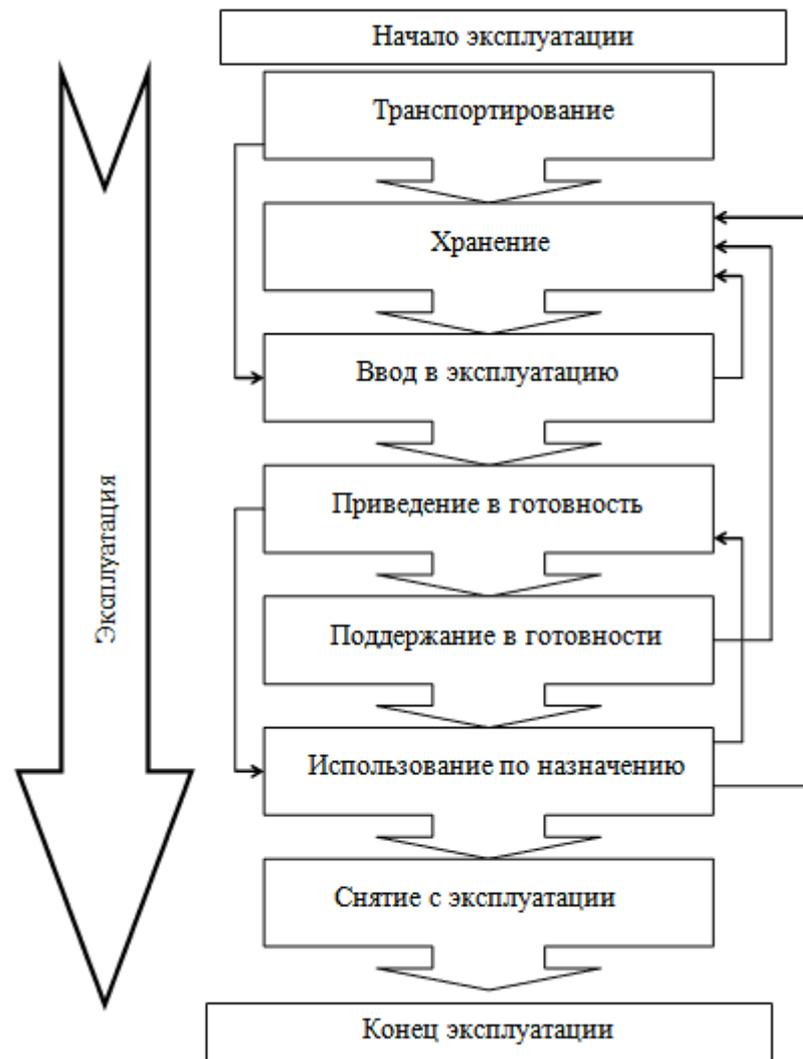


Рисунок 2 - Этапы эксплуатации

Транспортирование при эксплуатации - перемещение изделия из пункта отправления до пункта назначения в заданном состоянии с применением, при необходимости, транспортных и грузоподъемных средств, начинающееся с погрузки и кончающееся выгрузкой на месте назначения.

Ввод в эксплуатацию - совокупность подготовительных работ, контроля и приемки эксплуатирующей организацией изделия, поступившего после изготовления или ремонта, в соответствии с установленными требованиями, и закрепление этого средства за эксплуатационным подразделением, должностным лицом или должностными лицами.

Приведение в готовность к использованию по назначению (приведение в готовность) - этап эксплуатации, включающий комплекс установленных в документации по эксплуатации работ по приведению

изделия в работоспособное состояние и исходное для последующих действий положение.

Поддержание в готовности к использованию по назначению (поддержание в готовности) – этап эксплуатации, в течение которого осуществляется комплекс работ, установленных в эксплуатационной документации и направленных на поддержание изделия в установленной степени готовности.

Использование по назначению - этап эксплуатации, в течение которого изделие работает в соответствии с его функциональным назначением.

Снятие с эксплуатации - событие, фиксирующее невозможность или нецелесообразность дальнейшего использования по назначению и ремонта изделия с оформлением установленных документов.

Виды эксплуатации

Основными видами эксплуатации систем являются: нормальная (или штатная) и опытная эксплуатация.

Нормальная (штатная) эксплуатация - эксплуатация изделий в соответствии с действующей эксплуатационной документацией.

Опытная эксплуатация изделий осуществляется с целью совершенствования системы эксплуатации, контроля характеристик целевых свойств изделий, отработки методов и способов их применения по назначению, отработки отдельных процессов эксплуатации. Опытная эксплуатация может осуществляться на этапе от окончания приемочных (государственных) испытаний до принятия комплекса в эксплуатацию, в том числе и параллельно с работами по вводу комплекса в эксплуатацию.

Существуют и другие виды эксплуатации: лидерная, подконтрольная, совместная эксплуатация.

Эксплуатационные процессы

Мероприятия, направленные на поддержание требуемого состояния изделия и эксплуатационного качества на любом из этапов эксплуатации, называются **эксплуатационными процессами**. К основным эксплуатационным процессам отнесены:

- 1) контроль состояния;
- 2) техническое обслуживание;
- 3) ремонт;
- 4) рекламационная работа;
- 5) надзор за объектами надзора и средствами измерений;
- 6) метрологическое обеспечение;

- 7) работы по бюллетеням (доработки);
- 8) поиск и устранение неисправностей;
- 9) категорирование;
- 10) продление назначенных показателей ресурса и срока эксплуатации.

Контроль состояния - обязанность должностных лиц и функция органов управления по выполнению комплекса мероприятий, направленных на своевременное получение достоверной информации о результатах эксплуатации и состоянии системы. Контролю подлежат:

- состояние системы;
- организация эксплуатации системы;
- обеспеченность и состояние запасов;
- техническая подготовка обслуживающего персонала;
- исполнение руководящих документов по эксплуатации.

Техническое обслуживание (ТО) - комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. Правильно организованная система технического обслуживания должна быть планово-предупредительной.

В ракетно-космической отрасли установлен единый состав видов технического обслуживания:

- контрольный осмотр (КО);
- ежедневное ТО (ЕТО);
- техническое обслуживание № 1 (ТО-1);
- техническое обслуживание № 2 (ТО-2);
- сезонное ТО (СТО)
- регламентированное ТО (РТО).

Ремонт - комплекс операций по восстановлению их исправности или работоспособности и восстановлению ресурсов самих систем или их составных частей. Для военной и ракетно-космической техники принята система планово-предупредительного ремонта. В отдельных случаях может проводится неплановый ремонт вышедших из строя систем. В зависимости от трудоемкости, сложности и периодичности ремонтных работ предусмотрено четыре вида ремонта: текущий, средний, капитальный и регламентированный.

Рекламационная работа - выполнение комплекса мероприятий от момента выявления неисправности объекта эксплуатации до внедрения мероприятий по устранению причин ее возникновения. **Рекламация** - заявление потребителя (получателя) поставщику (изготовителю) об

обнаруженном в период гарантийной срока или гарантийной наработки несоответствия качества и / или комплектности изделия, установленным требованиям.

Государственный надзор - форма деятельности государственных органов по обеспечению выполнения правового законодательства и нормативных требований по обеспечению безопасной эксплуатации объектов повышенной опасности и безопасности труда.

Метрологическое обеспечение включает в себя метрологическое обслуживание и контроль состояния метрологического обеспечения. **Метрологическое обслуживание** - это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение требуемой точности измерений и достоверности измерительного контроля изделий. Метрологическое обслуживание изделий осуществляется персоналом штатных подразделений в объеме требований руководящих документов по метрологическому обеспечению, а также эксплуатационными документами на конкретные системы. **Контроль состояния метрологического обеспечения** - это комплекс мероприятий по определению уровня метрологического обслуживания средств измерений, по выполнению установленных правил и норм при эксплуатации изделий.

Работы по бюллетеням (доработки) на системах проводятся с целью обеспечения заданной надежности, улучшения их тактико-технических и эксплуатационных характеристик, устранения конструктивных и производственных недостатков (дефектов), влияющих на готовность систем к использованию по назначению, безопасность их эксплуатации.

Поиск и устранение неисправностей проводятся по решению руководителя работ в соответствии с требованиями эксплуатационной документации. Поиск и устранение неисправностей, последовательность отыскания и устранения которых не определена в эксплуатационной документации, производится по техническим решениям и заданиям.

Под **категорированием** понимается процесс отнесения изделий к той или иной категории и ее документальное оформление. Цель категорирования - обеспечение наиболее полного использования ресурса изделий, управления техническим состоянием изделий и своевременного планирования заказов на их восполнение. **Категория** - условная учетная характеристика, устанавливаемая по определенным правилам в зависимости от технического состояния и необходимости проведения ремонта или снятия с эксплуатации. В военной и ракетно-космической отрасли системы, как и другие изделия, подразделяются на пять категорий (1, 2, 3, 4, 5-я категории) в зависимости от их технического состояния и наличия гарантийных обязательств. При этом

первая категория соответствует исправным системам с наработкой и сроком службы в пределах гарантийных значений. Пятая категория устанавливается системам, непригодным к использованию, требующих списания.

В структуре процесса эксплуатации выделяют еще так называемые **обеспечивающие процессы** (их иногда называют сопутствующими, вспомогательными). К ним относят ведение документации, планирование, учет и отчетность, материально-техническое обеспечение, специальную подготовку эксплуатирующего персонала и некоторые другие. Обеспечивающие процессы сопровождают любой этап эксплуатации и эксплуатационные процессы

Эксплуатационные документы

Эксплуатационные документы – конструкторские документы, предназначенные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации. Номенклатура эксплуатационных документов для общепромышленных изделий в соответствии с ГОСТ 2.102-95 представлена в таблице 1.

Таблица 1 Номенклатура эксплуатационных документов (ГОСТ 2.102-95)

Шифр документа	Наименование документа	Детали	Сборочные единицы	Комплексы	Комплекты
ТО	Техническое описание	-	+	+	+
ИЭ	Инструкция по эксплуатации	-	+	+	+
ИО	Инструкция по техническому обслуживанию	-	+	+	+
ИМ	Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия на месте его применения	-	+	+	+
ФО	Формуляр	-	+	+	+
ПС	Паспорт	+	+	-	+
ЭТ	Этикетка	+	+	-	-
ЗИ	Ведомость ЗИП	-	+	+	-
-	Учебно-технические плакаты	-	+	+	+
ЭД	Ведомость эксплуатационных документов	-	+	+	+
1)	Документы прочие	-	+	+	+

Примечания: 1) по ГОСТ 2.701-84.

Условные обозначения:

+ – необходимость составления документа устанавливается по согласованию с заказчиком;

– – документ не составляют

Техническое описание (ТО) – документ, предназначенный для изучения изделия и содержащий описание его устройства и принципа действия, а также технические характеристики и другие сведения,

необходимые для обеспечения полного использования технических возможностей изделия.

Инструкция по эксплуатации (ИЭ) – документ, в котором приведены сведения, необходимые для правильной эксплуатации (использования, транспортирования, хранения и технического обслуживания) изделия и поддержания его в постоянной готовности к действию.

Инструкция по техническому обслуживанию (ИО) – документ, в котором приведены порядок и правила технического обслуживания изделия.

Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия на месте его применения (ИМ) – документ, в котором содержатся сведения, необходимые для технически правильного проведения монтажа, пуска, регулирования и обкатки изделий, монтаж которых должен проводиться только на месте применения.

Формуляр (ФО) - документ, удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем основные параметры и технические данные изделия, отражающий техническое состояние данного изделия и содержащий сведения по его эксплуатации (длительность и условия работы, техническое обслуживание, виды ремонта и другие данные за весь период эксплуатации).

Паспорт (ПС) - документ, удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем основные параметры и характеристики изделия.

Этикетка (ЭТ) – документ, предназначенный для изложения в ней основных показателей и сведений, требующихся для эксплуатации изделия.

Ведомость запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИ) - документ, устанавливающий номенклатуру, назначение, количество и места укладки запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов, которые необходимы для эксплуатации и ремонта данного изделия.

Ведомость эксплуатационных документов (ЭД) – документ, устанавливающий комплект и места укладки эксплуатационных документов, поставляемых с изделием.

Ремонтные документы

Ремонтные документы - конструкторские документы, предназначенные для подготовки ремонтного производства, ремонта и контроля изделия после ремонта. Номенклатура ремонтных документов определяется в соответствии с ГОСТ 2.102-95

Техническое обслуживание

В процессе эксплуатации под воздействием различных факторов происходит отклонение отдельных параметров от номинальных значений или

отказ некоторых элементов. Кроме того, необходимо периодически пополнять рабочими телами, заменять смазки, а также проводить регулировку отдельных узлов и т.д. Иными словами, в процессе эксплуатации систем ухудшаются характеристики их эксплуатационного качества, следовательно, снижается выходной эффект их применения. Поэтому в процессе эксплуатации появляется задача вернуть изделие в состояние, при котором обеспечивается требуемое значение выходного эффекта. В ряде случаев эту задачу можно решить своевременным и целесообразным по глубине и объему техническим обслуживанием.

Под техническим обслуживанием (ТО) понимается комплекс мероприятий по поддержанию работоспособности или исправности систем при использовании по назначению, содержании в готовности, хранении и транспортировании. Техническое обслуживание, выделяемое по одному из признаков: а) этапу эксплуатации; б) периодичности; в) объему работ; г) условиям эксплуатации; д) регламентации и т.д., называется **видом технического обслуживания**.

По этапу эксплуатации различают следующие виды технического обслуживания:

- 1) **техническое обслуживание при использовании** - техническое обслуживание при подготовке к использованию по назначению, использовании по назначению, а также непосредственно после его окончания;
- 2) **техническое обслуживание при транспортировании** - техническое обслуживание при подготовке к транспортированию, транспортировании, а также непосредственно после его окончания;
- 3) **техническое обслуживание при хранении** - техническое обслуживание при подготовке к хранению, хранении, а также непосредственно после его окончания.

По периодичности проведения различают следующие виды ТО:

- 1) **периодическое техническое обслуживание** - техническое обслуживание, выполняемое через установленные в эксплуатационной документации значения наработки или интервалы времени;
- 2) **техническое обслуживание по состоянию**.

По условиям эксплуатации различают следующие виды ТО:

- 1) **техническое обслуживание в особых условиях** – техническое обслуживание, проводимое в условиях, характеризующихся экстремальными значениями параметров. Особые условия -

природные или другие условия, указанные в отраслевой нормативно-технической документации.

- 2) **сезонное техническое обслуживание (СО)**, предназначенное предназначено для подготовки изделий, чувствительных к изменению сезонных климатических условий, к очередному сезону (весенне-летнему или осенне-зимнему) и проводится дважды в год.

Регламентированное техническое обслуживание (РТО) – техническое обслуживание, предусмотренное в нормативно-технической документации и выполняемое с периодичностью и в объеме, установленными в ней, независимо от технического состояния изделия в момент начала технического обслуживания.

Показатели системы технического обслуживания:

- продолжительность технического обслуживания – календарное время проведения одного технического обслуживания данного вида;
- суммарная продолжительность технических обслуживаний - календарное время проведения всех технических обслуживаний изделия за данные наработку или интервал времени;
- стоимость технического обслуживания - стоимость одного технического обслуживания данного вида;
- суммарная стоимость технических обслуживаний - стоимость проведения всех технических обслуживаний за заданные наработку или интервал времени;
- трудоемкость технического обслуживания - трудозатраты на проведение одного технического обслуживания данного вида;
- суммарная трудоемкость технических обслуживаний - трудозатраты на проведение всех технических обслуживаний изделия за заданные наработку или интервал времени.

До 80-х годов прошлого столетия техническое обслуживание называли регламентными работами или просто регламентом.

Единая система технического обслуживания (ЕСТО) включает в себя единые по наименованию и периодичности виды технического обслуживания. Система технического обслуживания является планово-предупредительной, основанной на обязательном проведении установленных видов технического обслуживания в объеме и с периодичностью, определенными документацией по эксплуатации. Единая система технического обслуживания, устанавливает определенные его виды, отличающиеся объемом работ и периодичностью их проведения при

использовании и хранении (таблица 2). Кроме того, для некоторых видов систем может быть предусмотрено техническое обслуживание при транспортировании. **Ежедневное техническое обслуживание (ЕТО)** связано с использованием систем по назначению и проводится по необходимости перед использованием систем по назначению с целью проверки их технического состояния и устранения выявленных недостатков. ЕТО может проводиться и в других случаях, оговоренных в эксплуатационной документации.

Таблица 2 - Виды и содержание технического обслуживания

Виды технического обслуживания	Обозначение видов ТО	Объем/Продолжительность	Периодичность
Техническое обслуживание при использовании			
Ежедневное ТО	ЕТО	Подготовка к использованию по назначению	Перед началом работ
Техническое обслуживание №1	ТО-1	Определяется ЭДо (обычно 1-3 дня)	Возможно: еженедельно ежемесячно ежеквартально 1 раз в полгода
Техническое обслуживание №2	ТО-2	Определяется ЭДо До 25 рабочих дней	1 раз в год
Сезонное обслуживание	СО	Определяется ЭДо До 15 рабочих дней	При переходе на весенне-летний и осенне-зимний период
Регламентированное ТО	РТО	Определяется актом технического состояния	После длительной эксплуатации

Техническое обслуживание №1 и №2 (ТО-1 и ТО-2) предназначено для поддержания систем в работоспособном (исправном) состоянии до следующего технического обслуживания. Периодичность проведения этих видов технического обслуживания определяется эксплуатационной документацией на системы и исчисляется по сроку службы или наработке. **Сезонное техническое обслуживание (СО)** предназначено для подготовки систем, чувствительных к изменению сезонных климатических условий, к очередному сезону (весенне-летнему или осенне-зимнему) и проводится дважды в год. **Регламентированное техническое обслуживание (РТО)** - предназначено для обеспечения работоспособности систем с ограниченной наработкой, доля времени непосредственного функционирования которых в процессе эксплуатации сравнительно мала и для которых существенное значение имеет процесс морального старения. Периодичность этого вида технического обслуживания определяется по сроку службы конкретных образцов систем и нормируется эксплуатационной документацией на них. Периодичность проведения РТО является самой большой из всех перечисленных видов технического обслуживания.

Типовое содержание работ по техническому обслуживанию

В качестве типовых работ при проведении технического обслуживания можно рассматривать такие виды работ:

Внешний осмотр

Устранение пыли и посторонних предметов

Проверка целостности конструкции:

- наличие всех составных частей, блоков
- наличие и правильность маркировки
- наличие соединительных сетей, в частности кабельной сети
- проверка схемы соединений - стыковки всех разъемов

Проверка дверей, крышек, замков

Проверка пломбировки

Проверка исходного состояния: тумблеры, переключатели

Проверка включения-выключения

Проверка функционирования

Проверка функционирования с резервными блоками

Проверка отдельных узлов и блоков

Проверка кабельной сети:

- расстыковка, внешний осмотр
- проверка целостности цепей
- проверка сопротивления изоляции

Замена блоков на резервные

Замена ламп и индикаторов

Замена переключателей

Регулировка, калибровка

Подтягивание ручек переключателей, крышек и т.п.

Смазка резьб, в частности на разъемах

Устранение окисной пленки на контактах разъемов, промывка разъемов

Подкраска

Подготовка и сертификация эксплуатирующего персонала

Выполнять эксплуатацию системы должен специально подготовленный персонал. Набор и подготовка персонала должны вестись заблаговременно. Иногда эта работа начинается еще на этапе разработки системы или на этапе изготовления. Для этого должны быть предусмотрены соответствующие затраты.

Эксплуатирующий персонал должен соответствовать определенным требованиям по состоянию здоровья и иметь соответствующий сертификат,

подтверждающий, что состояние здоровья данного оператора отвечает заданным требованиям. Требования устанавливает эксплуатирующая организация на основании сведений о функционировании системы, получаемых от разработчика. К подобным требованиям может относиться, например, общее состояние здоровья, острота зрения, слуха или особые требования по психологической и эмоциональной устойчивости.

До начала работы с системой эксплуатирующий персонал должен пройти обучение с целью получения необходимой теоретической подготовки и практических навыков. После чего должен быть сдан квалификационный экзамен, по результатам которого выдается сертификат о допуске к работе на определённый период времени (полгода, год, ... до пяти лет) и соответствующее удостоверение.

Назначение, состав и виды комплектов ЗИП

Запасные части, инструмент, принадлежности и материалы (ЗИП) – некоторая совокупность запасов материальных средств, сформированная в зависимости от назначения и особенностей использования технического устройства и предназначенная для обеспечения его эксплуатации и ремонта. В общем случае в состав ЗИП входят: запасные части; инструменты; приспособления; принадлежности; контрольно-измерительная аппаратура; специальное технологическое оборудование для технического обслуживания и ремонта; материалы; эксплуатационная документация.

Запасные части - составная часть изделия, предназначенная для замены находящейся в эксплуатации такой же части с целью поддержания или восстановления исправности или работоспособности изделия. Запасные части, как правило, изготавливаются по тем же конструкторским документам, что и основные.

Инструмент может быть, например, слесарный инструмент: гаечный ключ, отвертка, молоток и т.д.

Приспособление - технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета производства или инструмента при выполнении технологической операции. Например, съёмник отдельной детали (втулки, подшипника и т.п.). **Принадлежности** – устройства (изделия), входящие в комплект основного изделия, или дополняющие его. Например, защитный футляр прибора, защитный коврик в электроустановке и т.п.

Контрольно-измерительная аппаратура предназначена контроля показателей свойств, для настройки и регулировки технического устройства, отыскания неисправности, контроля результатов ремонта и технического

обслуговування. Наприклад, вольтметр, омметр, нагрузочная вилка для аккумуляторной батареи и т.д.

Специальное технологическое оборудование для технического обслуживания и ремонта включает в себя испытательные стенды, различного рода имитаторы и эквиваленты.

Материалы предназначены для обеспечения технического обслуживания и восстановления работоспособного состояния технического устройства. К ним относятся смазки, масла, технические жидкости, пасты, припой, монтажные провода и другие материалы, необходимые для технического обслуживания и ремонта изделий.

Все виды комплектов ЗИП условно делятся на две группы: основные и специальные. К **основным видам комплектов ЗИП** относятся:

- одиночный комплект ЗИП (ЗИП-О);
- групповой комплект ЗИП (ЗИП-Г);
- ремонтный комплект ЗИП (ЗИП-Р);
- ЗИП россыпью.

Все основные виды комплектов ЗИП разрабатываются, как правило, для изделий одного наименования. Однако допускается разрабатывать ЗИП-Г и ЗИП-Р для обеспечения эксплуатации изделий нескольких наименований.

Одиночный комплект ЗИП (ЗИП-О) предназначен для обеспечения замены отказавших и поврежденных составных частей изделия, выполнения технологических операций и проведения ТО силами штатных расчетов. ЗИП-О прилагается каждому агрегату (системе) технологического оборудования и поставляется вместе с ним. Комплект ЗИП-О подвижных агрегатов размещается во встроенных отсеках или нишах, а стационарных – рядом с ними в специальных шкафах или ящиках.

Групповой комплект ЗИП (ЗИП-Г) предназначен для обеспечения устранения отказов и неисправностей изделий, для замены составных частей с ограниченным ресурсом (ограниченным сроком службы) в условиях эксплуатирующей организации (не обязательно штатными расчетами), для проведения технических обслуживаний изделий и пополнения одиночных комплектов ЗИП. Разрабатывается ЗИП-Г для группы однотипных изделий, одновременно находящихся в эксплуатации. Если агрегат (система) эксплуатируется в единственном экземпляре, то комплект ЗИП-Г на него не разрабатывается. В этом случае комплект ЗИП-О выполняет также функции комплекта ЗИП-Г и рассчитывается на срок, задаваемый для ЗИП-Г. Размещается групповой комплект на складах эксплуатирующих организаций или на базах хранения.

Ремонтный комплект ЗИП (ЗИП-Р) предназначен для восстановления изделий с использованием составных частей, не включенных в другие комплекты ЗИП, либо для пополнения комплектов ЗИП-Г. Размещается ремонтный комплект на базах хранения или в ремонтных органах.

ЗИП россыпью предназначен для непосредственного использования при эксплуатации, ремонте и для пополнения ЗИП-О. К ЗИП россыпью относятся запасные элементы, поставляемые для пополнения других комплектов ЗИП, а также запасные элементы систем и изделий, для которых комплекты ЗИП-Г и ЗИП-Р не разрабатываются. Взаимосвязь между комплектами ЗИП представлена на рисунке 3. Поставка составных частей комплектов ЗИП производится следующим образом: ЗИП-О поставляет предприятие-изготовитель вместе с изделием; ЗИП-Г и ЗИП-Р поставляются по указанию заказчика предприятиями-поставщиками изделий.

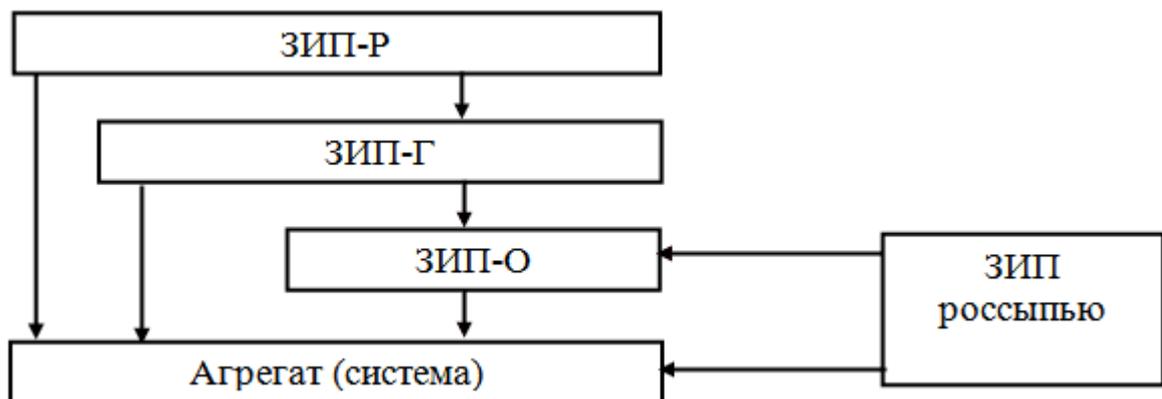


Рисунок 3 - Взаимосвязь между видами комплектов ЗИП

Пополнение комплектов ЗИП-О осуществляется не реже одного раза в полгода из комплектов ЗИП-Г. Пополнение ЗИП-Г осуществляется на основании заявок эксплуатирующих организаций. Пополнение ЗИП-Р производится за счет плановых поставок составных частей и за счет срочных поставок.

Поиск и устранение неисправностей

Возникновение неисправностей при эксплуатации любого объекта является, к сожалению, объективной закономерностью. Успешное решение задач поиска и устранения неисправностей, возникающих на различных этапах эксплуатации систем, во многом зависит от правильности выбора метода поиска отказавшего элемента и организации этих работ. При эксплуатации организуется и проводится поиск и устранение любых неисправностей, как приводящих к отказам, так и вызывающих

несущественные повреждения объектов эксплуатации при сохранении их работоспособности. Известно, что поиск неисправностей в нетривиальных ситуациях представляет собой достаточно сложный процесс, требующий принятия ответственных решений. При этом практика свидетельствует, что при принятии решений по поиску неисправностей основную роль играют знания, личный опыт и интуиция людей, занимающихся эксплуатацией техники и организацией процессов поиска и устранения неисправностей. Вместе с тем, на организацию процесса поиска неисправностей большое влияние оказывает не только опыт человека, но и умение пользоваться этим опытом. Это умение вырабатывается довольно трудно и у ряда специалистов оно развито слабо. Например, по американским данным, из значительного числа проверявшихся военно-технических специалистов 87% имели достаточно большой опыт практической работы. Однако лишь 1% из них умело использовали этот опыт при поиске неисправностей. Только твердые знания объектов эксплуатации, умение получить и проанализировать информацию о техническом состоянии системы, устойчивые навыки правильной организации работы по поиску и устранению неисправностей являются залогом успешного решения задач.

Если действия по устранению возникшей неисправности не предусмотрены в эксплуатационной документации, то в этом случае говорят о **нештатной ситуации**. Нештатные ситуации могут привести к серьезным последствиям - авариям или катастрофам. В этом случае штатные ситуации относят к **аварийным**. Возникновение любых неисправностей в процессе эксплуатации, хранения или транспортирования, независимо от того, предусмотрены или нет действия по ним в эксплуатационной документации, приводит к необходимости организации процесса их поиска и устранения в кратчайшие сроки и с необходимым качеством.

Любое отклонение от требований эксплуатационной документации в практике эксплуатации называется замечанием, в том числе неисправности, отказы и др. Проведение работ по поиску и устранению неисправности документируется путем записи формулировок принимаемых решений в журнал работ.

При выявлении неисправностей системы, технология поиска и устранения которых не определена в эксплуатационной документации, решение на поиск и устранение неисправностей принимается после разработки технического решения и технического задания. Окончательное решение по поиску и устранению неисправностей принимается на основании технического решения, разработанного группой анализа, сформированной из состава расчета подготовки систем. Подбор состава группы обусловлен тем,

что выяснение причин возникновения неисправностей и возможностей их устранения требует знаний и анализа не только эксплуатационной, но и другой конструкторской документации, технологии производства той или иной системы, в которой выявлена неисправность, и учета других факторов. Исходя из сказанного, в состав группы анализа включаются наиболее подготовленные специалисты эксплуатационного подразделения, группы технического руководства, инструкторской группы, представители предприятия-поставщика системы. Техническое решение, разработанное группой анализа, дает прежде всего заключение о возможности поиска и устранения выявленной неисправности силами обслуживающего персонала расчета. Такая возможность представляется только в том случае, когда действия обслуживающего персонала по поиску и устранению неисправности предусмотрены эксплуатационной документацией. Кроме того, в техническом решении отражаются квалификационные требования к эксплуатирующему персоналу по проведению предусмотренных работ, обеспеченность необходимыми запасными частями и другими материально-техническими средствами. На основании ТР разрабатывается ТЗ на выполнение работ по поиску неисправности.

Если причина неисправности установлена, то рабочая группа разрабатывает и согласовывает ТЗ на устранение неисправности. После выполнения работ по этому ТЗ также проводится анализ полученных результатов. Неисправность системы считается устраненной, если система (агрегат), на которой выявлена неисправность, приведена в состояние, соответствующее требованиям эксплуатационной документации. Работы по устранению неисправности силами обслуживающего персонала расчета завершаются их оформлением в соответствующих журналах работ. При замене отказавших приборов (узлов), имеющих формуляры, делаются необходимые записи в формуляре как на систему, на которой устранялась неисправность, так и в формулярах отказавшего (снятого) и установленного приборов (узлов).

Метрологическое обеспечение

В процессе эксплуатации должна проводиться регулярная поверка всех измерительных приборов, входящих в состав системы. Обычно поверка выполняется в процессе выполнения годового технического обслуживания (ТО-2). Сроки проведения поверки и ее результаты отражаются в журналах, которые ведутся эксплуатирующей организацией.

Контрольные вопросы по теме

Уровень модуля

1. Как определяется стандартом (ГОСТ) понятие "эксплуатация изделия"?
2. Перечислите основные этапы эксплуатации общепромышленных изделий в соответствии с ГОСТ.
3. Что такое "ввод в эксплуатацию"?
4. Какие виды эксплуатации Вам известны?
5. Какой вид эксплуатации называется "штатным"?
6. Перечислите известные Вам основные эксплуатационные процессы?
7. Какие виды технического обслуживания установлены в ракетно-космической отрасли?
8. Какую форму деятельности называют "государственным надзором"?
9. Что понимается под термином "категория" в процессе эксплуатации систем?
10. Назовите эксплуатационные документы на общепромышленные изделия, которые должны выпускаться в соответствии с стандартом (ГОСТ).
11. Что такое техническое описание?
12. Как называется документ, который определяет комплект и места укладки эксплуатационных документов, поставляемых с изделием?
13. Как различаются виды технического обслуживания по периодичности его проведения?
14. Какие виды технического обслуживания устанавливает единая система технического обслуживания?
15. Кто устанавливает объем и содержание технического обслуживания системы?
16. В каком документе приводится объем и содержание технического обслуживания системы?
17. Какие требования предъявляются к персоналу, эксплуатирующему систему?
18. Какими сертификатами должен обладать персонал для допуска к работе?
19. Каким образом проверяется уровень подготовки персонала?
20. Как расшифровывается аббревиатура ЗИП?
21. Что входит в состав ЗИП?
22. Какие виды комплектов ЗИП относятся к основным?
23. Чем отличается назначение одиночного комплекта ЗИП от группового?

24. Какие документы разрабатываются при проведении работ по поиску и устранению неисправности?
25. В каком случае неисправность считается устраненной?
26. Какое мероприятие является обязательным в процессе метрологического обеспечения систем контроля?

Уровень курса

1. Общие сведения об эксплуатации систем. Этапы и виды эксплуатации.
2. Эксплуатационные процессы.
3. Эксплуатационные и ремонтные документы.
4. Техническое обслуживание, его назначение и виды.
5. Назначение, состав и виды комплектов ЗИП.
6. Подготовка и сертификация эксплуатирующего персонала.